

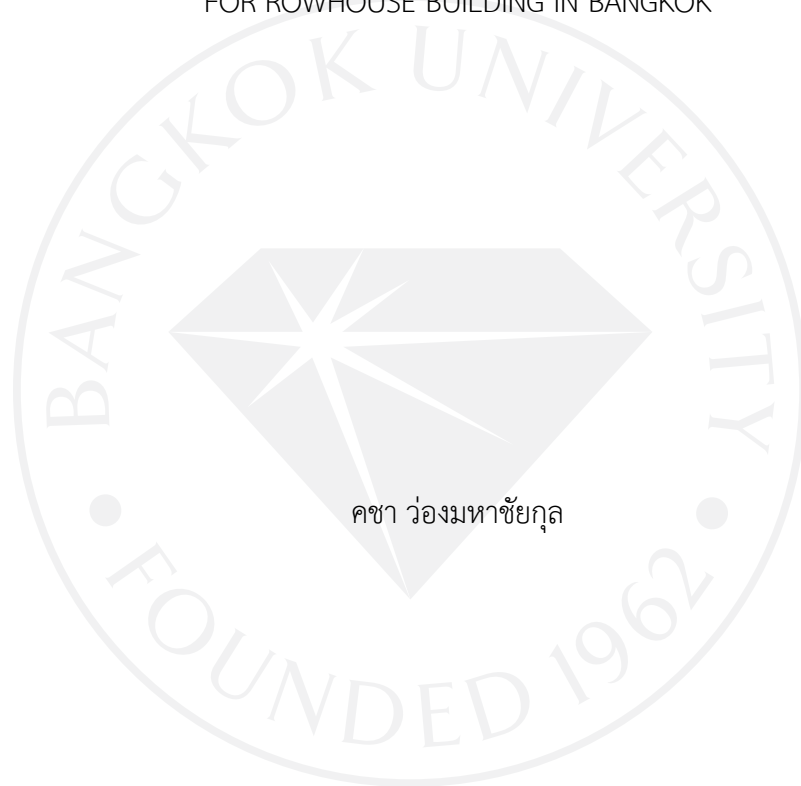
แนวทางการออกแบบแผงกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิตั้ง
สำหรับอาคารประเภทตึกแถวในกรุงเทพมหานคร

A DESIGN GUIDELINE FOR SHADING DEVICE TO ENHANCE THERMAL COMFORT
FOR ROWHOUSE BUILDING IN BANGKOK



แนวทางการออกแบบแผงกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ
สำหรับอาคารประเภทตึกแถวในกรุงเทพมหานคร

A DESIGN GUIDELINE FOR SHADING DEVICE TO ENHANCE THERMAL COMFORT
FOR ROWHOUSE BUILDING IN BANGKOK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมภายใน
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2563



© 2564

คชา ว่องมหาชัยกุล

สงวนลิขสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมภายใน

เรื่อง แนวทางการออกแบบผังกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิต่ออาคารประเภท
ตึกแถวในกรุงเทพมหานคร

ผู้วิจัย คชา ว่องมหาชัยกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการสอบ

(ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยสิทธิ์ ด้านกิตติกุล)

กรรมการสอบ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

(ดร.ภฤศมน คำมะสอน)

กรรมการสอบ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์)

กรรมการสอบ

(อาจารย์ประจำหลักสูตร)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสิต ลีนิวา)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

15 พฤษภาคม 2564

คชา ว่องมหาชัยกุล. ปริญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน,
พฤษภาคม 2564, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

แนวทางการออกแบบแผงกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิต่ออาคารประเภท
ตึกแถวในกรุงเทพมหานคร (201 หน้า)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ภฤศมน คำมะสอน

บทคัดย่อ

แผงกันแดดเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออาคารทั้งในเรื่องของความสวยงามสามารถ
ส่งผลต่อการนำเข้ามาของปริมาณลมและป้องกันอาคารจากรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ ทว่าข้อจำกัด
ของสองส่วนนี้อาจเกิดขึ้นในอาคารประเภทตึกแถวช่วงท้องลึกที่มีในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่
มีที่ดินมูลค่าสูง มีความหนาแน่น แออัด จึงมีการสร้างตึกแถวเพื่อลดการใช้พื้นที่ในบริเวณดังกล่าวลง
เป็นจำนวนมาก ถึง 89,800 ยูนิต ในปี พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2562 โดยตึกแถวมีลักษณะเป็นอาคารที่มี
ช่องเปิดด้านเดียว ส่งผลให้การไหลเวียนอากาศภายในอาคารเกิดขึ้นได้น้อย การเลือกใช้แผงกันแดดที่
เหมาะสมกับตึกแถวนอกจากจะสามารถป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ยังมีส่วนในการดักลมเข้าสู่
พื้นที่อาคารทำให้การระบายอากาศภายในดีขึ้น ส่งผลช่วยปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิต่อ
ผู้ใช้อาคารดีขึ้นอีกด้วย

โดยงานวิจัยเลือกทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมคำนวณแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล ศึกษา
พฤติกรรมและความเร็วลมของลมที่ผ่านแผงกันแดดประเภทต่าง ๆ 5 ประเภท ได้แก่ แผงกันแดด
แนวตั้ง แผงกันแดดแนวนอน แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดแบบระแนงแนวตั้ง และแผงกันแดด
ระแนงแนวนอน ติดตั้งบริเวณด้านหน้าแบบจำลองอาคารตึกแถวขนาดมาตรฐานหน้ากว้าง 4.00
เมตร ลึก 12.00 เมตร ในรูปแบบสภาวะอาคารไม่ปรับอากาศ เลือกศึกษาเฉพาะบริเวณชั้น 2 และชั้น
3 ของอาคาร โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 8 ชุดการทดลอง ตามจำนวนทิศทางที่ตั้งอาคารทั่วไป
ทั้ง 8 ทิศทาง ซึ่งแต่ละทิศทางมีการติดตั้งแผงกันแดดและค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปีที่ใช้ในการ
คำนวณแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลแตกต่างกันออกไป

จากการศึกษาพบว่า ความเร็วลมที่พัดผ่านแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพที่สุด 8 ทิศทาง อยู่
ในช่วง 0.45 m/s ถึง 0.86 m/s โดยอาคารที่ตั้งอยู่ในทิศเหนือชั้น 3 ติดตั้งแผงกันแดดแบบผสมมีค่า
ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.45 m/s และอาคารที่ตั้งอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น
2 ติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 15 องศาและชั้น 3 ติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 30 องศา มีค่า
ความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารมากที่สุดเท่ากันอยู่ที่ 0.86 m/s ซึ่งทุก ๆ ค่าความเร็วลมที่ 0.27 m/s
สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเฉลี่ยลดลงถึง 0.4 °C รวมถึงกระแสลมที่พัดผ่านแผงกันแดดทุกชนิดมี

ความเร็วสูงขึ้นไปในช่วง 2.00 เมตรแรกที่เข้าสู่อาคารอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้งานวิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้นำไปคำนวณหาค่า PMV (Predicted mean vote) ผลการคำนวณพบว่าแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุดในทั้ง 8 ทิศทางผ่านเกณฑ์การประเมินค่าสภาวะน่าสบายโดยค่า PMV ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE Standard 55 ซึ่งมีค่า PMV อยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5

ทั้งนี้งานวิจัยจัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผงกันแดดที่เหมาะสมกับทิศทางที่ตั้งอาคาร เป็นแนวทางในการออกแบบบังคับทิศทางของลมสู่พื้นที่ภายในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลือกองศาของแผงกันแดดเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มการกระจายของการนำเข้ลมสู่สภาวะน่าสบายของอาคารประเภทดังกล่าว หรือแม้กระทั่งนำไปบูรณาการการออกแบบกับตัวแปรทางด้านสภาวะน่าสบายอื่น ๆ เช่น ศึกษาเรื่องฝุ่นหรือความชื้นที่เกิดจากลมเข้าสู่อาคาร เป็นต้น อีกทั้งสามารถนำไปปรับใช้ในโครงการออกแบบปรับปรุงตึกแถวเก่าที่มีอยู่มากในพื้นที่กรุงเทพมหานครรวมถึงโครงการออกแบบใหม่ต่อไปในอนาคตที่ผู้ออกแบบและเจ้าของอาคารต้องการได้อย่างดี

อนุมัติ: _____

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Wongmahachaikul, K. M.Arch. (Interior Architecture), May 2021, Graduate School, Bangkok University.

A Design guideline for Shading device to enhance thermal comfort for rowhouse buildings in Bangkok (201 pp.)

Thesis Advisor: Prudsamon Kammasorn

ABSTRACT

Solar shading device, is one of the elements that creates a unique aesthetic appearance to the building to enhance wind into the row house as well as protects the building from solar radiation. Due to the limitation of depth of row house, the difficulty of influences on wind can cause the thermal comfort in the row house building in Bangkok, which is one of the most valuable lands and densely populated areas in the country. In 2015-19, the row house buildings were built to manage the high density in metropolitan Bangkok up to 89,800 units. Most of the row house buildings in Bangkok are single sided opening style, resulting in less amount of air circulation inside the building. Choosing the right shading devices can positively control the air flow. Not only protecting the building from the solar radiation, shading devices also work as a wind catcher that helps contribute to a comfortable indoor environment. Consequently, it improves the thermal comfort of the building residents.

The research was selected to conduct simulation using the computational fluid dynamics model to study the behavior and an experiment on wind speed of the wind passing through 5 types of shading devices including horizontal louvers, vertical louvers, mixed louvers, horizontal slat louvers, and vertical slat louvers. It was installed in front of a standard row house building model that has no air conditioning system running with 4 meters-width and 12 meters-depth. The experiments were conducted on the second and third floors of the building. It was divided into 8 sets according to the number of the wind roses. Each direction of the wind was installed with different solar shading devices. Also, the annual mean wind speed from the values were selected to use.

The study found that the most efficient wind speed that blows through the shading device is from the speed of 0.45 m/s to 0.86 m/s. The mean wind speed on the third floor in the North direction was 0.45 m/s which was the least efficient means of the wind speed inside the building. It was equipped with the mixed solar shading devices. On the other hand, the Southwest building was the highest means of the wind speed inside the building. The average wind speed was 0.86 m/s on both levels by the second floor and third floor were equipped with 15 and 30 degree angle vertical louvers, respectively. Every 0.27 m/s wind speed value can decrease the internal temperature of the building as much as 0.4 degree Celsius. In fact, the wind that passes through all types of shading devices in this study has significantly higher wind speed during the first 2 meters. Furthermore, the study has used the results of the experiment to calculate the Predicted Mean Vote (PMV). The results of the calculation showed that the solar shading devices with the best wind catcher performance in all directions passed the PMV assessment criteria for the comfort zone. Using the ASHRAE Standard 55, the PMV is between -0.5 to +0.5.

All in all, this study aims to be a guideline for selecting the suitable shading devices for building design especially in the selection for angle of shading devices for distributing the wind into the buildings. Likewise, it could be used to integrate and develop the design with other comfort zone conditions such as studying dust or humidity caused by wind entering the building, and also apply for the old building renovation as well as the new build project that serves the needs of the designer and the residents in the future.

Approved: _____

Thesis Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้หากขาดซึ่งบุคคลทั้งหลายที่จะกล่าวถึง ซึ่งขอขอบพระคุณบุคคลเบื้องหน้าอันได้แก่ ดร.ภฤตมน คำมะสอน และ ผศ.ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึง รศ.ดร.ชัยสิทธิ์ ด้านกิตติกุล ผศ.ดร. ชุมพร มูรพันธ์ และ ผศ.ดร.ภาสิต ลีนิวา คณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะแนวทางการทำวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์มงคล แก้วบำรุง อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ให้คำปรึกษาในด้านการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล อีกทั้งยังขอขอบคุณอาจารย์ทุกคนทุกท่านตั้งแต่ในสมัยที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ ณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในระดับปริญญาตรี ไปจนถึงอาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ในระดับปริญญาโท ที่คอยได้ให้องค์ความรู้ในด้านสถาปัตยกรรมทั้งหมดทั้งมวล ด้วยความตั้งใจ จริใจ พุ่มเท จนลูกศิษย์สามารถนำความรู้ไปใช้ในประกอบสัมมาอาชีพหรือแม้กระทั่งนำความรู้ไปต่อยอดในการศึกษา

ขอขอบคุณบุคคลผู้สนับสนุนให้กำลังใจเบื้องหลังอันได้แก่ ครอบครัวว่องมหาชัยกุล สำหรับกำลังใจในการเรียนและการใช้ชีวิต ขอขอบคุณ นุค แดงโม ไอซ์ เพื่อนที่คอยเป็นแรงขับเคลื่อนการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

และในการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโปรแกรม ANSYS FLUENT 2021R1 จากห้องวิจัยการเผาไหม้ขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้การควบคุมของ ผศ.ดร. เฉลิมพล เปล่งสะอาด ทั้งนี้ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาในหัวข้อดังกล่าวในอนาคตต่อไป

คชา ว่องมหาชัยกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ณ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 สมมติฐานงานวิจัย	3
1.5 คำถามงานวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.9 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	4
1.10 กรอบการวิจัย	5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort)	8
2.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย	8
2.1.2 ขอบเขตความสบาย (Comfort zone) ของประเทศไทย	14
2.1.3 ทฤษฎีการปรับตัว (Adaptive model)	16
2.1.4 ดัชนีชี้วัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort index)	18
2.2 การใช้ลมเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายในมนุษย์ (Comfort ventilation)	24
2.3 ทฤษฎีแนวทางการออกแบบเพื่อส่งเสริมสภาวะน่าสบายภายในอาคาร (Design strategy for enhance thermal comfort in building)	28
2.3.1 ทฤษฎีรูปแบบการระบายอากาศด้วยธรรมชาติ (Natural ventilation theory)	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

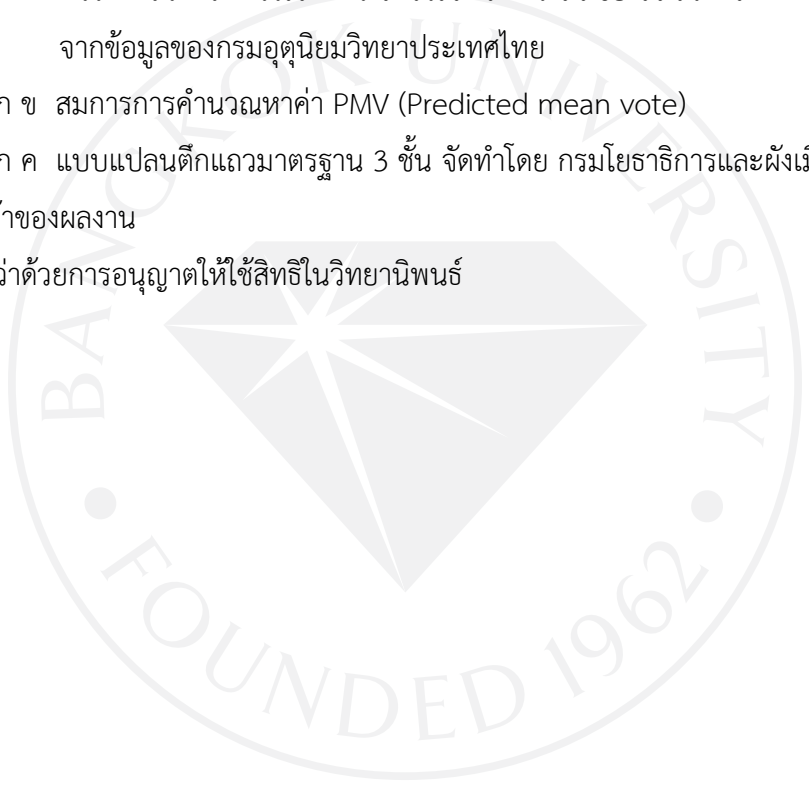
บทที่ 2 (ต่อ) วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.3.2 ทฤษฎีเชิงพฤติกรรมของลมกับช่องเปิดในประเทศไทย	32
2.4 การออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย (Shading device design in Thailand)	41
2.4.1 มุมและพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย	42
2.4.2 หลักการออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย	46
2.5 กรณีศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	53
2.5.1 Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements (Karava et al., 2011)	53
2.5.2 CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters (Ramponi & Blocken, 2012)	55
2.6 บทสรุปจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	63
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	65
3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย	66
3.1.1 กำหนดตัวแปรงานวิจัย	66
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	69
3.2.1 เครื่องมือวัดค่าความเร็วลม	69
3.2.2 โปรแกรมสร้างแบบจำลองโมเดลสามมิติ	70
3.2.3 โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล Computational fluid dynamics (CFD)	70
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	74
3.3.1 กำหนดแนวทางการประเมินสภาวะน่าสบาย	74
3.3.2 กำหนดแบบจำลองอาคารและสภาพแวดล้อม	74
3.3.3 กำหนดรูปแบบแผงกันแดดประจำทิศทาง	77
3.3.4 กำหนดทิศทางการวางอาคารและตำแหน่งรูปแบบช่องเปิด	85
3.3.5 ทำการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล	86
3.3.6 จัดรูปแบบชุดการทดลองและกำหนดค่าความเร็วลมประจำทิศทาง	90
3.3.7 วิธีการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล	93

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 (ต่อ) วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.3.8 กระบวนการบันทึกและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	103
3.3.9 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา	104
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	106
4.1 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับการทดลองที่เกี่ยวข้อง	107
4.1.1 แบบจำลอง E1 จากการทดลองของ Karava	107
4.1.2 แบบจำลอง A1 จากการทดลองของ Karava	108
4.2 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับเครื่องมือวัดค่าความเร็วลม	110
4.2.1 แบบจำลอง E1 จากการทดลอง Pilot Study	110
4.2.2 แบบจำลอง A1 จากการทดลอง Pilot Study	112
4.2.3 แบบจำลองตึกแถว จากการทดลอง Pilot Study	114
4.3 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ภายในตึกแถวที่ติดตั้งแผงกันแดด	118
4.3.1 แบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ (N)	118
4.3.2 แบบจำลองตึกแถวทิศใต้ (S)	124
4.3.3 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก (E)	130
4.3.4 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก (W)	136
4.3.5 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)	141
4.3.6 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	144
4.3.7 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)	148
4.3.8 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	152
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	159
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	160
5.1.1 สรุปแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมมากที่สุด	160
5.1.2 การประเมินสภาวะน่าสบาย PMV ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE 55	164
5.1.3 ข้อค้นพบจากงานวิจัย	173
5.1.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย	176

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 (ต่อ) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย	178
5.2.1 แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้	178
5.2.2 ข้อเสนอแนะอื่น ๆ	178
บรรณานุกรม	180
ภาคผนวก ก แนวทางในการคำนวณหาความเร็วลมและความถี่ของลมในแต่ละทิศทาง จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย	184
ภาคผนวก ข สมการการคำนวณหาค่า PMV (Predicted mean vote)	188
ภาคผนวก ค แบบแปลนตึกแถวมาตรฐาน 3 ชั้น จัดทำโดย กรมโยธาธิการและผังเมือง ประวัติเจ้าของผลงาน	192
ข้อตกลงว่าด้วยการอนุญาตให้ใช้สิทธิในวิทยานิพนธ์	201



สารบัญตาราง

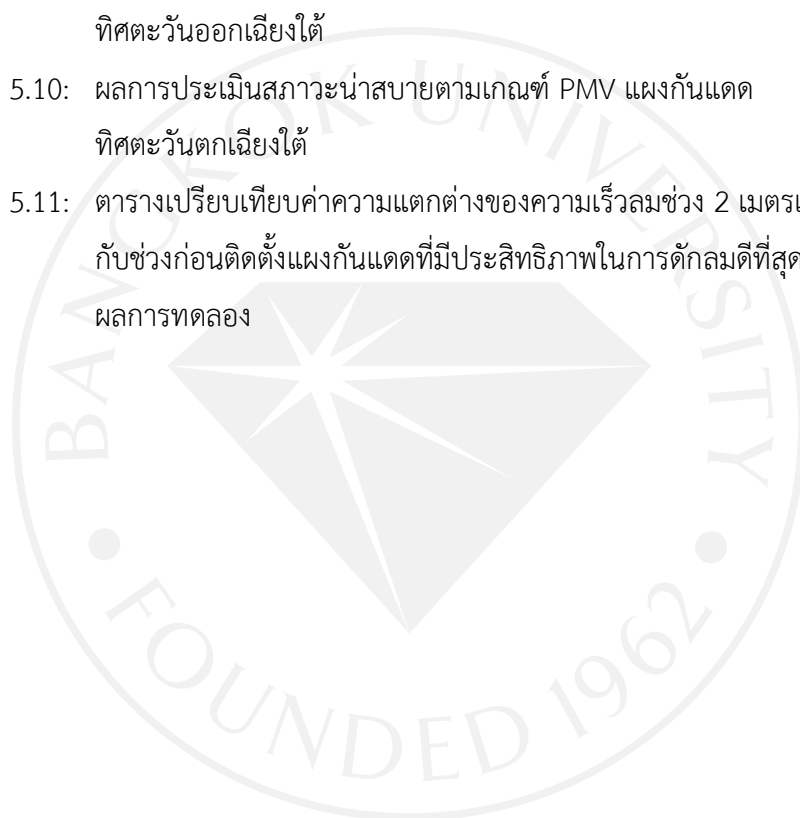
	หน้า	
ตารางที่ 2.1:	ตารางแสดง Metabolic rate ตามระดับของกิจกรรมต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.2:	ตารางแสดงค่า Clo ของการแต่งกายรูปแบบต่าง ๆ	11
ตารางที่ 2.3:	ตารางแสดงค่าผลการทดลองค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดสภาวะ น่าสบายจากการทดลองต่าง ๆ ทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย	14
ตารางที่ 2.4:	ตารางแบ่งแยกดัชนีวัดสภาวะน่าสบายตามกลุ่มการทดลองของ Auliciems และ Szokolay	19
ตารางที่ 2.5:	ตารางแสดงค่าสภาวะน่าสบายต่อความรู้สึก ความต้องการ และการยอมรับได้	23
ตารางที่ 2.6:	ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วลม (Relative Air Speed)	24
ตารางที่ 2.7:	ตารางแสดงค่าความเร็วลมขณะพัดผ่านผิวหนังที่ส่งผลต่อความรู้สึก	24
ตารางที่ 2.8:	ตารางแสดงขอบเขตสภาวะน่าสบายตามหลักเกณฑ์และการทดลองต่าง ๆ	26
ตารางที่ 2.9:	ตารางแสดงค่าความเร็วลม ณ อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อช่วยให้คนไทยสามารถ ยอมรับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงได้	27
ตารางที่ 2.10:	ความต้องการปริมาณอากาศบริสุทธิ์ในห้องต่าง ๆ	31
ตารางที่ 2.11:	ตารางสรุปวิธีการตั้งค่าโปรแกรม CFD จากการทดลอง ของ Ramponi และ Blocken	63
ตารางที่ 2.12:	ตารางสรุปข้อค้นพบที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย	64
ตารางที่ 3.1:	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือในการจำลองการไหลของของเหลว	71
ตารางที่ 3.2:	สรุปหลักเกณฑ์ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิในการทดลองฉบับนี้	74
ตารางที่ 3.3:	รายละเอียดรูปแบบของแผงกันแดดที่จะนำเข้าสู่โปรแกรมคำนวณ พลศาสตร์ของไหล	90
ตารางที่ 3.4:	ตารางสรุปชุดการทดลองทั้ง 8 ชุดการทดลอง และ 8 ทิศทาง	91
ตารางที่ 3.5:	ตารางแสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 8 ทิศ จากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา	92
ตารางที่ 3.6:	ตารางแสดงผลการวัดค่าความเร็วลมด้วยเครื่อง Testo 405i	93
ตารางที่ 3.7:	ตารางสรุปวิธีการตั้งค่าโปรแกรม CFD จากการทดลองของ Ramponi และ Blocken	94
ตารางที่ 3.8:	รูปแบบและจำนวน Mesh แบบจำลองของ Karava	96
ตารางที่ 3.9:	รูปแบบและจำนวน Mesh ของแบบจำลองตึกแถว	97
ตารางที่ 3.10:	ตารางการตั้งค่าเบื้องต้นในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3.11: ค่าความเร็วลมในการตั้งค่า Boundary condition ของแต่ละชุดการทดลองย่อย	102
ตารางที่ 4.1: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลอง E1	111
ตารางที่ 4.2: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลอง A1	112
ตารางที่ 4.3: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลองตึกแถวชั้น 2	114
ตารางที่ 4.4: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลองตึกแถวชั้น 3	115
ตารางที่ 4.5: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศเหนือชั้น 2	122
ตารางที่ 4.6: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศเหนือชั้น 3	123
ตารางที่ 4.7: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศใต้ชั้น 2	128
ตารางที่ 4.8: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศใต้ชั้น 3	129
ตารางที่ 4.9: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกชั้น 2	134
ตารางที่ 4.10: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกชั้น 3	135
ตารางที่ 4.11: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกชั้น 2	139
ตารางที่ 4.12: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกชั้น 3	140
ตารางที่ 4.13: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 2	143
ตารางที่ 4.14: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 3	144
ตารางที่ 4.15: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 2	146
ตารางที่ 4.16: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 3	147
ตารางที่ 4.17: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงใต้ชั้น 2	150
ตารางที่ 4.18: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงใต้ชั้น 3	151
ตารางที่ 4.19: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 2	156
ตารางที่ 4.20: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 3	157
ตารางที่ 5.1: ตารางสรุปแมงกานด์ที่มีประสิทธิภาพในการดักลมที่ดีที่สุดจากผลการทดลอง	160
ตารางที่ 5.2: ตารางแสดงการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณ PMV ของ berkeley.edu	164
ตารางที่ 5.3: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แมงกานด์ทิศเหนือ	165
ตารางที่ 5.4: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แมงกานด์ทิศใต้	166
ตารางที่ 5.5: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แมงกานด์ทิศตะวันออก	167
ตารางที่ 5.6: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แมงกานด์ทิศตะวันตก	168

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.7: ผลการประเมินสภาวะน้ำสลายตามเกณฑ์ PMV แฉงกันแดด ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	169
ตารางที่ 5.8: ผลการประเมินสภาวะน้ำสลายตามเกณฑ์ PMV แฉงกันแดด ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	170
ตารางที่ 5.9: ผลการประเมินสภาวะน้ำสลายตามเกณฑ์ PMV แฉงกันแดด ทิศตะวันออกเฉียงใต้	171
ตารางที่ 5.10: ผลการประเมินสภาวะน้ำสลายตามเกณฑ์ PMV แฉงกันแดด ทิศตะวันตกเฉียงใต้	172
ตารางที่ 5.11: ตารางเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของความเร็วมช่วง 2 เมตรแรก กับช่วงก่อนติดตั้งแฉงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุดใน ผลการทดลอง	174



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1: กรอบการวิจัย	5
ภาพที่ 2.1: ประเด็นสำคัญในการศึกษาคำว่าวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	7
ภาพที่ 2.2: แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบค่า Clo-value กับการใส่เสื้อผ้าประเภทต่าง ๆ ในแต่ละเพศ	11
ภาพที่ 2.3: แผนภาพ Bioclimatic chart สำหรับประเทศไทย	13
ภาพที่ 2.4: แผนภาพ Psychometric เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ	16
ภาพที่ 2.5: ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกลางภายในอาคารและอุณหภูมิภายนอกอาคารเฉลี่ยรายเดือน จากการทดลองของ Richard de Dear	18
ภาพที่ 2.6: แผนภูมิมาตรวัด Effective Temperature (ET) ในกรณีศึกษา: A Nigerian Case study	20
ภาพที่ 2.7: แผนภูมิ Psychometric ที่แสดงเส้น ET*	21
ภาพที่ 2.8: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PPD (Predicted percentage of dissatisfied) และค่า PMV (Predicted mean vote)	22
ภาพที่ 2.9: แผนภาพ Bioclimatic chart ที่มีตัวแปรของการไหลของลมเข้ามาเกี่ยวข้อง	25
ภาพที่ 2.10: รูปแบบของการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation) ที่ผ่านช่องเปิดใน	29
ภาพที่ 2.11: การระบายอากาศตามแนวตั้ง (Stack ventilation)	30
ภาพที่ 2.12: ด้านที่ลมพัดจะเกิด Positive pressure ส่วนด้านที่ลมพัดออกจะเกิด Negative pressure	33
ภาพที่ 2.13: ภาพแสดงแบบจำลองรูปทรงของอาคารที่มีผลต่อลมที่พัดผ่าน	34
ภาพที่ 2.14: ภาพแสดงแบบจำลองการไหลของลมผ่านตำแหน่งของช่องเปิดรูปแบบต่าง ๆ	35
ภาพที่ 2.15: ภาพแสดงแบบจำลองขนาดของช่องเปิดทางเข้าและทางออกที่มีผลกับการกระจายตัวของลมภายในอาคาร	36
ภาพที่ 2.16: ภาพแสดงแบบจำลองการไหลของลมผ่านช่องเปิด กรณีมีสิ่งประกอบบริเวณช่องเปิดอาคาร	37
ภาพที่ 2.17: ภาพแสดงแบบจำลองการไหลของลมผ่านช่องเปิดบานเกล็ดอาคาร	38
ภาพที่ 2.18: แบบจำลองการไหลของอากาศภายในอาคารที่มีผนังกัน	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.19: แบบจำลองการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดที่มีความสูงเหนือพื้นดินที่แตกต่างกัน	40
ภาพที่ 2.20: สัดส่วนความเร็วลมในช่วงความสูงต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 เมตร ถึง 500 เมตร	40
ภาพที่ 2.21: แบบจำลองการไหลของลมผ่านกลุ่มอาคารที่มีการจัดวางและระยะห่างแตกต่างกัน	41
ภาพที่ 2.22: มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์	42
ภาพที่ 2.23: ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ทำให้เกิดมุมต่าง ๆ	43
ภาพที่ 2.24: ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์ละมุมกระทำต่าง ๆ ต่อพื้นดิน	44
ภาพที่ 2.25: ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี	44
ภาพที่ 2.26: Solar ray cone ของจุดโคจรห่างสุดของดวงอาทิตย์กับโลก	45
ภาพที่ 2.27: ส่วนโค้งครึ่งวงกลมของ Sky Vault กับตำแหน่งทางโคจรของดวงอาทิตย์	46
ภาพที่ 2.28: ลักษณะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ	48
ภาพที่ 2.29: ลักษณะการเกิดเงาบนตารางการโคจรของดวงอาทิตย์	49
ภาพที่ 2.30: แสดงมุม Altitude และมุม Azimuth แพลนของมุม HSA และรูปตัดของมุม VSA	50
ภาพที่ 2.31: แสดง Isometric ของมุม VSA และมุม HAS	50
ภาพที่ 2.32: พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากแผงกันแดดเข้าสู่ภายในอาคาร	51
ภาพที่ 2.33: แผนภาพแสดงขนาดแบบจำลองและช่องเปิดในการทดลอง	53
ภาพที่ 2.34: ภาพชุดการทดลองของ Karava ด้วยการใช้อุโมงค์ลม	54
ภาพที่ 2.35: ผลการทดลองพฤติกรรมและค่าความเร็วลมแบบจำลอง E1	54
ภาพที่ 2.36: ผลการทดลองพฤติกรรมและค่าความเร็วลมแบบจำลอง A1	55
ภาพที่ 2.37: แผนภาพแสดงขนาดแบบจำลองและช่องเปิดตามแบบจำลองของ E1 ของ Karava	56
ภาพที่ 2.38: ผลการทดลองการหาค่าสัดส่วนขอบเขตของพื้นที่ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล	57
ภาพที่ 2.39: ผลการทดลองการหาขนาด Mesh Size เพื่อใช้ในการสร้าง Mesh model	58
ภาพที่ 2.40: ผลการทดลองการเปรียบเทียบการตั้งค่า Turbulence kinetic energy 3 รูปแบบ	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.41:	ผลการทดสอบการหาแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model) 60
ภาพที่ 2.42:	ผลการทดสอบการหารูปแบบสมการแบบไม่ต่อเนื่อง (Discretization scheme) 61
ภาพที่ 2.43:	แผนภาพการทดลองหาค่าระดับ Iterative convergence ที่เหมาะสม 62
ภาพที่ 3.1:	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการกำหนดตัวแปรที่สอดคล้องกับการทดลอง 68
ภาพที่ 3.2:	ภาพเครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ Testo 405i 69
ภาพที่ 3.3:	รูปแบบและอินเตอร์เฟซของการทำงานโปรแกรมสร้างแบบจำลองโมเดลสามมิติ 70
ภาพที่ 3.4:	รูปแบบการทำงานของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล 71
ภาพที่ 3.5:	แผนภาพแสดงขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบการทดลอง 73
ภาพที่ 3.6:	แบบจำลองกล่องต้นแบบ E1 ตามการทดลองของ Karava 75
ภาพที่ 3.7:	แบบจำลองกล่องต้นแบบ A1 ตามการทดลองของ Karava 75
ภาพที่ 3.8:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric ของอาคารตึกแถวก่อนติดตั้งแผงกันแดด 76
ภาพที่ 3.9:	ผังแสดงขนาดรูปด้านหน้าและหลังของอาคารตึกแถว (ตามลำดับ) ก่อนติดตั้งแผงกันแดด 77
ภาพที่ 3.10:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถวหลังติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน ทำมุม 15 องศา แทนด้วยอักษรย่อ H15 78
ภาพที่ 3.11:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถวหลังติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน ทำมุม 30 องศา แทนด้วยอักษรย่อ H30 78
ภาพที่ 3.12:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถวหลังติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน ทำมุม 45 องศา แทนด้วยอักษรย่อ H45 79
ภาพที่ 3.13:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถวหลังติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน ทำมุม 90 องศา แทนด้วยอักษรย่อ H90 79
ภาพที่ 3.14:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถวหลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 15 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V15 80
ภาพที่ 3.15:	แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถวหลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 30 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V30 80

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.16: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 45 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V45	81
ภาพที่ 3.17: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 90 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V90	81
ภาพที่ 3.18: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปด้านหน้าของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแบบผสมทำมุม 90 องศา ทั้งสองแนว แทนด้วยอักษรย่อ VH	82
ภาพที่ 3.19: แปลนและรูปตัดของอาคารตึกแถว (ตามลำดับ) หลังติดตั้งแผงกันแดดแบบผสม ทำมุม 90 องศา ทั้งสองแนว แทนด้วยอักษรย่อ VH	82
ภาพที่ 3.20: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดระแนงไม้แนวนอน แทนด้วยอักษรย่อ IIIH	83
ภาพที่ 3.21: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปด้านของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดระแนงไม้แนวตั้ง แทนด้วยอักษรย่อ IIIV	83
ภาพที่ 3.22: แผนภาพสรุปแนวทางการกำหนดแบบจำลองในงานวิจัย	84
ภาพที่ 3.23: แผนภาพการระบุทิศทางตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา	85
ภาพที่ 3.24: แผนภาพแสดงทิศทางการวางอาคาร โดยหันหน้าอาคารแตกต่างกันไป	86
ภาพที่ 3.25: ภาพชุดการทดลองของ Karava ด้วยการใช้อุโมงค์ลม	87
ภาพที่ 3.26: รูปตัดแสดงเส้นแนวการเก็บข้อมูลของแบบจำลอง E1 และ A1 (ตามลำดับ)	87
ภาพที่ 3.27: ภาพแสดงการจัดเตรียมชุดเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเร็วลม	88
ภาพที่ 3.28: ภาพแสดงการทดลองการวัดค่าความเร็วลมจากแบบจำลองกล่องกระดาษ	88
ภาพที่ 3.29: ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือและตำแหน่งการเก็บข้อมูล T1-T3 แบบจำลอง E1	89
ภาพที่ 3.30: ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือและตำแหน่งการเก็บข้อมูล T1-T3 แบบจำลอง A1	89
ภาพที่ 3.31: ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือและตำแหน่งการเก็บข้อมูล T1-T6 แบบจำลองตึกแถว	89
ภาพที่ 3.32: แผนภาพแสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบการทดลองรูปแบบต่าง ๆ กับซอฟต์แวร์ CFD	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.33: แผนภาพแสดงช่วงความเร็วและความถี่ของลมเฉลี่ย 2 ปี (วันที่ 1 ม.ค. 2562 ถึง วันที่ 14 มี.ค. 2564)	92
ภาพที่ 3.34: แผนภาพการสร้างขอบเขตพื้นที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหล แบบจำลองของ Karava	95
ภาพที่ 3.35: แผนภาพการสร้างขอบเขตพื้นที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง ตึกแถว	95
ภาพที่ 3.36: แผนภาพแสดงแนวตัดแบบจำลองเพื่อแสดงผลในรูปแบบของภาพ Vector	103
ภาพที่ 3.37: เส้นแสดงแนวการ Plot กราฟของแบบจำลอง E1 และ A1 (ตามลำดับ)	103
ภาพที่ 3.38: เส้นแสดงแนวการ Plot กราฟของแบบจำลองตึกแถวชั้น 2 และชั้น 3 (ตามลำดับ)	104
ภาพที่ 3.39: แผนภาพสรุปกระบวนการและวิธีการทดลองของงานวิจัยโดยภาพรวม	105
ภาพที่ 4.1: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง E1 เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Karava พร้อมแสดงแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ)	107
ภาพที่ 4.2: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง E1 ที่ได้จาก โปรแกรมคำนวณโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการ ทดลองเดิมของ Karava	108
ภาพที่ 4.3: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง A1 เปรียบเทียบเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Karava พร้อมแสดงแนวตัดของ แบบจำลอง (ตามลำดับ)	108
ภาพที่ 4.4: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง A1 ที่ได้จาก โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการทดลองเดิมของ Karava	109
ภาพที่ 4.5: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง E1 และแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับเครื่อง Testo 405i	110
ภาพที่ 4.6: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง E1 ที่ได้จาก โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจาก เครื่อง Testo 405i	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.7: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง A1 และแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับเครื่อง Testo 405i	112
ภาพที่ 4.8: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง A1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i	113
ภาพที่ 4.9: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	114
ภาพที่ 4.10: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองตึกแถวชั้น 2 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i	115
ภาพที่ 4.11: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองตึกแถวชั้น 3 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i	116
ภาพที่ 4.12: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	119
ภาพที่ 4.13: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแนวนอน 15 องศา (H15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	119
ภาพที่ 4.14: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแนวนอน 30 องศา (H30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	119
ภาพที่ 4.15: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแนวนอน 45 องศา (H45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	120
ภาพที่ 4.16: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแนวนอน 90 องศา (H90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	120
ภาพที่ 4.17: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	121
ภาพที่ 4.18: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดระแนงแนวนอน (HH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	121
ภาพที่ 4.19: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศเหนือชั้น 2	122
ภาพที่ 4.20: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศเหนือชั้น 3	123

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.21: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ ไม่ติดตั้งแผงกันแดดตามแนวตัด จากโปรแกรม CFD	124
ภาพที่ 4.22: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 15 องศา (H15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	125
ภาพที่ 4.23: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 30 องศา (H30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	125
ภาพที่ 4.24: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 45 องศา(H45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	126
ภาพที่ 4.25: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 90 องศา(H90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	126
ภาพที่ 4.26: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	127
ภาพที่ 4.27: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดระแนงแนวนอน (LH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	127
ภาพที่ 4.28: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศใต้ชั้น 2	128
ภาพที่ 4.29: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศใต้ชั้น 3	129
ภาพที่ 4.30: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	130
ภาพที่ 4.31: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	131
ภาพที่ 4.32: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	131
ภาพที่ 4.33: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	132
ภาพที่ 4.34: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	132
ภาพที่ 4.35: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	133

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.36: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แฉงกันแดด ระแนงแนวตั้ง (UV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	133
ภาพที่ 4.37: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแฉงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออก ชั้น 2	134
ภาพที่ 4.38: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแฉงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออก ชั้น 3	135
ภาพที่ 4.39: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก ไม่ติดตั้งแฉงกัน แดดตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	136
ภาพที่ 4.40: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แฉงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	137
ภาพที่ 4.41: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แฉงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	137
ภาพที่ 4.42: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แฉงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	137
ภาพที่ 4.43: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แฉงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	138
ภาพที่ 4.44: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แฉงกันแดด แบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	138
ภาพที่ 4.45: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แฉงกันแดด ระแนงแนวตั้ง (UV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	138
ภาพที่ 4.46: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแฉงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตก ชั้น 2	139
ภาพที่ 4.47: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแฉงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตก ชั้น 3	140
ภาพที่ 4.48: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่ติดตั้งแฉงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	141
ภาพที่ 4.49: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แฉงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	142

สารบัญภาพ (ต่อ)

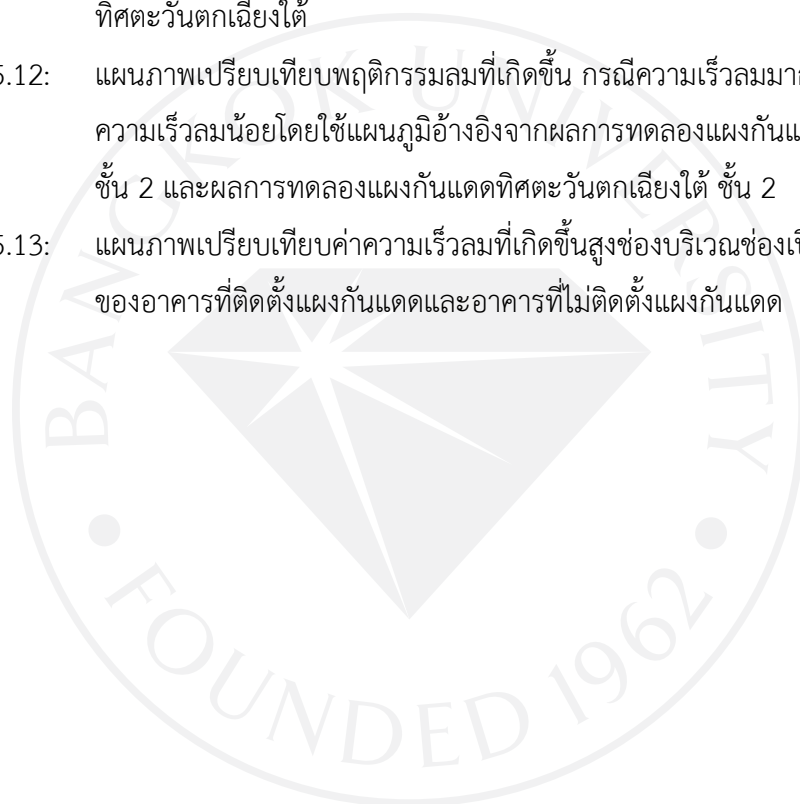
	หน้า
ภาพที่ 4.50: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 2	142
ภาพที่ 4.51: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 3	143
ภาพที่ 4.52: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	145
ภาพที่ 4.53: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	145
ภาพที่ 4.54: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (UV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	145
ภาพที่ 4.55: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 2	146
ภาพที่ 4.56: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 3	147
ภาพที่ 4.57: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ ไม่ติดตั้งแผงกันแดดตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	148
ภาพที่ 4.58: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	149
ภาพที่ 4.59: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (UV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	149
ภาพที่ 4.60: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ชั้น 2	150
ภาพที่ 4.61: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ชั้น 3	151
ภาพที่ 4.62: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไม่ติดตั้งแผงกันแดดตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	152
ภาพที่ 4.63: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	153

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.64: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	153
ภาพที่ 4.65: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	154
ภาพที่ 4.66: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	154
ภาพที่ 4.67: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	155
ภาพที่ 4.68: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดด ระแนงแนวตั้ง (UV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD	155
ภาพที่ 4.69: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 2	156
ภาพที่ 4.70: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 3	157
ภาพที่ 5.1: แผนภาพเชื่อมโยงกระบวนการสรุปผลการวิจัยกับวัตถุประสงค์และ คำถามงานวิจัย	159
ภาพที่ 5.2: แผนภูมิสรุปค่าความเร็วลมเทียบกับความรู้สึกของมนุษย์ โดยแผงกันแดดที่มี ประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด ชั้น 2 ในการประเมิน	162
ภาพที่ 5.3: แผนภูมิสรุปค่าความเร็วลมเทียบกับความรู้สึกของมนุษย์ โดยแผงกันแดดที่มี ประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด ชั้น 3 ในการประเมิน	163
ภาพที่ 5.4: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศเหนือ	165
ภาพที่ 5.5: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศใต้	166
ภาพที่ 5.6: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดด ทิศตะวันออก	167
ภาพที่ 5.7: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดด ทิศตะวันตก	168
ภาพที่ 5.8: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดด ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	169

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 5.9: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดด ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	170
ภาพที่ 5.10: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดด ทิศตะวันออกเฉียงใต้	171
ภาพที่ 5.11: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดด ทิศตะวันตกเฉียงใต้	172
ภาพที่ 5.12: แผนภาพเปรียบเทียบพฤติกรรมลมที่เกิดขึ้น กรณีความเร็วลมมากและ ความเร็วลมน้อยโดยใช้แผนภูมิอ้างอิงจากผลการทดลองแผงกันแดดทิศเหนือ ชั้น 2 และผลการทดลองแผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้ ชั้น 2	175
ภาพที่ 5.13: แผนภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นสูงช่องบริเวณช่องเปิดทางออก ของอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดและอาคารที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด	176



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครมีสภาพความเป็นอยู่ที่เหมาะสมแออัดอันเนื่องมาจากจำนวนประชากร พื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีราคาสูง ตึกแถวจึงเป็นทางเลือกที่นักลงทุนรวมไปถึงลูกค้าทั้งในรูปแบบของที่พักอาศัยส่วนบุคคลรวมไปถึงการใช้งานเชิงพาณิชย์กรรม ซึ่งในกรุงเทพมหานครมีจำนวนตึกแถวสำหรับพักอาศัยโครงการใหม่มากถึง 89,800 หลังคาเรือนในปี พ.ศ.2558-พ.ศ.2562 มีสัดส่วนการตลาดเป็นอันดับที่ 2 รองจากห้องชุดพักอาศัย (“ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ Real Estate Information Center”, ม.ป.ป.) ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงโครงการที่สร้างไว้ก่อนแล้ว โดยตึกแถวมีปัญหาเพราะมีลักษณะอาคารเป็นอาคารช่องเปิดด้านเดียว ทำให้ยากในการออกแบบให้เกิดภาวะความสบาย เกิดปัญหาในเรื่องของการระบายอากาศและการสะสมความร้อน (ไพลิน สงวนปัทมาวัลย์, 2553) โดยสมดุลความร้อนในร่างกายเป็นความต้องการประการแรกที่มนุษย์จะคำนึงถึงสภาวะน่าสบาย (Fanger, 1970) ซึ่งปัญหาเหล่านี้มักถูกแก้ไขโดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขึ้นในภายหลัง

สภาพภูมิอากาศในประเทศไทยมีความแตกต่างด้านอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารน้อย การเปิดอาคารเพื่อรับลมจากภายนอกจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปภายในอาคารจะมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่นและมลพิษต่าง ๆ รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่เป็นพาหะนำโรคมมากกว่าอากาศภายนอก อากาศที่ถูกปนเปื้อนเหล่านั้นทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพขึ้นมากมาย (เอกชัย อมรมหรรณ, 2550) และเมื่อกล่าวถึงแผงกันแดดในปัจจุบันเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบที่แสดงออกถึงความมีเอกลักษณ์ของแต่ละอาคารที่แตกต่างกันออกแบบ สะท้อนถึงแนวความคิดของการออกแบบของผู้ออกแบบ อีกทั้งยังให้ประสิทธิภาพในการปกป้องอาคารจากรังสีความร้อนของอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารโดยตรง ถึงแม้การออกแบบแผงกันแดดจะสร้างเอกลักษณ์ความสวยงามและความสอดคล้องให้แก่ผู้คนที่พบเห็น แต่การออกแบบแผงกันแดดในปัจจุบันมักคำนึงถึงรูปลักษณ์มากกว่าประสิทธิภาพด้านการใช้งาน โดยผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นอาคารตึกแถวในเขตกรุงเทพมหานครในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นว่าแผงกันแดดนั้นควรมีลักษณะที่มีความเฉพาะเจาะจงไปในแต่ละทิศทางด้านหน้าอาคาร อีกทั้งควรให้ประสิทธิภาพในการดักลมเข้าสู่อาคารที่ควบคู่ไปกับการป้องกันอาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอกเพียงอย่างเดียว หากแผงกันแดดสามารถช่วยดักลมเด่นเข้าสู่อาคารได้ จะให้ประสิทธิภาพที่คุ้มค่าในการติดตั้ง เพิ่มความเร็วลมที่เข้าสู่อาคาร

ด้วยรูปแบบที่สามารถดักลมในทิศทางต่าง ๆ เข้าสู่อาคารได้โดยจะช่วยเพิ่มการระบายอากาศ อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารอีกด้วย

โดยแนวทางในการทำวิจัยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากการทดลองการติดตั้งแผงกันแดดในรูปแบบต่าง ๆ ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ในทิศทางที่แตกต่างกันเพื่อหาแผงกันแดดที่ให้ประสิทธิภาพสอดคล้องกับลมในแต่ละทิศทางและดักลมเข้าสู่อาคารได้ดีในแต่ละทิศทาง เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบติดตั้งแผงกันแดดให้กับอาคารกลุ่มเป้าหมาย อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ออกแบบที่สนใจในการออกแบบทั้งกับโครงการออกแบบใหม่และโครงการออกแบบปรับปรุงได้นำไปใช้อ้างอิง ในการออกแบบแผงกันแดดที่ให้ทั้งประสิทธิภาพกันแดดและดักลมเข้าสู่อาคารควบคู่กันไป ช่วยสร้างสภาวะน่าสบายให้แก่ผู้ใช้อาคารรวมทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารและยังลดผลกระทบในการใช้พลังงานที่มีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมและวิเคราะห์หาความเร็วลมที่พัดผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคาร

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของแผงกันแดดที่ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารกลุ่มเป้าหมายให้เย็นลงโดยใช้การระบายอากาศด้วยวิธีการทางธรรมชาติ

1.2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางอ้างอิงในการออกแบบแผงกันแดดที่มีรูปแบบเหมาะสมกับทิศทางที่ตั้งอาคารประเภทตึกแถวในแต่ละทิศทางเพื่อการปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิให้กับผู้ใช้งานภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยเชิงบริบทและพื้นที่

1.3.1 เลือกศึกษาเฉพาะอาคารประเภทตึกแถวห้องกลางที่ไม่มีช่องเปิดด้านข้าง ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในรูปแบบของสภาวะอาคารที่ไม่ปรับอากาศ และเลือกศึกษาเฉพาะพื้นที่ชั้น 2 และชั้น 3 โดยไม่ได้พิจารณาถึงบริบทโดยรอบอาคารที่แตกต่างกัน

1.3.2 ศึกษารูปแบบของแผงกันแดดที่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยรวมถึงมีลักษณะที่เป็นองค์ประกอบทางตั้งและทางนอนของอาคาร ได้แก่ แผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแนวนอน แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง และแผงกันแดดระแนงแนวนอน เท่านั้น

1.3.3 กำหนดค่าตัวแปรและสรุปผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยรายปี เช่น ค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายปี ทั้งในรูปแบบของตัวแปรต้น และตัวแปรอิสระ

ขอบเขตงานวิจัยเชิงการทดลอง

1.3.4 พิจารณาประสิทธิภาพของแผงกันแดดซึ่งทำให้เกิดพฤติกรรมและความเร็วลม เท่านั้น ซึ่งมีผลต่อสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิจนของผู้ใช้งานภายในอาคารกลุ่มเป้าหมาย โดยนำเกณฑ์ PMV มาใช้ประเมินค่าสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

1.3.5 จำลองการทดลองงานวิจัยผ่านซอฟต์แวร์ในรูปแบบการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

1.4.1 รูปแบบของแผงกันแดดที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทางมีผลต่อความเร็วลมที่เข้าสู่อาคาร

1.4.2 การเลือกใช้แผงกันแดดที่เหมาะสม จะช่วยปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารให้ดีขึ้นในช่วง -0.5 ถึง $+0.5$ ตามเกณฑ์การวัดค่า PMV

1.5 คำถามงานวิจัย

1.5.1 แผงกันแดดรูปแบบใดส่งผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคารประเภทตึกแถวในแต่ละทิศทางได้ดีที่สุด ?

1.5.2 รูปแบบของแผงกันแดดมีผลต่อปริมาณลมที่เข้าสู่อาคารอย่างไร ?

1.5.3 แผงกันแดดที่เหมาะสมกับรูปแบบและทิศทางของอาคารจะช่วยปรับปรุงอุณหภูมิภายในอาคารให้เย็นลงได้เท่าไร ?

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เรียนรู้พฤติกรรมของลมในแต่ละทิศทาง ที่มีผลต่อแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ

1.6.2 ทราบถึงความเร็วลมที่พัดผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งส่งผลช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารประเภทตึกแถว

1.6.3 ศึกษาปริมาณลมที่เข้าสู่อาคารผ่านแผงกันแดด ทำให้เกิดการสภาวะน่าสบายในอาคาร

1.6.4 เป็นแนวทางในการออกแบบแผงกันแดดที่เหมาะสมกับทิศทางด้านหน้าของอาคาร สำหรับนักออกแบบและผู้ใช้งานอาคารทั้งในโครงการออกแบบใหม่หรือโครงการออกแบบปรับปรุงอาคารประเภทตึกแถว

1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย

ทำการวิจัยโดยใช้แบบจำลองสามมิติของอาคารต้นแบบเพื่อหาความเร็วลมผ่านโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลในรูปแบบซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (Computational fluid dynamics)

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 ตึกแถว (Row house) ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หมายถึง อาคารที่ก่อสร้างต่อเนื่องกันเป็นแถวยาวตั้งแต่สองคูหาขึ้นไปมีผนังแบ่งอาคารเป็นคูหาและประกอบด้วยวัสดุทนไฟเป็นส่วนใหญ่

1.8.2 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort) หมายถึง สภาวะทางจิตใจที่แสดงออกซึ่งความพึงพอใจในสภาวะแวดล้อมทางความร้อน โดยการที่มนุษย์จะสามารถตัดสินใจได้ว่ามีความพึงพอใจหรือไม่นั้น เป็นผลโดยตรงจากการรับรู้อุณหภูมิและความชื้นของผิวหนัง ซึ่งเป็นผลมาจากการพยายามรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายมนุษย์

1.8.3 โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics) หรือ CFD หมายถึง การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลต่าง ๆ การถ่ายเทความร้อน การแพร่กระจายของอนุภาค รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยหาผลเฉลยและจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้น

1.8.4 PMV (Predicted mean vote) หมายถึง ค่าดัชนีการทำนายค่าโหวตเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ ค่านี้เครื่องวัดคำนวณจาก ตัวแปรหลายตัวคือ อุณหภูมิอากาศ ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ค่าความเป็นฉนวนความร้อน ของเสื้อผ้า และอัตราการเผาผลาญอาหาร

1.9 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

1.9.1 U_x หมายถึง ระยะทางตามขนาดของแบบจำลองสามมิติมีหน่วยวัดเป็น เมตร (m)

1.9.2 V หมายถึง ค่าความเร็วลมของงานวิจัยมีหน่วยวัดเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) ซึ่งภายในงานวิจัยฉบับนี้จะประกอบไปด้วยค่า V ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

V_{inlet} คือ ค่าความเร็วลม ณ จุดทางเข้าของแบบจำลอง

V_{outlet} คือ ค่าความเร็วลม ณ จุดทางออกของแบบจำลอง

V_{center} คือ ค่าความเร็วลม ณ จุดกึ่งกลางของแบบจำลอง

V_{max} คือ ค่าความเร็วลมสูงสุดในแบบจำลองนั้น ๆ

V_{min} คือ ค่าความเร็วลมต่ำในแบบจำลองนั้น ๆ

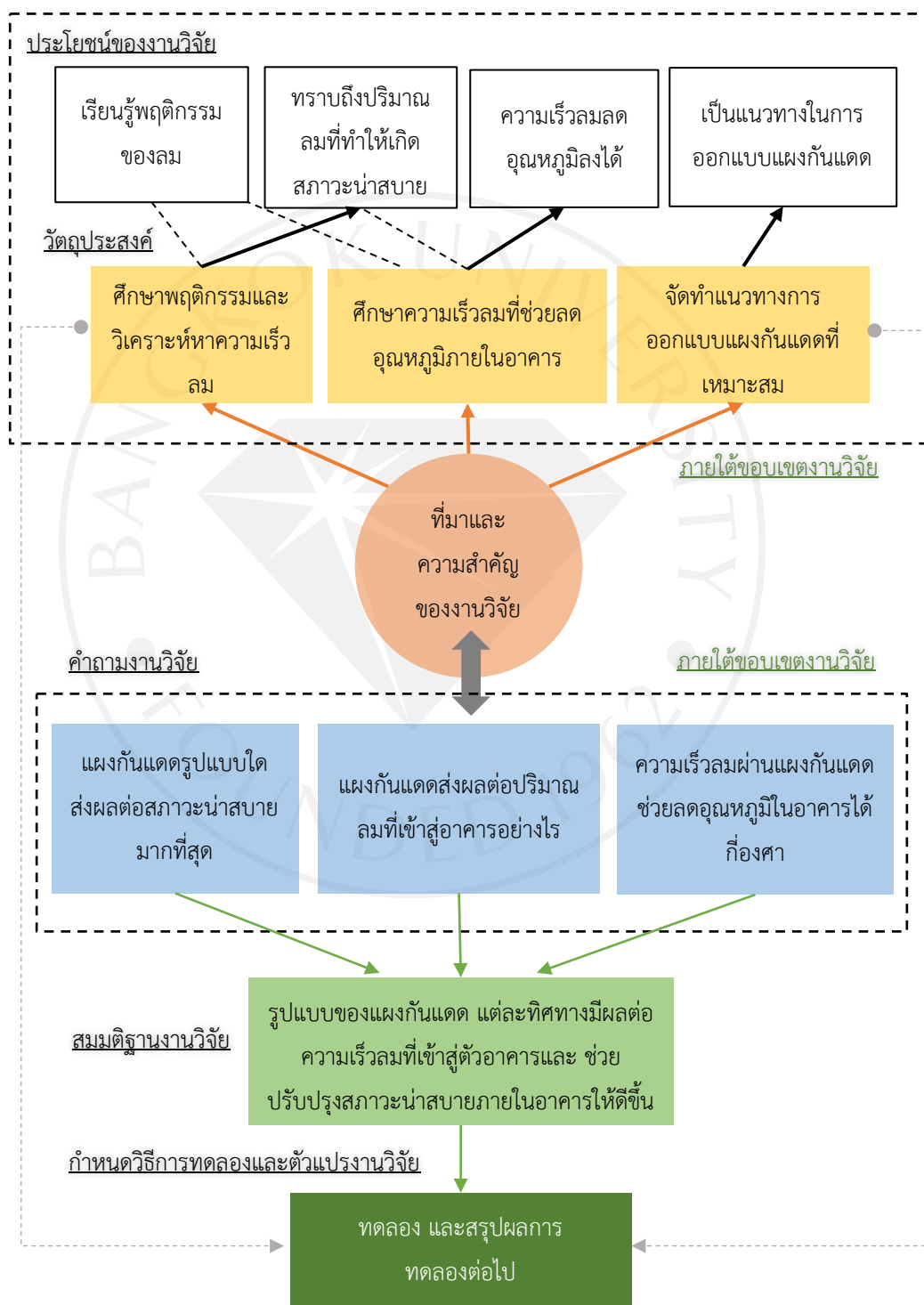
และ V_a คือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในแบบจำลองนั้น ๆ

1.9.3 ΔV หมายถึง ค่าความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปมีหน่วยวัดเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

1.9.4 ΔT หมายถึง ค่าอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปมีหน่วยวัดเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

1.10 กรอบการวิจัย

ภาพที่ 1.1: กรอบการวิจัย



บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบสถาปัตยกรรมประเภทที่อยู่อาศัยในปัจจุบันนอกจากสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกสบายภายในพื้นที่ใช้สอยตามแต่ละประเภทการใช้งาน สิ่งที่เราเรียกว่าเป็นส่วนช่วยเพิ่มความสุขสบายแก่มนุษย์โดยทางอ้อมอีกปัจจัยหนึ่งคือ สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ ซึ่งการยอมรับสภาวะแวดล้อมของมนุษย์แต่ละคนนั้นแตกต่างกันออกไปก็ต่อเมื่อร่างกายมีสมดุลความร้อน และสูญเสียสมดุลความร้อนของร่างกาย อาจกล่าวได้ว่าสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิเป็นความต้องการอันดับแรกที่จะทำให้เกิดความพึงพอใจในสภาพแวดล้อมของมนุษย์นั่นเอง (Fanger, 1970)

โดยตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายนั้นมีอยู่หลายปัจจัย ภายในงานวิจัยฉบับนี้จะพูดถึงแนวคิดและทฤษฎี รวมถึงการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความเร็วลมที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ การเพิ่มความเร็วลมด้วยวิธีการดักกระแสลมผ่านแผงกันแดดซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกอาคาร อีกทั้งยังเป็นเสมือนตัวกลางระหว่างสภาพอากาศภายในและสภาพอากาศภายนอกอาคาร (สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวงศ์, 2536) ซึ่งแผงกันแดดในอาคารประเภทตึกแถวผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานของงานวิจัยเอาไว้ กล่าวคือแผงกันแดดจะช่วยเพิ่มความเร็วลมที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งรูปแบบของแผงกันแดด องศาของแผงกันแดด จะมีความเหมาะสมและแตกต่างกันออกไปในแต่ละทิศทางด้านหน้าของอาคาร โดยงานวิจัยฉบับนี้จะทำการทดลองหาข้อเท็จจริงของดังกล่าวในหัวข้อถัดไป ทั้งนี้รายละเอียดในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย แบ่งเป็นประเด็นการศึกษาได้ ดังต่อไปนี้

2.1 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ

2.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย

2.1.2 ขอบเขตความสบายของประเทศไทย

2.1.3 ทฤษฎีการปรับตัว

2.1.4 ดัชนีชี้วัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ

2.2 การใช้ลมเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายในมนุษย์

2.3 ทฤษฎีแนวทางการออกแบบเพื่อส่งเสริมสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

2.3.1 ทฤษฎีรูปแบบการระบายอากาศด้วยธรรมชาติ

2.3.2 ทฤษฎีเชิงพฤติกรรมของลมกับช่องเปิดในประเทศไทย

2.4 การออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย

2.4.1 มุมและพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

2.4.2 หลักการออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย

2.5 กรณีศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements (Karava et al., 2011)

2.5.2 CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters (Ramponi & Blocken, 2012)

2.6 บทสรุปการทบทวนวรรณกรรม

ภาพที่ 2.1: ประเด็นสำคัญในการศึกษาคำคว่ำวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย



จากภาพที่ 2.1 สามารถสรุปหัวข้อการทบทวนวรรณกรรมจำแนกเป็นกลุ่มหรือประเด็นหลักในการศึกษาค้นคว้า ดังต่อไปนี้

2.1 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ

2.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย

2.1.2 ขอบเขตความสบายของประเทศไทย

2.1.3 ทฤษฎีการปรับตัว

2.1.4 ดัชนีชี้วัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ

- 2.2 การใช้ลมเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายในมนุษย์
- 2.3 ทฤษฎีแนวทางการออกแบบเพื่อส่งเสริมสภาวะน่าสบายภายในอาคาร
 - 2.3.1 ทฤษฎีรูปแบบการระบายอากาศด้วยธรรมชาติ
 - 2.3.2 ทฤษฎีเชิงพฤติกรรมของลมกับช่องเปิดในประเทศไทย
- 2.4 การออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย
 - 2.4.1 มุมและพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย
 - 2.4.2 หลักการออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย
- 2.5 กรณีศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 2.5.1 Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements (Karava et al., 2011)
 - 2.5.2 CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters (Ramponi & Blocken, 2012)
- 2.6 บทสรุปการทบทวนวรรณกรรม

2.1 สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort)

สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ หมายถึง สภาวะทางจิตใจที่แสดงออกซึ่งความพึงพอใจในสภาวะแวดล้อมทางความร้อน โดยการที่มนุษย์จะสามารถตัดสินใจได้ว่ามีความพึงพอใจหรือไม่นั้นเป็นผลโดยตรงจากการรับรู้อุณหภูมิและความชื้นของผิวหนัง ซึ่งเป็นผลมาจากการพยายามรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายมนุษย์ (ASHRAE 55, 1997) ซึ่งแนวความคิดของ ยงยุทธ อัมสงวน (2557) จะกล่าวถึงขอบเขตของสภาพอากาศในช่วงระยะที่ทำให้มนุษย์เกิดสภาวะที่สบายนั้น อาจให้ความรู้สึกที่แตกต่างกันในแต่ละคน อาจกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะที่ของอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นที่พอเหมาะ ทำให้มนุษย์รู้สึกสบาย ไม่ร้อน ไม่หนาว หายใจสะดวก ไม่ก่อให้เกิดความรำคาญแก่มนุษย์มากจนเกินไปโดย Stein (1999) ได้ให้ความหมายของสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิในแง่ของความรู้สึกเอาไว้ว่า อาจหมายถึงการที่ร่างกายไม่รู้สึกตัวว่าสูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก หมายถึงการที่ร่างกายปรับสมดุลทางอุณหภูมิระหว่างร่างกายและสภาพแวดล้อมโดยรอบนั่นเอง

2.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบาย

ปัจจัยที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายตามทฤษฎีของ (Fanger, 1970) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยหลัก ๆ ได้แก่

ปัจจัยที่ 1 ปัจจัยที่เกิดภายในร่างกายมนุษย์

โดยปัจจัยดังกล่าวอาจหมายถึงพฤติกรรมของมนุษย์ เช่น การยืน การเดิน การนั่ง การนอน หรือสภาพธรรมชาติของผิวหนัง เป็นต้น ซึ่งกลไกการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolic Rate) ที่แตกต่างกันจะทำให้สภาวะนำสบายแตกต่างกันไป และเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value) โดยสภาพร่างกายและความเคยชินของคนในแต่ละพื้นที่ตัวอย่างเช่น คนในเมืองร้อนอาจทนต่อสภาพแวดล้อมในเมืองหนาวได้ไม่ดีเท่าผู้ที่เติบโตในเมืองหนาว ซึ่งกล่าวโดยสรุปคือเป็นสภาวะนำสบายของคนในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน (Olgay, 1967) โดย สริน พินิจ (2553) ได้อธิบายเอาไว้ดังนี้

1. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolic rate) อาหารที่มนุษย์รับประทานเข้าไปนั้นจะเผาผลาญและเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานซึ่งนำไปใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันอย่างต่อเนื่อง อันเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ไม่ว่าจะเป็นการเดิน การนั่ง การออกกำลังกาย ล้วนเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดความร้อนภายในร่างกายและร่างกายจะมีการปรับสมดุลความร้อนในร่างกายให้คงที่เสมอ โดยร่างกายใช้พลังงานเพียง 20% ส่วนอีก 80% ร่างกายจะขับออกสู่สภาพแวดล้อม (สุนทร บุญญาธิการ, 2545) กล่าวคือร่างกายมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกับสภาพแวดล้อมตลอดเวลา โดยเมื่อร่างกายผลิตความร้อนมากกว่าที่ร่างกายสูญเสียไป จะทำให้รู้สึกร้อน ในทางกลับกันหากร่างกายผลิตความร้อนน้อยกว่าที่ร่างกายสูญเสียไป จะทำให้รู้สึกหนาว

อาหารและเครื่องดื่มที่รับประทานเข้าไปก็มีผลต่ออัตราความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมา รวมไปถึงอีกทั้งระดับของกิจกรรมต่าง ๆ และสถานที่ที่ทำกิจกรรมเหล่านั้น โดยความร้อนที่มนุษย์ผลิตขึ้นมานั้น มีหน่วยเป็น Metabolic หรือ Met โดยที่ 1 Met จะเท่ากับ 58.2 W/m^2 หรือ 18.4 Btu/ft^2 โดยมีระดับของ Metabolic rate ตามระดับของกิจกรรม ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1: ตารางแสดง Metabolic rate ตามระดับของกิจกรรมต่าง ๆ

ระดับกิจกรรม	Metabolic rate (Met)	Btu/ft ²
นอนพักผ่อน	0.7	13
นั่งพัก	1.0	18
ยืนพัก	1.2	22
เดิน(1.34 ม./วินาที)	2.6	48
นั่งอ่านหนังสือ,เขียนหนังสือ	1.0	18

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 2.1(ต่อ): ตารางแสดง Metabolic rate ตามระดับของกิจกรรมต่าง ๆ

ระดับกิจกรรม	Metabolic rate (Met)	Btu/ft ²
ขับรถ	1.0-2.0	18-37
ขับรถบรรทุก	3.2	59
ทำอาหาร	1.6-2.0	29-37
ทำความสะอาดบ้าน	2.0-3.4	37-63
งานคุมเครื่องจักรขนาดใหญ่	4.0	74
เดินรำ	2.4-4.4	44-81
บาสเกตบอล	5.0-7.6	90-140
กีฬาว่ายน้ำหนัก	7.0-8.7	130-160

ที่มา: ASHRAE. (1997). *ASHRAE handbook fundamentals 1997*. (n. p.) : American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

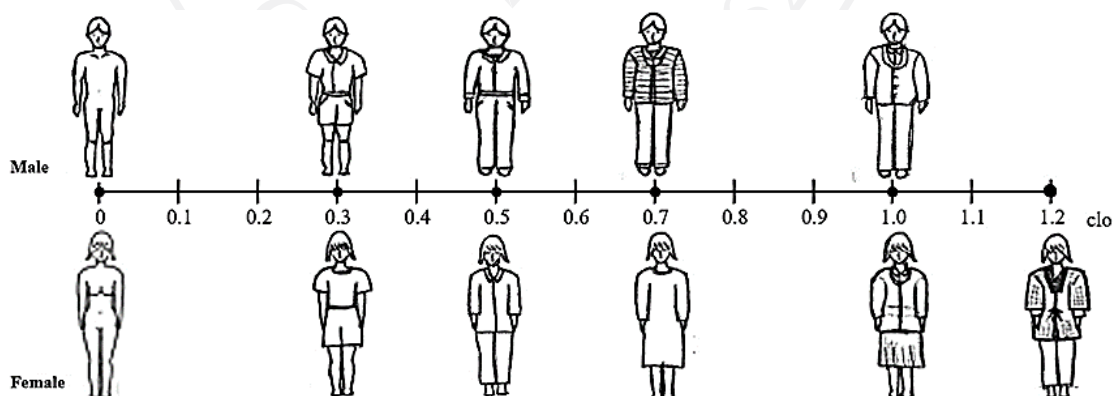
2.เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value) เสื้อผ้าที่สวมใส่นั้นเป็นเสมือนตัวกลางในการที่ทั้งป้องกันไม่ให้ร่างกายสูญเสียความร้อนสู่สภาพแวดล้อมและป้องกันไม่ให้สภาพแวดล้อมถ่ายเทความร้อนกับร่างกายได้โดยตรง ซึ่งเสื้อผ้าที่สวมใส่จะมีค่าเป็นฉนวนความร้อนที่ถูกกำหนดขึ้น เรียกว่า Clo unit ค่า 1 Clo จะมีค่าเทียบเท่ากับสูทใส่ทำงานสากล โดยจุดประสงค์ของค่า Clo เพื่อใช้แยกการแต่งกายแต่ละฤดูออกจากกัน โดยในฤดูร้อนจะมีค่า Clo อยู่ที่ 0.35-0.60 ในฤดูหนาว จะมีค่า Clo อยู่ที่ 0.80-1.20 และในประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิไม่มากนัก ดังนั้นการแบ่งการแต่งกายโดยใช้ค่า Clo นั้นจึงไม่มีความจำเป็น หรือหากจะกำหนดค่า Clo ที่เหมาะกับประเทศไทยนั้น จะอยู่ที่ 0.35-0.60 เช่นเดียวกับการแต่งกายในฤดูร้อนของประเทศที่หนาวนั่นเอง

ตารางที่ 2.2: ตารางแสดงค่า Clo ของการแต่งกายรูปแบบต่าง ๆ

ลักษณะการแต่งกาย	ค่า Clo
กางเกงขาสั้น + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.41
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.50
กางเกงขายาว + เสื้อเชิ้ตแขนยาว	0.62
กางเกงขายาว + เสื้อแขนยาว + เสื้อแจ็กเกต	0.96
เสื้อยืด + เสื้อแขนยาว + กางเกงขายาว + เสื้อสเวตเตอร์แขนยาว	1.01
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนสั้น + รองเท้าแตะ	0.54
กระโปรงยาวถึงเข่า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบเต็มตัว + รองเท้าแตะ	0.67
กระโปรงยาวถึงข้อเท้า + เสื้อเชิ้ตแขนยาว + สลิปแบบเต็มตัว + ชุดสูท	1.10

ที่มา: ASHRAE. (1997). *ASHRAE handbook fundamentals 1997*. (n. p.) : American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

ภาพที่ 2.2: แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบค่า Clo-value กับการใส่เสื้อผ้าประเภทต่าง ๆ ในแต่ละเพศ



ที่มา: H.B. Rijal , M.A. Humphreys, J.F. Nicol. (2019). Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwelling [Electronics version]. *Energy & Buildings*, 202:109371, 1-14.

ปัจจัยที่ 2 ปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอก

ในงานวิจัยฉบับนี้อาจกล่าวได้ถึงปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเอาไว้ ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิอากาศ (Ambient air temperature) หมายถึง อุณหภูมิอากาศที่วัดได้จากเครื่องเทอร์โมมิเตอร์ โดยช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายอยู่ที่ 22 -27°C (Olgay, 1967) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ ที่ทำให้บุคคลเหล่านั้นรู้สึกสบายในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป

2. อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean radiant temperature : MRT) หมายถึง ค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย MRT มีผลต่อ Temperature comfort มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึงร้อยละ 40 กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น 1.4 °C และ MRT ลดลง 1 °C ความรู้สึกร้อนหนาวยังคงเหมือนเดิม ค่า MRT นั้นจะขึ้นกับอุณหภูมิผิว (Surface temperature) และมุมกระทำ (Angle factor) MRT เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ด้านความรู้สึกของมนุษย์ ดังนั้นในการวัด MRT จึงเป็นเรื่องละเอียดอ่อนและทำการวัดได้ยาก โดยการหา MRT จากสมการ (1)

การคำนวณโดยใช้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวและมุมกระทำ

$$MRT = T_1 F_{P-N} + T_2 F_{P-2} + \dots + T_N F_{P-N} \quad (1)$$

สมการข้างต้นเป็นการหาค่า MRT ในห้องที่มี N พื้นผิว

โดยที่ MRT = Mean radiant temperature

T_N = อุณหภูมิผิวของวัสดุ (Surface temperature)

F_{P-N} = มุมที่ไปตรงกับพื้นผิว ณ จุดที่ทำการวัด

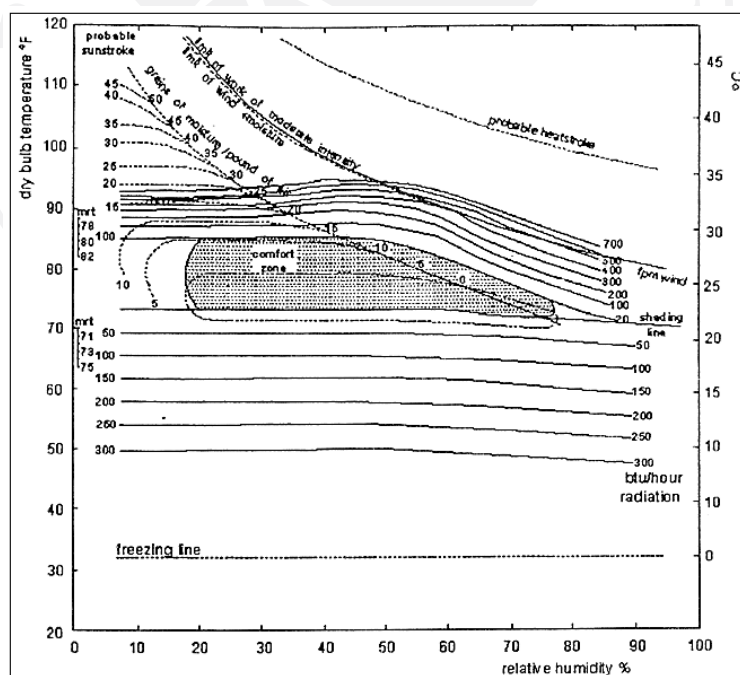
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึง ค่าเปรียบเทียบสัดส่วนเป็นร้อยละของความชื้นในอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จากสมการ (2)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ} \times 100\%}{\text{ความหนาแน่นอิ่มตัวของไอน้ำ}} \quad \text{ณ อุณหภูมิเดียวกัน} \quad (2)$$

ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ 100% ณ ความชื้นสัมพัทธ์นี้ น้ำในวัตถุจะไม่ระเหยออกมาอีก ในช่วงฤดูร้อนความชื้นสัมพัทธ์จะสูงถึง 90% ในขณะที่ฤดูหนาวอาจลดต่ำกว่า 40 % ความชื้นสัมพัทธ์ที่พอเหมาะอยู่ราว ๆ 60-70% หากสูงกว่านี้เราจะรู้สึกว่ามีอากาศชื้นและอบอ้าวเหงื่อแห้งซำ แต่ถ้าต่ำกว่านี้เราจะรู้สึกว่ามีลมแห้ง คับ และไม่สบายตัว

ในฤดูร้อนเครื่องปรับอากาศไม่เพียงแต่ทำให้อุณหภูมิห้องลดลงเท่านั้น ยังทำให้ความหนาแน่นของไอน้ำในห้องลดลงด้วย (น้ำที่ถูกดึงออกมาจะกลายเป็นหยดน้ำออกด้านนอก) เพราะไม่เช่นนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นทำให้ไม่สบายตัว ในฤดูหนาวหากใช้เครื่องทำความร้อน ควรต้มน้ำด้วยเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ เพราะไม่เช่นนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำเกินไปทำให้ผิวหนังแห้งแตก เพื่อทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย คือช่วงร้อยละ 20 – 80 เปอร์เซนต์

ภาพที่ 2.3: แผนภาพ Bioclimatic chart สำหรับประเทศไทย



ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152-168.

4. ความเร็วลม (Wind speed) เป็นความเร็วลมที่ผ่านผู้ใช้อาคาร โดยลมที่พัดจะพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกสบาย นอกจากนั้นยังพัดพาเอาความชื้นบริเวณผิวหนังออกไป โดยจะช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างสภาวะน่าสบาย หากความเร็วลมน้อยเกินไปจะทำให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความรู้สึกอึดอัดไม่มีอากาศถ่ายเท แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้รู้สึกรำคาญ หรือรู้สึกว่าการระบายได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่มีผลต่อเรื่องของอุณหภูมิและความรู้สึกของมนุษย์เป็นส่วนสำคัญในงานวิจัยฉบับนี้โดยจะพูดถึงในบทต่อไป

ปัจจัยที่ 3 ปัจจัยเสริม

Szokolay (1989) พูดถึงใน ภัทรนันท์ ทักขนนท์ (2547) ได้กล่าวถึงปัจจัยเสริมที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย อันได้แก่ อาหารและเครื่องดื่ม การปรับตัวเข้าหาสภาพอากาศ รูปร่างและไขมันใต้ผิวหนังของมนุษย์ รวมไปถึงอายุและเพศด้วย

2.1.2 ขอบเขตความสบาย (Comfort zone) ของประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (Hot humid climate) มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงอยู่ที่ 28 °C -38 °C มีฝนตกชุกเป็นเหตุให้มีความชื้นสูง มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างวันไม่มาก (ขวัญชัย กาแก้ว, 2548) ซึ่งได้มีการทดลองเกี่ยวกับช่วงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้มนุษย์อยู่ในสภาวะน่าสบายหลากหลายการทดลอง ในบริบทและกลุ่มตัวอย่างที่ต่างกันไป โดยสามารถสรุปข้อมูลผู้ทำการทดลองและผลการทดลองได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3: ตารางแสดงค่าผลการทดลองค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายจากการทดลองต่าง ๆ ทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย

หัวข้องานวิจัยและผู้วิจัย/ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
แนวคิดและทฤษฎีตามงานวิจัยของ Olgay (1967)	22 -27°C	20-75%
มาตรฐาน ASHRAE 55 (1997)	22 -27 °C	25-60%
การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2544)	22 -29 °C	20-75%

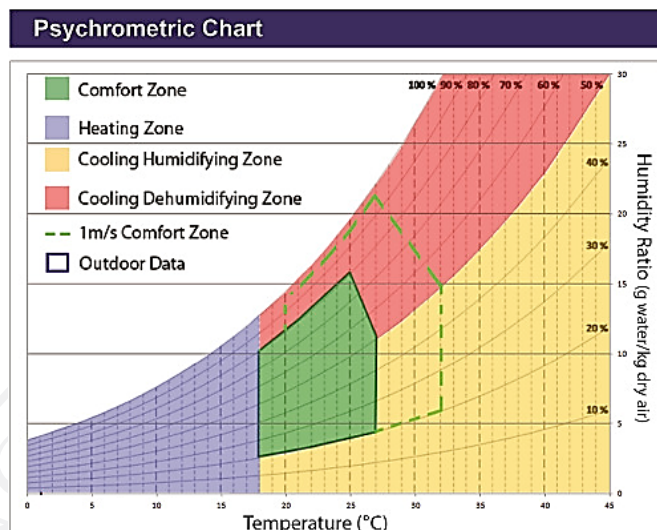
(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 2.3(ต่อ): ตารางแสดงค่าผลการทดลองค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดสภาวะ
นำสบายจากการทดลองต่าง ๆ ทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย

หัวข้องานวิจัยและผู้วิจัย/ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
สภาวะสบาย และการปรับตัวเพื่ออยู่แบบสบายของคนในห้องถิ่น (กิจชัย จิตขจรวานิช, 2547)	25.6 - 31.5°C	62.2-90%
การสำรวจสภาวะสบายเชิงอุณหภูมิของนักศึกษาในห้องไม่ปรับ อากาศ (สุตาภรณ์ สุดประเสริฐ, 2559)	31.4°C	59%
การศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิของคนไทยภายใน สถาปัตยกรรมประเภทโบสถ์ (ศศิธร ศรีเฟื่องฟุ้ง, 2560)	30.95°C	64.12%

กล่าวได้ว่า สภาพอากาศโดยทั่วไปกรุงเทพมหานครมีปัญหาความไม่สบายเชิงอุณหภูมิเมื่อเทียบกับมาตรฐานสากล แต่ความสบายเชิงอุณหภูมิของคนในแต่ละพื้นที่มีสภาพภูมิอากาศแตกต่างกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ตารางเปรียบเทียบการทดลองภายในประเทศ ต่างประเทศ และตามเกณฑ์มาตรฐานสากลแล้ว พบว่าช่วงการยอมรับของอุณหภูมิของคนไทยนั้นอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง โดยมาตรฐานของ ASHRAE 55 ค.ศ. 1997 นั้นจะเป็นค่าที่ให้ความรู้สึกที่ค่อนข้างเย็นเกินไปในความรู้สึกของกลุ่มตัวอย่างและคนในประเทศไทยนั่นเอง (ศศิธร ศรีเฟื่องฟุ้ง, 2560)

ภาพที่ 2.4: แผนภาพ Psychrometric เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ



ที่มา: Roshan, G. R., Farrokhzad, M., & Attia, S. (2017). Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements. *Building and Environment*, 121(1), 168–189.

2.1.3 ทฤษฎีการปรับตัว (Adaptive model)

Humphreys (1975) กล่าวถึงใน สริน พินิจ (2553) ได้มีการพัฒนา “แบบจำลองแบบปรับได้” นำมาเพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของผู้ใช้อาคารภายในอาคารที่มีอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนได้ แสดงให้เห็นผลการทดลองทางสถิติว่าอุณหภูมิกลางหรืออุณหภูมิที่ไม่สบายเกิดขึ้นน้อยที่สุดตามเกณฑ์การวัดค่า PMV ของ Fanger เป็นผลมาจากการตอบสนองอุณหภูมิเฉลี่ยในอากาศของผู้ใช้อาศัยภายในหรือภายนอกอาคาร โดยจำแนกเป็น 3 ลักษณะ

1. Behavioral adjustment คือ การปรับพฤติกรรมของมนุษย์ให้มีสภาวะน่าสบายมากขึ้น เช่น การถอดหรือใส่เสื้อผ้า การปรับเปลี่ยนท่านั่งท่านอน การปรับลดหรือเพิ่มกิจกรรมการทำงาน ของร่างกาย การดื่มเครื่องดื่มร้อนหรือเย็น การเดินไปอยู่ที่ที่เย็นกว่าหรืออุ่นกว่า เป็นต้น

2. Physiological adjustment หรือมักจะเรียกว่า “Acclimatization” คือ การปรับร่างกายให้เคยชินต่อสภาพภูมิอากาศที่อยู่อาศัย เช่น นักกีฬาที่มาจากที่สูงจากระดับน้ำทะเล มักจะมีความอดทนมาก การปรับตัวแบบนี้คือการปรับร่างกายของมนุษย์อย่างค่อนข้างถาวร โดย

Fanger (1970) ได้กล่าวไว้ว่า มนุษย์ใช้เวลาไม่เกินสองสัปดาห์ในการสร้างความเคยชินต่อสภาพอากาศแบบใหม่

3. Psychological adjustment คือ การปรับสภาพจิตใจซึ่งอาจจะแสดงออกด้วยความคาดหวัง (Expectation) คนที่เคยชินกับที่ร้อน มักจะไม่คาดหวังว่าในห้องต้องเย็นสบายกว่าปกติ เพียงใด ถึงแม้ว่าจะไม่อยู่ในขอบเขตสภาวะที่น่าสบายนักก็ตาม

จากงานวิจัยของ Auliciems ในปี ค.ศ 1981-1982 กล่าวถึงใน ภัทรนันท์ ทักขนนท์ (2547) พบความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันมากกับงานของ Humphreys โดยใช้ทั้งกับอาคารไม่ปรับอากาศและอาคารปรับอากาศ แบบจำลองนี้ได้พัฒนาความพอใจทางอุณหภูมิอันเป็นผลมาจากการตอบสนองโดยทันทีของร่างกายต่อตัวแปรทางสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (ได้จากเครื่องมือตรวจวัด) และองค์ประกอบทางด้านจิตใจ เช่น ประสบการณ์ในอดีตและความคาดหวัง จากสมการ (3)

$$T_n = 17.6 + 0.31 \times T_{av} \quad (3)$$

โดยที่ T_{av} คือ อุณหภูมิภายนอกอาคารเฉลี่ยรายเดือน

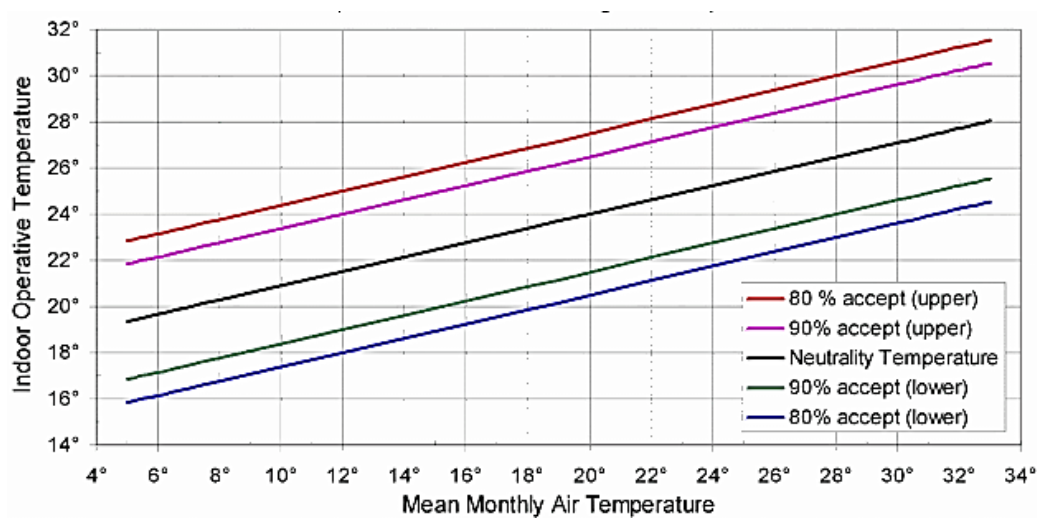
T_n คือ อุณหภูมิกลาง

และให้ค่า T_n อยู่ระหว่าง 18.5 และ 28.5 °C โดยเขตสภาวะน่าสบายหาได้จาก 2.5 °C สูงหรือต่ำกว่า T_n

แบบจำลองแบบปรับได้ ได้รับการปรับปรุงต่อมาโดย Richard de Dear และคณะในปี ค.ศ. 1997 พบว่าอุณหภูมิกลางมีความสัมพันธ์ที่ปรับเปลี่ยนได้กับอุณหภูมิเฉลี่ยภายใน อาคารและอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกอาคารความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งภายในและภายนอกอาคารจะเห็นได้ในอาคารที่อาศัยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติชัดเจนกว่าในอาคารปรับอากาศ สอดคล้องกันกับข้อสังเกตที่ว่าอุณหภูมิในเรือนุณหภูมิของผู้ใช้อาคารได้รับอิทธิพลจากการประสบกับความร้อนทั้งภายในและภายนอกอาคารของเขา ความรู้สึกทางอุณหภูมิของมนุษย์ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ กระบวนการทางพฤติกรรม ร่างกาย และจิตใจ ผลจากการ สังเกตในอาคารปรับอากาศสอดคล้องกันกับการทำนายอุณหภูมิภายในที่เป็นที่พอใจที่สุดโดยใช้แบบจำลอง PMV โดยพบว่าการปรับตัวทางอุณหภูมิในอาคารดังกล่าวเป็นไปในเชิงพฤติกรรม ซึ่งได้รับอิทธิพลหลักมาจากการปรับการแต่งกายและความเร็วลมภายในอาคาร ตรงกันข้ามกับกรณีอาคารที่พึ่งพาการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ อุณหภูมิภายในที่น่าพอใจที่สุด มีช่วงกว้างถึงสองเท่าของที่คาดโดยการใช้แบบจำลอง PMV มีข้อเสนอแนะได้ว่าในบริบทของการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ กระบวนการ

ปรับตัวทางร่างกาย (การปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม) และทางจิตใจ (การปรับความคาดหวัง) มีผลมากยิ่งขึ้นกว่าการปรับพฤติกรรมแต่งกายและการปรับความเร็วลม (ภัทรนันท์ ทักขนนท์, 2547)

ภาพที่ 2.5: ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในอาคารและอุณหภูมิภายนอกอาคารเฉลี่ยรายเดือน จากการทดลองของ Richard de Dear



ที่มา: J. S. Paul, & William K. S. Pao (2013). A Unified Adaptive Fanger's Model for Thermal Comfort in Tropical Countries. *Applied Mechanics and Materials*, 393(0), 799-808.

2.1.4 ดัชนีชี้วัดสถานะน่าสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal comfort index)

Auliciems และ Szokolay (1997) กล่าวถึงใน โพลิน สงวนปัทมาวัลย์ (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับดัชนีวัดความสบายทางอุณหภูมิซึ่งได้แบ่งเอาไว้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

ตารางที่ 2.4: ตารางแบ่งแยกดัชนีวัดสภาวะน่าสบายตามกลุ่มการทดลองของ Auliciems และ Szokolay

ดัชนีที่ได้จากการสังเกตหรือประสบการณ์ ได้รับความพัฒนามาจากแบบสอบถาม	ดัชนีจากการวิเคราะห์ ได้มาจากการวิเคราะห์บนพื้นฐานเรื่องการเคลื่อนที่ของความร้อน
Effective temperature (ET)	Thermal strain index (TSI)
Corrected effective temperature (CET)	Thermal acceptance ratio (TAR)
Wet bulb globe temperature (WBGT)	Predicted 7-hour sweat rate (P4SR)
Operative tempera (OT)	Heat stress index (HSI)
Equivalent temperature (EqT)	Relative strain index (RSI)
Resultant temperature (RT)	Index of thermal stress (ITS)
Equatorial comfort index (ECI)	Predicted mean vote (PMV)
Tropical summer index (Tsi)	New effective temperature (ET*)
	Standard effective temperature (SET)
	Index of thermal sensation (TS and DISC)

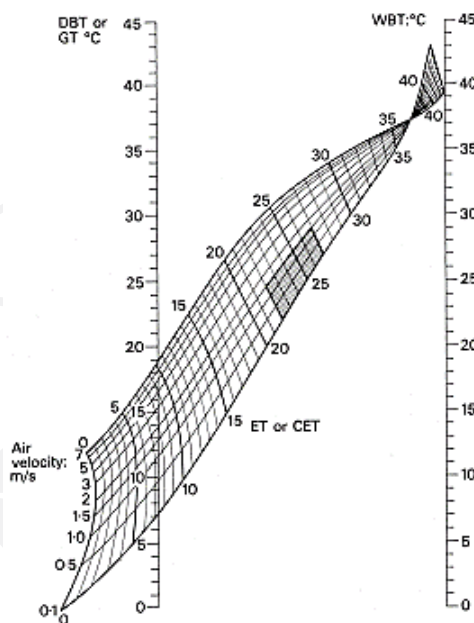
ที่มา: ภัทรนันท์ ทักขนนท์. (2547). สภาวะน่าสบาย: พื้นฐานและแบบจำลองสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น Thermal comfort: Basics and Models for Hot and Humid Climates. วารสารน้ำจ้ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 21(0), 133–146.

ภัทรนันท์ ทักขนนท์ (2547) ได้กล่าวถึงดัชนีส่วนมากนั้นจะใช้สำหรับสภาวะภายในอาคาร ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ส่วนดัชนีที่เหมาะสมแก่การนำมาพิจารณาในการออกแบบเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีดังต่อไปนี้

1. Effective temperature (ET) เป็นดัชนีชี้วัดแรกถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1923 โดย Houghten และ Yagloglou ซึ่งสื่อโดยใช้ชุดของเส้นแสดงความสบายระดับที่เท่ากันบนแผนภูมิไซโครเมตริก เส้นนี้หมายถึงค่าอุณหภูมิ ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 100% ที่หากปราศจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นั้น จะให้ความรู้สึกทางอุณหภูมิในระดับเดียวกัน ภายใต้สภาวะที่กำหนดมาของอุณหภูมิอากาศ ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยจากการแผ่รังสี โดยในต่อมา Yagloglou ได้กล่าวในปี ค.ศ. 1947 เอาไว้ถึง ดัชนี ET ไว้ว่าดัชนีนี้ประเมินผลของความชื้นสูงเกินไป

โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 1950 Glickman และคณะ ยังให้ข้อสังเกตเอาไว้ว่า
ดัชนี ET ประเมินผลจากความชื้นที่สูงเกินไปทั้ง ณ อุณหภูมิที่เย็นสบายและที่อุณหภูมิสูง

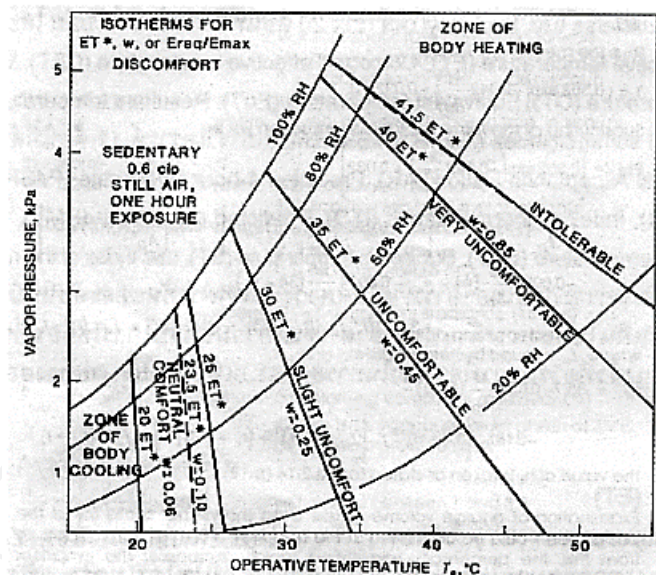
ภาพที่ 2.6: แผนภูมิมาตรวัด Effective Temperature (ET) ในกรณีศึกษา: A Nigerian case study



ที่มา: Olu Ola Ogunsote & Dr. Bogda Prucnal-Ogunsote. (2002). Comfort Limits for the Effective Temperature Index in the Tropics: A Nigerian Case Study. *Architectural Science Review*, 45(2), 125-132

2. New effective temperature (ET*) ได้ถูกพัฒนามาจาก Two-node model ในสภาพแวดล้อมแบบปิดที่มีความสม่ำเสมอ ET* คืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% ที่สร้างความรู้สึกเดียวกับสภาพแวดล้อม เส้น ET* ทับกันพอดีกับค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ณ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% ความชันของเส้น ET* ไม่เท่ากันอันเกิดจากการคำนวณที่ซับซ้อนจากการแสดงในแผนภูมิ Psychrometric เส้น ET* ปกติที่ซ้อนทับอยู่จนถึงเส้นที่ 14 °C ซ้อนอยู่กับเส้นตั้งของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แต่หลังจากตำแหน่งนี้ความชันจะเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1991 Szokolay ได้สร้างสมการเพื่อใช้ประมาณเส้น ET* สำหรับการคำนวณทางคอมพิวเตอร์สมการนี้ใช้ได้กับสภาวะปกติไปจนถึงเส้น ET* ที่ 32 °C

ภาพที่ 2.7: แผนภูมิ Psychometric ที่แสดงเส้น ET*



ที่มา: ภัทรนันท์ ทักขนนท์. (2547). สภาวะน่าสบาย: พื้นฐานและแบบจำลองสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น Thermal comfort: Basics and Models for Hot and Humid Climates. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 21(0), 133–146.

3. PMV (Predicted mean vote) ถูกคิดค้นขึ้นโดย P.O. Fanger นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์กผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องสภาวะน่าสบายเป็นหลัก ได้คิดค้นวิธีการคาดคะเนสภาวะน่าสบายของพื้นที่หนึ่ง ๆ ที่เรียกว่า Predicted Mean Vote โดยคิดจากตัวแปรทางสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิในอากาศ อุณหภูมิจากรังสีความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตัวแปรด้านบุคคลอีก 2 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการเผาผลาญในร่างกาย เสื้อผ้าที่สวมใส่

กว้างกว่า คนไทยสามารถทนกับสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้มากกว่าและคนที่อาศัยอยู่ในอาคารที่มีสภาพของการใช้เครื่องปรับอากาศ จะทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำได้มากกว่าคนที่อาศัยอยู่ในสภาพที่ไม่ปรับอากาศ เป็นผลมาจากเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย และความเคยชินในพื้นที่ที่ตนเองใช้งานประจำ (สริน พินิจ, 2553)

ตารางที่ 2.5: ตารางแสดงค่าสภาวะน่าสบายต่อความรู้สึก ความต้องการ และการยอมรับได้

ระดับค่า PMV	ความรู้สึก	ความต้องการ	การยอมรับ
+3	หนาว	-	-
+2	เย็น	ร้อนขึ้นกว่านี้มาก	-
+1	เย็นเล็กน้อย	ร้อนขึ้นกว่านี้เล็กน้อย	-
0	ปกติ/สบาย	ไม่เปลี่ยนแปลง	-
-1	ร้อนเล็กน้อย	เย็นลงกว่านี้เล็กน้อย	ยอมรับได้
-2	ร้อน	เย็นลงกว่านี้มาก	ยอมรับไม่ได้
-3	ร้อนมาก	-	-

ที่มา: สุตาภรณ์ สุดประเสริฐ. (2559). การสำรวจสภาวะสบายเชิงความร้อนของนักศึกษาในห้องไม่ปรับอากาศ Field Study of Thermal Comfort of University Students in Non-Air Conditioned Room. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 15(2), 148-160

4. ค่าอุณหภูมิที่รับรู้ (Operative Temperature: °C) คือ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ ณ ความเร็วลมหนึ่งไว้ในค่าเดียวกัน (ANSI/ASHRAE, 2017) โดยสามารถใช้เป็นเกณฑ์การประเมินสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิในรูปแบบหนึ่ง ตามหลักเกณฑ์จะใช้ Operative temperature ภายในอาคารเป็นตัวบอกถึงการยอมรับได้ต่ออุณหภูมิหรือสภาวะอากาศภายในอาคารขณะนั้น โดยกำหนดในลักษณะช่วงของอุณหภูมิภายในอาคารที่ผู้ใช้อาคาร 80% และ 90% ของคนในสภาพแวดล้อมสามารถยอมรับได้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$t_o = At_a + (1 - A) t_r \quad (4)$$

- เมื่อ t_o คือ ค่าอุณหภูมิที่รับรู้ (Operative temperature: °C)
 t_a คือ ค่าอุณหภูมิอากาศ (Air temperature: °C)
 t_r คือ ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีโดยรอบ (Mean radiant temperature: °C)
 A คือ ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพความเร็วลม (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6: ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพความเร็วลม (Relative air speed)

ค่าความเร็วลม V_a	<0.2 m/s	0.2-0.6 m/s	0.6-1.0 m/s
ค่าสัมประสิทธิ์ A	0.5	0.6	0.7

2.2 การใช้ลมเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายในมนุษย์ (Comfort ventilation)

การใช้ลมในการช่วยระบายอากาศเพิ่มสภาวะน่าสบายให้อาคารเป็นหนึ่งในหลายวิธีการที่ช่วยลดอุณหภูมิของอาคาร ลดความร้อนในร่างกาย รวมไปถึงช่วยในการหมุนเวียนอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร กล่าวคือลมที่พัดเข้าสู่อาคารจะช่วยทำให้เกิดสภาวะน่าสบายขึ้นในมนุษย์นั่นเอง โดย Fanger (1970) ได้กล่าวถึงการรับรู้ต่อการเคลื่อนไหวของลมตามธรรมชาติ หรือที่เกิดจากพัดลมที่ทำให้เกิดความรู้สึกเย็นลงนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของลม โดยมนุษย์จะรู้สึกเย็นลง 0.4 °C เมื่อ ความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหรือประมาณ 0.25 เมตรต่อวินาที ซึ่งในสภาวะทั่วไปนั้นความรู้สึกต่ออัตราเร็วลมจะเป็น ดังตารางต่อไปนี้

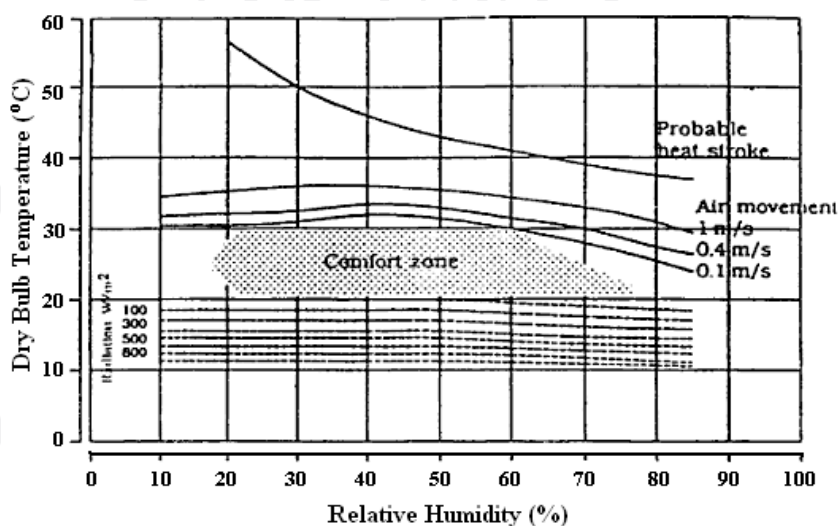
ตารางที่ 2.7: ตารางแสดงค่าความเร็วลมขณะพัดผ่านผิวหนังที่ส่งผลต่อความรู้สึก

ความเร็วลม	ผลกระทบต่อความรู้สึก
0.00 – 0.25 เมตรต่อวินาที	จะไม่รู้สึกหรือสังเกตได้
0.25 – 0.50 เมตรต่อวินาที	รู้สึกสบาย
0.50 – 1.00 เมตรต่อวินาที	รู้สึกสบายโดยสามารถรับรู้ได้ว่าการ เคลื่อนไหวของอากาศ
1.00 – 1.50 เมตรต่อวินาที	รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกรบกวนได้
> 1.50 เมตรต่อวินาที	รู้สึกวุ่นวายรบกวน

ที่มา: Olgyay, V. (1967). *Design With Climate*. (n. p.): Princeton University Press.

ซึ่งประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้น อัตราความเร็วลม 0.50- 1.00 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วลมที่รู้สึกสบาย และอัตราความเร็วลมภายในห้อง 1.50 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วลมที่ยอมรับได้ แต่ถ้าเกิน 1.50 เมตรต่อวินาที จะรู้สึกวุ่นวาย (ยงยุทธ อิมสงวน, 2557) โดย สุมล แซ่เฮง (2548) กล่าวถึงในการทดลองการจำลองการไหลอากาศในอาคารที่มีแผงดักลมและการจัดเรียงแผงกัน ซึ่งพบว่าความเร็วลมที่เข้ามาปะทะอาคาร 0.4 m/s นั้นก็เพียงพอสำหรับใช้ในการระบายอากาศเพื่อทำให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้ใช้ภายในอาคารแล้ว

ภาพที่ 2.9: แผนภาพ Bioclimatic chart ที่มีตัวแปรของการไหลของลมเข้ามาเกี่ยวข้อง



ที่มา: Olgyay, V. (1967). *Design With Climate*. (n. p.): Princeton University Press.

ความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงเป็นเพราะอัตราการระบายความร้อนออกจากผิวกายแปรผันตามความเร็วของกระแสลม กล่าวคือ ถ้ากระแสลมมีความเร็วสูงขึ้นร่างกายจะระบายความร้อนได้เร็วขึ้นจึงทำให้มีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับความรู้สึกเมื่อมีลมพัดผ่านผิวหนังนี้ หรือเรียกว่าความรู้สึกเย็นลง เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอย (Regression Analysis) (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ซึ่งได้สมการที่ (5) และจากสมการนี้มีระดับความเชื่อถือได้ (R^2) = 0.94 และค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error, SE) = 0.457 จากสมการสรุปได้คร่าว ๆ คือ เมื่อมนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิจริงประมาณ 0.4 °C เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 km/h (0.27 m/s) ดังนี้

$$\text{ความรู้สึกละเอียด (°C)} = 0.381 V + 0.016 RH \quad (5)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วลม , กิโลเมตรต่อชั่วโมง
 RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์, เปอร์เซ็นต์

ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายนั้นสามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานที่เป็นเกณฑ์กำหนดเอาไว้และอ้างอิงได้ในการทดลอง ซึ่งกลุ่มตัวอย่างการทดลองและพื้นที่งานวิจัยมักแตกต่างกันไป ในตารางที่ 2.8 ผู้วิจัยได้รวบรวมการทดลองที่พูดถึงความพึงพอใจในสภาวะน่าสบายของมนุษย์ภายใต้เงื่อนไขของตัวแปรด้านอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม อาจกล่าวโดยสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8: ตารางแสดงขอบเขตสภาวะน่าสบายตามหลักเกณฑ์และการทดลองต่าง ๆ

ผู้ทดลองและกลุ่มตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)
ขอบเขตสภาวะน่าสบายตามมาตรฐานของ ASHRAE 55 (1997)	26	60-90	0.1-1.68
ขอบเขตสภาวะน่าสบายในประเทศไทย โดย Khedari และคณะ (2000)	27-36.3	50-80	0.2-3.0
ขอบเขตสภาวะน่าสบายในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น โดย Lechner, Norbert (2001) พูดถึงใน สริน พินิจ (2553)	28-31	25-80	1.0
การทดลองเรื่อง ผลของความเร็วลมต่อสภาวะสบายเชิงอุณหภูมิ (วัฒนา ศรีวาจนะ, 2545)	23-26.3	65	ไม่เกิน 0.9

ในการทดลองของ Khedari และคณะ (Khedari et al., 2000) ในหัวข้อเรื่อง “Thailand Ventilation Comfort Chart.” งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแบบจำลอง โดยมีผู้อาสาสมัครทั้งหมดเป็นนักศึกษา 288 คน ชาย 183 คน หญิง 105 คน การศึกษานี้ได้ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 26 °C ถึง 36 °C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% ถึง 80% ความเร็วลมอยู่ที่ 0.20 - 30 m/s. ความรู้สึกต่อสภาพอากาศได้สำรวจโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งเป็นการทดลองที่มีกลุ่มตัวอย่างใกล้เคียงกับงานวิจัยมากที่สุด โดยใช้กลุ่มตัวอย่างมากที่สุด และพบว่าคนไทยสามารถยอมรับสภาวะน่าสบายในสภาพอากาศร้อนได้ เมื่อความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกายมีค่าสูงขึ้น (นุกูล กันเกตุ, 2556) โดยสามารถสรุปช่วงของสภาวะน่าสบายในการทดลองดังกล่าวได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.9: ตารางแสดงค่าความเร็วลม ณ อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อช่วยให้คนไทยสามารถยอมรับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงได้

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วลม(m/s)
50-60	28.01	0.20
	28.81	0.50
	30.56	1.00
	32.48	1.50
60-70	27.17	0.20
	28.30	0.50
	30.15	1.00
	31.46	1.50
70-80	27.20	0.20
	28.29	0.50
	30.27	1.00
	31.24	1.50
50-80	33.47	2.00
	35.53	3.00

ที่มา: Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong, N., & Hirunlabh, J. (2000). Thailand Ventilation Comfort Chart. *Energy and Buildings*, 32(1), 245-249.

สรุสดา เจียมจิต (2548) ได้กล่าวถึงข้อจำกัดในการนำกระแสลมธรรมชาติเพื่อเพิ่มเขตสบายของสภาพอากาศภายนอกเอาไว้ ดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของกระแสลมธรรมชาติไม่สามารถเพิ่มจำนวนชั่วโมงของสภาพอากาศภายนอกให้อยู่ในเขตสบายตอนกลางวันช่วงที่สภาพอากาศภายนอกร้อนมาก จนปริมาณลมและความเร็วลมไม่สามารถทำให้มนุษย์รู้สึกสบายตัวเพิ่มขึ้นจนอยู่ในเขตสบายได้ โดยเฉพาะฤดูร้อนและฤดูฝน

2. อิทธิพลของกระแสลมธรรมชาติไม่สามารถเพิ่มจำนวนชั่วโมงของสภาพอากาศภายนอกให้อยู่ในเขตสบายตอนกลางคืน เนื่องจากความชื้นในอากาศสูง(เกือบตลอดทั้งปี) ตลอดจนปริมาณลมและความเร็วลมในตอนกลางคืนน้อยมาก

3. อิทธิพลของกระแสลมธรรมชาติที่ปริมาณลมแรงเกิน 1.40 m/s ไม่สามารถเพิ่มจำนวนชั่วโมงของสภาพอากาศภายนอกให้อยู่ในเขตสบายช่วงที่อุณหภูมิอากาศอยู่ในเขตสบายอยู่แล้ว (22-27°C) ลมที่แรงเกินไปจะทำให้มนุษย์รู้สึกไม่สบายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากรู้สึกว่อากาศหนาวเย็นจนต่ำกว่า 22°C ซึ่งต่ำกว่าเขตสภาวะน่าสบาย

2.3 ทฤษฎีแนวทางการออกแบบเพื่อส่งเสริมสภาวะน่าสบายภายในอาคาร (Design strategy for enhance thermal comfort in building)

ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น ซึ่งอุณหภูมิของอากาศโดยทั่วไปจะร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปี ทิศทางของกระแสลมที่เข้าสู่อาคารจะมีส่วนสำคัญในการช่วยระบายอากาศ ลดความร้อน อีกทั้งยังช่วยทำให้เกิดสภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้งานอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2544) ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบอาคารควบคู่ไปกับเทคนิคในเรื่องของการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive cooling design) ในประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น ซึ่งสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2544) ได้ให้ความหมายของการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติ ไว้ว่าการใช้เทคนิคของการทำความเย็นโดยการใช้ประโยชน์จากแหล่งรับความร้อนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารให้ต่ำลง ทั้งนี้นอกจากเพิ่มสภาวะน่าสบายในอาคารแล้วยังช่วยลดภาระในการปรับอากาศ ลดอัตราการใช้พลังงานในอาคารลงได้ ในส่วนของงานวิจัยฉบับนี้จะพูดถึงการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural ventilation) เป็นสำคัญ ซึ่งเป็นวิธีการทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติรูปแบบหนึ่งประกอบไปด้วยประเด็นที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

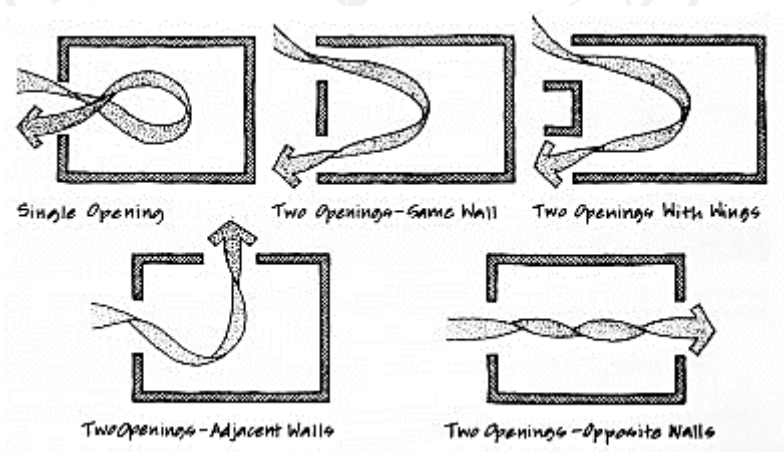
2.3.1 ทฤษฎีรูปแบบการระบายอากาศด้วยธรรมชาติ (Natural ventilation theory)

การระบายอากาศแบบธรรมชาติ เป็นรูปแบบการทำความเย็นที่ใช้ลมพัดพาความร้อนออกไปจากผิวกาย หรือออกไปจากอาคารที่เราใช้งานอยู่ ความเย็นจากการระบายอากาศเกิดจากอากาศเย็นแทนที่อากาศร้อนซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงเบาและลอยตัวสูงขึ้น (กวิณ ปรีชาวุฒิเดช, 2560) ซึ่งการระบายอากาศเพื่อสร้างความสบาย (Comfort ventilation) มี 2 รูปแบบ ซึ่งได้แก่

1. การระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation) อาศัยลมพัดผ่านอาคารในแนวราบซึ่งจะต้องมีทางเข้าและทางออกของมวลอากาศ เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับการระบายอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่

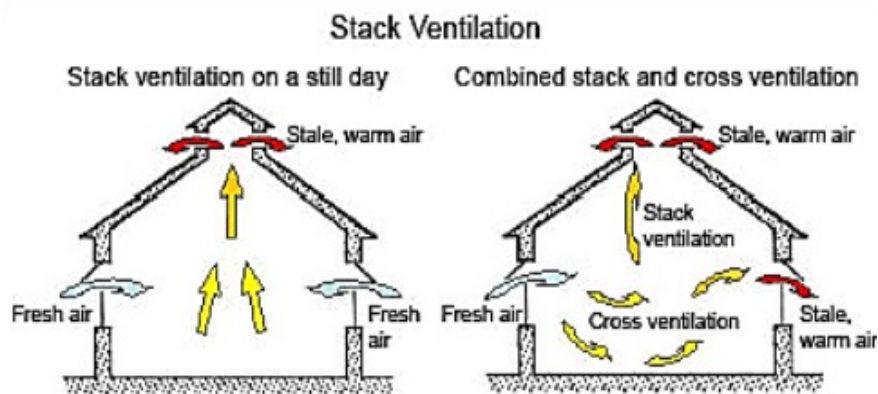
2. การระบายอากาศตามแนวตั้ง (Stack ventilation) หมายถึง การไหลเวียนของอากาศในพื้นที่ปิดซึ่งเกิดจากความดันของอาคารระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยอาศัยหลักการของอากาศที่ร้อนกว่าจะลอยตัวสูงขึ้นและอาศัยอากาศที่เย็นกว่าจะเข้ามาแทนที่ แต่เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของประเทศไทยระหว่างวันมีน้อยมาก จึงไม่ค่อยเห็นการลงทุนหรืออาคารที่ออกแบบการระบายอากาศทางตั้งในประเทศไทยเท่าที่ควร (ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์, 2546)

ภาพที่ 2.10: รูปแบบของการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation) ที่ผ่านช่องเปิดในตำแหน่งต่าง ๆ



ที่มา: Importance of cross ventilation. (n.d.) Retrieved from <https://bit.ly/3iaFBrP>

ภาพที่ 2.11: การระบายอากาศตามแนวตั้ง (Stack ventilation)



ที่มา: Rosidah Saad. (2017). Ventilation & a/c system. Retrieved from <https://bit.ly/3uMTkaW>

ประโยชน์ของการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ที่ส่งผลต่ออาคารและผู้ใช้งานอาคาร มีอยู่ด้วยกัน 4 ประเด็น (เอกชัย อมรมหรรณ, 2550) ได้แก่

1. ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ (Air change per hour : ACH) โดยทั่วไปภายในอาคารจะมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่นและมลพิษต่าง ๆ รวมถึงสิ่งมีชีวิตที่เป็นพาหะนำโรคมมากกว่าอากาศภายนอก อากาศที่ถูกปนเปื้อนเหล่านั้นทำให้เกิดปัญหาทางสุขภาพขึ้นมากมายกับระบบทางเดินหายใจและปอด การระบายอากาศจะช่วยนำออกซิเจนเข้าสู่อาคารเจือจางและแทนที่มลพิษทางอากาศรวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ ความต้องการในการแลกเปลี่ยนอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด รวมถึงจำนวนผู้ใช้อาคารรวมถึงกิจกรรม ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.10: ความต้องการปริมาณอากาศบริสุทธิ์ในห้องต่าง ๆ

ชนิดห้อง	ปริมาณการนำเอาอากาศบริสุทธิ์ใหม่เข้ามา
ห้องน้ำ ห้องส้วม	20 ปริมาตรห้อง/ชม.
ห้องโถง และโถงทางเดิน	10 ปริมาตรห้อง/ชม.
ห้องครัว	20,000 ลบ.ฟุต/ชม.
ห้องรับแขก และห้องนอน	
300 ตร.ฟุต/คน	7,200 ลบ.ฟุต/ชม.
400 ตร.ฟุต/คน	6,000 ลบ.ฟุต/ชม.
500 ตร.ฟุต/คน	4,200 ลบ.ฟุต/ชม.
ห้องเตรียมอาหารและโถงบันได	20 ปริมาตรห้อง/ชม.

ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2523). การประหยัดพลังงาน: การระบายอากาศด้วยปล่อง. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

2. ทำให้มนุษย์รู้สึกเสมือนว่าอุณหภูมิลดลง (Comfort ventilation) ความเร็วลมที่พัดผ่านผิวหนังจะช่วยพัดความร้อนรอบตัว พัดพาความชื้นรวมถึงเหงื่ออันเป็นสาเหตุทำให้ร่างกายจับความร้อนออกได้ดีขึ้นออกไปทำให้รู้สึกเย็นลง โดยความเร็วลมที่ความเร็ว 0.25 m/s จะทำให้มนุษย์รู้สึกเย็นลง 0.4 °C (Fanger, 1970) อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่พัดผ่านผิวหนังจะต้องเป็นความเร็วลมที่เหมาะสมไม่น้อยจนทำให้มนุษย์สัมผัสไม่ได้หรือไม่มากจนทำให้รบกวนกิจกรรมต่าง ๆ

3. ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน (Convection) การระบายอากาศทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ระหว่างอากาศภายในและอากาศภายนอกโครงสร้าง หรือส่วนผิวของอาคาร ซึ่งอาจเป็นไปได้ในหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับแหล่งความร้อนที่สูงกว่าจะถ่ายเทอุณหภูมิไปยังแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในลักษณะของของไหลซึ่งอยู่ในรูปของอากาศ

4. ช่วยลดความชื้นภายในอาคาร ความชื้นที่เข้ามาสู่อาคารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุทั้งจากสภาพอากาศ จากการสะสมภายในวัสดุอาคารรวมถึงเฟอร์นิเจอร์ การระบายอากาศจะช่วยลดการสะสมความชื้น พัดพา รวมถึงป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำและการสะสมของความชื้นภายในวัสดุอาคาร อย่างไรก็ตามการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ก็มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 20% เนื่องจากจะทำให้เกิดภาวะสูญเสียน้ำ (Dehydrate) (ธีรา อินทร์สวาท, 2544)

2.3.2 ทฤษฎีเชิงพลวัตกรรมของลมกับช่องเปิดในประเทศไทย

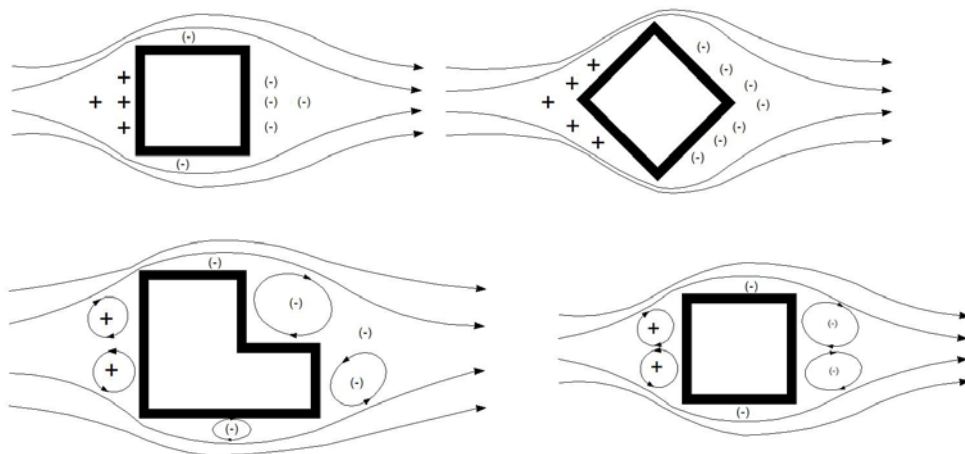
ในการศึกษาถึงการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ คือ กระบวนการที่ใช้ลมธรรมชาติเป็นเครื่องมือในการถ่ายเทความร้อนจากจุดหรือพื้นที่ที่ไม่ต้องการออกไป ด้วยการใช้กระแสลมที่จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในลักษณะของการพาความร้อนออกไปจากตัวอาคาร โดยที่ปริมาณของความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปนั้น จะเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างค่าความจุความร้อนของอากาศ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในอาคาร (สริน พินิจ, 2553) หลักการพื้นฐานในการระบายอากาศ ลมพัดจะได้ด้วยแรงขับเคลื่อน 2 ประเภท ได้แก่

1. ความแตกต่างของอากาศ (Pressure differential)
2. ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature differential)

ปริมาณลมที่พัดเข้าสู่อาคารจะต้องเท่ากับปริมาณลมที่พัดออกจากอาคาร หากปริมาณการพัดเข้ามามากกว่าปริมาณที่ถ่ายออก หมายถึง การพัดแบบที่ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนไปหรือที่เรียกว่า Compressible flow ซึ่งจะไม่อยู่ในขอบเขตการไหลของอากาศแบบปกติ ดังนั้นหลักการทั่วไปของอากาศ จึงหมายความว่า กระแสลมจะต้องมีความต่อเนื่องและการแสดงภาพการไหลของลมจะต้องเป็นเส้นต่อเนื่อง

ลมที่พัดเข้าปะทะผนังอาคารจะถูกกดอัดทำให้เกิดความกดอากาศ (Pressure) ที่มากกว่าปกติ (Positive pressure) (+) ในด้านที่ลมปะทะ ในขณะที่เดียวกันที่ด้านตรงข้ามที่ลมพัดออกจากอาคารอากาศบริเวณนั้นจะถูกดูดออก ทำให้ความกดอากาศลดลงเกิดเป็น (Negative Pressure) (-) ลมที่พัดเข้าปะทะผนังอาคารและไหลเลื่อนไปตามหลังคาและผนังด้านข้างจะก่อให้เกิดความกดอากาศลบที่ผิวด้านข้างและผิวหลังคา ซึ่งทำให้เกิดกระแสลมที่ไหลวนโดยจะมีผลเสียต่อตัวอาคาร คือ การสะสมของฝุ่นละอองที่พัดมากับลม

ภาพที่ 2.12: ภาพแสดงด้านที่ลมพัดจะเกิด Positive pressure ส่วนด้านที่ลมพัดออกจะเกิด Negative pressure



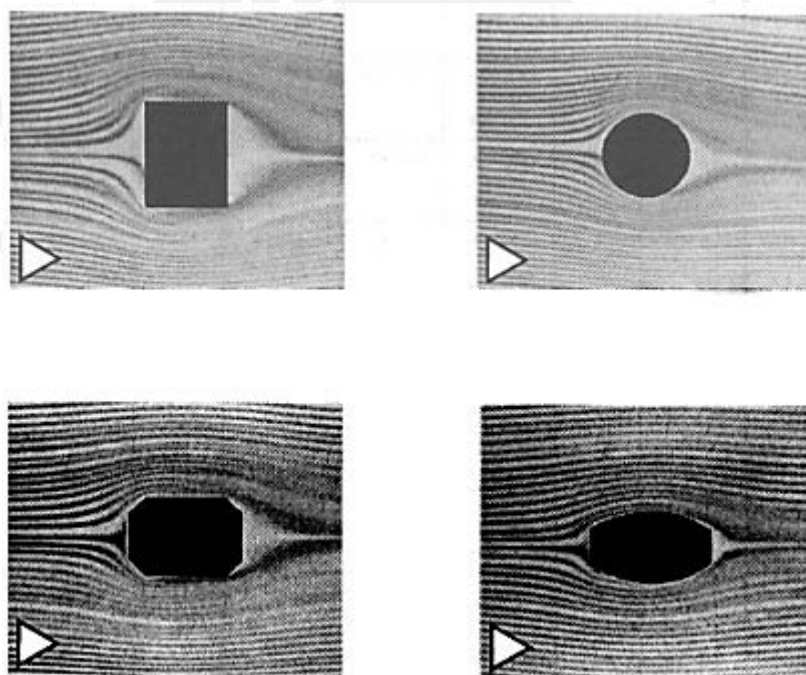
กระแสนลมมีความสำคัญโดยมีความสามารถสำหรับช่วยการระบายอากาศและช่วยแลกเปลี่ยนอากาศได้ ซึ่งกระแสนลมมีทั้งช่วยนำพาความร้อนออกไปจากอาคารและอาจนำความร้อนเข้ามาสู่อาคารได้ การออกแบบอาคารสำหรับสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้นของประเทศไทย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาทิศทางและความเร็วลม เพื่อนำมาปรับใช้ในการลดความร้อนที่เกิดขึ้น ภายในตัวอาคารเพื่อเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่นำมาปรับอากาศภายในตัวอาคาร เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ถ้าเราสามารถใช้ลมจากธรรมชาติอย่างถูกวิธี โดยศึกษาข้อมูลทิศทางและกระแสลมที่เกิดขึ้นตลอดทั้งปีก็จะสามารถนำลมเย็นเข้ามาใช้ในอาคารได้และยังสามารถป้องกันลมร้อนที่จะเข้าสู่ตัวอาคารได้ อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอีกด้วย

ในการศึกษาเรื่องเกี่ยวกับความเร็วลมที่มีผลกระทบต่ออาคารเพื่อช่วยปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารให้เข้าสู่เขตของสภาวะน่าสบายมากยิ่งขึ้น โดยหลักการที่ว่าทำให้อากาศภายนอกนั้นไหลเวียนเข้าสู่อาคารถึงแม้ว่าอุณหภูมิภายในอาคารสูงก็จะถูกความเร็วลมที่มากกว่าช่วยพัดพาอุณหภูมิที่สูงกว่าให้เย็นลงได้ รวมถึงช่วยทำให้อัตราการระเหยของเหงื่อเพิ่มมากขึ้นทำให้รู้สึกสบายตัว (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544) ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนลมเข้าสู่อาคารนอกจากปัจจัยที่เกิดจากสภาพแวดล้อมรอบ ๆ อาคารแล้ว ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพื้นที่นั้น ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวางผังอาคาร โดยสามารถแบ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อาคาร (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2544) ได้ดังต่อไปนี้

1. รูปร่างและขนาดของอาคาร

รูปทรงของอาคารนั้นมีผลต่อการรับลมโดยเฉพาะด้านหรือส่วนของอาคารที่มีพื้นที่รับลมมาก จะทำให้กระแสลมพัดผ่านอาคารและทำให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก จากการวิเคราะห์สัดส่วนของรูป ด้านสกัดและรูปด้านตามยาว จะพบว่า รูปทรงของอาคารในเขตร้อนชื้นอัตราส่วนดังกล่าวควรจะเป็น 1:3 (Olgay, 1967) นั้นหมายถึง ควรหันรูปด้านตามยาวเป็นด้านที่รับกระแสลมที่มากที่สุดในแต่ละปี ซึ่งในประเทศไทยลมจะพัดมาส่วนใหญ่ในทางทิศใต้ เว้นแต่ฤดูหนาวที่ลมจะพัดมาทางทิศเหนือและ ตะวันออกเฉียงเหนือ บางทฤษฎีในหนังสือของ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2544) ได้กล่าวถึง การวางอาคารที่มีช่องเปิดทำมุม 30-60 องศา กับทิศทางลม จะช่วยทำให้เกิดการ ไหลเวียนของอากาศภายในอาคารได้ดีกว่า การวางอาคารตั้งฉากกับทิศทางลมอีกด้วย (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2544)

ภาพที่ 2.13: ภาพแสดงแบบจำลองรูปทรงของอาคารที่มีผลต่อลมที่พัดผ่าน



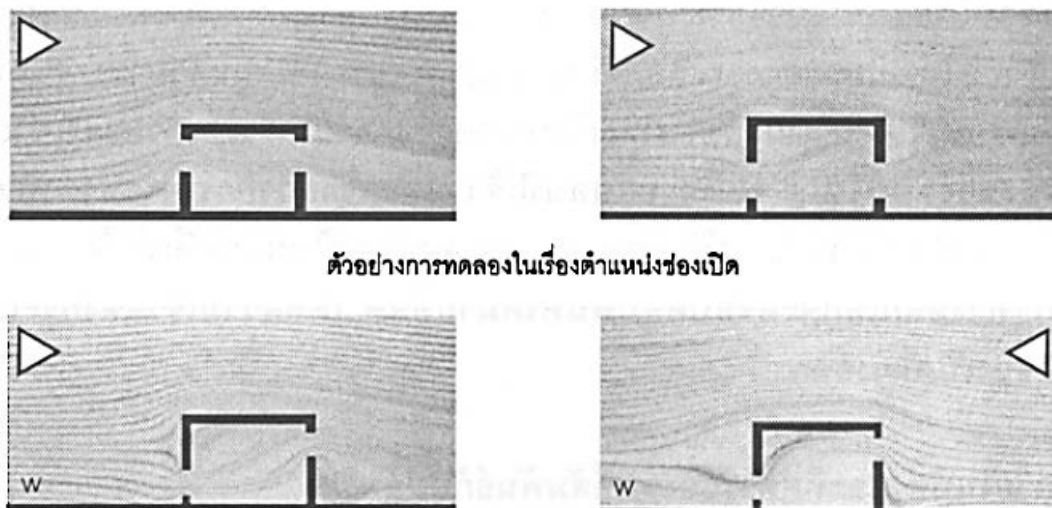
ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152-168.

บริเวณพื้นที่ภายในอาคารทำให้เกิดการไหลเวียนของลมภายในอาคารได้ดีควรมีช่องเปิดทางเข้าทางออกของลมไม่น้อยจนเกินไปและภายในอาคารไม่ควรมีเหลี่ยมมุมมากเกินไป เพราะจะทำให้อากาศไหลเวียนไม่สะดวก

2. ตำแหน่งช่องเปิด

การออกแบบช่องเปิดของอาคาร อาคารที่มีช่องเปิดมากจะได้เปรียบในเรื่องของการถ่ายเทของอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2544) แต่อาจก่อให้เกิดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารมากเกินไป รวมไปถึงมลภาวะทางอากาศอีกด้วย การออกแบบช่องเปิดอาคารควรหลีกเลี่ยงการออกแบบช่องเปิดที่มีทางเข้าออกในผนังเพียงด้านเดียว เพราะจะทำให้ลมที่พัดเข้าสู่ตัวอาคารเข้าไปได้แค้ในบริเวณดังกล่าวและวนออกสู่ภายนอก เนื่องจากบริเวณใกล้ช่องเปิดมีความกดอากาศสูง รวมไปถึงการออกแบบช่องเปิดที่ชิดกับอาคารข้างเคียงมากเกินไป ก็เป็นหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ลมเข้าสู่อาคารได้ในปริมาณที่น้อย

ภาพที่ 2.14: ภาพแสดงแบบจำลองการไหลของลมผ่านตำแหน่งของช่องเปิดรูปแบบต่าง ๆ



ตัวอย่างการทดลองในเรื่องตำแหน่งช่องเปิด

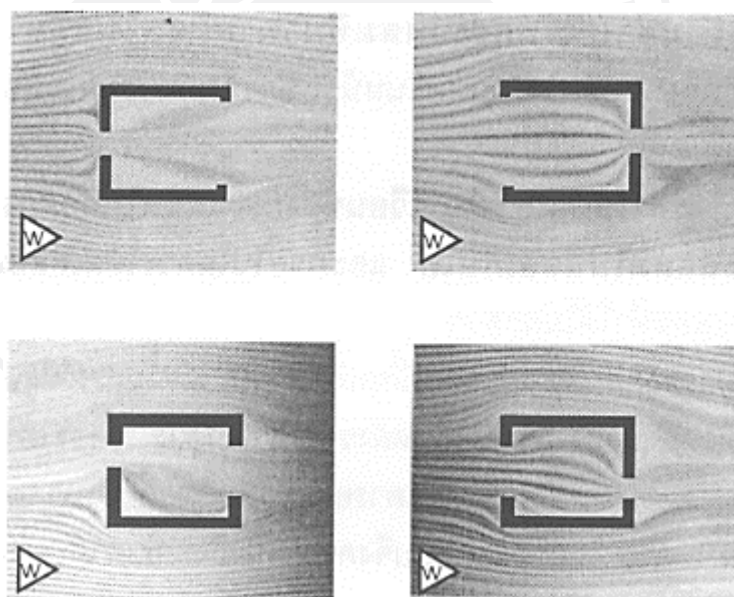
ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152–168.

นอกจากนั้นควรออกแบบช่องเปิดให้สัมพันธ์กับระดับร่างกาย (Body zone) โดยทั่วไปควรเจาะช่องเปิดให้อยู่ในระดับร่างกายและช่องทางออกอยู่ในระดับเหนือกาย เพราะจะทำให้อากาศไหลเวียนภายในอาคารได้ดีและดึงเอาความร้อนขึ้นสู่ด้านบนและพัดพาออกไปจากอาคาร อันเนื่องมาจากความร้อนจะสะสมอยู่บริเวณฝ้าเพดานและลอยตัวสูงขึ้น อีกองค์ประกอบที่ต้องคำนึงถึงคือการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ รวมไปถึงขนาดและชนิดของกันสาดอีกด้วย (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2544)

3. ขนาด และจำนวนช่องเปิด

ขนาดและจำนวนของช่องเปิดอาจส่งผลให้ปริมาณลมเข้าสู่อาคารได้น้อยและไหลเวียนไม่ทั่วทั้งห้องหากช่องเปิดทางเข้าและทางออกของลมอยู่ด้านเดียวกัน ซึ่งไม่ว่าอาคารจะรูปทรงใดหรือขนาดใหญ่ หากมีช่องเปิดที่เป็นทางเข้าทางออกของลมมากก็จะมีผลทำให้กระแสลมไหลเวียนเข้าสู่อาคารได้มากขึ้น

ภาพที่ 2.15: ภาพแสดงแบบจำลองขนาดของช่องเปิดทางเข้าและทางออกที่มีผลกับการกระจายตัวของลมภายในอาคาร



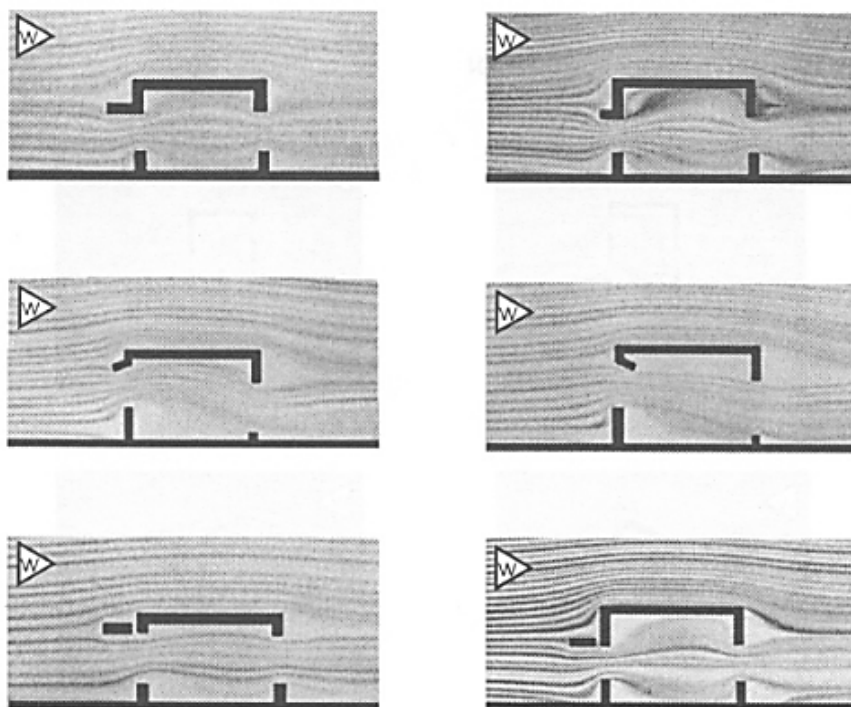
ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. *วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 17(0), 152–168.

การเจาะช่องเปิดที่มีช่องทางเข้าเล็ก ช่องทางออกใหญ่จะทำให้กระแสลมที่เข้าสู่อาคารมีความเร็วและแรงกว่าการเจาะช่องทางเข้าใหญ่ช่องทางออกเล็ก หรือการเจาะช่องเปิดทางเข้า

ทางออกที่มีขนาดเท่า ๆ กัน แต่การเจาะช่องเปิดทางเข้าขนาดใหญ่ ทางออกมีขนาดเล็ก ลมจะกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ภายในห้องได้มากกว่า โดยความเร็วของกระแสลมจะลดลงบริเวณปากทางช่องเปิดทางออก

4. แนวทิศทางการไหลของกระแสลมเนื่องจากสิ่งประกอบบริเวณช่องเปิดเข้าและช่องเปิดทางออกกระแสลม

ภาพที่ 2.16: ภาพแสดงแบบจำลองการไหลของลมผ่านช่องเปิด กรณีมีสิ่งประกอบบริเวณช่องเปิดอาคาร

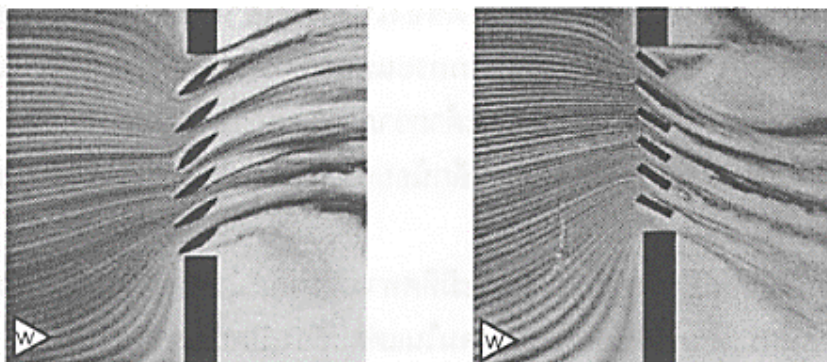


ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางการไหลของกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152-168.

องค์ประกอบโดยรอบอาคาร ต้นไม้หรือกันสาด ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของอาคารนั้น ล้วนแล้วแต่มีส่วนในการช่วยเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของกระแสลม เช่น การใช้องค์ประกอบอาคารทางตั้ง บริเวณช่องเปิดอาคาร มีส่วนช่วยทำให้กระแสลมเบี่ยงเบนเข้าสู่อาคารได้ดียิ่งขึ้น ส่วน

องค์ประกอบแนวนอนช่วยในการกระจายลมภายในห้องตามลักษณะของการบังคับทิศทางในแนวตั้ง (ขึ้น-ลง) ได้ โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะส่งผลได้ดี ก็ต่อเมื่ออยู่บริเวณช่องเปิดทางเข้าของลมเป็นหลัก

ภาพที่ 2.17: ภาพแสดงแบบจำลองการไหลของลมผ่านช่องเปิดบานเกล็ดอาคาร

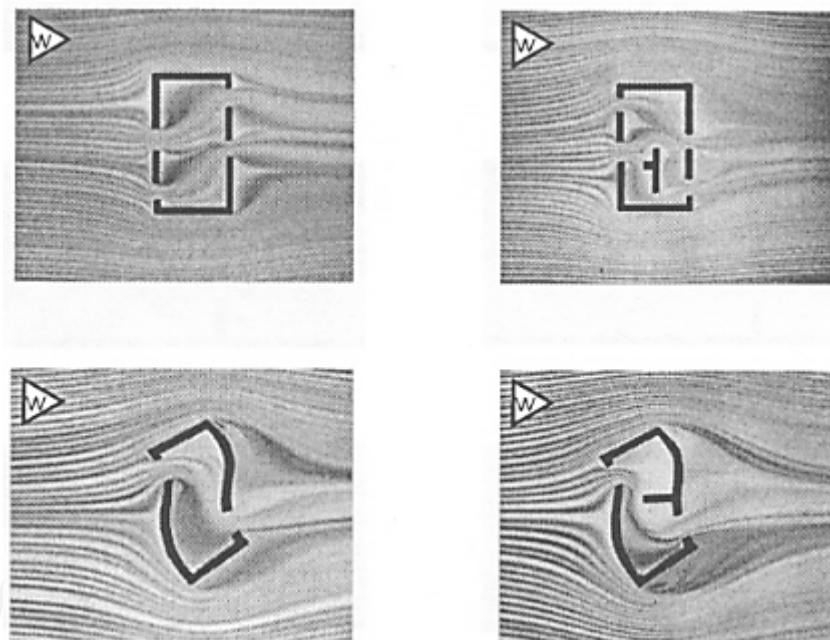


ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152-168.

5. การใช้ผนังกันภายในห้องกับผลของกระแสลม

ตำแหน่งของผนังหรือฉากกั้นภายในอาคารส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลเวียนของกระแสลมที่เข้าสู่อาคารได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและจำนวนการใช้ผนังกันเหล่านั้น ยิ่งผนังอยู่ใกล้ช่องเปิดทางเข้ามาก ก็จะส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดการเบี่ยงเบนกระแสลมภายในอาคารมากตาม โดยทั่วไปแล้วกระแสลมภายในอาคารจะมีความเร็วต่ำกว่ากระแสลมภายนอกอาคารอยู่แล้ว แต่ถ้ายังเกิดการเบี่ยงเบนของกระแสลมภายในอาคารมากเท่าใดความเร็วของกระแสลมก็จะยิ่งลดลงตามไปด้วย ตรงกันข้ามหากภายในอาคารไม่มีผนังกั้นเลยจะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารได้มาก ดังนั้นจึงไม่ควรมีผนังกันห้องมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดจุดอับลมขึ้นภายในห้อง

ภาพที่ 2.18: แบบจำลองการไหลของอากาศภายในอาคารที่มีผนังกั้น

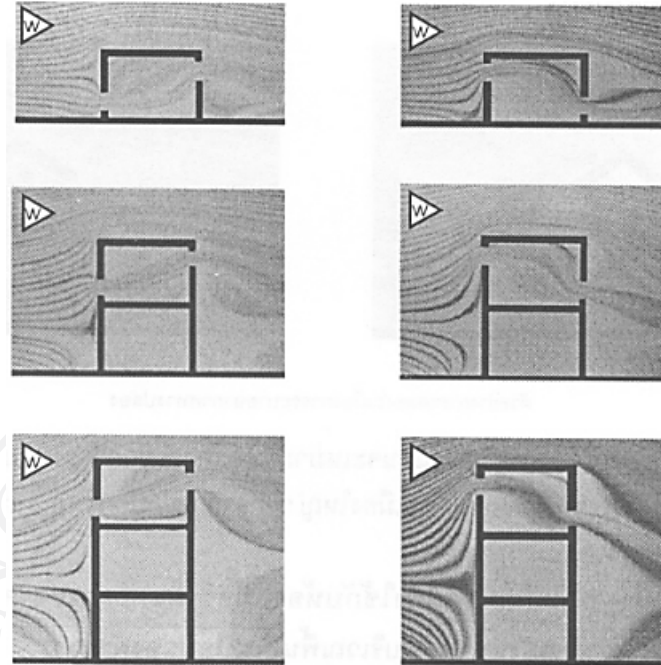


ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152-168.

6. ระยะความสูงจากช่องเปิดถึงพื้นดิน

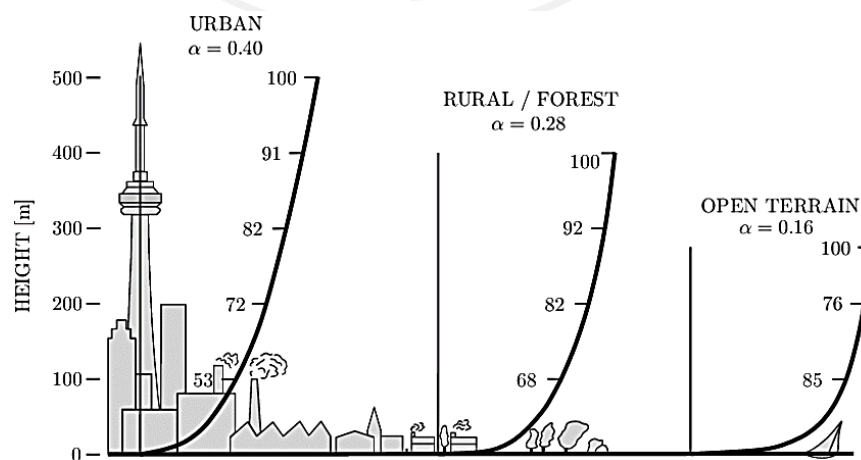
โดยทั่วไปแล้วในพื้นที่ที่ยังมีความสูง ความเร็วของกระแสลมด้านนอกก็จะยิ่งมากขึ้น ยิ่งช่องเปิดอยู่สูงทิศทางกระแสลมก็จะเปลี่ยนไป เนื่องจากแนวผนังด้านหน้าที่กระแสลมมาปะทะเกิดแรงดัน อันส่งผลให้กระแสลมภายในอาคารเร็วและแรงขึ้นตามไปด้วย

ภาพที่ 2.19: แบบจำลองการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดที่มีความสูงเหนือพื้นดินที่แตกต่างกัน



ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152-168.

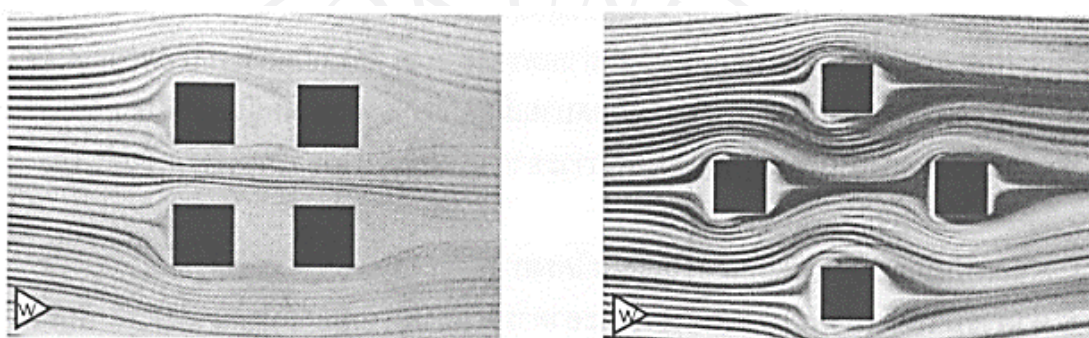
ภาพที่ 2.20: สัดส่วนความเร็วลมในช่วงความสูงต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 เมตร ถึง 500 เมตร



7. ระยะห่างระหว่างอาคาร

ตำแหน่งและระยะห่างระหว่างอาคารส่งผลกระทบต่อกระแสลมที่เข้าสู่อาคารในทุก ๆ อาคารซึ่งอาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้ต้องพิจารณาปัจจัยหลายด้านประกอบกัน เช่น ตำแหน่งการวางอาคาร ทิศทางอาคาร รูปทรงอาคาร จำนวนอาคาร ขนาดอาคาร และความสูงของอาคารในพื้นที่นั้น ๆ กล่าวคือระยะห่างระหว่างอาคารยิ่งมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้กระแสลมเข้าถึงตัวอาคารได้ดี ระยะห่างอาคารยังส่งผลต่อความเร็วของลมของกลุ่มอาคารอีกด้วย

ภาพที่ 2.21: แบบจำลองการไหลของลมผ่านกลุ่มอาคารที่มีการจัดวางและระยะห่างแตกต่างกัน



ที่มา: มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. *วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 17(0), 152-168.

2.4 การออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย (Shading device design in Thailand)

ช่องเปิดเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบสถาปัตยกรรม มีประโยชน์ทั้งในเรื่องของการรับแสงธรรมชาติ ลม รวมถึงเรื่องของการมองเห็นจากด้านในอาคารสู่สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยการเปิดช่องเปิดนั้น ส่งผลให้แสงอาทิตย์และความร้อนเข้ามาสู่อาคารได้ การติดตั้งแผงกันแดดนอกจากจะช่วยเพิ่มความสวยงามให้แก่อาคารแล้ว ยังมีส่วนในการช่วยป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เข้ามาสู่อาคารโดยตรง (วีรศักดิ์ เชี่ยวเชิงชล, 2546) ซึ่งการออกแบบแผงกันแดดนั้นควรคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยควบคู่ไปกับความสวยงาม กล่าวคือแผงกันแดดเป็นเสมือนเปลือกอาคาร (Building envelope) ที่มีอิทธิพลในการสร้างสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิตั้งแต่ (Stein, 1999) ความเหมาะสมของรูปแบบแผงกันแดดควรมีความสอดคล้องกันในแต่ละทิศทาง ผู้วิจัยจะต้องศึกษาเรื่องของการพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยที่จะส่งผลต่อแผงกันแดดและเพื่อการ

ออกแบบแผงกันแดดที่ตอบจุดประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งจะประโยชน์ต่อวิธีการวิจัยในบทต่อไป โดยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย มีดังต่อไปนี้

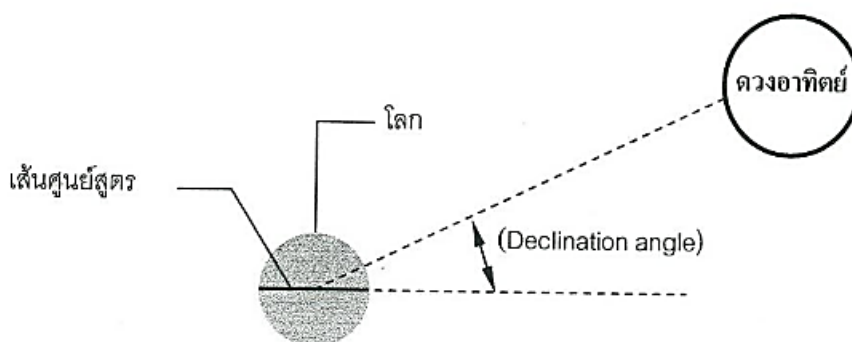
2.4.1 มุมและพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย

ในการออกแบบของอุปกรณ์บังแดดปัจจัยสำคัญที่จะต้องศึกษาคือตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์รอบโลกตลอดปี เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรในแถบซีกโลกเหนือ เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์จะทำให้เกิดมุมต่าง ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์ในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดของอาคารโดยตรง (เพียงชีวา ทองสุข, 2550) โดยมุมที่เกิดจากตำแหน่งโคจรของโลก (ไพลิน สงวนปัทมาวัลย์, 2553) มีดังต่อไปนี้

1. มุมละติจูด (Latitude, ϕ) คือมุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อทำการวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวกและเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ละติจูดที่ค่าอยู่ระหว่าง -90 องศา ถึง 90 องศา

2. มุมเดคลิเนชัน (Declination angle, δ) คือมุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับเส้นศูนย์สูตรกำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือและมีค่าเปลี่ยนเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ โดยจะมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45 องศา ถึง 23.45 องศา

ภาพที่ 2.22: มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์



ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

3. มุมเอียง (Slope, β) คือมุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับมีค่าอยู่ระหว่าง 0 องศา ถึง 180 องศา

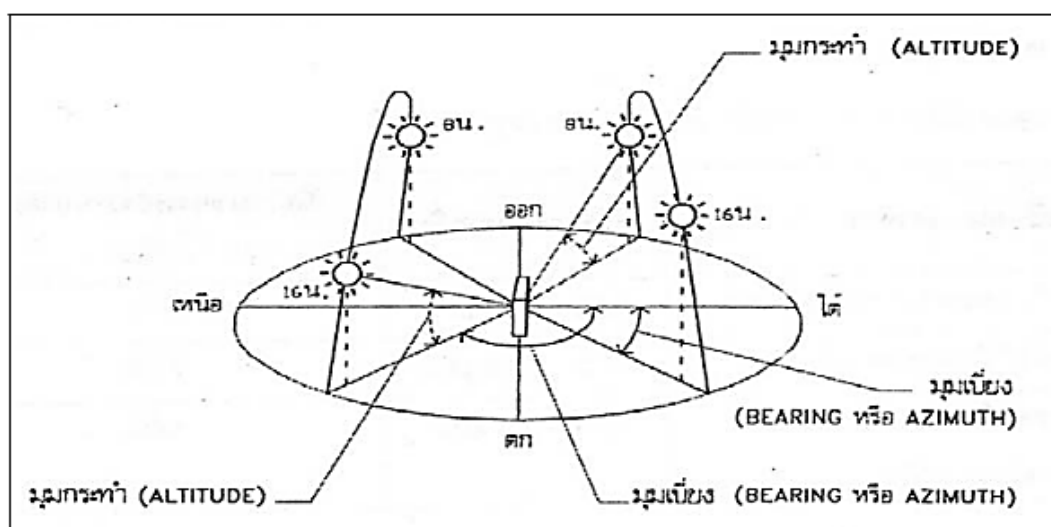
4. มุมแนวตั้ง (Angle of incidence) คือมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวตั้งฉากของผนังเป็นการหาปริมาณความร้อนที่ผนังหรือที่อาคารได้รับ

5. มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar altitude) หรือมุมกระทำคือมุมที่แนวรังสีตรงดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก โดยอัลติจูดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา

6. มุมอะซิมูทพื้นดิน (Surface Azimuth angle) คือมุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง -180 องศา ถึง 180 องศา โดยเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้และเป็นบวกเมื่อหันไปทางตะวันตกและเป็นลบเมื่อหันไปทางตะวันออก

7. มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth angle หรือ Bearing angle) หรือมุมเบียง คือมุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่นโดย กำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ระหว่าง -180 ถึง +180 องศา ประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เช่น ประเทศไทยจะเห็นชัดในตอนฤดูหนาว

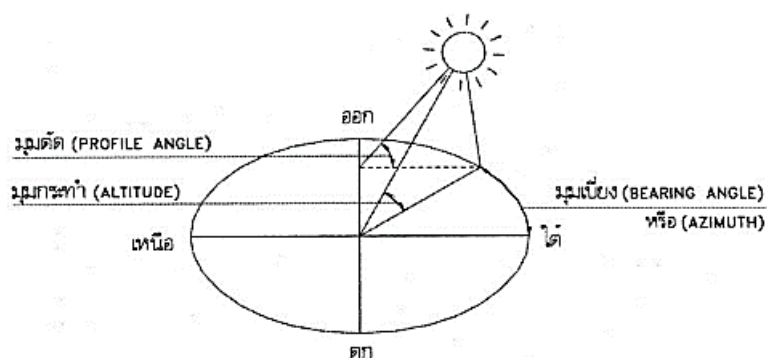
ภาพที่ 2.23: ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ทำให้เกิดมุมต่าง ๆ



ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

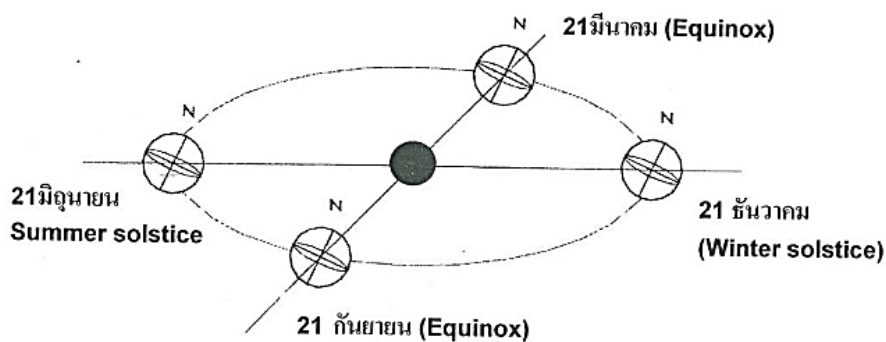
8. มุมตัด (Profile angle) คือมุมที่ระดับของดวงอาทิตย์กระทำในระนาบที่ตั้งฉากกับผนังหรืออาคาร ค่าของมุมตัดจะแตกต่างไปจากค่าของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ ซึ่งในการออกแบบค่ามุมตัดจะมีความสำคัญมากกว่ามุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ใช้คำนวณหาที่บังแดดแนวนอน

ภาพที่ 2.24: ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์ละมุมกระทำต่าง ๆ ต่อพื้นดิน



ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาพที่ 2.25: ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี



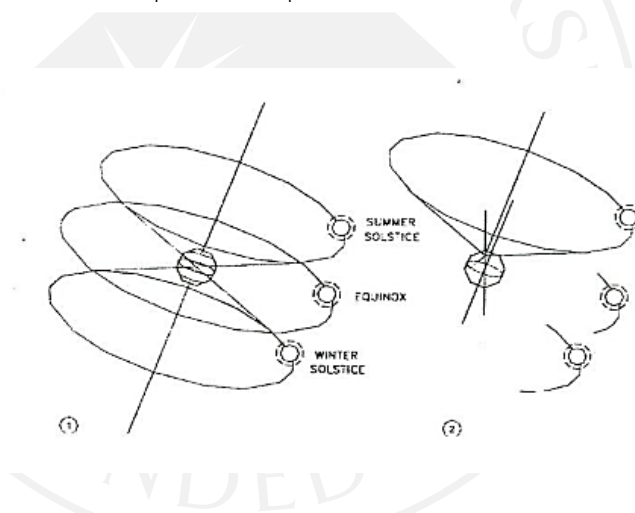
ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิศทางการส่องของแนวแสงขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโลกในวันที่ต่างกัน ที่มี
ความสำคัญคือตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 ธันวาคม เรียกว่า Winter solstice สำหรับวันที่
21 กันยายนและ 21 มีนาคม เรียก Equinox วันที่ 21 มิถุนายน เรียกว่า Summer solstice

แสงอาทิตย์เมื่อมองไปจากโลกจะมีลักษณะของของรูปกรวยแหลม เรียกว่า Solar ray cone
ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามการโคจรของดวงอาทิตย์ โดยที่จุดโคจรห่างสุด (Solstices) จะทำมุม 23 องศา
และรูปกรวยแหลมจะกลายเป็นรูปวงกลมแบบธรรมดาหรือทำมุม 0 องศา กับเส้นศูนย์สูตรในวันที่
ดวงอาทิตย์โคจรใกล้โลกมากที่สุด (Equinox) เนื่องจากโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มาก ซึ่งแสงของ
ดวงอาทิตย์ที่พุ่งมายังโลกเป็นรังสีขนาน

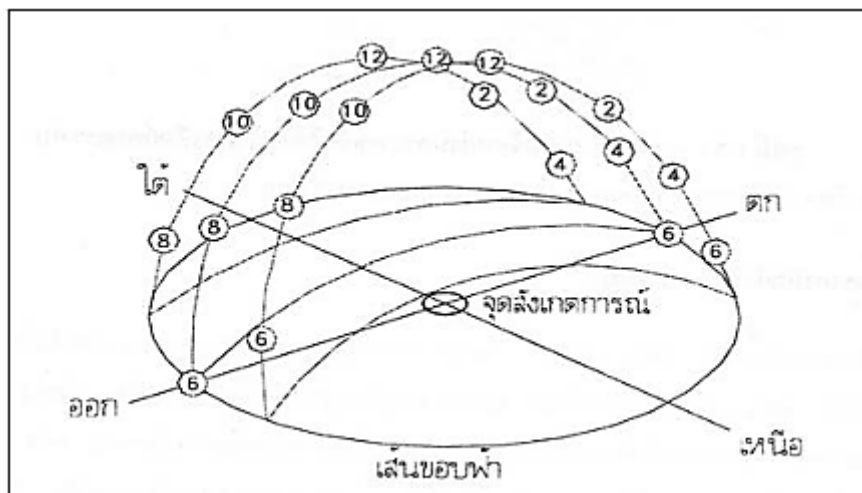
การโคจรของดวงอาทิตย์จะเป็นไปตามเวลาทุก ๆ นาที เป็นรูปวงกลมซึ่งเป็นลักษณะของ
Sky vault

ภาพที่ 2.26: Solar ray cone ของจุดโคจรห่างสุดของดวงอาทิตย์กับโลก



ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ:
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาพที่ 2.27: ส่วนโค้งครึ่งวงกลมของ Sky vault กับตำแหน่งทางโคจรของดวงอาทิตย์



ที่มา: สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จากการศึกษาลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์อยู่ตรงเส้นศูนย์สูตรจะโคจรอ้อมขึ้นไปทางเหนือและจะอยู่ทางเหนือมากที่สุดในวันที่ 21 มิถุนายน แล้วโคจรกลับลงมาผ่านเส้นศูนย์สูตรในวันที่ 21 กรกฎาคมอีกครั้ง แล้วจึงโคจรอ้อมไปทางใต้และจะอยู่ทางใต้มากที่สุดในวันที่ 21 ธันวาคม เดือนที่ควรระวังป้องกันอาคารทางด้านทิศเหนือ คือ ตำแหน่งดวงอาทิตย์ทำมุมไปทางเหนือมากที่สุด คือวันที่ 21 มิถุนายน วันและเดือนที่ใช้ป้องกันอาคารทางด้านทิศใต้ คือ ตำแหน่งดวงอาทิตย์ทำมุมไปทางทิศใต้มากที่สุด คือวันที่ 21 ธันวาคม (ไพลิน สงวนปัทมาวัลย์, 2553) ส่วนทางด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ต้องพิจารณาทั้งในวันที่ 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม สำหรับเวลาที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นจุดวิกฤติในการออกแบบได้แก่เวลาที่เริ่มใช้อาคารไปจนถึงเวลาที่เลิกใช้อาคาร

2.4.2 หลักการออกแบบแผงกันแดดในประเทศไทย

ตามหลักการวางอาคารให้ตั้งฉากกับทิศทางลมในแนวราบโดยอาศัยความแตกต่างกันของความกดอากาศ หรือ Cross ventilation การไม่ติดตั้งแผงกันแดดแน่นอนว่าจะทำให้ความเร็วลมเข้าสู่ช่องเปิดได้โดยตรงมากที่สุด แต่ทั้งนี้อาจทำให้ผนังอาคารได้รับความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรง ส่งผลให้อุณหภูมิสะสมภายในอาคารสูงขึ้นมาก ซึ่งการวางอาคารให้ตั้งฉากกับทิศทางลมที่

45° จะทำให้เกิดการรับลมได้ดีที่สุด (ณัฐจิรา มีนา, 2554) สอดคล้องกับการทดลองของ สุมล แซ่เฮง (2548) ว่าด้วยเรื่องของการจำลองการไหลอากาศในอาคารที่มีแผงดักลมและการจัดเรียงแผงกัน ผลการทดลองคือ ติดตั้งที่ขอบของผนังอาคารทั้งสองด้าน โดยวางทำมุม 45° กับทิศทางลมที่ปะทะอาคาร (รับลม) มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ทางเข้าสูงสุดโดยแผงกันแดดที่ทำมุม 60° จะส่งผลต่อการกระจายความเร็วลมในห้องและที่ 0° จะทำให้การกระจายลมค่อนข้างสม่ำเสมอ กล่าวคือการออกแบบแผงกันแดดนอกจากช่วยในการปกป้องอาคารจากการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงแล้วยังมีแนวคิดและทฤษฎีที่มองเห็นถึงประโยชน์ของแผงกันแดดในเรื่องของการดักลมเข้าสู่อาคาร

ซึ่งรูปแบบของแผงกันแดดรวมถึงการติดตั้งแผงกันแดดนั้นจะมีรูปแบบการติดตั้งหลายรูปแบบซึ่งในปัจจุบันที่นิยมใช้คือ แผงกันแดดในแนวตั้ง แผงกันแดดในแนวนอน และแผงกันแดดแบบตาราง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560) และแผงกันแดดยังมีรูปแบบอื่น ๆ อีกมากมายตามแนวความคิดของผู้ออกแบบ โดยจะยกตัวอย่างแผงกันแดดที่นิยมในปัจจุบัน ดังต่อไปนี้

1. แผงกันแดดแนวนอน (Horizontal overhangs) บังแดดได้คล้ายรูปเสี้ยว (Segmental areas) อุปกรณ์กันแดดในแนวนอนนั้นสามารถป้องกันแสงแดดได้ดีในทิศเหนือและทิศใต้ แผงกันแดดรูปแบบนี้จะช่วยป้องกันแสงแดดในช่วงเที่ยงและบ่ายได้ดี โดยแสงแดดทิศเหนือในช่วงเดือนมิถุนายนและแสงแดดในทิศใต้ช่วงเดือนธันวาคมจะเป็นช่วงที่มีตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำที่สุด ซึ่งในทิศเหนือไม่ค่อยได้รับแสงแดดโดยตรงจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์บังแดดมากนัก อาจใช้เพียงแผงบังแดดแนวตั้งยื่นออกมาเล็กน้อย เพื่อบังแสงแดดในช่วงเช้าและเย็น

2. แผงกันแดดแนวตั้ง (Vertical louvers) บังแดดได้เป็นรูป radial mask อุปกรณ์กันแดดในแนวตั้งนั้นสามารถป้องกันแสงแดดได้ดีในทิศตะวันออกและตะวันตก สามารถกันแสงแดดในช่วงเช้าและช่วงเย็นได้เป็นอย่างดี แต่ว่าการออกแบบแผงกันแดดแนวตั้งให้สามารถกันแดดในทุกช่วงเวลานั้นทำได้ยาก เป็นผลมาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของประเทศไทยในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะมีมุมที่ต่ำและเป็ยงเบนมาก

3. แผงกันแดดแบบตาราง หรือแบบผสม (Eggcrate types) เป็นแผงกันแดดผสมทั้งทางตั้งและทางนอนเงาที่จะเป็นการรวบรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้งสองรูปแบบเอาไว้ แผงกันแดดแบบตารางนั้นสามารถป้องกันแสงแดดได้ดีในทิศเหนือ ทิศใต้ ในทิศ ตะวันออก ตะวันตก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้

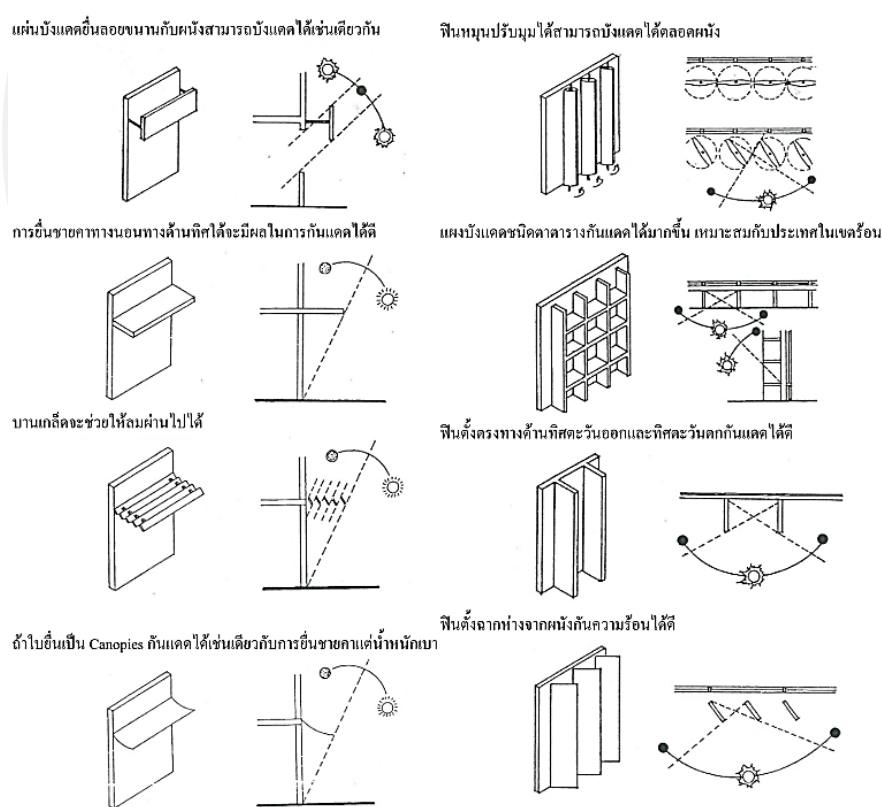
4. แผงกันแดดแบบแผ่นฉลุหลาย มีหลายรูปแบบหลายลักษณะตามรูปแบบที่ผู้ออกแบบต้องการ แต่ในการทดลองเรื่องประสิทธิภาพการกันความร้อนของแผงอะลูมิเนียมฉลุหลาย โดย ยงยุทธ อิมสงวน (2557) พบว่า แผงกันแดดอะลูมิเนียมฉลุหลายที่มีความโปร่ง 20% สามารถต้านทานความ

ร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างได้ดีที่สุด ทั้งนี้อาคารที่ใช้แผงกันแดดอะลูมิเนียมฉลุหลายสีขาวมีความโปร่งเดียวกันสามารถกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่าอาคารที่ใช้แผงกันแดดอะลูมิเนียมฉลุหลายสีดำ

5. แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดขึ้นอยู่กับระยะห่างและขนาดของระแนง แผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ประสิทธิภาพคล้ายกับแผงกันแดดแนวตั้งทั่วไปและสามารถป้องกันแสงแดดได้ดีในทิศตะวันออกและตะวันตกเช่นเดียวกัน

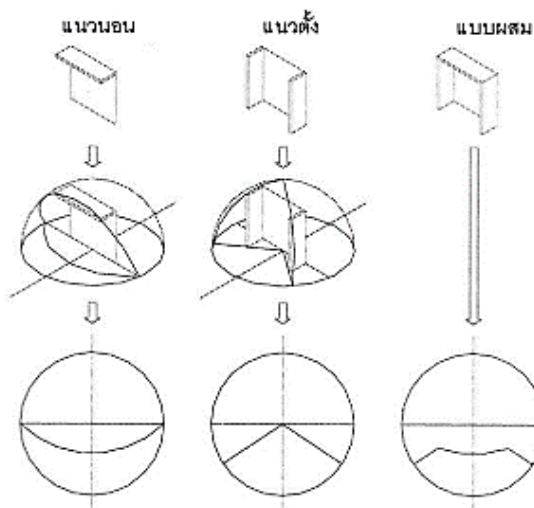
6. แผงกันแดดระแนงแนวนอน ประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดขึ้นอยู่กับระยะห่างและขนาดของระแนงเช่นเดียวกับระแนงแนวตั้ง ให้ประสิทธิภาพคล้ายกับแผงกันแดดแนวนอนคือสามารถป้องกันแสงแดดได้ดีในทิศเหนือและทิศใต้

ภาพที่ 2.28: ลักษณะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ



ที่มา: ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.

ภาพที่ 2.29: ลักษณะการเกิดเงาบนตารางการโคจรของดวงอาทิตย์

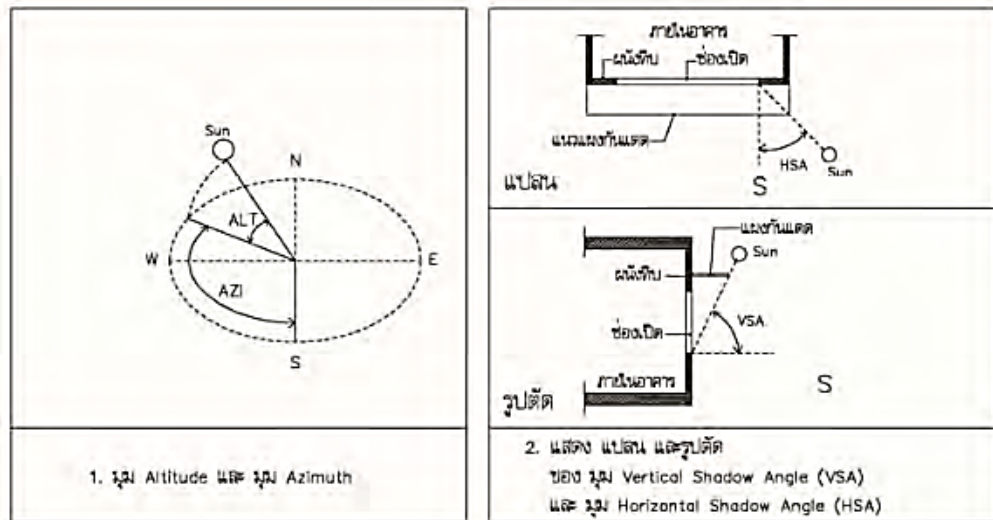


ที่มา: ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.

มุมที่เกิดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ออกแบบแผงกันแดดมุมที่ใช้ประกอบในการออกแบบแผงกันแดด ในการออกแบบแผงกันแดดนั้นต้อง ทราบมุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ชื่อมุมต่าง ๆ เกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (อรุณศักดิ์ ต่อนติ, 2555) และชื่อเฉพาะ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

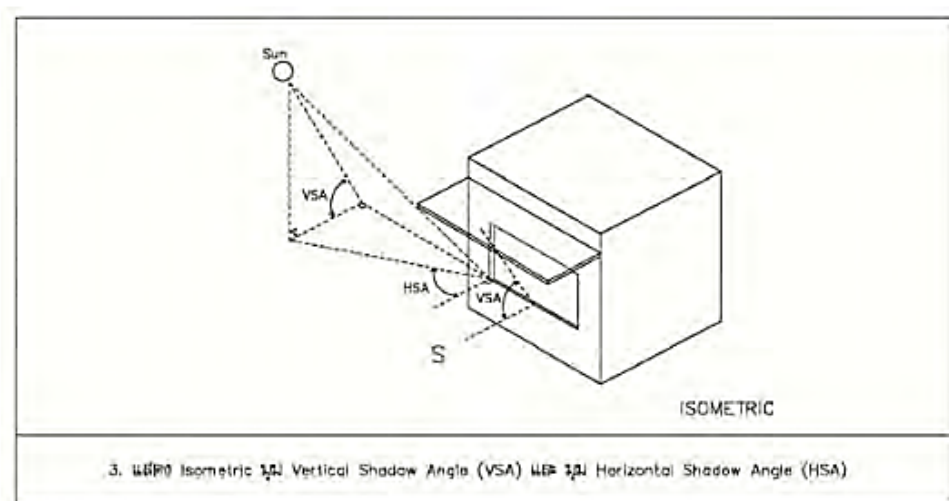
1. The Bearing of wall or window คือมุมในแนวราบจากจุดตำแหน่งดวงอาทิตย์ชี้โดยเส้น Normal to window หรือ Normal to wall
2. Normal to window คือเส้นตั้งฉากกับแนวของหน้าต่าง
3. True South (North East or West) คือทิศที่ชี้แน่นอนในเรื่องแกนของโลกกับทิศทางของอาคารและมุม bearing ของดวงอาทิตย์ ซึ่งทิศเหล่านี้จะหาได้โดยการสำรวจหรือชี้โดยเข็มทิศ
4. Shadow angle เป็นมุมที่แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยอ้างอิงกับผนังอาคารด้านที่ต้องการบังแดด
5. Horizontal shadow angle (HSA) เป็นมุมในแนวพื้นราบระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์และเส้นที่ลากตั้งฉากกับหน้าต่างที่ออกแบบ มุม Horizontal Shadow Angle นั้นจะใช้ในการออกแบบแผงกันแดดในแนวตั้ง
6. Vertical shadow angle (VSA) เป็นมุมในแนวตั้ง ระหว่างดวงอาทิตย์และเส้นที่ลากตั้งฉากกับหน้าต่างที่ออกแบบ มุม Vertical shadow angle นั้นจะใช้ในการออกแบบแผงบังแดดในแนวนอน

ภาพที่ 2.30: แสดงมุม Altitude และมุม Azimuth แพลนของมุม HSA และรูปตัดของมุม VSA



ที่มา: อรุณศักดิ์ ต่อณดี. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุและสีของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาพที่ 2.31: แสดง Isometric ของมุม VSA และมุม HAS



ที่มา: อรุณศักดิ์ ต่อณดี. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุและสีของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาพที่ 2.32: พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากแผงกันแดดเข้าสู่ภายในอาคาร



ที่มา: อรุณศักดิ์ ต่อนติ. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุและสีของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อรุณศักดิ์ ต่อนติ (2555) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของแผงกันแดด ในประเด็นดังต่อไปนี้

1. ลดปริมาณความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร โดยบังแสงแดดที่จะเข้าทางหน้าต่าง จะทำให้ความร้อนที่เกิดจากแสงแดดน้อยลง
2. ป้องกันน้ำฝนที่จะผ่านเข้าสู่อาคารทางช่องเปิดและหน้าต่างในฤดูฝนหรือเวลาที่เกิดฝนตก
3. เพิ่มความสวยงามให้กับตัวอาคาร ในกรณีนี้นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบและความเหมาะสมของรูปแบบของแผงกันแดดกับอาคาร
4. ทำให้ลดการใช้พลังงานแสงสว่างและปรับอากาศ เนื่องจากแผงกันแดดนั้นบังเงาให้หน้าต่าง จึงสามารถนำแสงสว่างจากแสงแดดมาใช้ได้และแผงกันแดดนั้นยังบังเงาให้ผนังบางส่วน ทำให้เกิดการลดการถ่ายเทความร้อนจากผนังได้บางส่วน

กล่าวโดยสรุปคือ การป้องกันแสงแดดให้กับอาคารเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันความร้อนโดยเฉพาะด้านทิศตะวันตกของอาคารกรณีศึกษา การขยายขนาดช่องเปิดแม้ว่าจะเพิ่มกระแสลมในอาคารแต่ก็สร้างโอกาสในการรับรังสีความร้อนจากภายนอกและมวลอากาศร้อนเข้ามาภายในอาคารมาก ควรมีการศึกษาโดยละเอียดในโอกาสต่อไปเพื่อหาระยะและขนาดของแผงกันแดดที่สัมพันธ์กับขนาดของช่องเปิดเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันความร้อน การเพิ่มแผงกันแดดนั้นให้ผลดีที่สุด กรณีขยายขนาดช่องเปิดและทำแผงกันแดดให้ผลดีรองลงมา การคงช่องเปิดเดิมไว้ให้ผลดีน้อยที่สุด (ปรีเปรม โปรงโรสง, 2550)

โดยการถ่ายเทความร้อนจากแผงกันแดดเข้าสู่ภายในอาคารนั้น จะเกิดขึ้นเมื่อแผงกันแดดรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ แสงแดดและความร้อนส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกจากแผงกันแดด และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมในตัววัสดุของแผงกันแดดเมื่อวัสดุของแผงกันแดดมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการนำความร้อน พาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนโดยผ่านช่องเปิดและผนังของอาคารและส่งผลให้ภายในอาคารนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ยังมีปัจจัยของรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อม สะท้อนผิวด้านในแผงกันแดดเข้าสู่ภายนอกเข้าสู่อาคาร และส่งผลให้ ภายในอาคารนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกทางด้วย (อรุณศักดิ์ ต่อนดี, 2555)

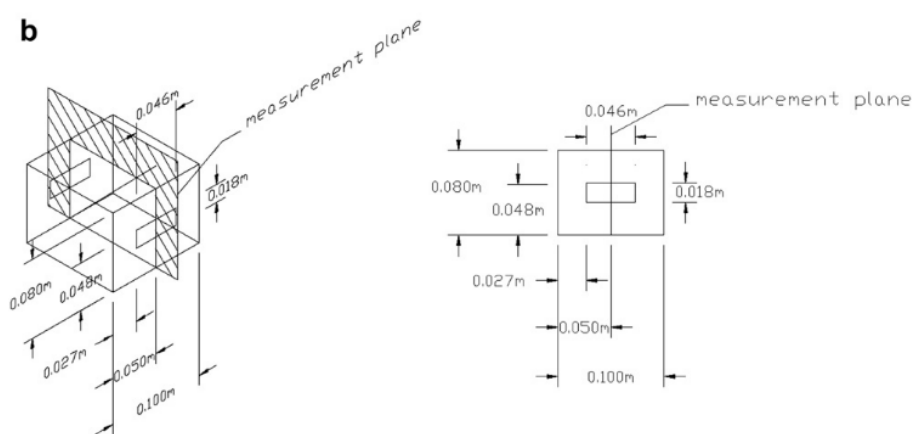
ซึ่งการติดตั้งแผงกันแดดควรหลีกเลี่ยงการถ่ายเทความร้อนจากแผงกันแดดเข้าสู่ตัวอาคาร โดยให้มีจุดเชื่อมต่อระหว่างแผงกันแดดกับตัวอาคารน้อยที่สุด หรือให้มีช่องว่างระหว่างแผงกันแดดกับตัวอาคารเพียงพอเพื่อให้สามารถระบายความร้อนได้ โดยระยะยื่นของอุปกรณ์กันแดดไม่มีผลต่อความเร็วลมที่เข้าสู่อาคาร แต่ระยะห่างและรูปแบบของช่องเปิดของห้องมีผลต่อความเร็วลม การกระจายของลม และการระบายอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร (ปีทมาพร ท่อชู และ ศุทธาศรีเผด็จ, 2557) ซึ่งรูปแบบของอุปกรณ์กันแดดจะมีความสำคัญในการช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้มากกว่าวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์กันแดด จากการทดลองแผงกันแดด 3 ชนิด พบว่าอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (เพียงชีวา ทองสุก, 2550)

2.5 กรณีศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements (Karava et al., 2011)

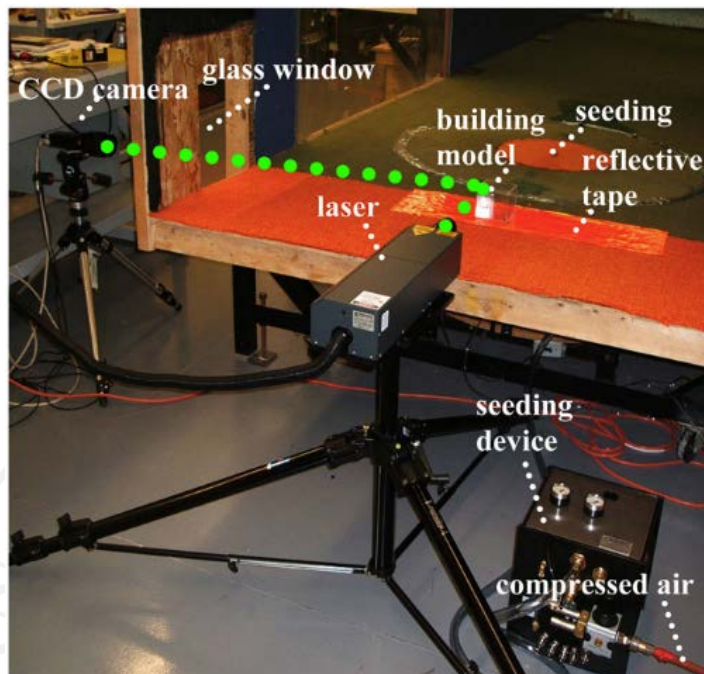
งานวิจัยฉบับนี้ว่าด้วยการทดลองการไหลของอากาศด้วยอุโมงค์ลม ซึ่งทาง Karava และคณะ (2011) ได้สร้างแบบจำลองกล่องขึ้นมาซึ่งมีขนาดเท่ากันโดยมีความกว้างและความลึก 10 เซนติเมตร ความสูง 8 เซนติเมตร โดยมีชุดการทดลองต่าง ๆ ซึ่งมีรูปแบบการวางตำแหน่งของช่องเปิดที่ไม่เหมือนกัน วัดหาค่าความเร็วลมและพฤติกรรมของลมโดยมีผลการทดลอง โดยทางผู้วิจัยจะหยิบยกตัวอย่างผลการทดลองชุดที่ E1 และ A1 มาเป็นกรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.33: แผนภาพแสดงขนาดแบบจำลองและช่องเปิดในการทดลอง



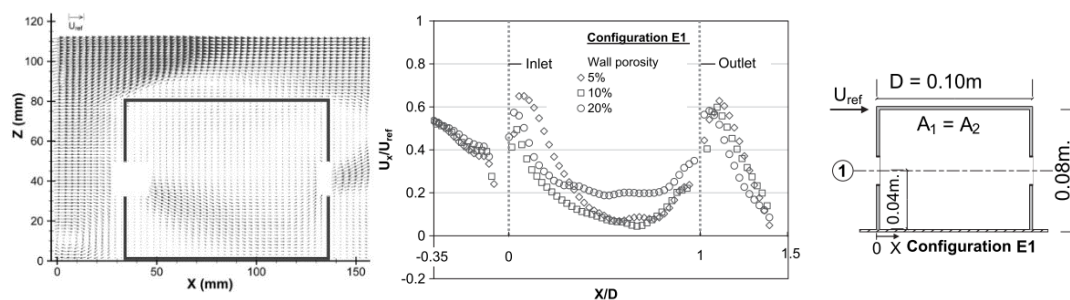
ที่มา: Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2011). Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, 46(1), 266–279.

ภาพที่ 2.34: ภาพชุดการทดลองของ Karava ด้วยการใช้อุโมงค์ลม



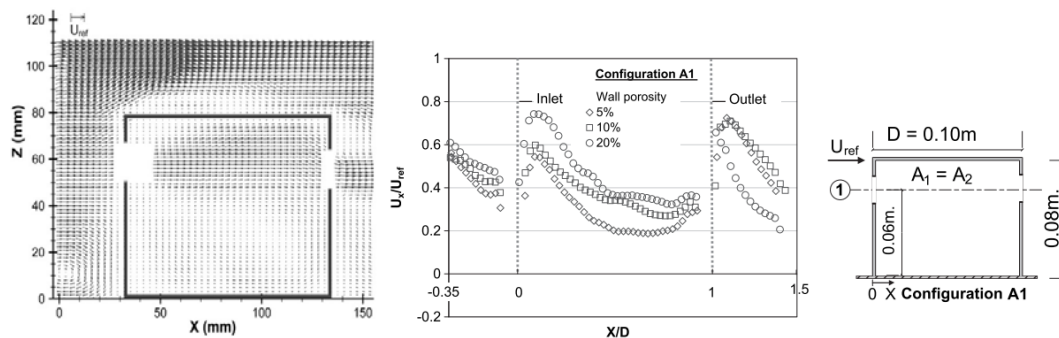
ที่มา: Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2011). Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, 46(1), 266–279.

ภาพที่ 2.35: ผลการทดลองพฤติกรรมและค่าความเร็วลมแบบจำลอง E1



ที่มา: Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2011). Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, 46(1), 266–279.

ภาพที่ 2.36: ผลการทดลองพฤติกรรมและค่าความเร็วลมแบบจำลอง A1

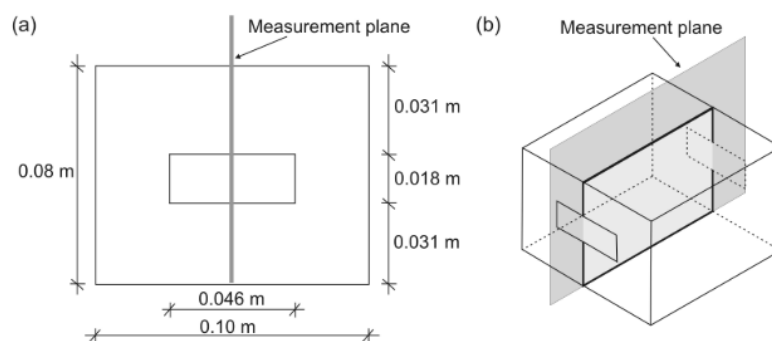


ที่มา: Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2011). Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, 46(1), 266–279.

2.5.2 CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters (Ramponi & Blocken, 2012)

งานวิจัยดังกล่าวเกิดขึ้นหลังจากงานวิจัยในข้อ 2.5.1 โดย Ramponi ได้ทำการศึกษาหัวข้อดังกล่าวภายใต้การกำกับดูแลของ Blocken ได้นำการทดลองของ Karava จากข้อ 2.5.1 มาทำการทดลองซ้ำเพื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่างการทดลองด้วยอุโมงค์ลมและการทดลองด้วยการใช้งานโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล แล้วนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ในการอ้างอิงการตั้งค่าในการใช้งานโปรแกรมหักการต่อไป ซึ่งผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่างานวิจัยของ Ramponi มีส่วนสำคัญที่จะสามารถนำมาใช้ต่อยอดในงานวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างมากเป็นเสมือนแนวทางในการตั้งค่าโปรแกรมที่มีหลักการและเหตุผลทางด้านการทดลองรองรับ โดยการทดลองดังกล่าวได้แยกย่อยทำการทดลองในประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล สามารถสรุปเป็นประเด็นหลัก ๆ ได้ดังต่อไปนี้

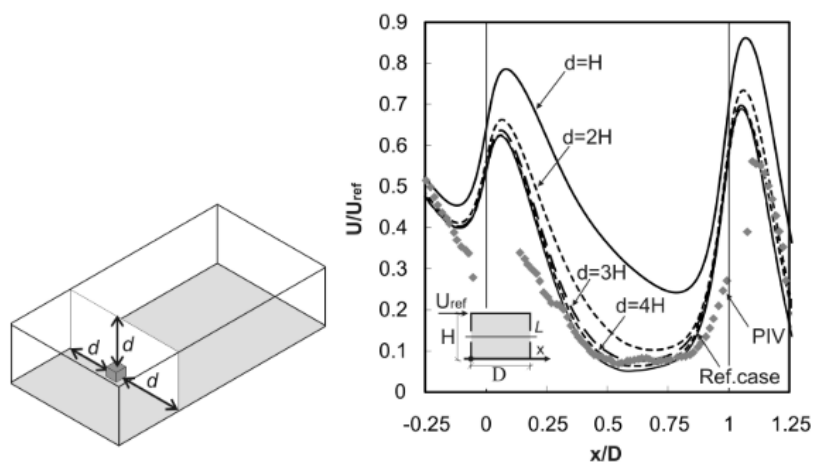
ภาพที่ 2.37: แผนภาพแสดงขนาดแบบจำลองและช่องเปิดตามแบบจำลองของ E1 ของ Karava



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

1. ทำการทดสอบการค่าสัดส่วนขอบเขตของพื้นที่ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ซึ่งหัวข้อดังกล่าว Ramponi ได้ทำการทดลองหาสัดส่วนของพื้นที่ที่ใช้ในการจำลองพลศาสตร์ของไหล โดยใช้ค่าการทดลองเพิ่มตามจำนวน 1 เท่าของความสูงอาคารต้นแบบ ได้แก่ 1H 2H 3H 4H และ 5H ผลปรากฏว่าแบบจำลองที่มีสัดส่วนพื้นที่ 5H มีความแม่นยำในการคำนวณใกล้เคียงกับแบบจำลองของ Karava มากที่สุดหากเทียบค่าจากกราฟเส้นที่ได้

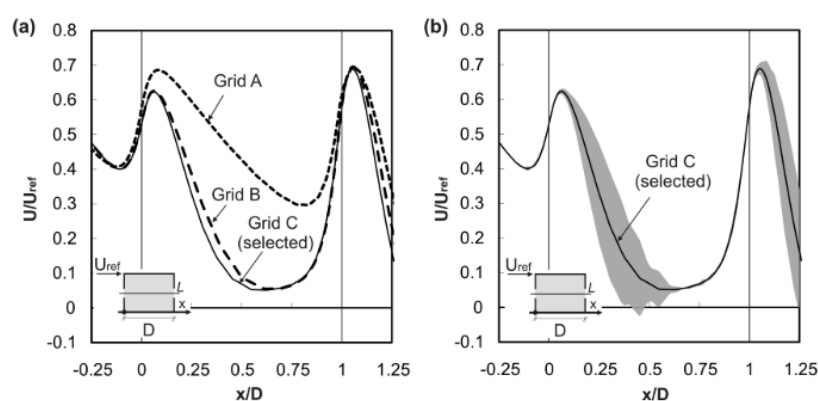
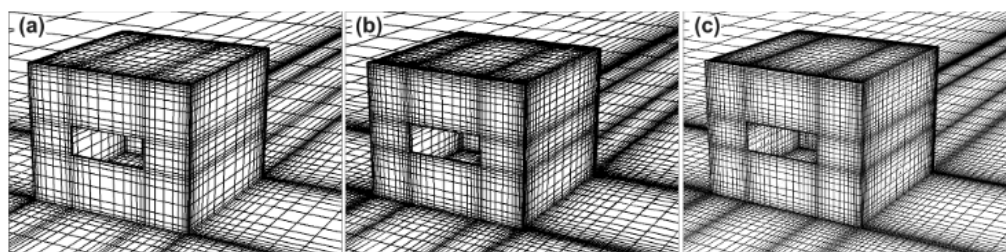
ภาพที่ 2.38: ผลการทดลองการหาค่าสัดส่วนขอบเขตของพื้นที่ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

2. การทดลองหาขนาด Mesh size ก่อนนำแบบจำลองอาคารไปคำนวณพลศาสตร์ของไหล นั้น ผู้ใช้งานโปรแกรมต้องแปลงพื้นผิวของอาคารจากรูปแบบระนาบให้เป็น Mesh model ก่อนซึ่งค่า Mesh size หากมีจำนวนมากจะส่งผลให้ค่าความแม่นยำในการคำนวณมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ส่งผลให้ระยะเวลาในการคำนวณต่อ 1 แบบจำลองนานขึ้นมากอีกด้วย การทดลองนี้จึงได้ศึกษาการสร้าง Mesh ขั้นต่ำที่ให้ความแม่นยำใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Karava โดยได้สร้างจำนวนของ Mesh เอาไว้ 3 ขนาด เรียงความละเอียดกันไปตามลำดับ ได้แก่ แบบจำลอง A มีจำนวน 144,696 หน่วย แบบจำลอง B มีจำนวน 314,080 หน่วย และแบบจำลอง C มีจำนวน 575,247 หน่วย ผลการทดลองที่ได้พบว่าแบบจำลอง C ให้ค่าความแม่นยำในการประมวลผลมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้นำ Mesh size ดังกล่าวมาใช้ในการอ้างอิงเป็นขนาดขั้นต่ำเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เพื่อไม่ให้นักวิจัยใช้เวลาในการคำนวณโปรแกรมนานจนเกินไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณด้วย

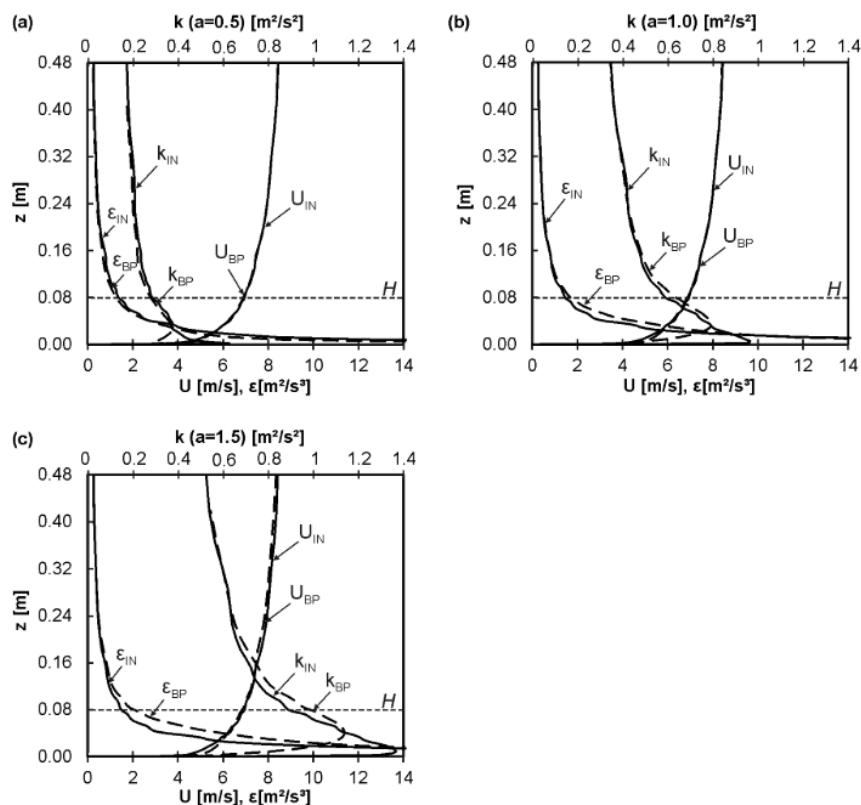
ภาพที่ 2.39: ผลการทดลองการหาขนาด Mesh size เพื่อใช้ในการสร้าง Mesh model



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

3. หาค่า Turbulence kinetic energy (k) ที่เหมาะสม Turbulence kinetic energy หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของ Turbulent fluctuation ซึ่งเป็นสมการทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเป็นอย่างมาก โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการตั้งค่าแบบจำลองภายในโปรแกรม ซึ่งทาง Rompani ได้ทำการทดลองใช้ค่า Turbulence einetic energy จำนวน 3 ค่า ได้แก่ $0.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $1.0 \text{ m}^2/\text{s}^2$ และ $1.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$ โดยสรุปจากการทดลองในหัวข้อดังกล่าวได้ว่าค่า k ที่ $1.0 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับแบบจำลองอ้างอิง E1 ของ Karava มากที่สุด ตามแผนภาพแสดงผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

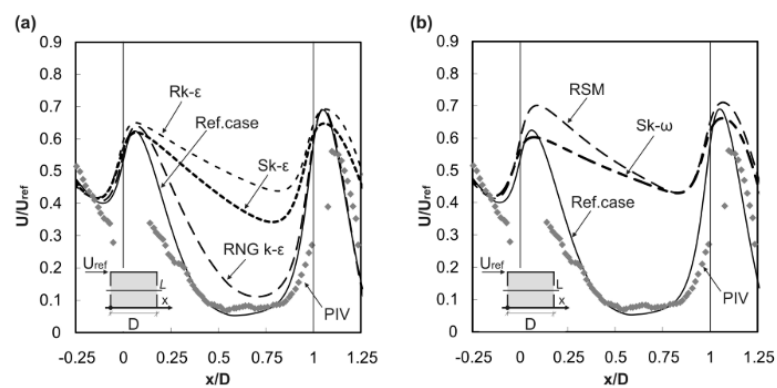
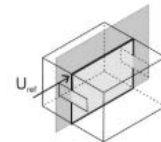
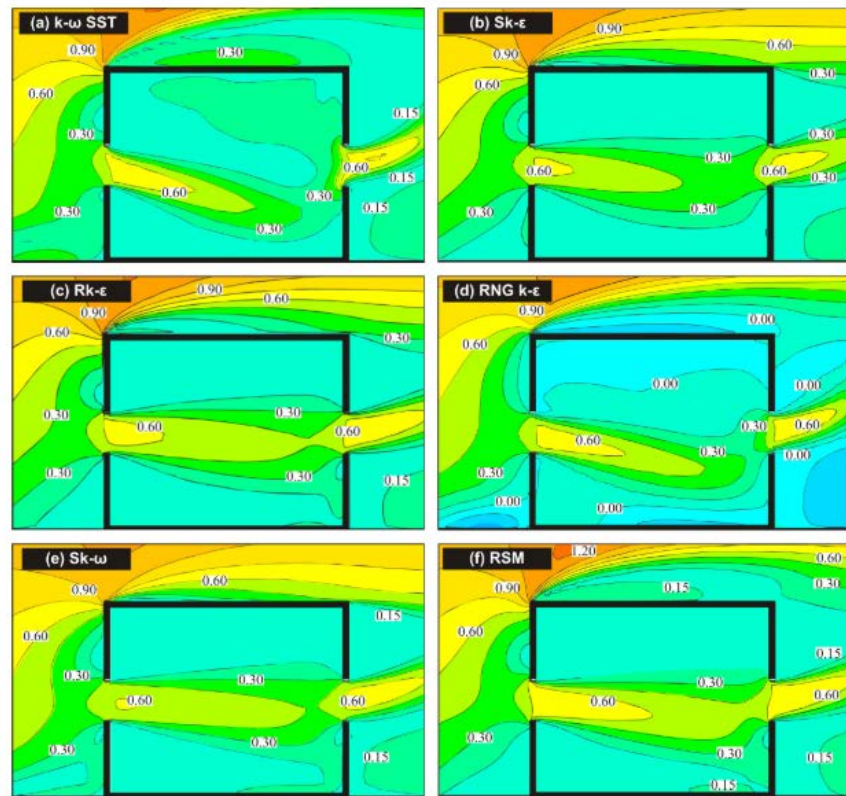
ภาพที่ 2.40: ผลการทดลองการเปรียบเทียบการตั้งค่า Turbulence kinetic energy 3 รูปแบบ



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

4. ทดสอบการหาแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model) ซึ่งเป็นรูปแบบของสภาวะการไหลที่ใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรมของไหล โดยแบบจำลองดังกล่าวมีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างมาก แต่ที่นิยมใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรมของไหลจะเป็นแบบจำลอง k - ω (k - ω) และ k - ϵ (k - ϵ) ซึ่งทั้งสองแบบจำลองก็ได้มีนักฟิสิกส์นำไปปรับปรุงแก้ไขแบบหลากหลายท่านจึงได้มีชื่อลงท้ายแบบจำลองแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ในการทดลองได้ทดลองนำแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน ทั้ง 6 แบบจำลองมาทำการทดลอง ได้แก่ k - ω SST (a) , Sk - ϵ (b), Rk - ϵ (c) , $RNGk$ - ϵ (d), Sk - ω (e) และ RSM (f) ผลการทดลองที่ได้คือ แบบจำลองที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการทดลองอ้างอิงมากที่สุดคือแบบจำลอง k - ω SST (a) ตามผลการทดลองพฤติกรรมของลมและกราฟ ดังภาพต่อไปนี้

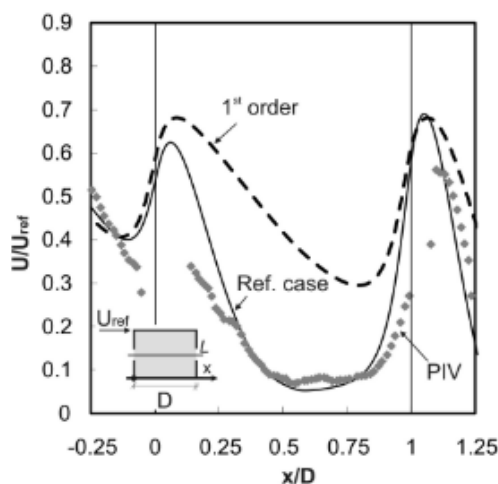
ภาพที่ 2.41: ผลการทดสอบการหาแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model)



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

5. การทดสอบการหารูปแบบสมการแบบไม่ต่อเนื่อง (Discretization scheme) เป็นวิธีการคณิตศาสตร์ โดยทำข้อมูลให้ "ไม่ต่อเนื่อง (Discretization)" เพื่อใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์บางส่วน (Partial diff) วิธีการนี้ทำให้สามารถจำลองทิศทางของการเคลื่อนที่ต่อเนื่องของข้อมูลได้โดยใช้ความต่างของความเบ้เอียงจากทิศทางที่กำหนดเป็นตัวตรวจสอบ ผลการทดลองพบว่ารูปแบบสมการ Second-order upwind scheme (SOU) ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำใกล้เคียงกับผลการทดลองอ้างอิงมากกว่ารูปแบบสมการแบบ First-order upwind scheme (FOU) เพราะเป็นการเพิ่มจุดตรวจสอบจาก 2 จุด เป็น 3 จุด ทำให้ผลจะได้แม่นยำขึ้น

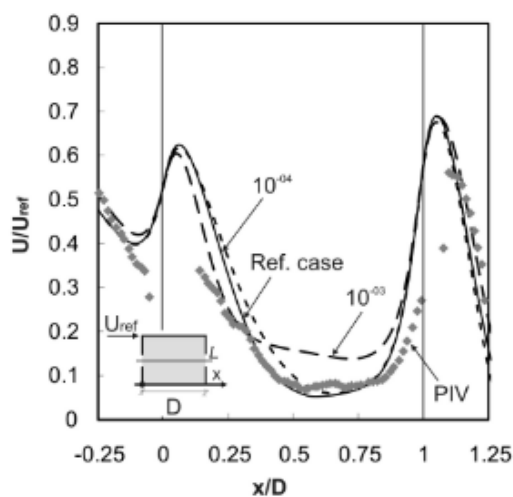
ภาพที่ 2.42: ผลการทดสอบการหารูปแบบสมการแบบไม่ต่อเนื่อง (Discretization scheme)



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

6. ค่าระดับ Iterative convergence เป็นรูปแบบการคำนวณทางคณิตศาสตร์กล่าว คือ ค่าการวนคำนวณซ้ำซึ่งค่าดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณอย่างมีนัยสำคัญโดยมีรูปแบบเป็นทศนิยมหลายตำแหน่ง ในการทดลองได้ทดสอบโดยใช้ค่า 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} โดยผลการทดลองค่าที่แม่นยำที่สุดได้แก่ค่า 10^{-5} ตามแผนภาพสรุปการทดลองดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.43: แผนภาพการทดลองหาค่าระดับ Iterative convergence ที่เหมาะสม



ที่มา: Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.

โดยจากงานทดลองของ Ramponi และ Blocken (2012) ผู้วิจัยได้ศึกษาและเห็นว่าการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยฉบับนี้ได้ ซึ่งผลการทดลองที่นำมาใช้อ้างอิงได้มีการทดลองโดยอ้างอิงผลกับงานวิจัยฉบับอื่นเปรียบเทียบกันในแต่ละประเด็นสำคัญอันเป็นหัวใจหลักของการตั้งค่าโปรแกรมดังกล่าว ทั้งนี้สามารถสรุปแนวทางการนำผลการทดลองไปใช้ในบทต่อไปได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.11: ตารางสรุปวิธีการตั้งค่าโปรแกรม CFD จากการทดลองของ Ramponi และ Blocken

	สัดส่วนขอบเขตของพื้นที่ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล	Mesh Sizing	Turbulence Kinetic Energy (k)	Turbulence Model	Discretization Scheme	Iterative Convergence
Ref. case	$H_D=5H$	575,247	1.0	k- ω SST	2 nd order	10^{-5}
	$H_D=4H$	314,080	0.5	Sk- ϵ	1 st order	10^{-4}
	$H_D=3H$	141,696	1.5	Rk- ϵ		10^{-3}
	$H_D=2H$			RNGk- ϵ		10^{-2}
	$H_D=1H$			Sk- ω		
				RSM		

2.6 บทสรุปจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการบทวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบถึงปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบในภาพรวมของงานวิจัย โดยผู้วิจัยสามารถระบุตัวแปร ตัวชี้วัด รวมถึงกระบวนการในการดำเนินงานวิจัยได้ ซึ่งบทสรุปการนำบทวรรณกรรมไปปรับใช้กับงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.12: ตารางสรุปข้อค้นพบที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

หัวข้อวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	ข้อค้นพบที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
1.สภาวะน่าสบายเชิง อุณหภูมิ	1.ลมธรรมชาติเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายเชิง อุณหภูมิภายในร่างมนุษย์ 2.ศึกษาหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าดัชนีชี้วัดสภาวะน่าสบาย เพื่อ ศึกษาการกำหนดตัวแปรตามของงานวิจัย 3.เลือกใช้ดัชนีชี้วัดสภาวะน่าสบายที่เหมาะสมกับรูปแบบของ งานวิจัย
2.การใช้ลมเพื่อให้เกิด สภาวะน่าสบายในมนุษย์	หลักการ กระบวนการ และวิธีการใช้ลมเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย ส่งผลในการกำหนดตัวแปรอิสระของงานวิจัย
3.ทฤษฎีแนวทางการ ออกแบบเพื่อส่งเสริมสภาวะ น่าสบายภายในอาคาร	1.กระบวนการและวิธีการใช้ลมเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายด้วยวิธี ต่าง ๆ ทางธรรมชาติ 2.เป็นตัวช่วยในการกำหนดรูปแบบการทดลองและแบบจำลอง รวมถึงกำหนดตัวแปรควบคุมในงานวิจัย
4.การออกแบบแผงกันแดด ในประเทศ	1.หลักการออกแบบและการเลือกใช้แผงกันแดดให้เหมาะสมกับ ทิศทางแผงกันแดดตามพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย 2.แผงกันแดดที่ส่งผลต่อการกันแดดในแต่ละทิศทาง เพื่อคัดเลือก และกำหนดรูปแบบชุดการทดลอง
5.กรณีศึกษาและงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง	1.ศึกษาการรูปแบบการนำเสนอข้อมูลทั้งในเชิงกราฟิกและเชิงสถิติ 2.นำรูปแบบการตั้งค่าการใช้งานโปรแกรมมาใช้ในการอ้างอิงใน งานวิจัย

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการวิจัยจากแบบจำลองอาคารและการหาความเร็วลมด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลในรูปแบบของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ หรือ Computational fluid dynamics (CFD) โดยผู้วิจัยได้เลือกศึกษาเฉพาะในเรื่องของลมที่พัดผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ที่สามารถทำให้เกิดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิแก่มนุษย์ โดยนำกระบวนการทดลองที่ได้ตั้งแต่วิธีการกำหนดตัวแปรอิสระไปจนถึงการได้ผลการทดลองซึ่งเรียกกันว่าตัวแปรตามมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับหลักเกณฑ์สภาวะน่าสบายเอาไว้จากกระบวนการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ศึกษาหาวิธีการที่จะทำให้แผงกันแดดช่วยในเรื่องของการรับลมเข้าสู่อาคารได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยจะสรุปหาแนวทางการออกแบบแผงกันแดดที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง และนำแนวทางการออกแบบที่ได้นำเสนอเป็นแนวทางของการออกแบบตึกแถว ทั้งโครงการที่ได้รับการออกแบบใหม่และโครงการที่ได้รับการปรับปรุงอาคารเดิมในอนาคตต่อไป โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

- 3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย
 - 3.1.1 กำหนดตัวแปรงานวิจัย
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย
 - 3.2.1 เครื่องมือวัดค่าความเร็วลม
 - 3.2.2 โปรแกรมสร้างแบบจำลองโมเดลสามมิติ
 - 3.2.3 โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล Computational fluid dynamics (CFD)
- 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย
 - 3.3.1 กำหนดแนวทางการประเมินสภาวะน่าสบาย
 - 3.3.2 กำหนดแบบจำลองอาคารและสภาพแวดล้อม
 - 3.3.3 กำหนดรูปแบบแผงกันแดดประจำทิศทาง
 - 3.3.4 กำหนดทิศทางการวางอาคารและตำแหน่งรูปแบบช่องเปิด
 - 3.3.5 ทำการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล
 - 3.3.6 จัดรูปแบบชุดการทดลองและกำหนดค่าความเร็วลมประจำทิศทาง
 - 3.3.7 วิธีการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล
 - 3.3.8 กระบวนการบันทึกและแสดงผลการทดลอง
 - 3.3.9 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย

รูปแบบของการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดการทดลองในรูปแบบของการสร้างแบบจำลองขึ้นและทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนตัวแปรอิสระในทุกชุดการทดลอง ส่งผลทำให้เกิดชุดการทดลองที่มีจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้มีการกำหนดแนวทางการออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัยก่อนเข้าสู่กระบวนการทดลองจริง เพื่อกำหนดรูปแบบของการทดลองที่แน่นอนเลือกศึกษาหาค่าเฉพาะต่าง ๆ อย่างมีหลักการ ทั้งนี้เพื่อที่จะไม่ให้งานวิจัยดำเนินการนอกเหนือขอบเขตงานวิจัยที่ได้ถูกกำหนดเอาไว้ในบทที่ 1 อีกด้วย

3.1.1 กำหนดตัวแปรงานวิจัย

นอกจากตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่เป็นตัวแปรหลักของงานวิจัยแล้ว ผู้วิจัยเลือกกำหนดตัวแปรที่เรียกว่าตัวแปรควบคุมและตัวแปรแทรกซ้อนเพื่อควบคุมกระบวนการทดลองดังที่กล่าวมาในข้างต้นอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อควบคุมชุดการทดลองของงานวิจัยให้เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน โดยการเปลี่ยนแปรค่าในตัวแปรอิสระเพียงเท่านั้น ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่มีความสัมพันธ์กันตลอดงานวิจัย ตามแผนภาพและรายละเอียดตัวแปร ดังต่อไปนี้

ตัวแปรอิสระ (Independent variable)

ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรตั้งต้นที่ผู้วิจัยเลือกจากการศึกษาค้นคว้าวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงไปถึงการกำหนดตัวแปรที่มีผลไปสู่ตัวแปรตามให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งตัวแปรตามจะมีค่าและรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามคุณลักษณะของตัวแปรนั้น ๆ โดยตัวแปรอิสระในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. รูปแบบของแผงกันแดด
2. องศาของแผงกันแดด
3. ทิศทางบริเวณหน้าอาคาร (ที่ติดตั้งแผงกันแดด)

ตัวแปรตาม (Dependent variable)

ตัวแปรตามคือผลที่เกิดมาจากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรอิสระของงานวิจัยภายใต้ขอบเขตงานวิจัยและวัตถุประสงค์งานวิจัย อาจกล่าวได้ว่าตัวแปรตาม เป็นผลที่เกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของแผงกันแดด องศา และความเร็วลมประจำในแต่ละทิศทาง และในกระบวนการของการสรุปผลการทดลองเพื่อเสนอแนะเป็นแนวทางในการออกแบบนั้น จะทำการวิเคราะห์จากตัวแปรตามที่แสดงออกในรูปแบบของข้อมูลทั้งทางด้านกราฟิกและสถิติ โดยตัวแปรตามในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. ความเร็วลมที่เข้าสู่อาคาร (ผ่านแผงกันแดด)
2. สภาวะนำสบายเชิงอุณหภูมิตามเกณฑ์การประเมินด้วยค่า PMV)

ตัวแปรแทรกซ้อน (Extraneous variable)

ตัวแปรแทรกซ้อนเป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยทำการศึกษาจากค้นคว้าวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแล้วพบว่าผลทำให้ค่าของตัวแปรตามเปลี่ยนไป แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นตัวแปรดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงไม่พิจารณาตัวแปรแทรกซ้อนในงานวิจัย แต่จะระบุชนิดของตัวแปรให้ทราบ เพื่อนำไปสู่การเสนอแนะต่อยอดการศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องต่อไป โดยตัวแปรแทรกซ้อนในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. ระยะห่างระหว่างอาคาร
2. ความสูงของอาคารโดยรอบ
3. ผนังกันภายในอาคาร

ตัวแปรควบคุม (Control variable)

ตัวแปรควบคุมเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญกับงานวิจัยโดยเฉพาะงานวิจัยประเภทการทดลองเป็นอย่างมาก เพราะจะช่วยในการควบคุมชุดการทดลองให้มีความเหมือนและสอดคล้องกันตามขอบเขตของงานวิจัยควบคุมให้ตัวแปรอิสระแสดงผลต่อตัวแปรตามได้โดยตรง โดยตัวแปรควบคุมในงานวิจัยมี 2 ประเภทย่อยดังต่อไปนี้

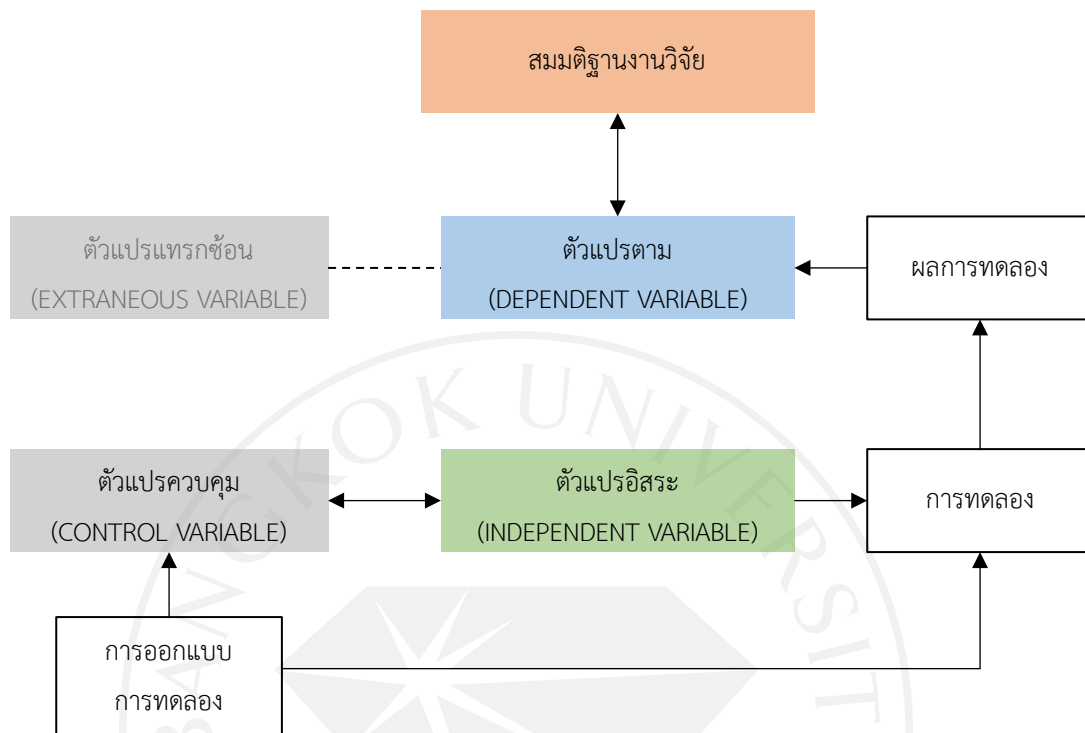
ตัวแปรควบคุมที่สามารถปรับเปลี่ยนตามลักษณะจำเพาะของชุดการทดลอง

1. ความเร็วลมประจำทิศทางต่าง ๆ
2. การตั้งค่าพื้นฐานของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

ตัวแปรควบคุมที่กำหนดลักษณะให้คงที่

3. รูปทรงและขนาดของอาคาร
4. ตำแหน่งและขนาดของช่องเปิด
5. วัสดุของแผงกันแดด
6. ระยะห่างระหว่างแผงกันแดด
7. ความหนาของแผงกันแดด

ภาพที่ 3.1: แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการกำหนดตัวแปรที่สอดคล้องกับการทดลอง



จากแผนภาพจะพบว่าตัวแปรต่างๆของงานวิจัยมีความสัมพันธ์กันในทุกมิติของการทดลอง ตั้งแต่ตัวแปรควบคุมที่เข้ามาควบคุมชุดการทดลองรวมถึงขั้นตอนการออกแบบการทดลองทำให้ตัวแปรอิสระส่งผลต่อการทดลองโดยตรงนำไปสู่ตัวแปรตาม แต่ก็ยังมีตัวแปรแทรกซ้อนที่ส่งผลให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้แต่ไม่ถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากอยู่นอกเหนือขอบเขตงานวิจัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

จากแนวทางในการดำเนินงานวิจัยในข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้งานเครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงที่สามารถหาค่าตัวแปรตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ โดยซอฟต์แวร์หลักของงานวิจัยฉบับนี้จะเน้นไปที่การจำลองลักษณะทางกายภาพของอาคารเพื่อนำไปเข้าสู่โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) รายละเอียดรวมทั้งที่มาของซอฟต์แวร์หลัก รวมถึงเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัย มีรายละเอียดและรูปแบบการใช้งาน ดังต่อไปนี้

3.2.1 เครื่องมือวัดค่าความเร็วลม

ภาพที่ 3.2: ภาพเครื่องมือวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิ Testo 405i



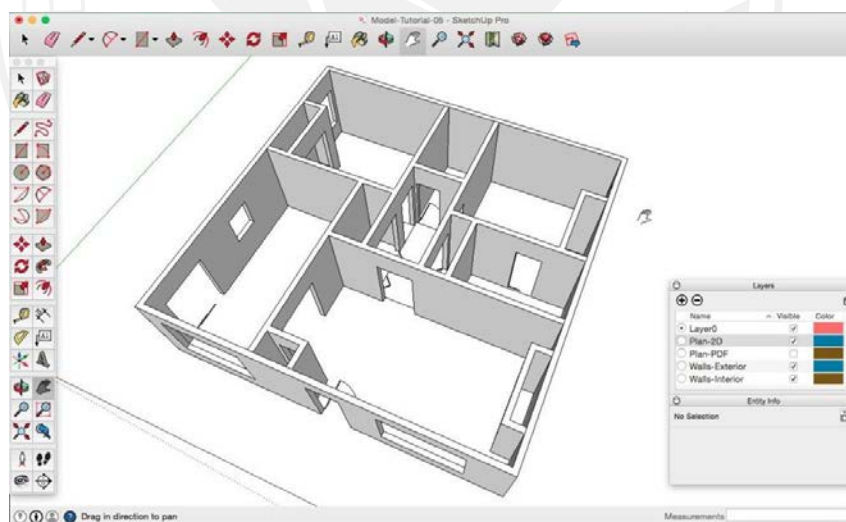
Testo 405i เป็นเครื่องมือที่เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย ซึ่งมีคุณสมบัติตรวจวัดความเร็วลม อีกทั้งยังช่วยวัดอุณหภูมิ ณ จุดที่เซนเซอร์ตั้งอยู่ เครื่องมือดังกล่าวได้รับมาตรฐานการรับรอง ISO 9001:2018 และ ISO/IEC 17025:2005 วัดช่วงของอุณหภูมิได้ในช่วง -20 ถึง $+60$ °C มีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ ± 0.5 °C และมีช่วงการวัดค่าความเร็วลมอยู่ที่ 0 ถึง 30 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความเร็วลมอยู่ที่ $\pm(0.1 \text{ m/s} + 5 \% \text{ of mv})$ (0 to 2 m/s) , $\pm(0.3 \text{ m/s} + 5 \% \text{ of mv})$ (2 to 15 m/s) โดยเครื่อง Testo 405i นั้นสามารถเก็บข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตได้อีกด้วย ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เริ่มต้นในงานวิจัยฉบับนี้ โดยนำค่าที่ตรวจวัดได้ นำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลในโปรแกรม CFD เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือทั้งในรูปแบบของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ควบคู่กันไป

3.2.2 โปรแกรมสร้างแบบจำลองโมเดลสามมิติ

โปรแกรมออกแบบโมเดลสามมิติ สามารถออกแบบอาคารได้ทั้งบ้านเรือนหรือโมเดลสามมิติต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถจำลองแบบสามมิติ สำหรับการใช้งานด้านการวาดภาพสามมิติที่หลากหลาย เช่น สถาปัตยกรรมการออกแบบตกแต่งภายใน สถาปัตยกรรมวิศวกรรมโยธา และเครื่องกล ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว เหมาะสำหรับสถาปนิกและนักศึกษา ที่ต้องการออกแบบอาคารหรือโมเดลต่าง ๆ เพื่อคำนวณงบประมาณเบื้องต้น ทำให้ประหยัดเงินและเวลาเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังสามารถใช้ในการออกแบบภาพยนตร์ และวิดีโอเกมต่าง ๆ ได้อีกด้วย นิยมใช้โดยนักออกแบบมืออาชีพ มาพร้อมกับเครื่องมือและฟังก์ชันในการออกแบบมากมาย พร้อมด้วยอินเทอร์เฟซที่เรียบง่ายสามารถใช้งานได้อย่างง่ายดายและมีประสิทธิภาพ

โดยโปรแกรมห้กล่าวจะถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารกลุ่มเป้าหมาย และแบ่งกันแต่ในรูปแบบต่าง ๆ ก่อนจะนำไปเข้าสู่โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล ซึ่งรูปแบบและแนวทางในการสร้างแบบจำลองอาคารจะถูกกล่าวถึงในส่วนถัดไป

ภาพที่ 3.3: รูปแบบและอินเทอร์เฟซของการทำงานโปรแกรมสร้างแบบจำลองโมเดลสามมิติ



3.2.3 โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล Computational fluid dynamics (CFD)

โปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม โดยโปรแกรมห้กล่าวมีความแม่นยำในการประมวลผลสูง และมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ทุกศาสตร์ทางด้านวิศวกรรม ทั้งด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) ด้านกลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) และด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) รวมถึงด้านที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์

(Electronics) นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถวิเคราะห์ทุกศาสตร์ร่วมกันได้โดยไม่มีข้อจำกัดทำให้เป็นโปรแกรมที่นิยมอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในหลักสูตรการเรียนการสอนและงานวิจัยในมหาวิทยาลัยหลายแห่ง

ภาพที่ 3.4: รูปแบบการทำงานของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล



โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้นได้เข้ามาแทนที่วิธีการแบบเดิม ที่มีขั้นตอนค่อนข้างมากและหาห้องทดลองรวมทั้งอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก ในยุคสมัยใหม่จึงได้มีการคิดค้นโปรแกรมในการช่วยคำนวณพลศาสตร์ของไหลขึ้นซึ่งโปรแกรมห้างกล่าวนั้นมีประสิทธิภาพในการจำลองของไหลเป็นอย่างมากอีกทั้งยังแสดงผลในรูปแบบของกราฟที่มีสีสันและข้อมูลเชิงคณิตศาสตร์อย่างละเอียด โดยสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล อุโมงค์ลม และโต๊ะจำลองของไหลได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1: ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือในการจำลองการไหลของของเหลว

คุณสมบัติ	โต๊ะจำลองของไหล	อุโมงค์ลม	การคำนวณพลศาสตร์ของไหล
ความถูกต้องแม่นยำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความครบถ้วนของข้อมูล	ต่ำ(เฉพาะรูปแบบการไหลในแบบสองมิติ)	ปานกลาง(ครบถ้วน ยกเว้นอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซ)	ครบถ้วน

(ตารางมีต่อ)

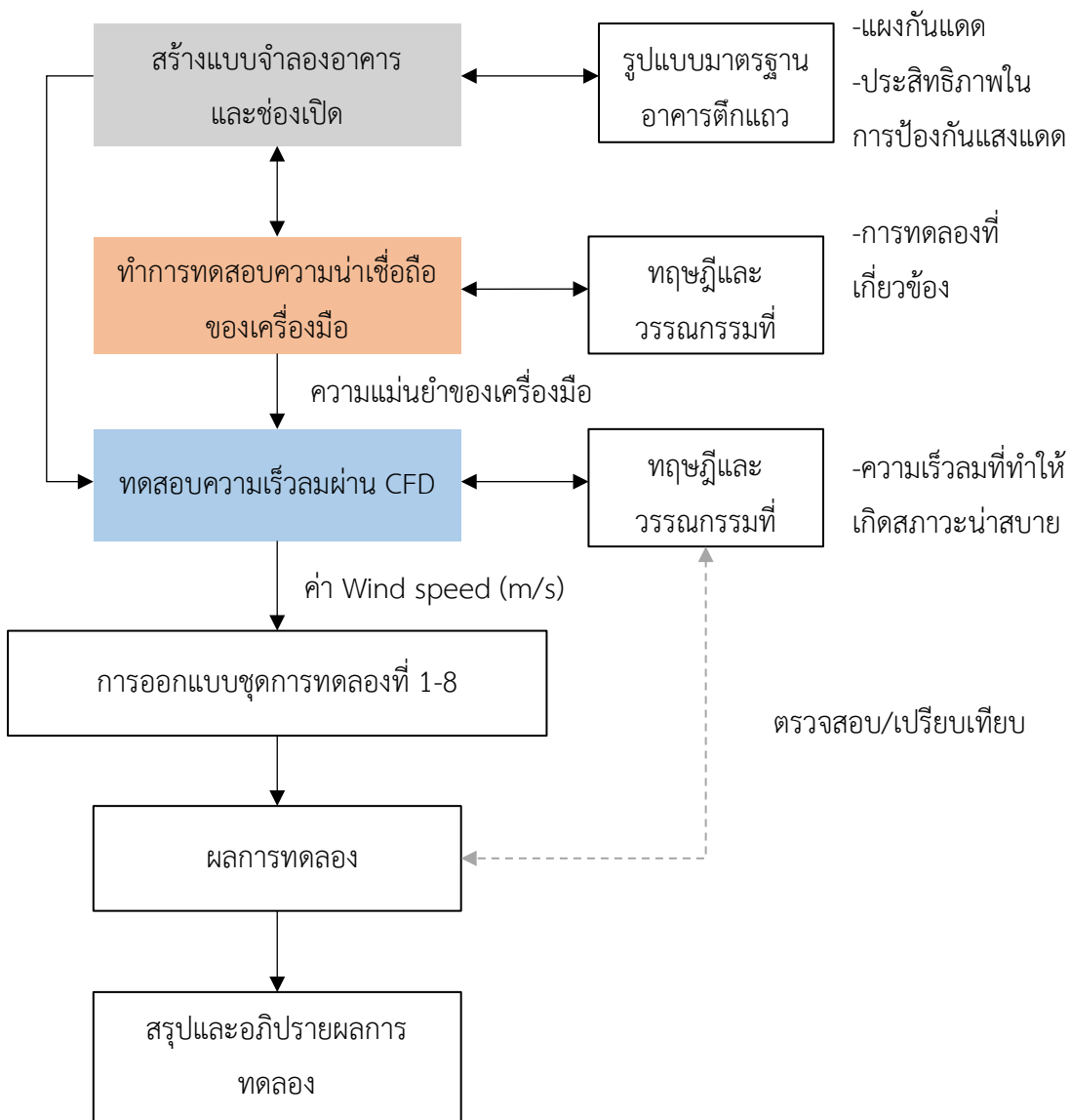
ตารางที่ 3.1(ต่อ): ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือในการจำลองการไหลของของเหลว

คุณสมบัติ	โต๊ะจำลองของไหล	อุโมงค์ลม	การคำนวณพลศาสตร์ของไหล
สร้างความเข้าใจต่อผล การจำลอง	ปานกลาง(ด้วยสี ของของเหลวที่ผสม กับน้ำ)	ยาก (ด้วยควันทที่ผสม กับอากาศและค่าที่วัด ได้)	ง่าย(ด้วยกราฟิกส์และ เวกเตอร์)
ค่าใช้จ่าย	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
ระยะเวลา	สั้น	นาน	ปานกลาง
ความต้องการความรู้ พิเศษ	น้อย	ปานกลาง	มาก
ความเหมาะสมกับ กระบวนการออกแบบ สถาปัตยกรรม	ขั้นต้น	ขั้นปลาย	ตั้งแต่ขั้นต้นถึงขั้น ปลาย

ที่มา: เฉลิมนวัฒน์ ต้นตสวัสดิ์. (2547). เครื่องช่วย (สลาย) ฝันสถาปนิก: การคำนวณพลศาสตร์ของไหลสรรค์สร้างอาคารสบาย. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์.

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าการใช้โปรแกรมในการคำนวณพลศาสตร์ของไหลนอกจากจะมี ความถูกต้องและแม่นยำค่อนข้างสูง สามารถปรับใช้กับการทดลองของไหลเชิงบูรณาการทั้งใน รูปแบบของทางเคมี ลมธรรมชาติและด้านอื่น ๆ อีกมากมาย อีกทั้งยังมีรูปแบบของการแสดงผลของ ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ ประหยัดค่าใช้จ่ายรวมถึงใช้เวลาในการทดลองไม่นาน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผู้ที่ทำ การทดลองใช้โปรแกรมหวังว่าต้องมีความรู้ในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ระบุลงในโปรแกรมใช้ ครบถ้วนและชัดเจน โปรแกรมจึงจะคำนวณค่าความเร็วลมและอุณหภูมิออกมาได้อย่างแม่นยำ ครบถ้วนซึ่งกระบวนการออกแบบงานวิจัยนั้น ผู้วิจัยจะอธิบายในบทต่อไป

ภาพที่ 3.5: แผนภาพแสดงขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบการทดลอง



3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

เมื่อกำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อกำหนดขอบเขตของงานวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์แล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการทำการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

3.3.1 กำหนดแนวทางการประเมินสภาวะน่าสบาย

การกำหนดแนวทางในการประเมินสภาวะน่าสบายเป็นการระบุเป้าหมายของผลการทดลองที่ได้โดยข้อมูลต่าง ๆ นั้นได้มาจากข้อมูลทางสถิติและข้อมูลที่ได้จากการทดลองในบทบทวนวรรณกรรมที่ได้ค้นคว้านำมาสรุปแยกย่อย กล่าวได้ว่า ณ ความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทยในภาคกลางมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 73 % (ข้อมูลจากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา) จะมีค่าของอุณหภูมิและลมที่แปรผันตามกันไป กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นลมที่พัดผ่านแรงขึ้นจะช่วยจำกัดขอบเขตความรู้สึกของมนุษย์ให้อยู่ในขอบเขตของสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิได้ ทั้งนี้ความเร็วลมจะต้องไม่สูงเกินกว่า 1.50 m/s เพื่อไม่ให้เกิดความรำคาญหรือทำให้เกิดการรบกวนการทำกิจกรรมภายในอาคาร ซึ่งช่วงของสภาวะน่าสบายของคนไทยเป็นช่วงที่กว้างกว่าเกณฑ์ตามมาตรฐานของต่างประเทศ รวมทั้งค่า PMV มบ่งบอกถึงสภาวะน่าสบายโดยรวมภายในอาคารควรอยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 ซึ่งจากรวบรวมการทดลองเรื่องสภาวะน่าสบายของคนไทยสามารถนำมาสรุปเป็นหลักเกณฑ์ในการทดลองได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2: สรุปหลักเกณฑ์ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิในการทดลองฉบับนี้

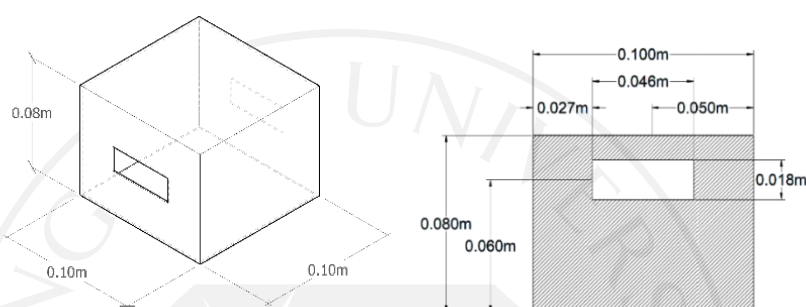
หลักเกณฑ์ซึ่งเป็นตัวชี้วัด สภาวะน่าสบายเชิง อุณหภูมิ	ความเร็วลม	อุณหภูมิ	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ค่า PMV
	(m/s)	(°C)		
	0.20	27.20	73	-0.5 ถึง +0.5
	0.50	28.29		
	1.00	30.27		
	1.50	31.24		

3.3.2 กำหนดแบบจำลองอาคารและสภาพแวดล้อม

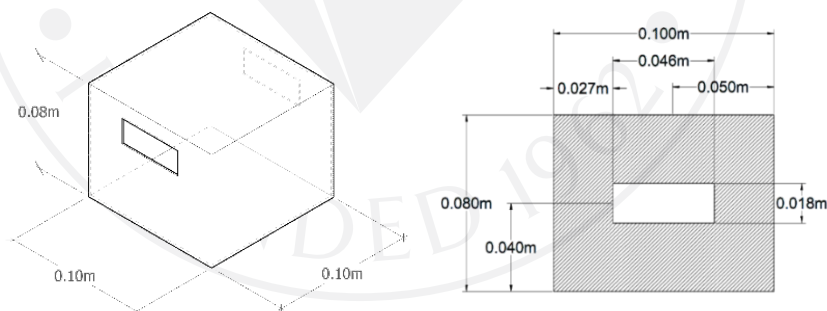
ในการกำหนดแบบจำลองของอาคารและสภาพแวดล้อมนั้นผู้วิจัยเลือกทำการทดลองแบบจำลอง 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบจำลองกล่องสี่เหลี่ยมตามรูปแบบงานวิจัยของ Karava เพื่อนำการ

ทดลองดังกล่าวมาทำการทดลองซ้ำเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของซอฟต์แวร์คำนวณพลศาสตร์ของไหลเปรียบเทียบกับ ส่วนแบบจำลองอีกรูปแบบหนึ่งคือแบบจำลองตึกแถวที่ผู้วิจัยจะนำมาติดตั้งแผงกันแบบรูปแบบต่าง ๆ ทำการทดลอง ตามรูปแบบการทดลองที่ได้วางไว้ โดยรูปแบบและขนาดของแบบจำลองในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

ภาพที่ 3.6: แบบจำลองกล่องตันแบบ E1 ตามการทดลองของ Karava



ภาพที่ 3.7: แบบจำลองกล่องตันแบบ A1 ตามการทดลองของ Karava



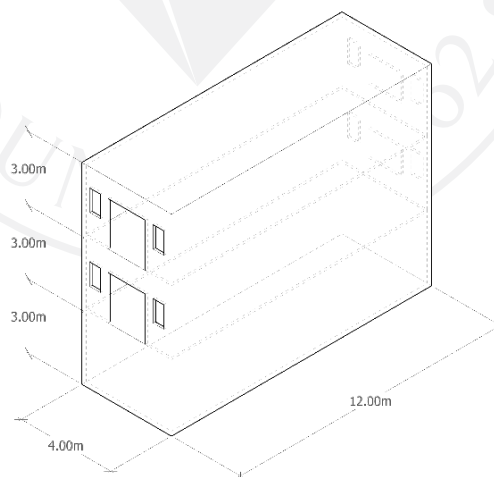
แบบจำลองตึกแถวผู้วิจัยเลือกใช้แบบอาคารตึกแถวมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง เลือกระดับเฉพาะชั้น 2 และชั้น 3 มีขนาดอาคารหน้ากว้าง 4.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร มีอัตราส่วน ความกว้างและความยาวไม่เกิน 1:3 ซึ่งจะเลือกตัดองค์ประกอบของอาคารที่ไม่จำเป็นออกทั้งนี้เพื่อ ลดขนาดของแบบจำลองให้เหลือในส่วนที่ต้องการจะศึกษาและเลือกศึกษาบริเวณคูหาที่อยู่ระหว่าง กลางด้านใน โดยยังช่วยลดปริมาณของ Mesh ที่ใช้ในการคำนวณซึ่งจะพุดถึงในหัวข้อต่อ ๆ ไป ทั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกแบบจำลองอาคารดังกล่าวด้วยเหตุผลดังนี้

ก. อาคารตึกแถวโดยส่วนมากจะสร้างขนาดหน้ากว้าง 4.00 เมตร และ 5.00 เมตร เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านกฎหมายตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (ข้อ 1) ที่ระบุให้สร้างอาคารตึกแถวติดต่อกันได้ไม่เกิน 40 เมตร ทางนักพัฒนาอสังหาริมทรัพย์จึงนิยมสร้างตึกแถวที่หน้ากว้าง 4.00 เมตร ลงตัวที่ 10 คูหาและ ตึกแถวหน้ากว้าง 5.00 เมตร ลงตัวที่ 8 คูหาพอดี สร้างความคุ้มค่าต่อการลงทุนและการใช้สอยที่ดิน

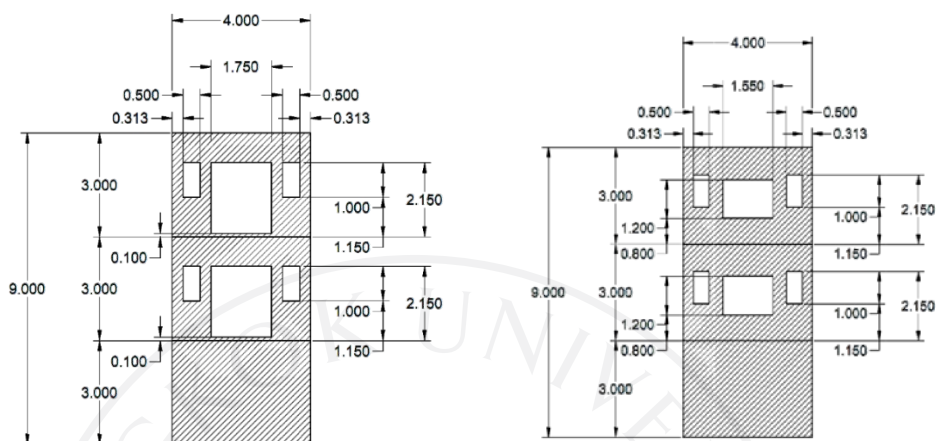
ข. อาคารหน้ากว้าง 4.00 เมตร ในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีจำนวนมากที่สุดถึงร้อยละ 82.35 จากจำนวนตึกแถวทั้งหมดจากการสำรวจของ สุภาวดี บุญยฉัตร และ ชำนาญ ติรภาส (2550) โดยส่วนมากจะใช้เพื่อการประกอบกิจการในชั้นล่าง ในชั้นที่สูงขึ้นไปจะใช้เพื่อการอยู่อาศัยเป็นหลัก

ค. เนื่องด้วยอาคารตึกแถวหน้ากว้าง 4.00 เมตร หากพิจารณาความกว้างของพื้นที่ด้านหน้าโดยรวมแล้วพบว่า มีลักษณะพื้นที่ด้านหน้าที่แคบ ทำให้ลมพัดผ่านเข้าไปได้ยากกว่าอาคารประเภทเดียวกันที่หน้ากว้างกว่าได้ชัดเจน ซึ่งเป็นปัญหาจากการใช้งานอาคารของอาคารประเภทตึกแถว

ภาพที่ 3.8: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric ของอาคารตึกแถว ก่อนติดตั้งแผงกันแดด



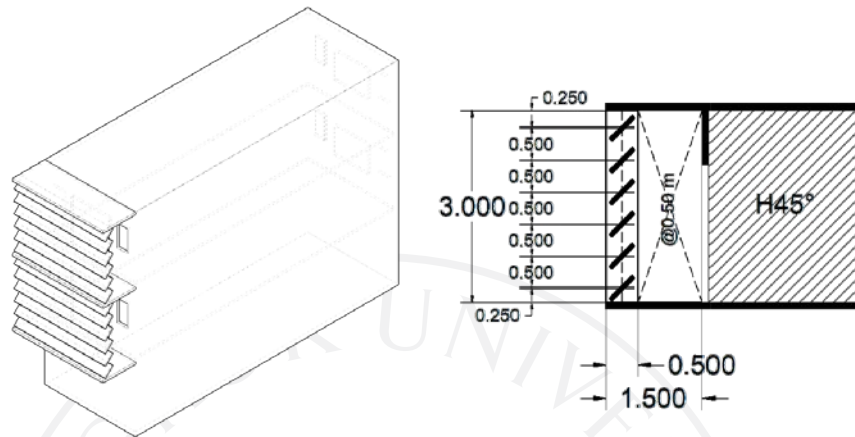
ภาพที่ 3.9: ผังแสดงขนาดรูปด้านหน้าและหลังของอาคารตึกแถว (ตามลำดับ)
ก่อนติดตั้งแผงกันแดด



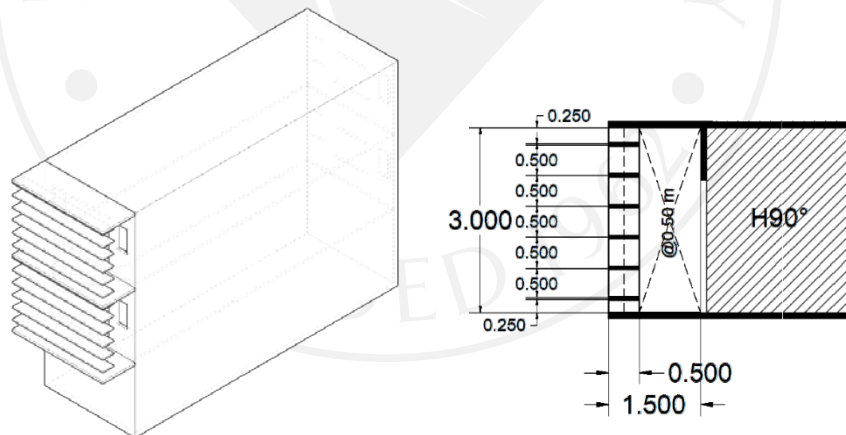
3.3.3 กำหนดรูปแบบแผงกันแดดประจำทิศทาง

รูปแบบของแผงกันแดดจากบทวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการทดลองและข้อมูลที่ระบุได้ว่าแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดในประเทศไทย มีความเฉพาะเจาะจงในแต่ละทิศทาง ภายในงานวิจัยฉบับนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องอ้างอิงทฤษฎีดังกล่าวเนื่องจากแผงกันแดดมีหน้าที่หลักในการป้องกันรังสีความร้อนเข้ามากระทบผนังอาคารโดยตรงเป็นอันดับแรก โดยสามารถจำแนกรูปแบบและขนาดของแผงกันแดดที่มีลักษณะเป็นองค์ประกอบที่ผู้วิจัยคาดว่าจะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของลมรวมถึงเป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยสามารถแบ่งรูปแบบของแผงกันแดดได้ดังต่อไปนี้

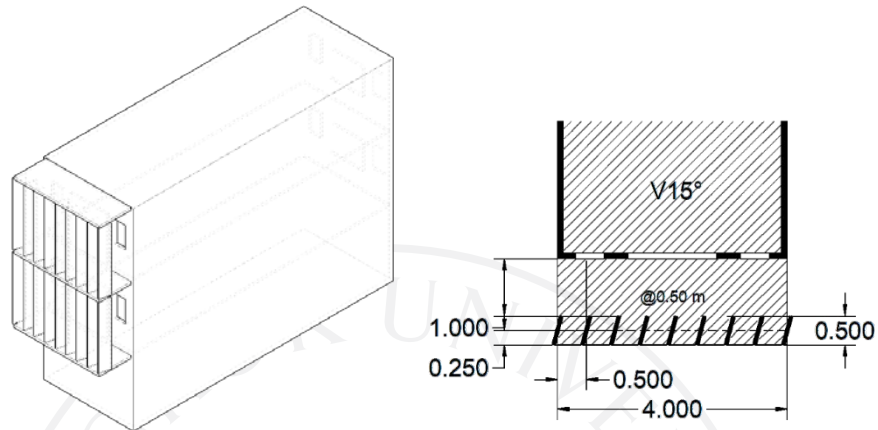
ภาพที่ 3.12: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน ทำมุม 45 องศา แทนด้วยอักษรย่อ H45



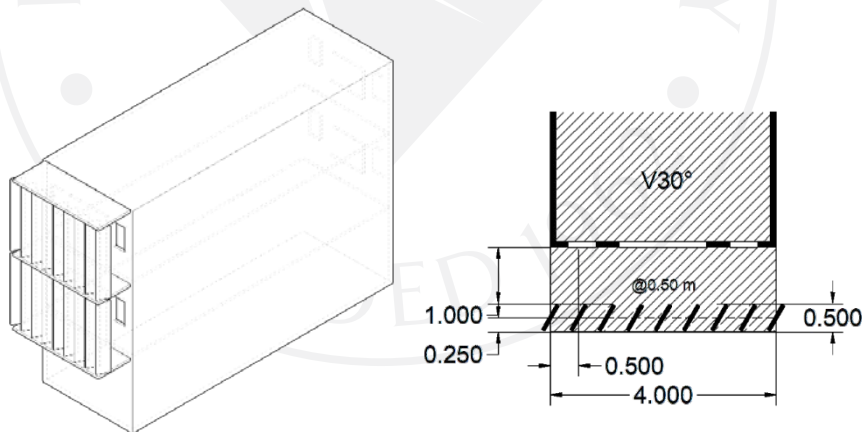
ภาพที่ 3.13: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน ทำมุม 90 องศา แทนด้วยอักษรย่อ H90



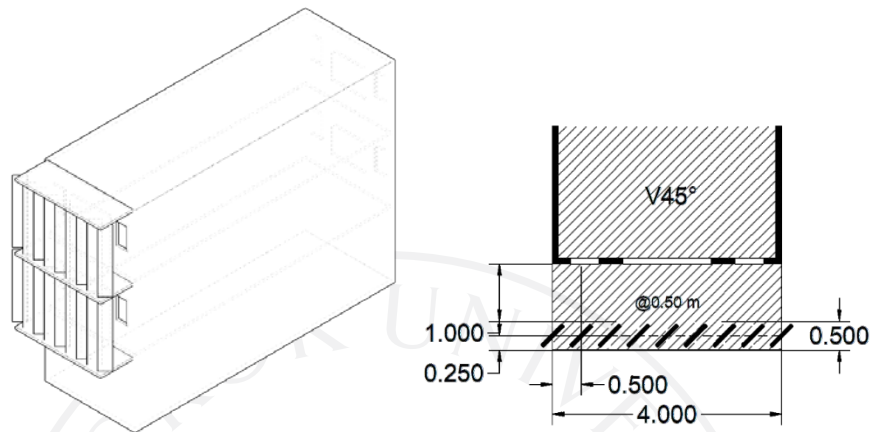
ภาพที่ 3.14: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 15 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V15



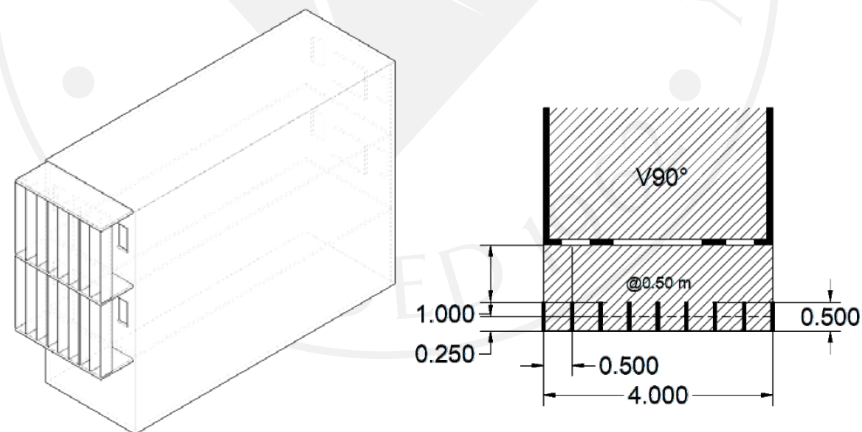
ภาพที่ 3.15: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 30 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V30



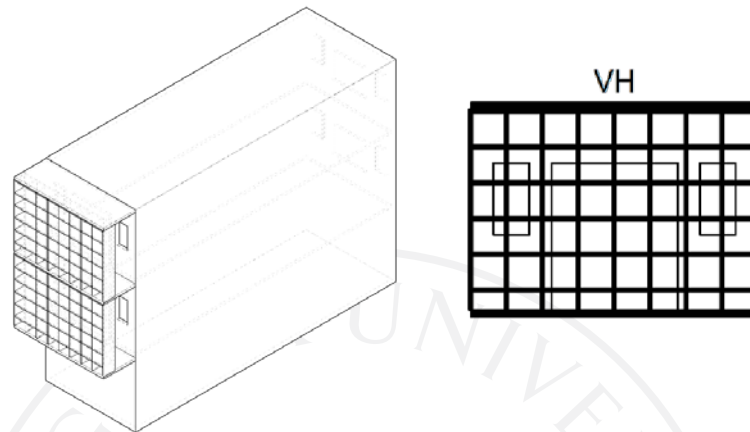
ภาพที่ 3.16: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 45 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V45



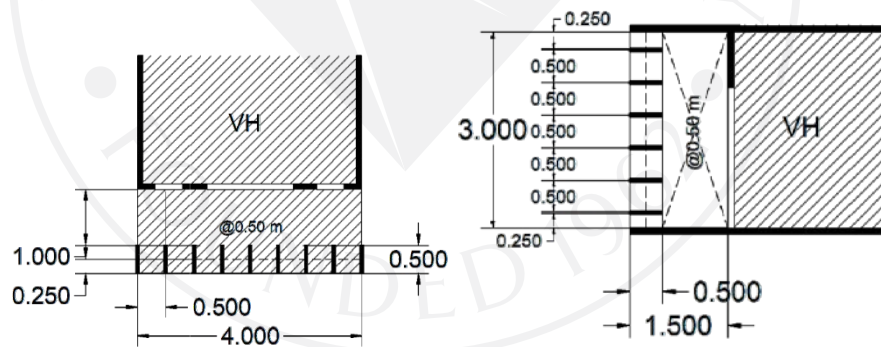
ภาพที่ 3.17: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปแปลนของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้งทำมุม 90 องศา แทนด้วยอักษรย่อ V90



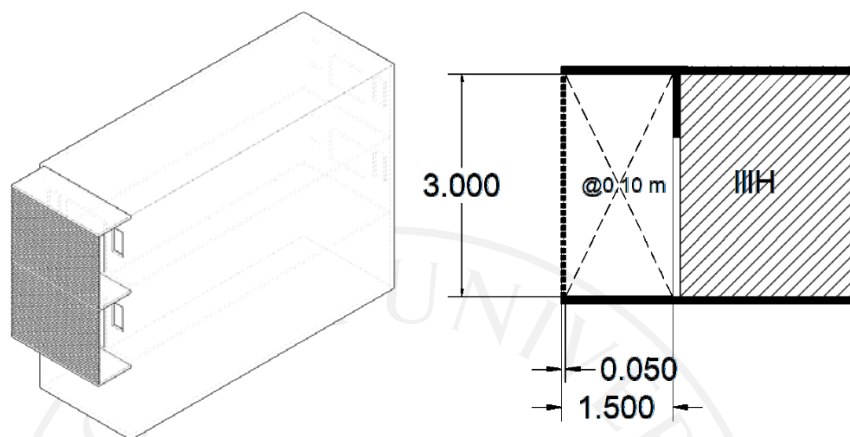
ภาพที่ 3.18: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปด้านหน้าของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดแบบผสมทำมุม 90 องศา ทั้งสองแนว แทนด้วยอักษรย่อ VH



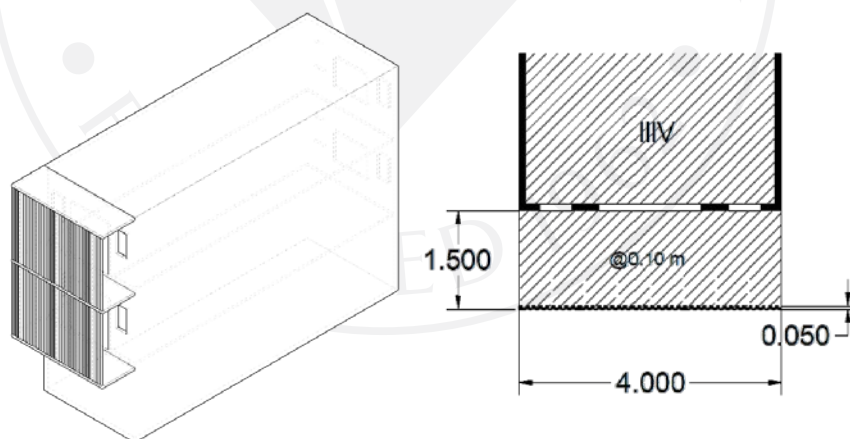
ภาพที่ 3.19: แพลนและรูปตัดของอาคารตึกแถว (ตามลำดับ) หลังติดตั้งแผงกันแดดแบบผสมทำมุม 90 องศา ทั้งสองแนว แทนด้วยอักษรย่อ VH



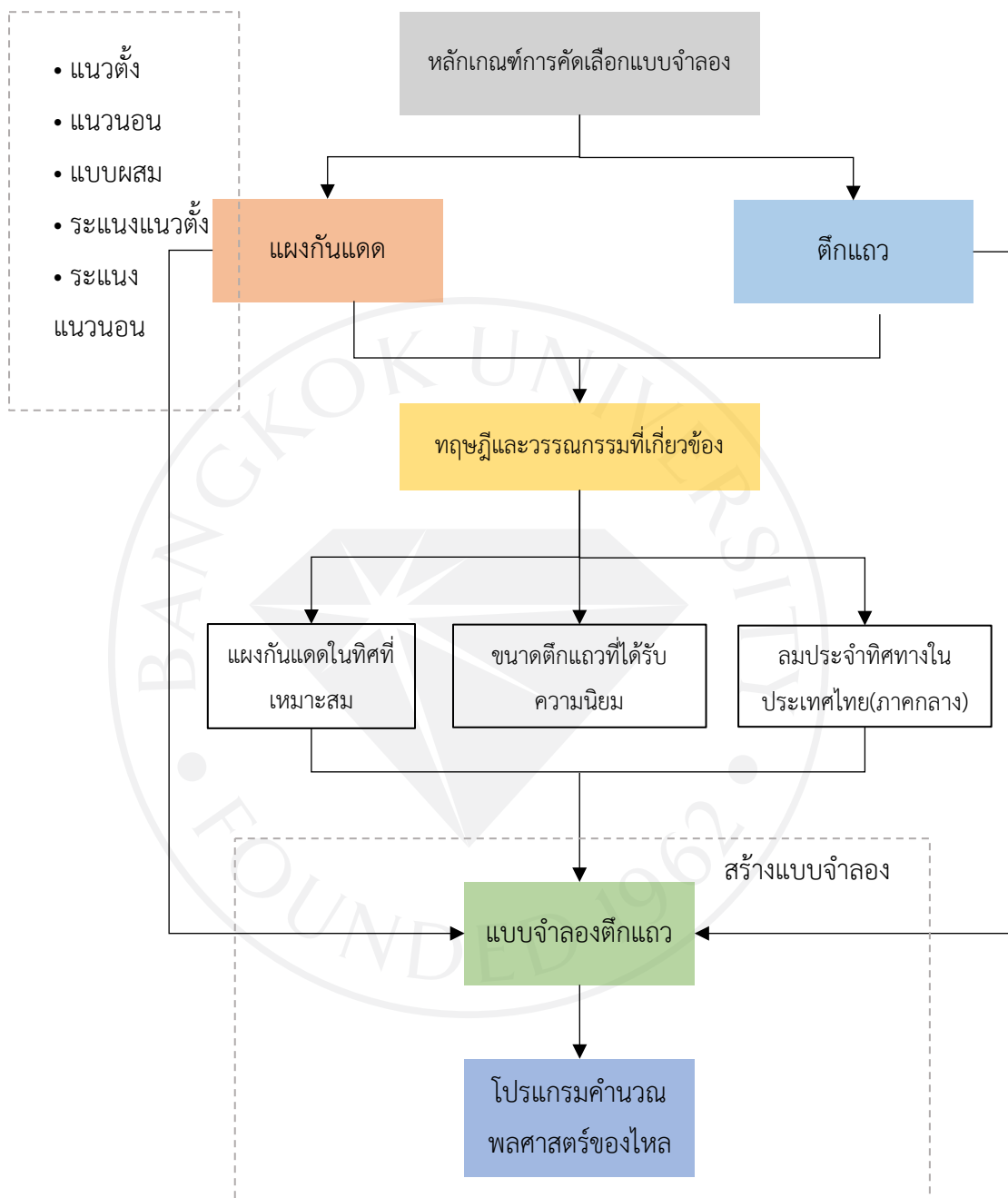
ภาพที่ 3.20: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปตัดของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดระแนงไม้แนวนอน แทนด้วยอักษรย่อ IIIH



ภาพที่ 3.21: แบบจำลองสามมิติในรูปแบบ Isometric และรูปด้านของอาคารตึกแถว หลังติดตั้งแผงกันแดดระแนงไม้แนวตั้ง แทนด้วยอักษรย่อ IIIV



ภาพที่ 3.22: แผนภาพสรุปแนวทางการกำหนดแบบจำลองในงานวิจัย



3.3.4 กำหนดทิศทางการวางอาคารและตำแหน่งรูปแบบช่องเปิด

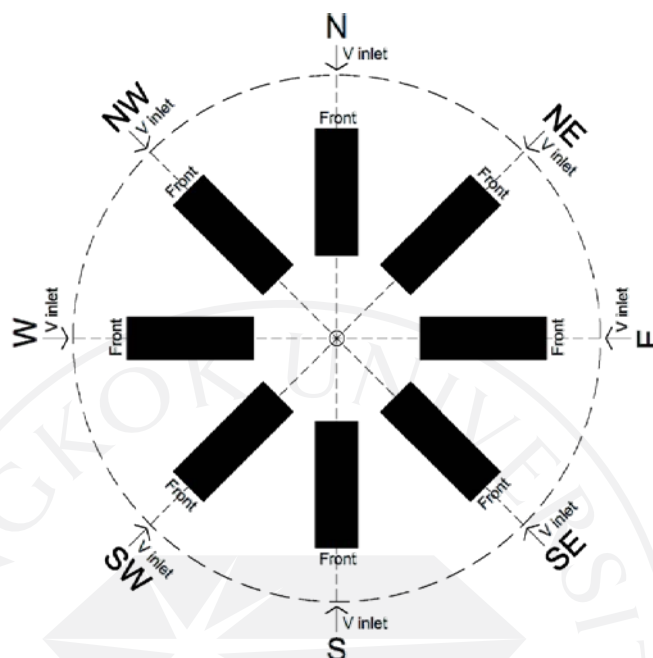
ทิศทางบริเวณด้านหน้าอาคารเป็นหนึ่งในตัวแปรอิสระที่ผู้วิจัยได้กำหนดเอาไว้ ซึ่งในแต่ละทิศทางนั้นมีปัจจัยทางด้านกายภาพของสภาพแวดล้อมทั้งในเรื่องของแสงแดดรวมถึงลม ที่ไม่เหมือนกัน เป็นเหตุให้เกิดการออกแบบงานในรูปแบบของการจำลองสถานการณ์แยกย่อยออกเป็นหลายชุดการทดลอง โดยทิศทางการวางแนวอาคารจำแนกออก 8 องศา 8 ทิศทางหลัก ๆ ตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยาได้ ดังแผนภาพต่อไปนี้

ภาพที่ 3.23: แผนภาพการระบุทิศทางตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา



เมื่อกำหนดทิศทางและองศาที่ใช้วางอาคารได้แล้ว ในขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยได้ทำการวางแนวอาคารให้บริเวณด้านหน้าอาคารเป็นสำคัญหันไปในทางทิศทางที่ต่างกันเพื่อเตรียมการติดตั้งแผงกันแดดในรูปแบบที่แตกต่างกันเข้าสู่แบบจำลองอาคาร

ภาพที่ 3.24: แผนภาพแสดงทิศทางการวางอาคาร โดยหันหน้าอาคารแตกต่างกันไป

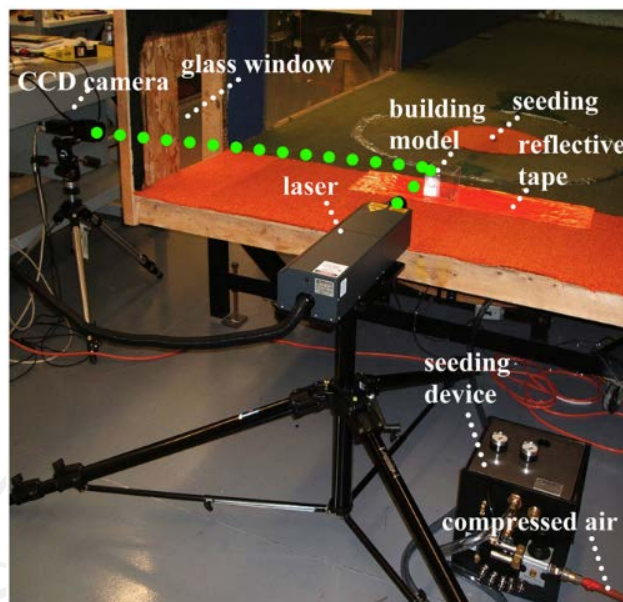


3.3.5 ทำการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

ก่อนจะเข้าสู่ขั้นตอนของการทดสอบโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลในตึกแถวตามรูปแบบที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นตามข้อกำหนดงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยเลือกทำการทดสอบความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของเครื่องมือโดยวิธีการนำโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลมาเปรียบเทียบกับโจทย์ที่ทางผู้วิจัยได้กำหนดเอาไว้ใน 2 ประเด็น ดังต่อไปนี้

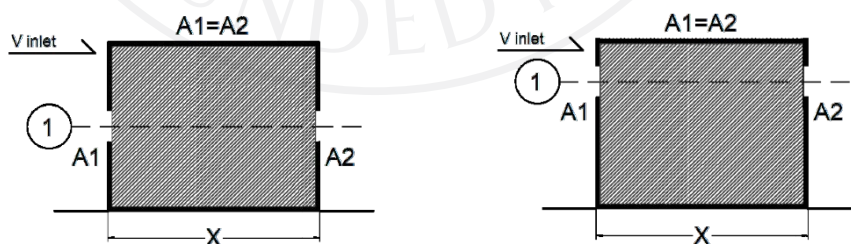
ก. ทำการทดลองเปรียบเทียบกับงานทดลองของ Karava ในรูปแบบของการใช้อุโมงค์ลม โดยใช้แบบจำลองที่ E1 และ A1 ทำการใช้ค่าความเร็วลมและรูปแบบ Input ตามการทดลองดังกล่าว ซึ่งเสมือนนำการทดลองมาทำซ้ำในรูปแบบของโปรแกรม CFD และนำผลการทดลองที่ได้ทั้งในอดีตและปัจจุบันมาเปรียบเทียบกัน

ภาพที่ 3.25: ภาพชุดการทดลองของ Karava ด้วยการใช้ลูมิเนสเซนซ์



ที่มา: Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2011). Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, 46(1), 266–279.

ภาพที่ 3.26: รูปตัดแสดงเส้นแนวการเก็บข้อมูลของแบบจำลอง E1 และ A1 (ตามลำดับ)

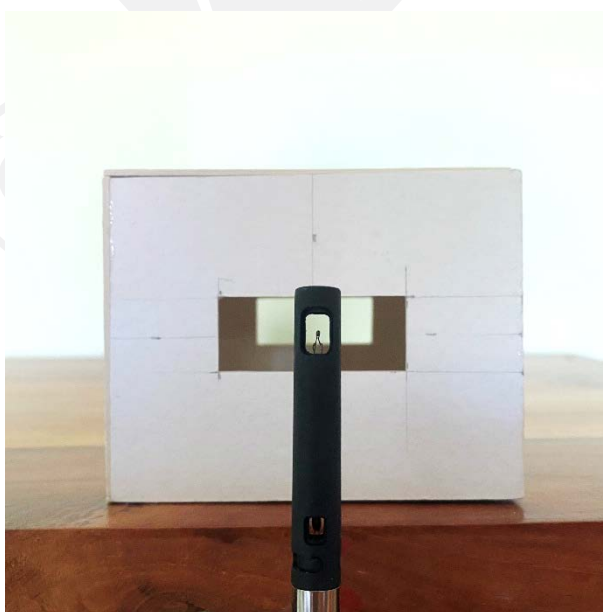


ข. ทำการทดลองด้วยเครื่องมือวัดค่าความเร็วลม โดยทำการสร้างแบบจำลองอาคาร มาตรฐาน ส่วน 1:50 และแบบจำลองการทดลองของ Karava ในรูปแบบของแบบจำลอง E1 และ A1 จากนั้นนำไปใช้เครื่องมือวัดค่าความเร็วลมในจุดที่กำหนดทำการวัดผล 3 ครั้งและนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยก่อนนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับโปรแกรม CFD รูปแบบของชุดการเก็บข้อมูลจะกล่าวถึงในประเด็นถัดไป

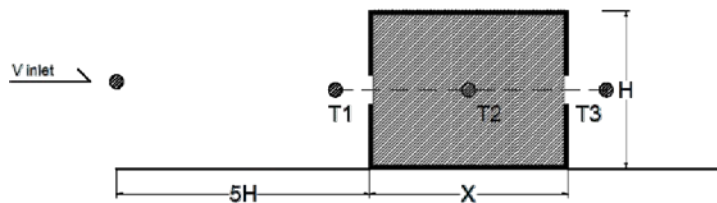
ภาพที่ 3.27: ภาพแสดงการจัดเตรียมชุดเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเร็วลม



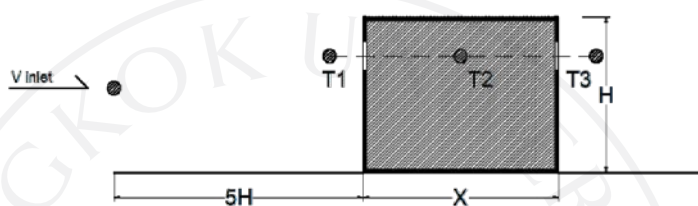
ภาพที่ 3.28: ภาพแสดงการทดลองการวัดค่าความเร็วลมจากแบบจำลองกล่องกระดาษ



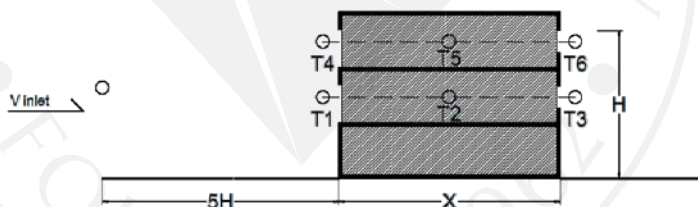
ภาพที่ 3.29: ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือและตำแหน่งการเก็บข้อมูล T1-T3 แบบจำลอง E1



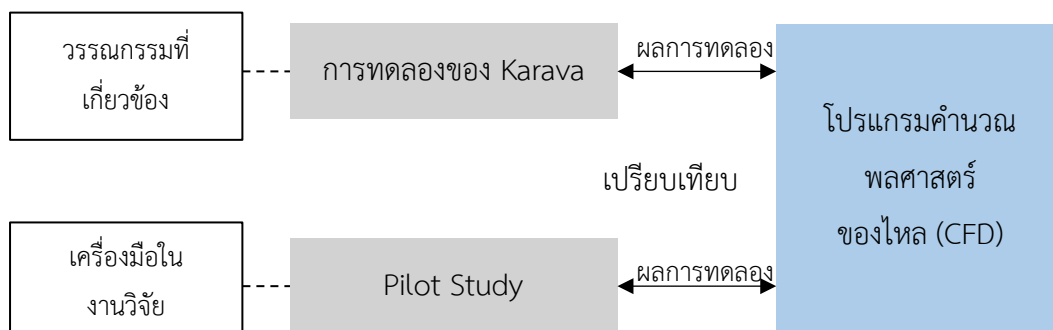
ภาพที่ 3.30: ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือและตำแหน่งการเก็บข้อมูล T1-T3 แบบจำลอง A1



ภาพที่ 3.31: ภาพแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือและตำแหน่งการเก็บข้อมูล T1-T6 แบบจำลองตึกแถว



ภาพที่ 3.32: แผนภาพแสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบการทดลองรูปแบบต่าง ๆ กับซอฟต์แวร์ CFD



3.3.6 จัดรูปแบบชุดการทดลองและกำหนดค่าความเร็วลมประจำทิศทาง

จัดรูปแบบชุดการทดลองถือเป็นขั้นตอนหลักของงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งเป็นวิธีการนำแบบจำลองอาคาร แบ่งเป็นชุดการทดลองตามทิศทาง โดยในแต่ละทิศทางจะติดตั้งแผงกันแดดในรูปแบบที่แตกต่างกัน เข้าสู่กระบวนการจำลองพลศาสตร์ของไหล โดยมีขั้นตอนในการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. จำแนกรูปแบบของแผงกันแดด ตามทิศทางต่าง ๆ โดยผู้วิจัยเลือกใช้แผงกันแดด 5 ชนิด บางชนิดสามารถปรับเปลี่ยนองศาของแผงกันแดดได้ ซึ่งในแต่ละทิศทางจะติดตั้งแผงกันแดดแตกต่างกันตามบทบทวนวรรณกรรม เนื่องจากผู้วิจัยสังเกตเห็นว่า แผงกันแดดที่เหมาะสมต่อการป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มีความเฉพาะเจาะจงในแต่ละทิศทางอยู่แล้ว จึงคัดเลือกทดลองติดตั้งแผงกันแดด ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3: รายละเอียดรูปแบบของแผงกันแดดที่จะนำไปสู่โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

รูปแบบของแผงกันแดด	สัญลักษณ์แบบจำลอง	ข้อกำหนดแผงกันแดด	ทิศทางการวางอาคาร	จำนวนชุดการทดลอง
แผงกันแดดแนวนอน	H	15 องศา 30 องศา 45 องศา และ 90 องศา (4)	ทิศเหนือ ทิศใต้ (2)	8
แผงกันแดดแนวตั้ง	V	15 องศา 30 องศา 45 องศา และ 90 องศา (4)	ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (3)	12
แผงกันแดดแบบผสม	VH	90 องศา(1)	ทุกทิศทาง (8)	8
แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง	lllH	ระแนงไม้ห่างกัน 0.10 เมตร (1)	ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (5)	5
แผงกันแดดระแนงแนวนอน	lllV	ระแนงไม้ห่างกัน 0.10 เมตร (1)	ทิศเหนือ ทิศใต้ (2)	2
รวมชุดการทดลอง				35

ตารางที่ 3.4: ตารางสรุปชุดการทดลองทั้ง 8 ชุดการทดลอง และ 8 ทิศทาง

ทิศทาง	รูปแบบแผงกันแดด
ทิศเหนือ (N)	แผงกันแดดแนวนอน แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวนอน
ทิศใต้ (S)	แผงกันแดดแนวนอน แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวนอน
ทิศตะวันออก (E)	แผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง
ทิศตะวันตก (W)	แผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)	แผงกันแดดแบบผสม
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)	แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	แผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง

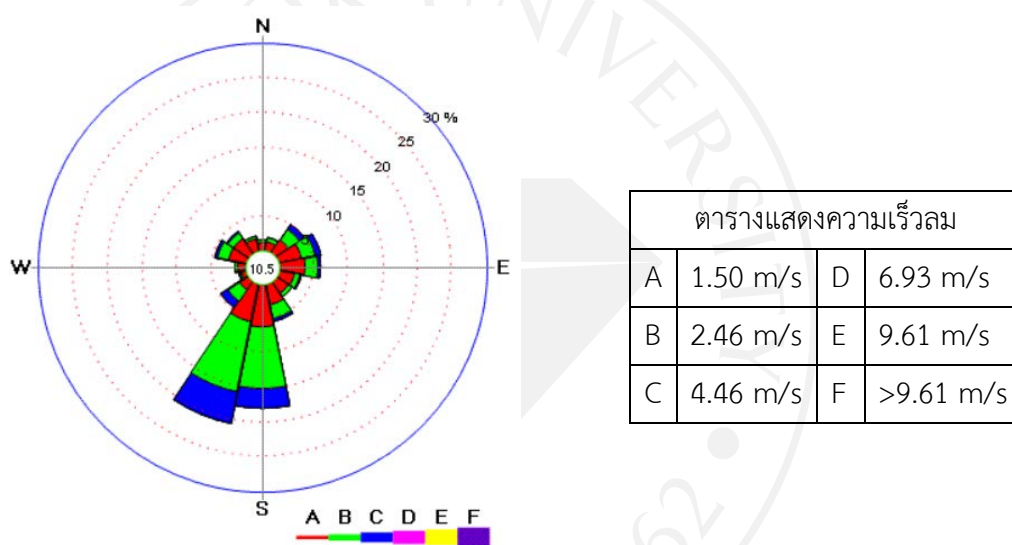
จากตารางในข้างต้นผู้วิจัยได้นำแผงกันแดดต่าง ๆ จำแนกข้อมูลลงในแต่ละทิศทาง ทั้งนี้เนื่องด้วยเหตุผลใน 2 ประเด็น ได้แก่

1.1 ความเร็วลมในแต่ละทิศทางมีความแตกต่างกัน จึงต้องจำแนกชุดการทดลองออกตามทิศทาง แล้วนำแผงกันแดดที่เหมาะสมจากบทบทวนวรรณกรรมมาติดตั้งลงในแต่ละทิศทาง

1.2 เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปหาแผงกันแดดที่มีความสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงสถานะน่าสบายเชิงอุณหภูมิด้วยลมธรรมชาติ โดยการทดลองหาแผงกันแดดที่ดีที่สุดในแต่ละทิศทาง

2. การคำนวณหาปริมาณลมในแต่ละทิศทาง ผู้วิจัยเลือกอ้างอิงข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย 2 ปี จากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งข้อมูลจากเว็บไซต์ดังกล่าวจะแสดงข้อมูลเป็นช่วงความเร็วลมทั้ง 16 ทิศทาง อีกทั้งยังมีข้อมูลความถี่ของลมจากทุกทิศทางอีกด้วย โดยผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลของลมเพียง 8 ทิศทางตามขอบเขตของงานวิจัยเท่านั้น และข้อมูลทั้งหมดจะเป็นส่วนหนึ่งของการตั้งค่าโปรแกรม คำนวณพลศาสตร์ของไหล ประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

ภาพที่ 3.33: แผนภาพแสดงช่วงความเร็วและความถี่ของลมเฉลี่ย 2 ปี (ช่วงระหว่างวันที่ 1 ม.ค. 2562 ถึง วันที่ 14 มี.ค. 2564)



ตารางที่ 3.5: ตารางแสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 8 ทิศ จากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา

ทิศทาง	ค่าเฉลี่ยความถี่ลม				ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
	A	B	C	รวมความถี่ (%)	
N	1.2	0.3	0.0	1.50	1.69
NE	2.3	2.0	0.8	5.10	2.34
E	3.9	1.7	0.5	6.10	2.01
SE	2.2	0.6	0.1	2.90	1.80
S	6.3	8.8	2.9	18.00	2.45

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.5(ต่อ): ตารางแสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 8 ทิศ จากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา

ทิศทาง	ค่าเฉลี่ยความถี่ลม				ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
	A	B	C	รวมความถี่ (%)	
SW	1.5	2.1	1.0	4.60	2.58
W	1.0	0.5	0.1	1.60	1.99
NW	2.5	1.1	0.2	3.80	1.93

และจากขั้นตอนที่ 3.3.5 (ข) จากเดิมกล่าวไว้ถึงวิธีการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลโดยนำมาเปรียบเทียบกับการวัดค่าด้วยเครื่องมือ โดยได้ผลการวัดค่าจากตารางดังต่อไปนี้ ซึ่งผลดังกล่าวจะถูกนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการตั้งค่าโปรแกรมเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ตามแผนการทดลองที่ได้กล่าวเอาไว้ในข้างต้น

ตารางที่ 3.6: ตารางแสดงผลการวัดค่าความเร็วลมด้วยเครื่อง Testo 405i

ผลการวัดด้วยเครื่อง Testo 405i			
แบบจำลอง ลำดับเก็บข้อมูล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
E1 Experiment Study	2.65	2.67	2.71
เฉลี่ย	2.67		
A1 Experiment Study	2.77	2.87	2.82
เฉลี่ย	2.82		
Row house (Scale 1:50)	3.81	3.34	3.66
เฉลี่ย	3.60		

3.3.7 วิธีการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทดลอง ซึ่งส่งผลถึงความแม่นยำของชุดการทดลองทุกชุด โดยผู้วิจัยอ้างอิงการตั้งค่าโปรแกรมจากการทดลองของ Ramponi และ Blocken ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวเป็นการนำงานวิจัยของ มาทำซ้ำในรูปแบบของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลที่กล่าวถึงในบทวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ผลการทดลองที่

ใกล้เคียงกับการทดลองด้วยโต๊ะจำลองของเหลว โดยสามารถสรุปนำเอาการตั้งค่าของโปรแกรมมาปรับใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ได้ ตามแผนภาพดังต่อไปนี้

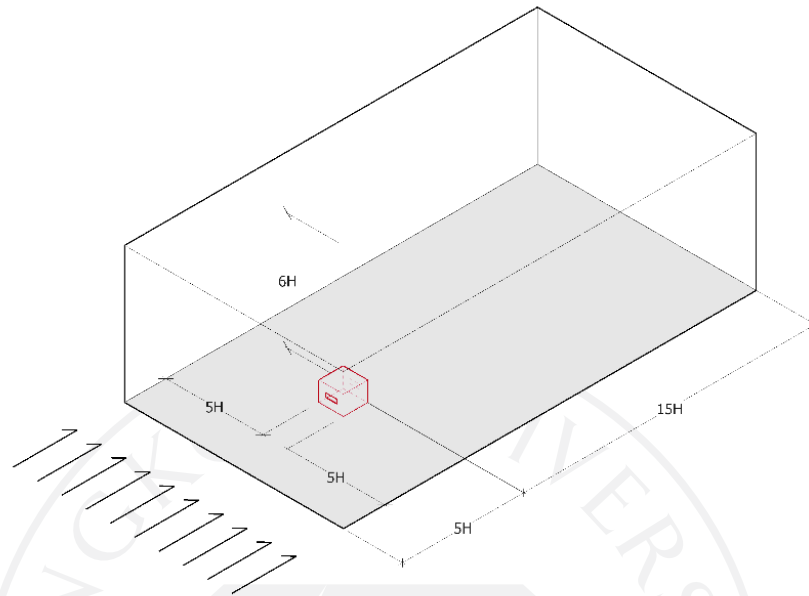
ตารางที่ 3.7: ตารางสรุปวิธีการตั้งค่าโปรแกรม CFD จากการทดลองของ Ramponi และ Blocken

	สัดส่วนของขอบเขตของพื้นที่ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล	Mesh Sizing	Turbulence Kinetic Energy (k)	Turbulence Model	Discretization Scheme	Iterative Convergence
Ref. case	$H_D=5H$	575,247	1.0	k- ω SST	2 nd order	10^{-5}
	$H_D=4H$	314,080	0.5	Sk- ϵ	1 st order	10^{-4}
	$H_D=3H$	141,696	1.5	Rk- ϵ		10^{-3}
	$H_D=2H$			RNGk- ϵ		10^{-2}
	$H_D=1H$			Sk- ω		
				RSM		

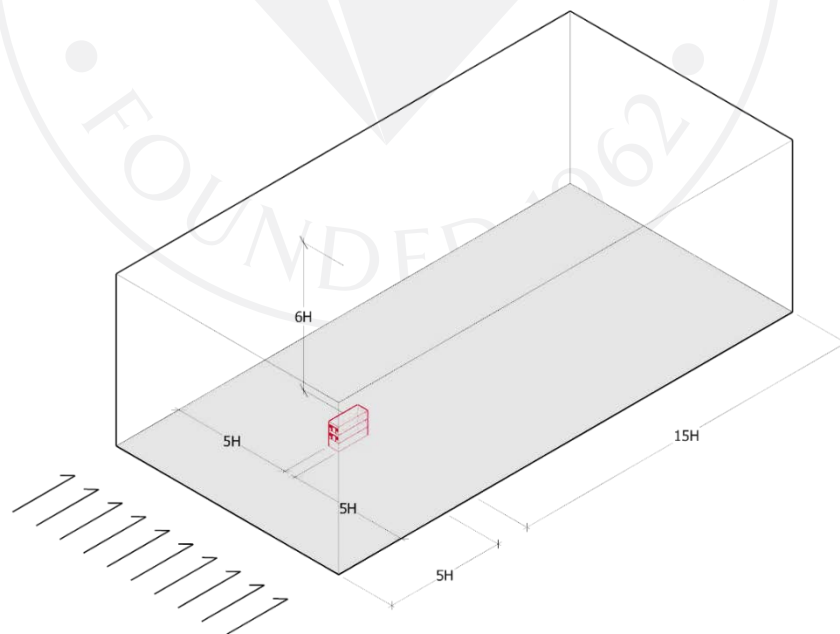
โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการสร้างขอบเขตพื้นที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหล อ้างอิงวิธีการสร้างพื้นที่ขอบเขตดังกล่าวจากงานทดลองของ Ramponi และ Blocken ที่ได้กล่าวถึงประเด็นดังกล่าวเอาไว้ว่า ให้สร้างพื้นที่รอบขอบเขตของอาคารที่ต้องการจะศึกษาไม่ต่ำกว่า 5 เท่าของความสูงอาคาร ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้ด้านหน้าและด้านข้างเป็นสำคัญที่ขนาด 5 เท่าของความสูงอาคาร พื้นที่ด้านบนเป็นส่วนรองใช้ความสูงที่ 6 เท่าของความสูงอาคาร และพื้นที่ด้านหลังเป็นส่วนรอง 15 เท่าของความสูงอาคารต้นแบบเช่นเดียวกัน

ในส่วนต่อมาเป็นขั้นตอนการสร้าง Mesh model ของแบบจำลอง กำหนดให้มีจำนวนของ Mesh อ้างอิงไม่ต่ำกว่า 575,247 หน่วย อาจมีความแตกต่างกันไปตามรูปแบบของแบบจำลองแมงกันแดด ซึ่งหากจำนวนของ Mesh มีจำนวนที่มากเป็นที่แน่นอนว่าความละเอียดในการคำนวณจะมากขึ้นตามไปด้วย แต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าปกติมาก และอาจส่งผลให้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลอาจใช้เวลานานและคุณสมบัติของเครื่องอาจไม่เพียงพอต่อการคำนวณได้

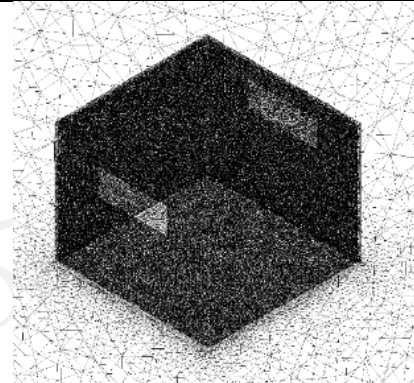
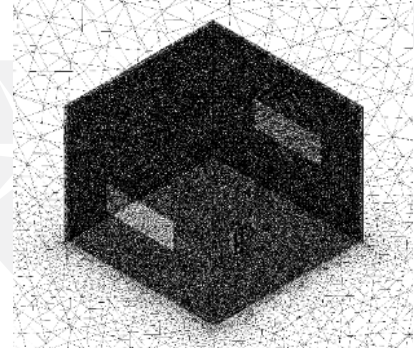
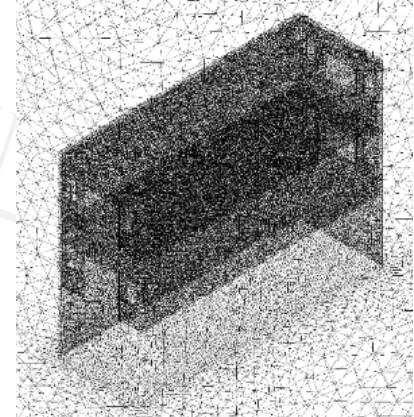
ภาพที่ 3.34: แผนภาพการสร้างขอบเขตพื้นที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลองของ Karava



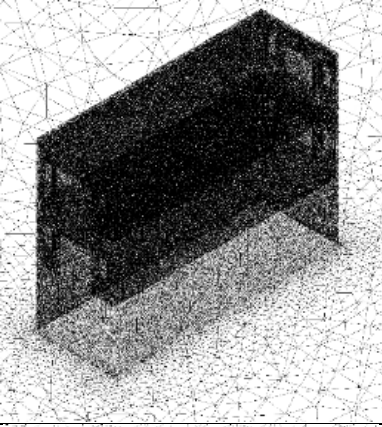
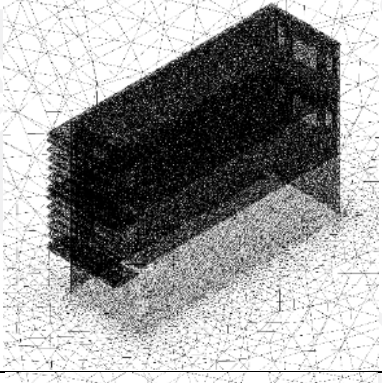
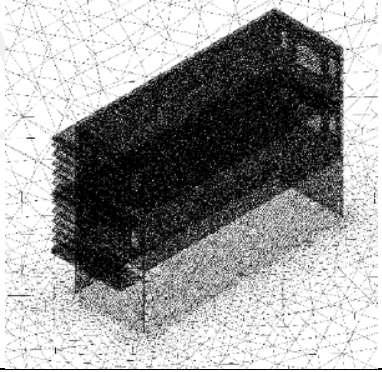
ภาพที่ 3.35: แผนภาพการสร้างขอบเขตพื้นที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลองตึกแถว



ตารางที่ 3.8: รูปแบบและจำนวน Mesh size แบบจำลองของ Karava

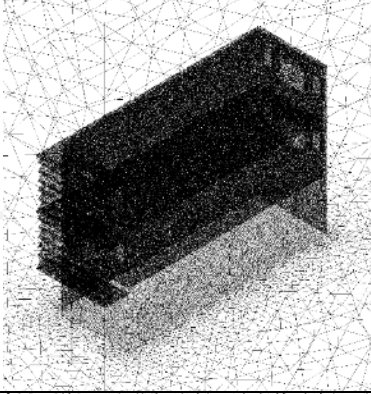
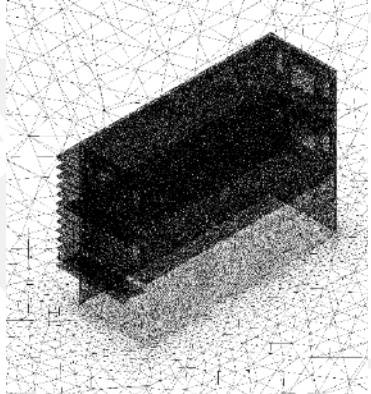
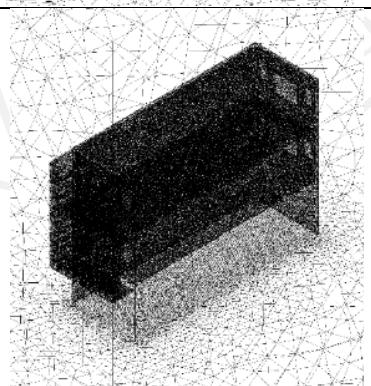
รูปแบบ Mesh ของแบบจำลอง Karava		
แบบจำลอง	รูปแบบ Mesh	จำนวน Mesh size
แบบจำลอง E1		622,615
แบบจำลอง A1		621,784
แบบจำลองตึกแถว Row house (Scale 1:50)		584,414

ตารางที่ 3.9: รูปแบบและจำนวน Mesh size ของแบบจำลองตึกแถว

รูปแบบ Mesh ของแบบจำลองตึกแถว		
แบบจำลอง	รูปแบบ Mesh	จำนวน Mesh size
Row house (ไม่ติดตั้ง แผงกันแดด)		594,364
แผงกันแดดแนวนอน 15 องศา (H15)		580,331
แผงกันแดดแนวนอน 30 องศา (H30)		578,334

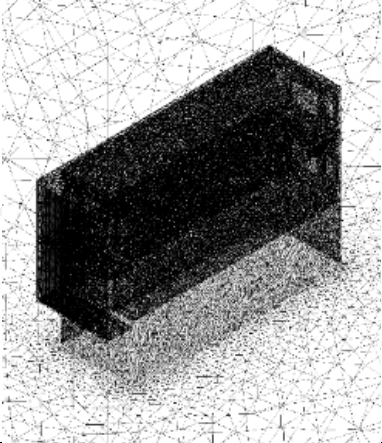
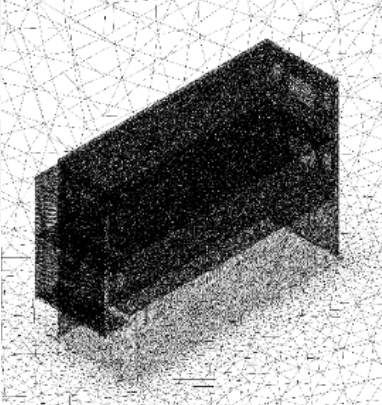
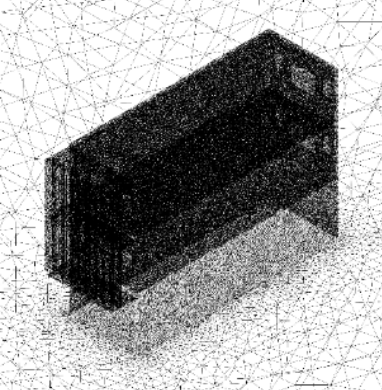
(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.9(ต่อ): รูปแบบและจำนวน Mesh size ของแบบจำลองตึกแถว

รูปแบบ Mesh ของแบบจำลองตึกแถว (ต่อ)		
แบบจำลอง	รูปแบบ Mesh	จำนวน Mesh size
แผงกันแดดแนวนอน 45 องศา (H45)		577,715
แผงกันแดดแนวนอน 90 องศา (H90)		584,341
แผงกันแดดแบบผสม (VH)		588,090

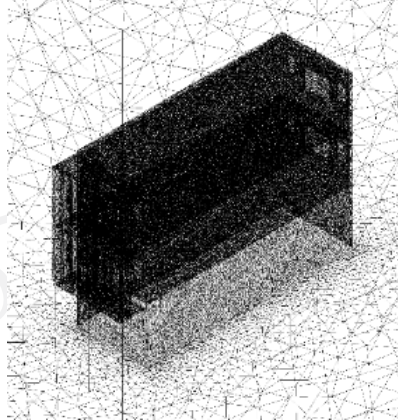
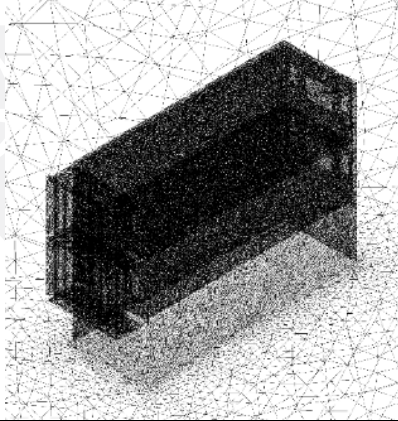
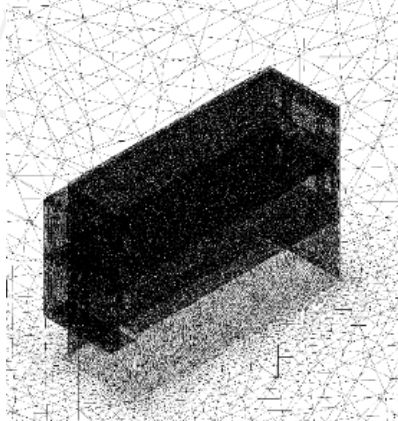
(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.9(ต่อ): รูปแบบและจำนวน Mesh size ของแบบจำลองตึกแถว

รูปแบบ Mesh ของแบบจำลองตึกแถว (ต่อ)		
แบบจำลอง	รูปแบบ Mesh	จำนวน Mesh size
แผงกันแดดระแนง แนวตั้ง (VV)		584,537
แผงกันแดดระแนง แนวนอน (HH)		593,902
แผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15)		588,243

(ตารางมีต่อ)

ตารางที่ 3.9(ต่อ): รูปแบบและจำนวน Mesh size ของแบบจำลองตึกแถว

รูปแบบ Mesh ของแบบจำลองตึกแถว (ต่อ)		
แบบจำลอง	รูปแบบ Mesh	จำนวน Mesh size
แผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30)		599,798
แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45)		595,967
แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90)		585,754

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนของการตั้งค่าโปรแกรมของชุดการทดลองทั้ง 8 ชุดการทดลอง จากทิศทางทั้ง 8 ทิศ โดยแต่ละทิศจะมีรูปแบบของแผงกันแดดแยกย่อยออกไปตามตารางที่ได้กล่าว

มาในข้างต้นรวมทั้งหมด 35 ชุดการทดลองย่อยโดยการตั้งค่าในเบื้องต้นจะเหมือนกันทุกชุดการทดลองยกเว้นค่า Boundary Condition ซึ่งเป็นค่าความเร็วลมตั้งต้น ซึ่งรูปแบบของการตั้งค่าอ้างอิงตามงานทดลองของ Ramponi และ Blocken ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.10: ตารางการตั้งค่าเบื้องต้นในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

การตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล	
General	
Gravity	Enable (-9.81)
Model	
Viscous	SST K-Omega
Boundary Condition	
Inlet	ดูในตาราง Boundary Condition (Inlet)
Turbulence	
Specification Method	K and Omega
Turbulence Kinetic Energy	1 m ² /s ²
Specific Dissipation rate	1 1/s ²
Solution Method	
Scheme	Coupled
Gradient	Last Squares Cell Based
Pressure	Second Order
Momentum	Second Order Upwind
Turbulence Kinetic Energy	Second Order Upwind
Specific Dissipation rate	Second Order Upwind
Energy	Second Order Upwind
Solution Initialization	
Initialization Method	Hybrid Initialization
Calculation Activities	
Number of Iterations	300

ตารางที่ 3.11: ค่าความเร็วลมในการตั้งค่า Boundary Condition ของแต่ละชุดการทดลองย่อย

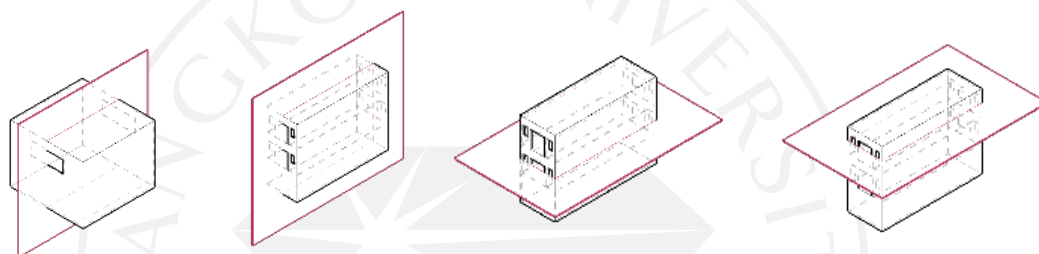
Boundary Condition (Inlet)		
แบบจำลอง Karava Model		
แบบจำลอง	ค่าความเร็วลม (m/s)	ที่มาของข้อมูล
E1 Karava Model	0.85	บททบทวนวรรณกรรม งานทดลอง ของ ของ Karava (Karava et al., 2011) Ramponi และ Blocken (Ramponi & Blocken, 2012)
A1 Karava Model	0.85	
แบบจำลองการทดลองด้วยเครื่องมือ Experiment Study		
แบบจำลอง	ค่าความเร็วลม (m/s)	ที่มาของข้อมูล
E1 Experiment Study	2.67	ข้อ 3.3.5 การเก็บข้อมูลด้วย เครื่องมือ Testo 405i
A1 Experiment Study	2.82	
Row house (Scale 1:50)	3.60	
แบบจำลองตึกแถว Row house		
แบบจำลอง	ค่าความเร็วลม (m/s)	ที่มาของข้อมูล
ทิศเหนือ N	1.69	ข้อ 3.3.6 (ข.) ข้อมูลความเร็วลม เฉลี่ย 2 ปีจากเว็บไซต์กรม อุตุนิยมวิทยา
ทิศใต้ S	2.45	
ทิศตะวันออก E	2.01	
ทิศตะวันตก W	1.99	
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ NE	2.34	
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ NW	1.93	
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ SE	1.80	
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ SW	2.58	

3.3.8 กระบวนการบันทึกและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น เนื่องจากข้อมูลของชุดการทดลองมีจำนวนมาก ผู้วิจัยเลือกเก็บข้อมูลของความเร็วลมโดยแสดงข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

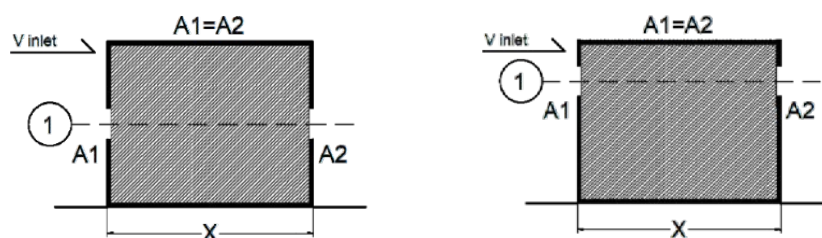
1. แสดงแผนภาพที่จะบ่งบอกถึงการเคลื่อนที่และพฤติกรรมของลมในรูปแบบแผนภาพ Vector ตามแนวตัดตั้งภาพ (หากเป็นการทดลองตีแกวจะแสดงแนวตัดตามขวางของอาคารชั้น 2 และชั้น 3 เพื่อแสดงและวิเคราะห์พฤติกรรมของลมตามแนวตัดที่กำหนด

ภาพที่ 3.36: แผนภาพแสดงแนวตัดแบบจำลองเพื่อแสดงผลในรูปแบบของภาพ Vector

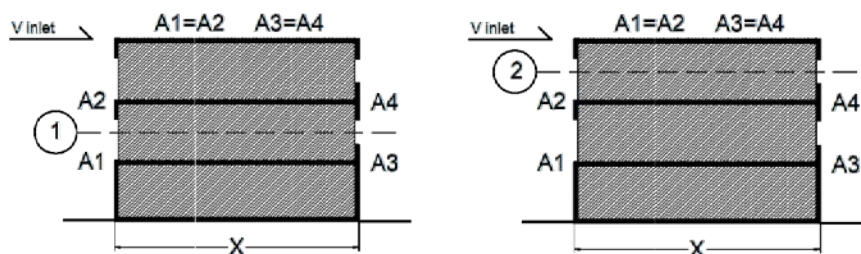


2. แสดงผลการทดลองความเร็วลมในรูปแบบของแผนภูมิเส้น โดยเก็บข้อมูลในช่วงกลางอาคารซึ่งอยู่ในระดับร่างกาย Body zone หรือ 1.50 เมตรจากพื้นแต่ละชั้นหรือบริเวณกึ่งกลางของแต่ละชั้น ซึ่งจะเป็นการแสดงความเร็วลมโดยรวมที่ผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ สรุปรวมกันในแต่ละทิศทาง

ภาพที่ 3.37: เส้นแสดงแนวการ Plot กราฟของแบบจำลอง E1 และ A1 (ตามลำดับ)



ภาพที่ 3.38: เส้นแสดงแนวการ Plot กราฟของแบบจำลองตึกแถวชั้น 2 และชั้น 3 (ตามลำดับ)



3. แสดงผลในรูปแบบของตารางเพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสรุปในรูปแบบของตัวเลขโดยภายในตารางจะแสดงค่าต่าง ๆ ของผลการทดลองที่ได้โดยสรุปประกอบไปด้วย ค่าความเร็วลมสูงสุด ค่าความเร็วลมต่ำสุด ค่าความเร็วลมเฉลี่ย ค่าอุณหภูมิที่เย็นลง โดยคำนวณจากสูตรการคำนวณของสุนทร บุญญาธิการ (2545) จากนั้นนำตารางมาวิเคราะห์หาค่าความเร็วลมที่แพงกันแดด ซึ่งมีประสิทธิภาพที่สุดในแต่ละทิศทาง เพื่อนำไปสรุปและอภิปรายผลการศึกษางานวิจัยในรูปแบบของข้อมูลเชิงสถิติต่อไป

3.3.9 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

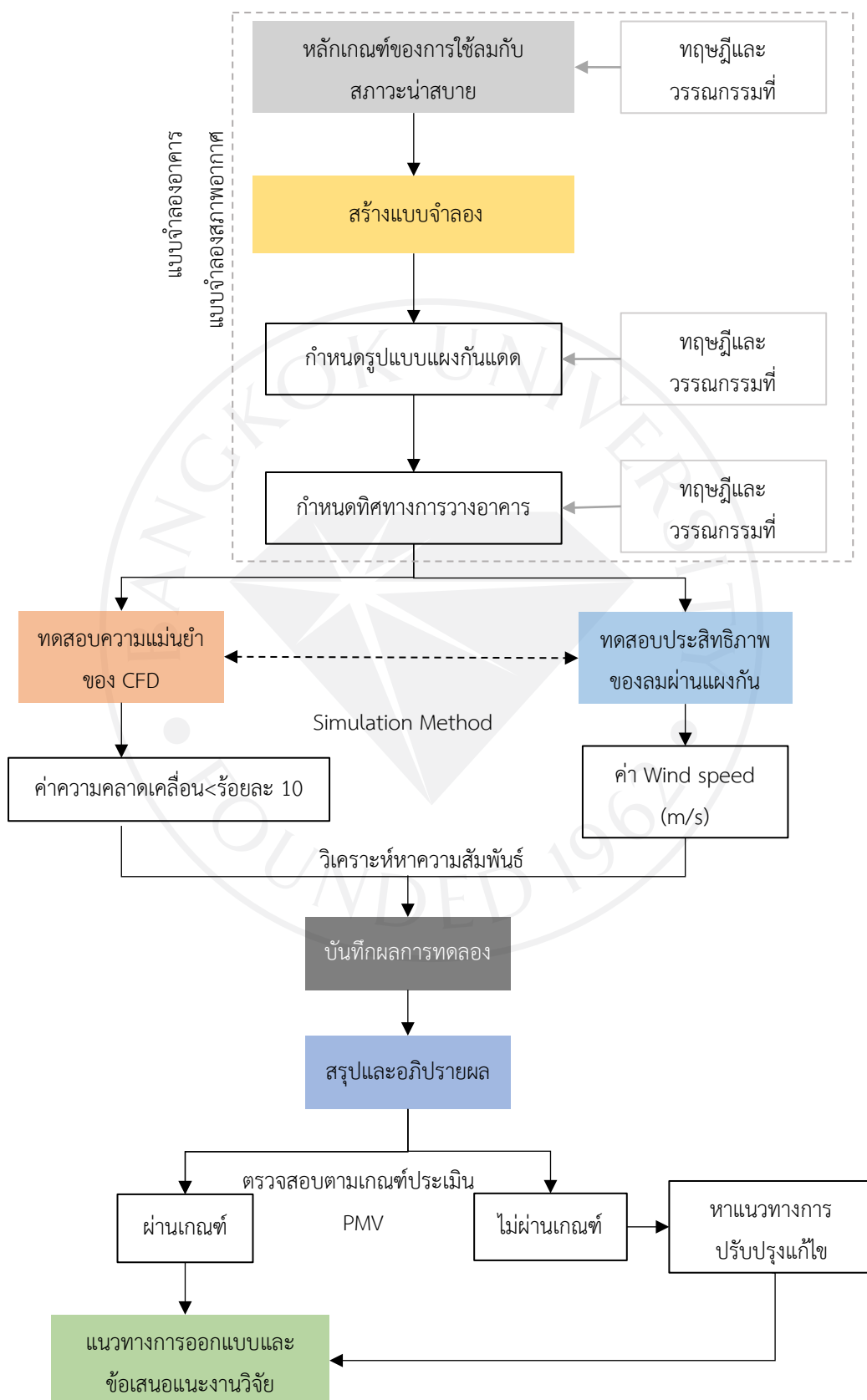
แนวทางการสรุปและอภิปรายผลการศึกษาผู้วิจัยจะนำข้อมูลของการทดลองมาสรุปเพื่อตอบโจทย์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ตีกรอบแนวคิดของการทดลองเอาไว้ อีกทั้งยังต้องเปรียบเทียบให้เห็นผลการทดลองโดยภาพรวมจากทั้งหมด 35 ชุดการทดลองย่อย สรุปออกมาเป็นค่าความเร็วลมที่ดีที่สุด 8 ทิศทางหลังทำการติดตั้งแผงกันแดดในสภาวะอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ โดยแนวทางในการสรุปและอภิปรายผลการทดลองนั้น ประกอบไปด้วย

1. ค่าความเร็วลมขณะติดตั้งแผงกันแดดชนิดนั้น ๆ ที่ดีที่สุดในแต่ละทิศทาง (8 ทิศทาง) และนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้นำมาคำนวณหาอุณหภูมิที่เย็นลงจากการพัดผ่านของลมในชุดการทดลองนั้น ๆ

2. เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่ได้โดยนำมาคำนวณหาค่าสถานะน่าสบายเชิงอุณหภูมิแบบ PMV จากเว็บไซต์ CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55 (berkeley.edu) โดยใช้หลักเกณฑ์ ASHRAE 55 ในรูปแบบของแผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) เพื่อตรวจสอบว่าผลการทดลองที่ได้ผ่านเกณฑ์ PMV ตามมาตรฐานของ ASHRAE 55 หรือไม่ อย่างไร

3. แนวทางในการนำไปปรับใช้กับอาคารกลุ่มตัวอย่างและข้อเสนอแนะงานวิจัย

ภาพที่ 3.39: แผนภาพสรุปกระบวนการและวิธีการทดลองของงานวิจัยโดยภาพรวม



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหลสำหรับตึกแถวประเภทต่าง ๆ เริ่มต้นด้วยการแสดงผลการตรวจสอบความแม่นยำและเที่ยงตรงของโปรแกรมด้วยการนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ อันได้แก่งานวิจัยที่เกิดขึ้นในอดีตรวมไปถึงเปรียบเทียบผลการทดลองกับเครื่องมือตรวจวัดค่าความเร็วลม ทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบความแม่นยำอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 10 จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการทำการทดลองการติดตั้งแผงกันแดดภายในตึกแถวทั้ง 8 ทิศทาง ซึ่งรูปแบบของชุดการทดลองถูกระบุเอาไว้ในบทที่ 3 โดยแสดงผลการทดลองเป็นลำดับดังต่อไปนี้

4.1 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับการทดลองที่เกี่ยวข้อง

4.1.1 แบบจำลอง E1 จากการทดลองของ Karava

4.1.2 แบบจำลอง A1 จากการทดลองของ Karava

4.2 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับเครื่องมือวัดค่าความเร็วลม

4.2.1 แบบจำลอง E1 จากการทดลอง Pilot Study

4.2.2 แบบจำลอง A1 จากการทดลอง Pilot Study

4.2.3 แบบจำลองตึกแถว จากการทดลอง Pilot Study

4.3 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ภายในตึกแถวที่ติดตั้งแผงกันแดด

4.3.1 แบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ (N)

4.3.2 แบบจำลองตึกแถวทิศใต้ (S)

4.3.3 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก (E)

4.3.4 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก (W)

4.3.5 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

4.3.6 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)

4.3.7 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)

4.3.8 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)

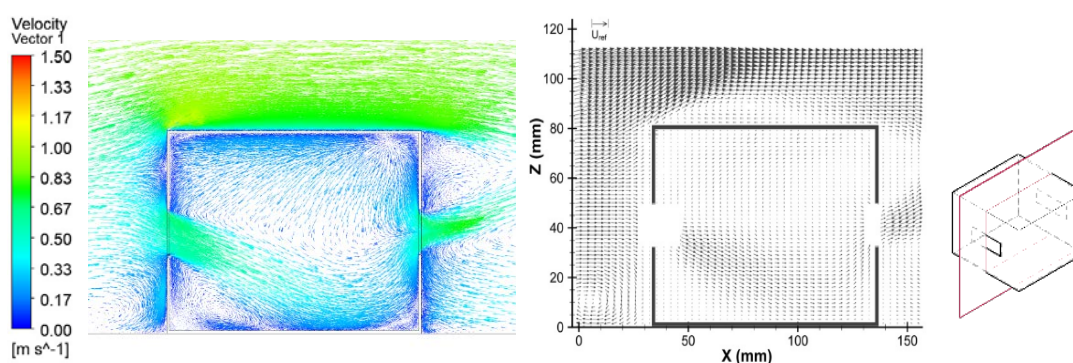
4.1 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับการทดลองที่เกี่ยวข้อง

ก่อนเข้าสู่งานทดลองซึ่งเป็นประเด็นหลักของงานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาเปรียบเทียบโดยทดลองการตั้งค่าโปรแกรมโดยอ้างอิงและนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Karava ที่ทำการศึกษาจากอุโมงค์ลม ทั้งนี้ได้อ้างอิงขนาดของแบบจำลองตามการทดลองดังกล่าว และนำการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลจากการทดลองของ Ramponi และ Blocken เป็นแนวทางในการตั้งค่าโปรแกรมทดลองงานวิจัย โดยใส่ค่าความเร็วลมตั้งต้นที่ 0.85 m/s ทดสอบในแบบจำลอง E1 และ A1 ซึ่งมีรูปแบบช่องเปิดที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองการทดลองเพื่อนำไปใช้อ้างอิงในงานวิจัยฉบับนี้ต่อไป ในการทดลองนั้นได้เปรียบเทียบรูปแบบพฤติกรรมของลมจากผลการทดลองทั้งในอดีตและปัจจุบัน รวมถึงการเปรียบเทียบกราฟในรูปแบบของแผนภูมิเส้น

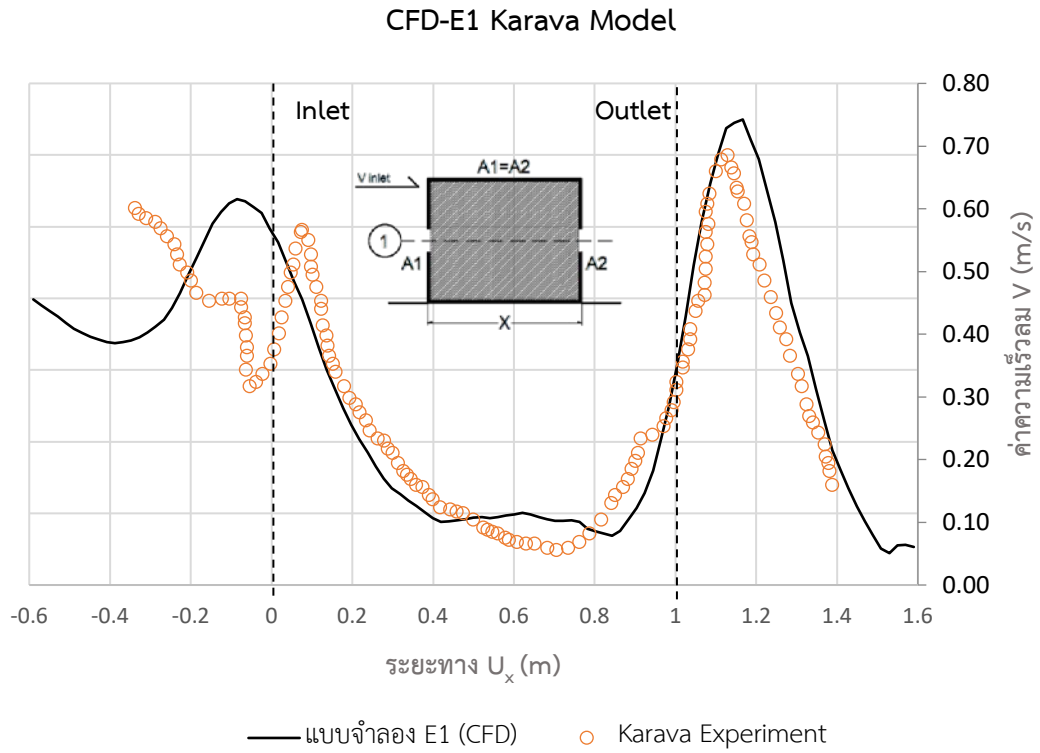
ซึ่งทดลองงานวิจัยผู้วิจัยจะพิจารณารูปแบบพฤติกรรมลมตามแนวตัดที่กำหนดขึ้นมารวมถึงการหรือกราฟแผนภูมิเส้นจากแนวเส้นที่สมมติขึ้นมาเช่นกัน วิธีการอ่านค่าจากแผนภูมิในแนวแกน X (แกนแนวนอน) จะแสดงค่า U_x ซึ่งหมายถึงระยะทางในแบบจำลอง โดยมีแนวเส้นประแสดงระยะของช่องทางเข้า (Inlet) , จุดกึ่งกลางแบบจำลอง (Center) และช่องทางออก (Outlet) เอาไว้ในแผนภูมิ ส่วนแนวแกน Y แสดงค่าความเร็วลมของแบบจำลอง โดยผู้วิจัยได้แสดงแนวการสร้างเส้นสมมติเอาไว้ใน Key section เพื่อช่วยระบุตำแหน่งของจุดที่หรือกราฟเอาไว้ในแผนภูมิ ซึ่งมีรายละเอียดและผลการทดลองต่อไปนี้

4.1.1 แบบจำลอง E1 จากการทดลองของ Karava

ภาพที่ 4.1: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง E1 เปรียบเทียบกับการทดลองของ Karava พร้อมแสดงแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ)

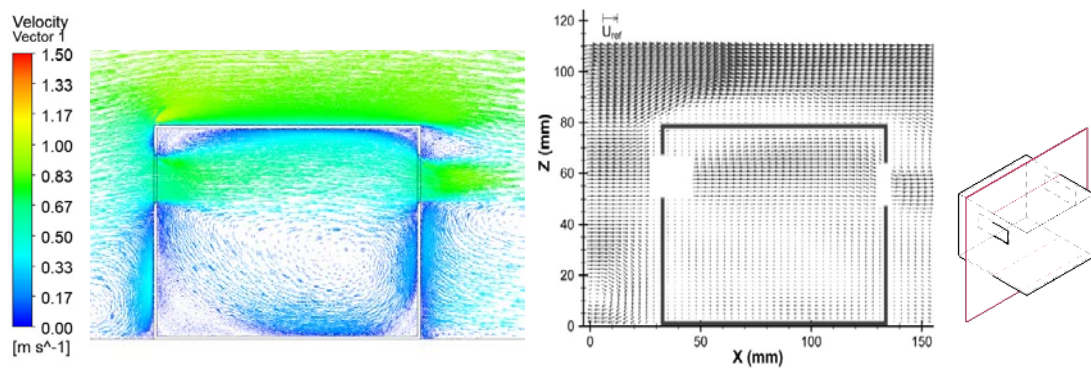


ภาพที่ 4.2: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง E1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการทดลองเดิมของ Karava

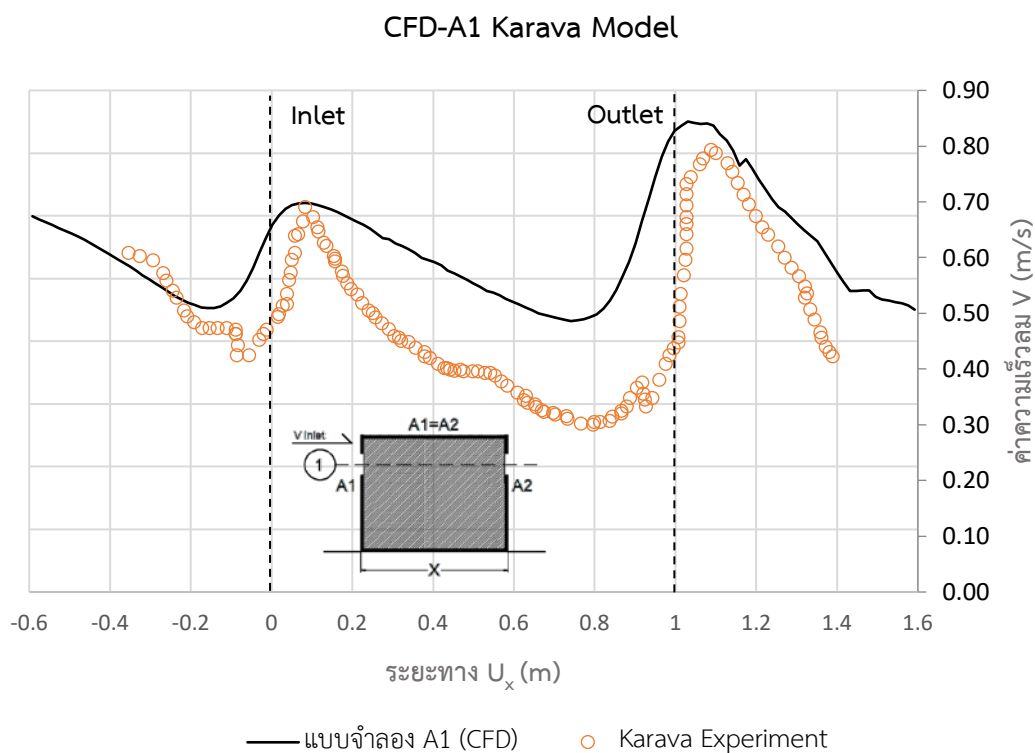


4.1.2 แบบจำลอง A1 จากการทดลองของ Karava

ภาพที่ 4.3: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง A1 เปรียบเทียบกับการทดลองของ Karava พร้อมแสดงแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ)



ภาพที่ 4.4: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง A1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการทดลองเดิมของ Karava



จากผลการทดลองศึกษาเปรียบเทียบในข้างต้นผลปรากฏว่ารูปแบบรวมถึงพฤติกรรมของลมมีลักษณะที่เป็นไปในทิศทางและรูปแบบเดียวกับการทดลองในอดีต ส่วนค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในกล่องนั้นแบบจำลอง E1 มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Karava เป็นอย่างมาก แต่แบบจำลอง A1 ผลในเรื่องของความเร็วลมรูปแบบของแผนภูมิมิมีความใกล้เคียงกันแต่ความเร็วลมยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ อาจเป็นผลมาจากปัจจัยในเรื่องของความแตกต่างของเครื่องมือ ซึ่งค่าการยอมรับได้ของความคลาดเคลื่อนไม่ควรเกินกว่าร้อยละ 10 ซึ่งผู้วิจัยได้นำกระบวนการตั้งค่าโปรแกรมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้ ไปปรับใช้กับการทดลองในหัวข้อต่อไป เพื่อยืนยันค่าความถูกต้องของข้อมูลในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยรายละเอียดผลการทดลองที่ได้ จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

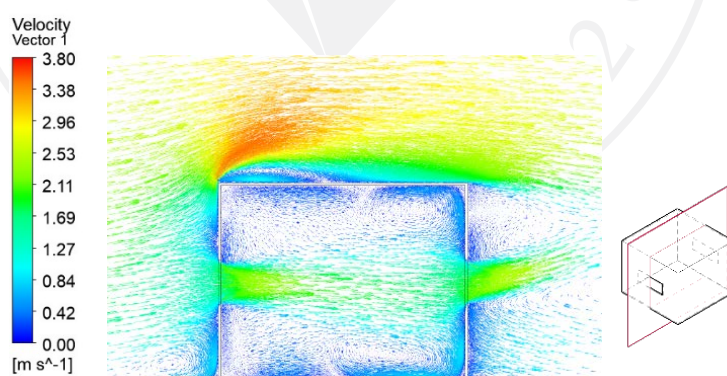
4.2 เปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับเครื่องมือวัดค่าความเร็วลม

การทดลองดังกล่าวพัฒนาารูปแบบมาจากการทดลองในข้อ 4.1 เพื่อยืนยันค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลจากเครื่องมือวัดค่าความเร็วลมที่ได้มาตรฐานที่มีชื่อว่า Testo รุ่น 405i วัดค่าเป็นจำนวน 3 จุด เป็นจำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยจุดมุ่งหมายของการทดลองในหัวข้อนี้ทำขึ้นเพื่อยืนยันข้อมูลในรูปแบบของตัวเลขอ้างอิงมากกว่าการทดลองในข้อ 4.1 ซึ่งเป็นการอ้างอิงรูปแบบและพฤติกรรมของลมหรือเรียกการทดลองว่าเป็นการ Pilot Study ก่อนทำการเริ่มการทดลองจริงเพื่อจุดประสงค์ตามที่กล่าวมาในข้างต้น

โดยนำค่าความเร็วลมตั้งต้นจากเครื่องมือในจุด V_{inlet} ที่วัดได้จริง ตั้งค่าลงไปโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) แล้วจึงนำค่าที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับจุด T_n ตามที่กำหนดจากเครื่อง Testo 405i แล้วเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองทั้งสองรูปแบบซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังต่อไปนี้

4.2.1 แบบจำลอง E1 จากการทดลอง Pilot Study

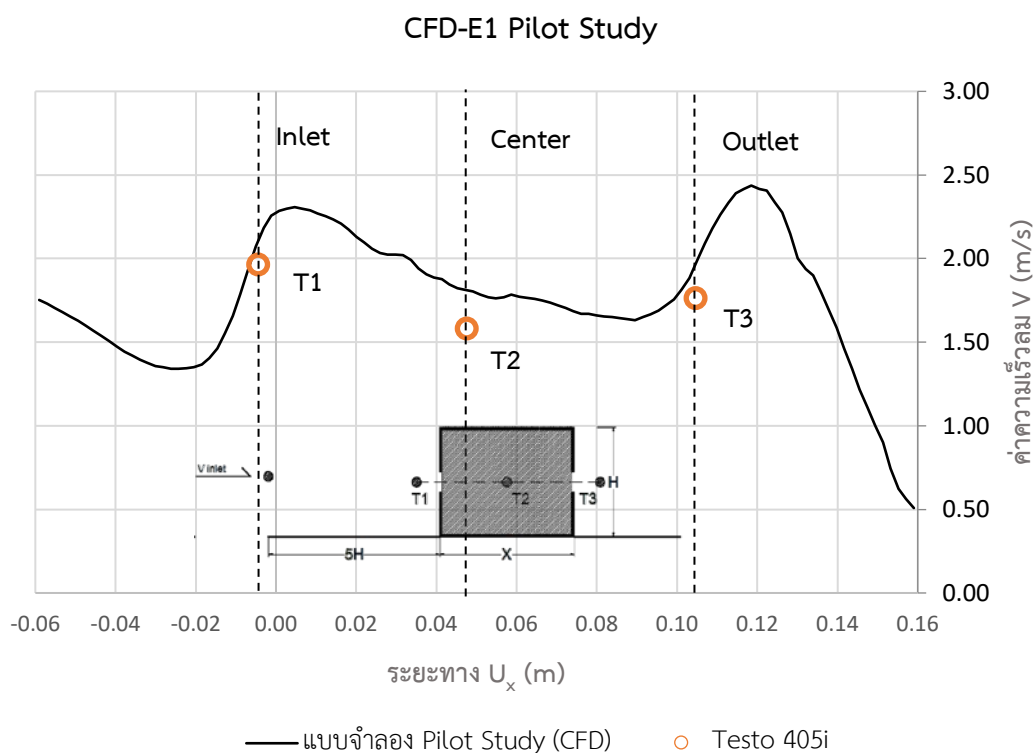
ภาพที่ 4.5: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง E1 และแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับเครื่อง Testo 405i



ตารางที่ 4.1: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลอง E1

แบบจำลอง E1 ($V_{inlet}=2.67$ m/s)			
ผลการวัดค่า	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)
Inlet (T1)	2.07	1.88	1.93
	ค่าเฉลี่ย=1.96 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 5.31%)		
Center (T2)	1.60	1.55	1.63
	ค่าเฉลี่ย=1.58 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 9.44%)		
Outlet (T3)	1.19	1.23	1.36
	ค่าเฉลี่ย=1.76 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 6.06%)		

ภาพที่ 4.6: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง E1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i

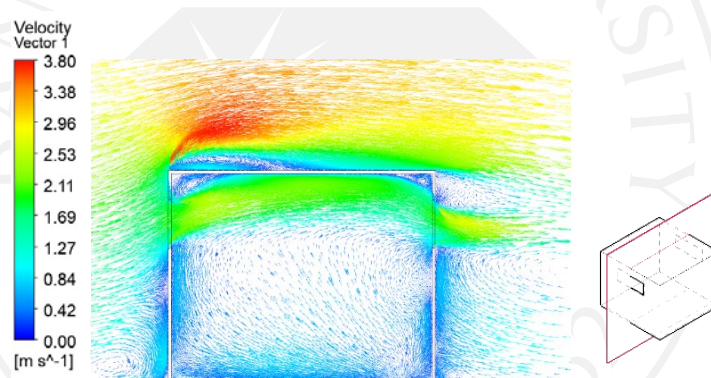


จากผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง E1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยมีค่าความเร็วลมตั้งต้นอยู่ที่ 2.67 m/s และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i

ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมเข้า (T1) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.96 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 2.07 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 5.31% ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดกึ่งกลางแบบจำลอง (T2) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.58 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 1.75 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 9.44% และความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมออก (T3) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.76 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 1.88 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 6.06%

4.2.2 แบบจำลอง A1 จากการทดลอง Pilot Study

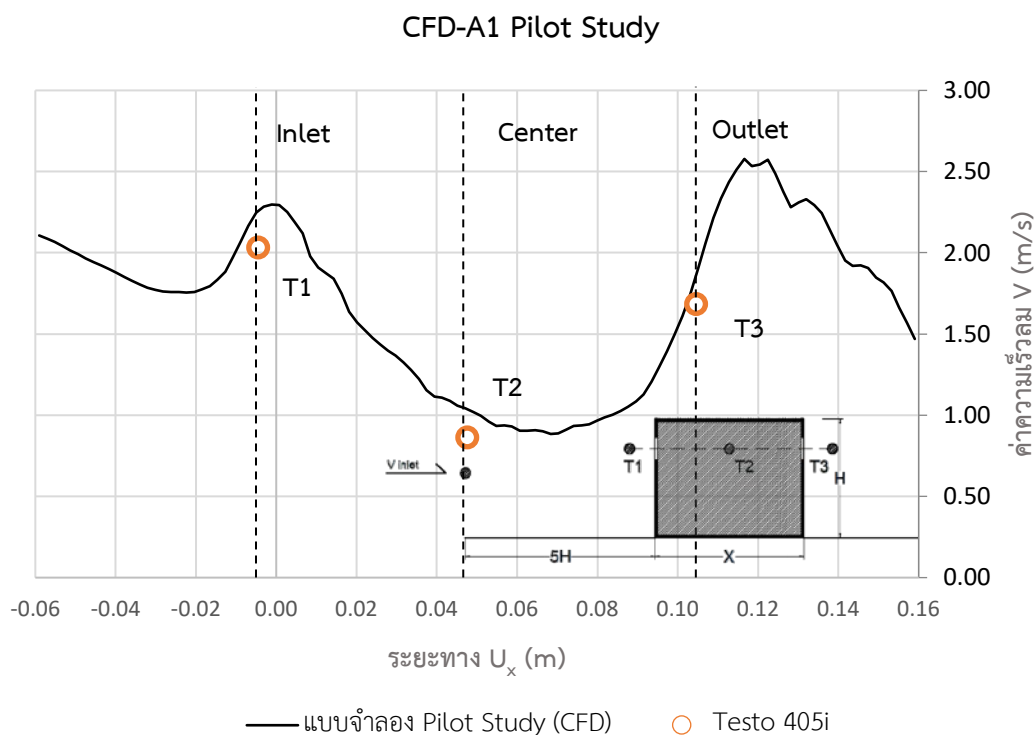
ภาพที่ 4.7: แผนภาพรูปแบบลมจากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบจำลอง A1 และแนวตัดของแบบจำลอง (ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับเครื่อง Testo 405i



ตารางที่ 4.2: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลอง A1

แบบจำลอง A1 ($V_{inlet}=2.82$ m/s)			
ผลการวัดค่า	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)
Inlet (T1)	2.11	1.96	2.02
	ค่าเฉลี่ย=2.03 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 9.77%)		
Center (T2)	0.88	0.81	0.89
	ค่าเฉลี่ย=0.86 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 17.30%)		
Outlet (T3)	1.81	1.65	1.73
	ค่าเฉลี่ย=1.68 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 4.50%)		

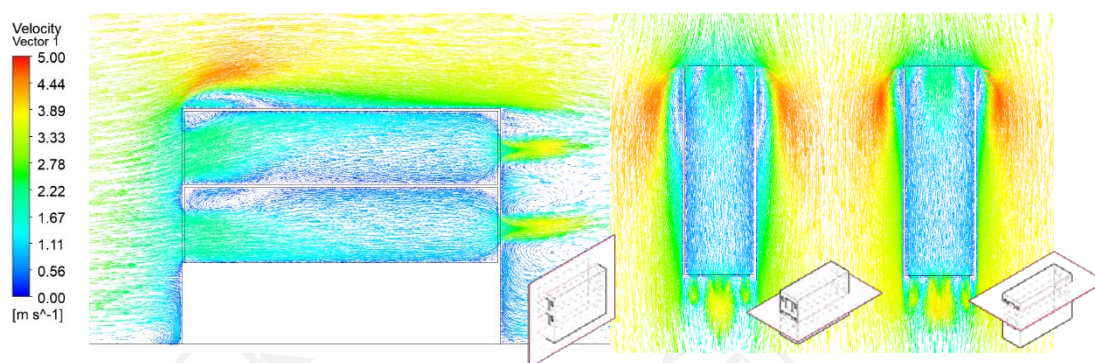
ภาพที่ 4.8: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง A1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i



จากผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง A1 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยมีค่าความเร็วลมตั้งต้นอยู่ที่ 2.82 m/s และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมเข้า (T1) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.03 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 2.25 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 9.77% ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดกึ่งกลางแบบจำลอง (T2) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.86 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 1.04 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 17.30% และความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมออก (T3) มีค่าเฉลี่ย 1.68 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลมอยู่ที่ 1.76 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.50%

4.2.3 แบบจำลองตึกแถว จากการทดลอง Pilot Study

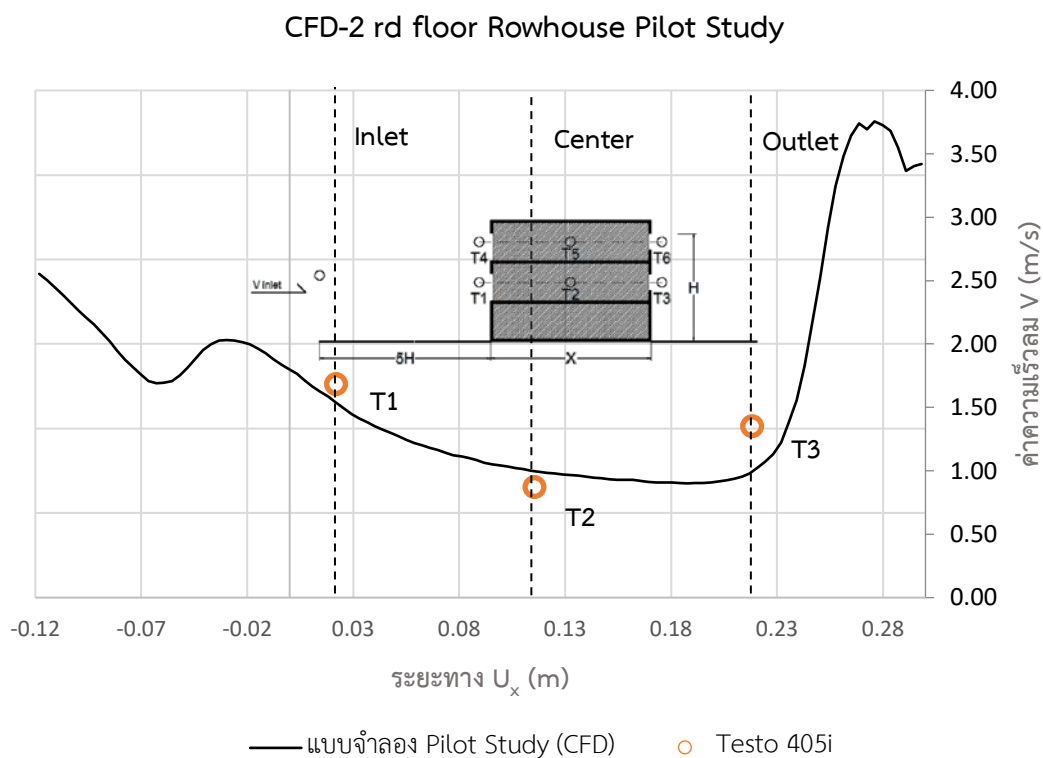
ภาพที่ 4.9: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ตารางที่ 4.3: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลองตึกแถวชั้น 2

แบบจำลองตึกแถว ชั้น 2 ($V_{inlet}=3.60\text{m/s}$)			
ผลการวัดค่า	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3(m/s)
Inlet (T1)	1.60	1.49	1.59
	ค่าเฉลี่ย=1.56 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 4.69%)		
Center (T2)	0.83	0.90	0.82
	ค่าเฉลี่ย=0.85 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 9.57%)		
Outlet (T3)	1.31	1.32	1.36
	ค่าเฉลี่ย=1.33 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 35.71%)		

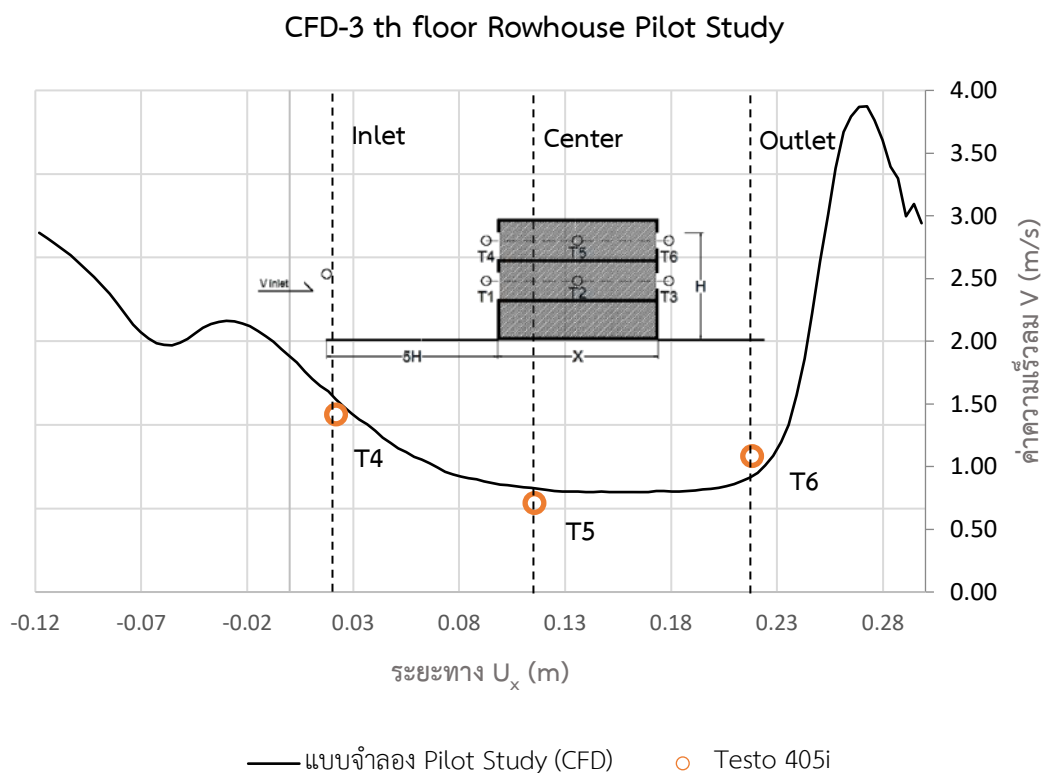
ภาพที่ 4.10: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองตึกแถวชั้น 2 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i



ตารางที่ 4.4: ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i แบบจำลองตึกแถวชั้น 3

แบบจำลองตึกแถวชั้น 3 ($V_{inlet}=3.60\text{m/s}$)			
ผลการวัดค่า	ครั้งที่ 1 (m/s)	ครั้งที่ 2 (m/s)	ครั้งที่ 3 (m/s)
Inlet (T4)	1.41	1.45	1.49
	ค่าเฉลี่ย=1.45 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 5.84%)		
Center (T5)	0.63	0.69	0.63
	ค่าเฉลี่ย=0.65 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 7.14%)		
Outlet (T6)	1.19	1.20	1.12
	ค่าเฉลี่ย=1.17 (ค่าความคลาดเคลื่อนจาก CFD 23.15%)		

ภาพที่ 4.11: แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองตึกแถวชั้น 3 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i



จากผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองตึกแถวชั้น 2 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยมีค่าความเร็วลมตั้งต้นอยู่ที่ 3.60 m/s และผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมเข้า (T1) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.56 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 1.49 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.69% ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดกึ่งกลางแบบจำลอง (T2) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.85 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 0.94 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 9.57% และความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมออก (T3) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.33 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 0.98 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 35.71%

แบบจำลองตึกแถวชั้น 3 ผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมเข้า (T4) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.45 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 1.54 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 5.84% ความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo

405i ณ จุดกึ่งกลางแบบจำลอง (T5) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.65 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลม 0.70 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 7.14% และความเร็วลมที่ได้จากเครื่อง Testo 405i ณ จุดที่ลมออก (T6) มีค่าเฉลี่ย 1.17 m/s เทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรม CFD มีค่าความเร็วลมอยู่ที่ 0.95 m/s มีค่าความคลาดเคลื่อน 23.15%

จากผลการทดลองศึกษาเปรียบเทียบผลปรากฏว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) มีความแตกต่างกับผลการวัดค่าจากเครื่อง Testo 405i ส่วนมากไม่เกินร้อยละ 10 เว้นแต่ค่า T2 จากแบบจำลอง A1 ที่มีความคลาดเคลื่อนถึง 17.30% ค่า T3 จากแบบจำลองตึกแถว ชั้น 2 มีความคลาดเคลื่อนถึง 35.71% และค่า T6 จากแบบจำลองตึกแถวชั้น 3 มีความคลาดเคลื่อน 23.15 % ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นได้มากกว่าปกติ ปัจจัยเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยในการทดลองที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด ค่าความต่อเนื่องของลมซึ่งในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลอาจมีความต่อเนื่องของลมมากกว่าเป็นต้น ทั้งนี้หากเปรียบเทียบทั้ง 2 การทดลอง ในข้อ 4.1 และ 4.2 ผลการทดลองส่วนใหญ่ค่าความแม่นยำอยู่ในจุดที่ยอมรับได้ โดยผู้ที่สนใจศึกษาอาจจะนำวิธีการดังกล่าวไปทดลองโดยละเอียด หรือนำไปใช้อ้างอิงก่อนทำการทดลองในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลในกรณีศึกษาอื่น ๆ ซึ่งในการทดลองในหัวข้อต่อไปจะนำวิธีการดังกล่าวไปใช้ในการอ้างอิง เพื่อให้ได้ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยฉบับนี้ต่อไป

4.3 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ภายในตึกแถวที่ติดตั้งแผงกันแดด

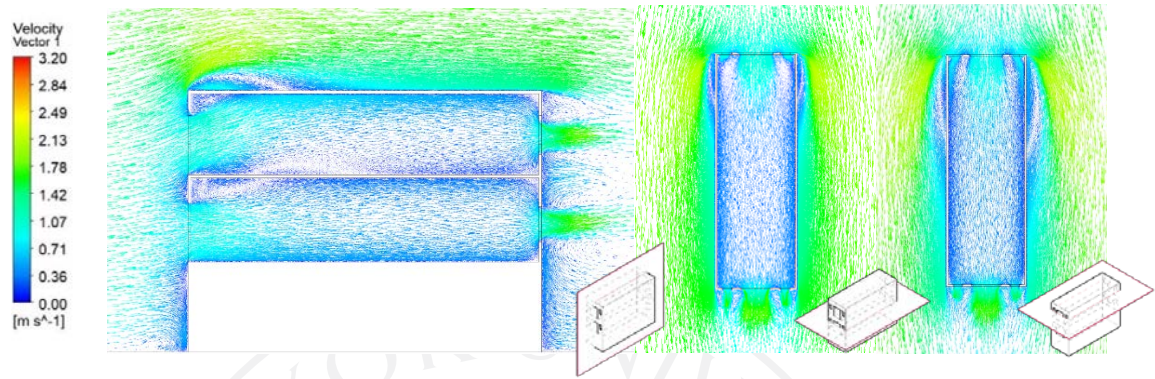
การทดลองโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ภายในตึกแถวที่ติดตั้งแผงกันแดดเป็นประเด็นหลักของงานวิจัยฉบับนี้ กล่าวถึงผลการทดลองการติดตั้งแผงกันแดดลงในอาคารประเภทตึกแถวทั้ง 8 ทิศทาง โดยแต่ละทิศทางนั้นมีรูปแบบของแผงกันแดดที่เหมาะสมตามวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดชุดการทดลองย่อยอีก 35 ชุดการทดลอง อีกทั้งยังมีค่าความเร็วลมตามข้อมูลจากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันอีกด้วย ผลการศึกษาจะแสดงผลค่าความเร็วลมสูงสุดต่ำสุด และค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง แล้วจึงนำค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่ได้นำไปคำนวณหาค่าความรู้สึกเย็นลง จากสมการที่ 5 ซึ่งจากสมการสรุปได้คร่าว ๆ คือ เมื่อมนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิจริง ประมาณ $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 km/h หรือ 0.27 m/s

นอกจากนั้นผลการทดลองจะแสดงค่าความเร็วลมโดยสรุปในรูปแบบของแผนภูมิเส้นและพฤติกรรมลมในรูปแบบของภาพ Vector เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพฤติกรรมลม ที่เกิดขึ้นกับแผงกันแดดในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งงานวิจัยอาจแสดงแบบจำลองตึกแถวหลังการคำนวณที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด เพื่อประเมินความแตกต่าง แต่ไม่ได้้นำผลการทดลองดังกล่าวมาพิจารณาหาข้อสรุปนอกเหนือขอบเขตงานวิจัย โดยผลการทดลองแยกตามทิศทางทั้ง 8 ทิศทาง ดังต่อไปนี้

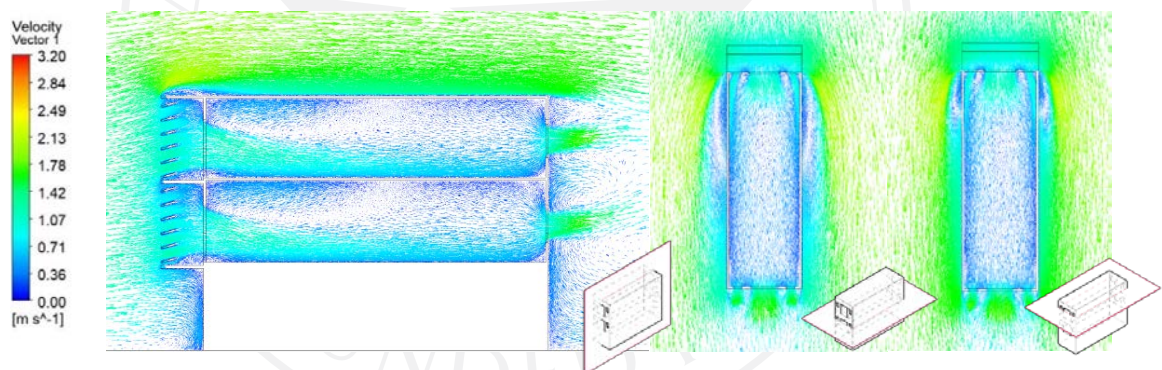
4.3.1 แบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ (N)

ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน แผงกันแดดแบบผสม และแผงกันแดดระแนงแนวนอน ลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 1.69 m/s (เป็นทิศทางที่มีความเร็วลมประจำทิศน้อยที่สุด) ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

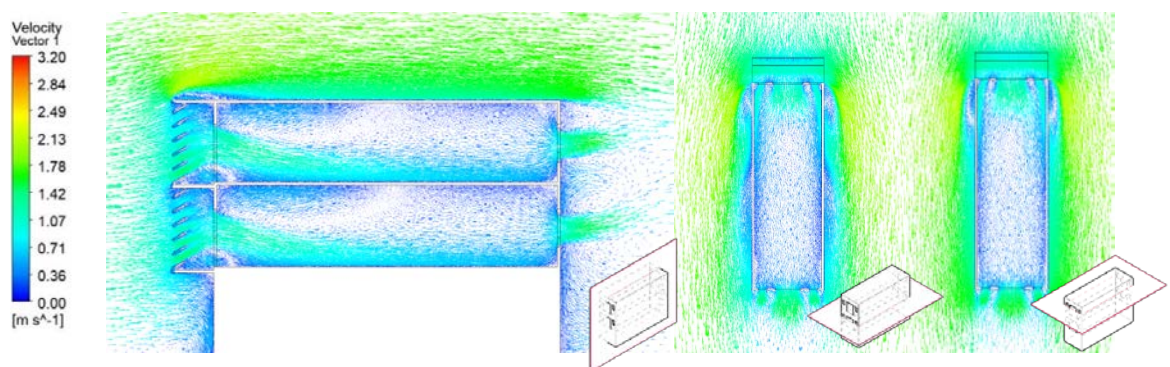
ภาพที่ 4.12: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ ไม่ติดตั้งแผงกันแดด
ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



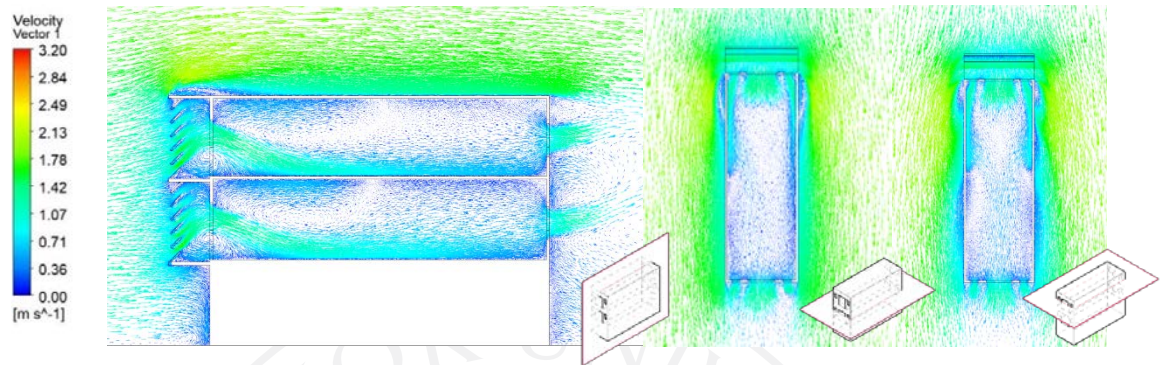
ภาพที่ 4.13: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแนวนอน
15 องศา (H15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



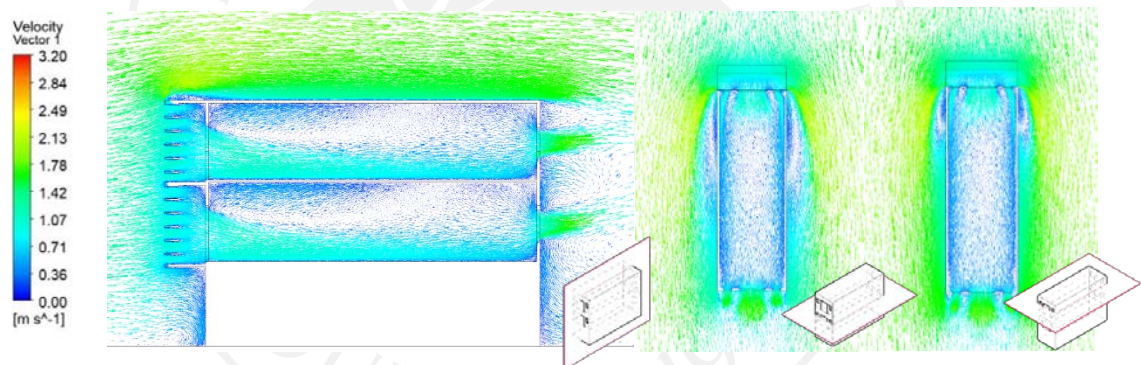
ภาพที่ 4.14: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแนวนอน
30 องศา (H30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



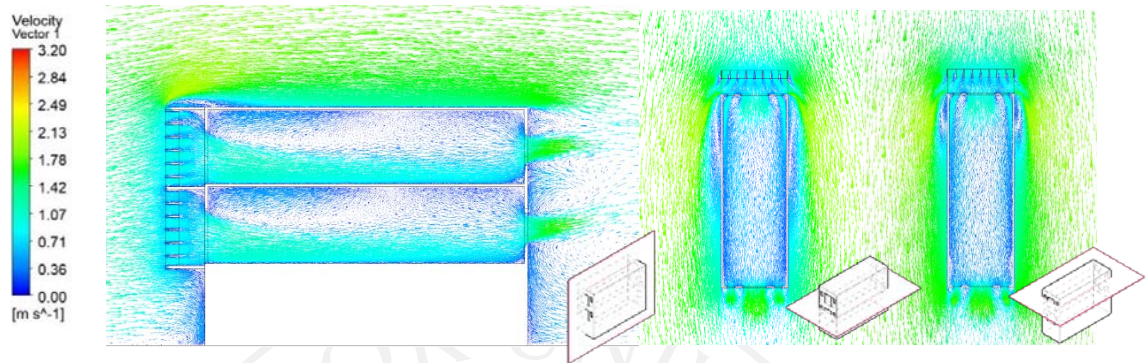
ภาพที่ 4.15: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แฉงกันแดดแนวนอน 45 องศา (H45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



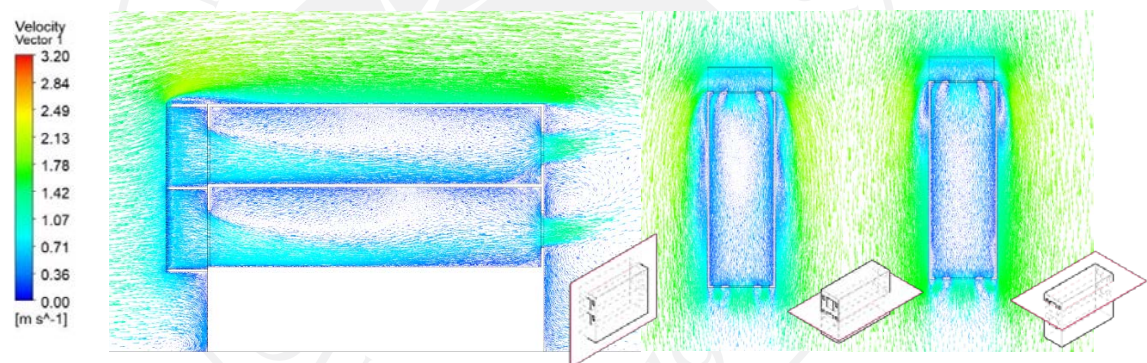
ภาพที่ 4.16: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แฉงกันแดดแนวนอน 90 องศา (H90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.17: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD

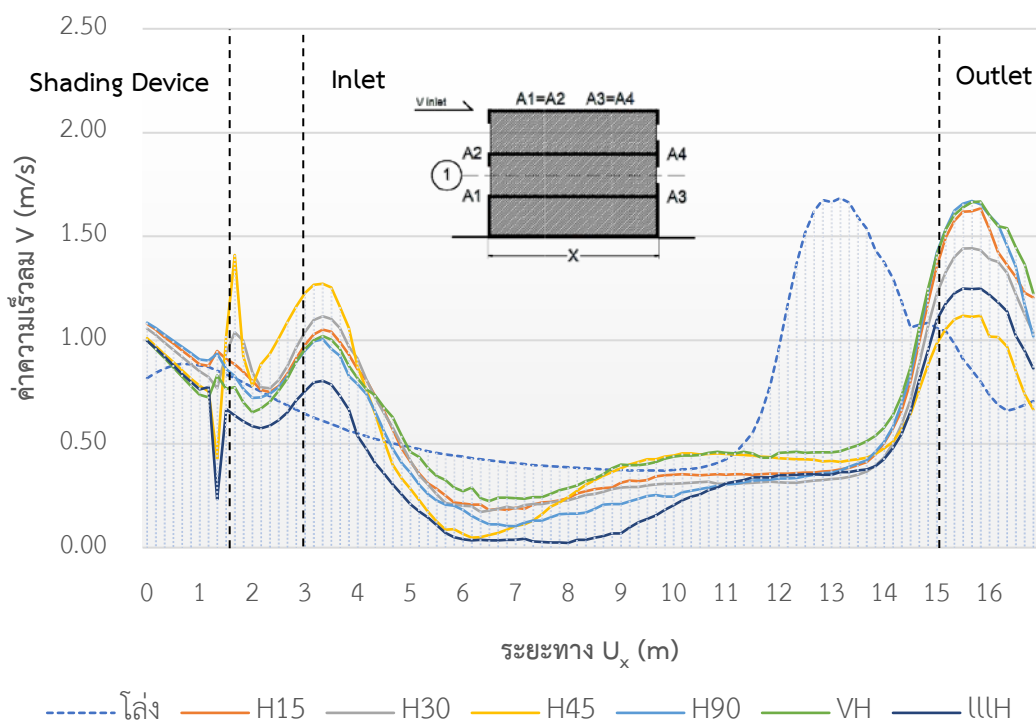


ภาพที่ 4.18: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดระแนงแนวนอน (HH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.19: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศเหนือชั้น 2

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 2 ทิศเหนือ (N)

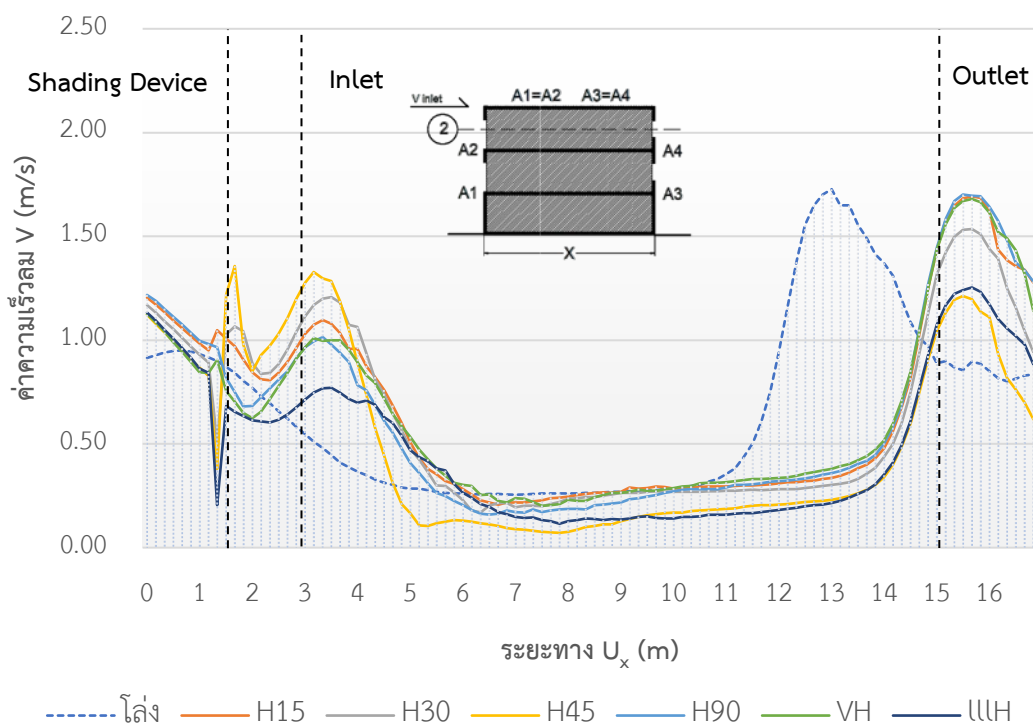


ตารางที่ 4.5: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศเหนือชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศเหนือ (N) ชั้น 2 ($V_{inlet}=1.69\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โลlož)	-	0.37 m/s	1.68 m/s	0.69 m/s	1.02 °C
แนวนอน (H15)	15	0.18 m/s	1.18 m/s	0.44 m/s	0.65 °C
แนวนอน (H30)	30	0.17 m/s	1.11 m/s	0.42 m/s	0.62 °C
แนวนอน (H45)	45	0.05 m/s	1.27 m/s	0.44 m/s	0.65 °C
แนวนอน (H90)	90	0.10 m/s	1.23 m/s	0.39 m/s	0.57 °C
ผสม (VH)	-	0.22 m/s	1.25 m/s	0.50 m/s	0.74 °C
ระแนงแนวนอน (IIIH)	-	0.02 m/s	0.95 m/s	0.29 m/s	0.43 °C

ภาพที่ 4.20: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศเหนือชั้น 3

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 3 ทิศเหนือ (N)



ตารางที่ 4.6: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศเหนือชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศเหนือ (N) ชั้น 3 ($V_{inlet}=1.69\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โlož)	-	0.25 m/s	1.73 m/s	0.59 m/s	0.87 °C
แนวนอน (H15)	15	0.21 m/s	1.25 m/s	0.44 m/s	0.66 °C
แนวนอน (H30)	30	0.17 m/s	1.21 m/s	0.43 m/s	0.63 °C
แนวนอน (H45)	45	0.07 m/s	1.33 m/s	0.31 m/s	0.46 °C
แนวนอน (H90)	90	0.16 m/s	1.27 m/s	0.40 m/s	0.60 °C
ผสม (VH)	-	0.20 m/s	1.25 m/s	0.45 m/s	0.66 °C
ระแนงแนวนอน (IIIH)	-	0.12 m/s	0.93 m/s	0.31 m/s	0.46 °C

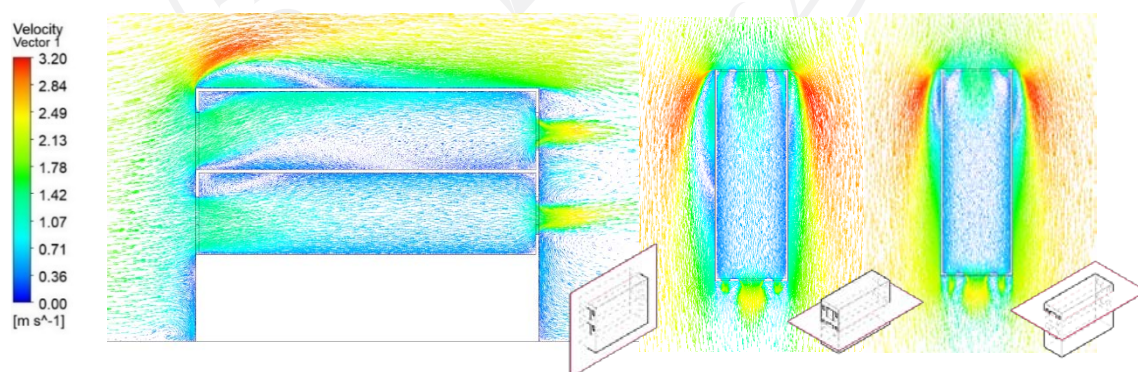
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศเหนือชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแนวนอน 45 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.27 m/s แผงกันแดดระแนงแนวนอน ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.02 m/s โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.50 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.74 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศเหนือชั้น 3 แผงกันแดดแนวนอน 45 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.33 m/s อีกทั้งยังให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.07 m/s โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.45 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.66 °C

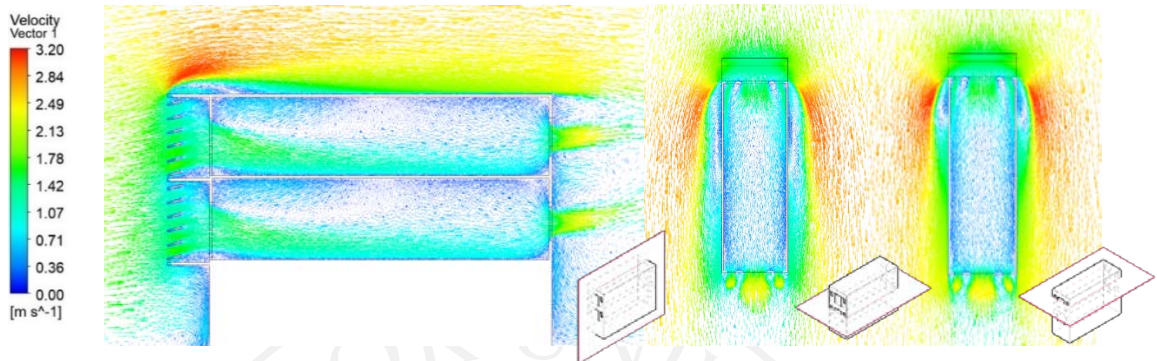
4.3.2 แบบจำลองตึกแถวทิศใต้ (S)

ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแนวนอน แผงกันแดดแบบผสม และแผงกันแดดระแนงแนวนอน ลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 2.45 m/s ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

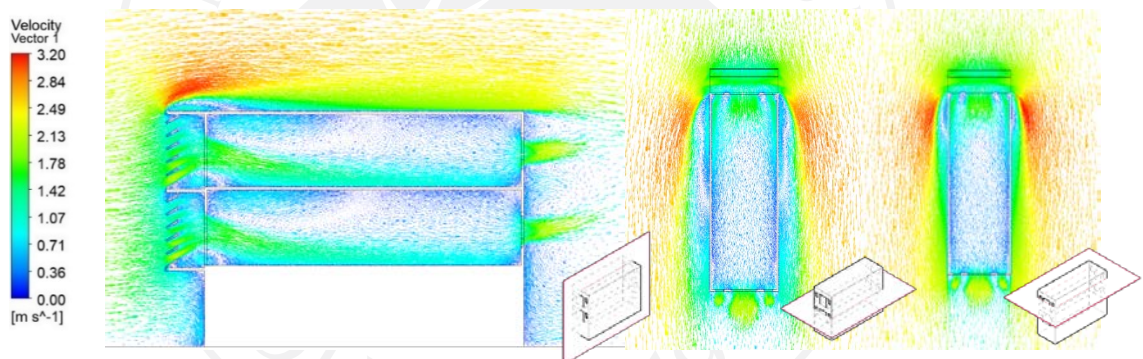
ภาพที่ 4.21: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



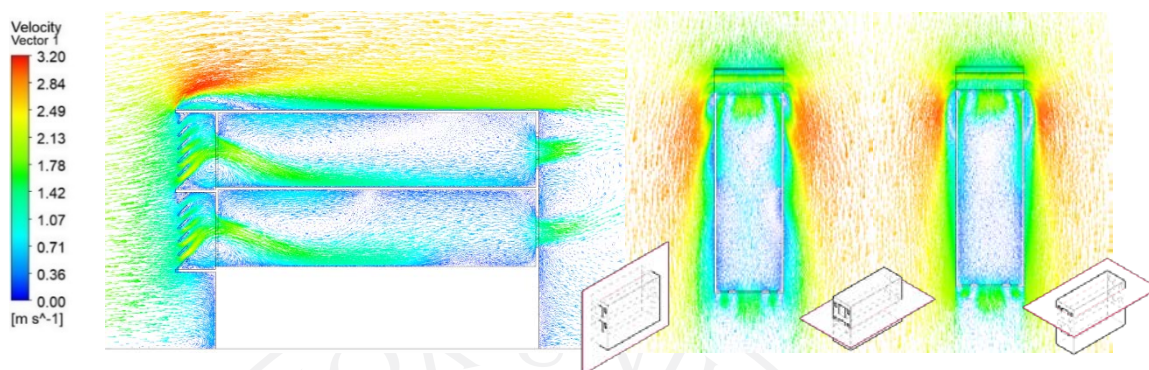
ภาพที่ 4.22: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 15 องศา (H15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



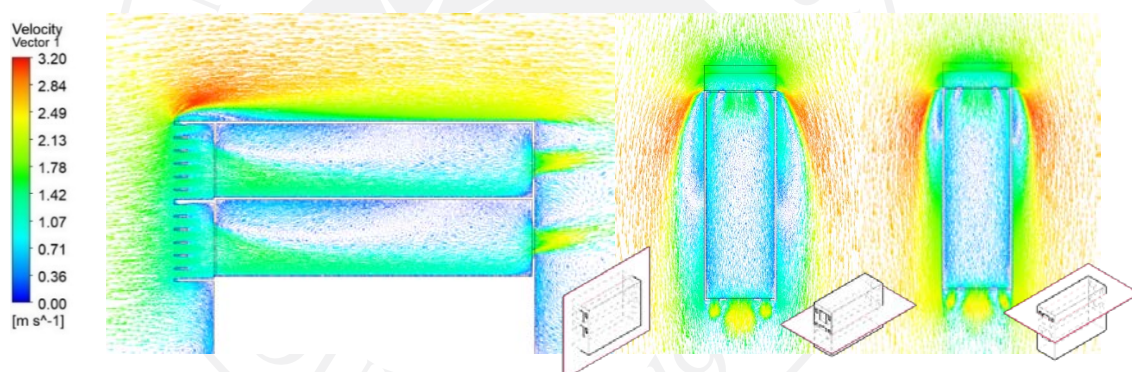
ภาพที่ 4.23: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 30 องศา (H30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



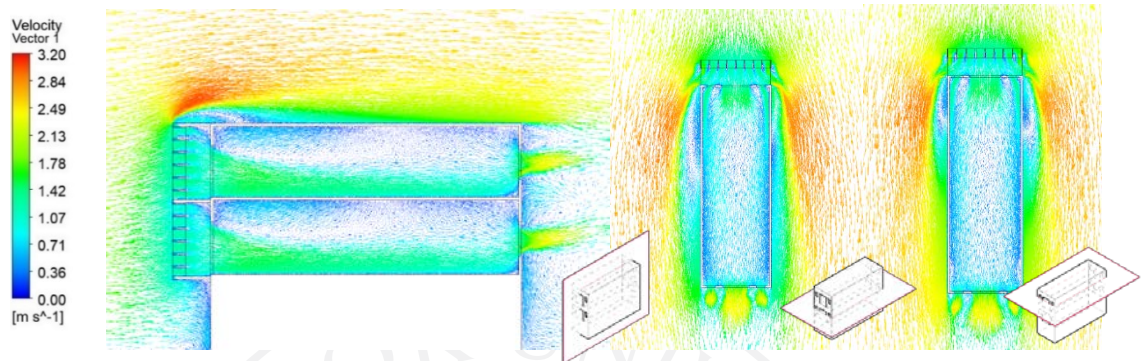
ภาพที่ 4.24: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 45 องศา (H45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



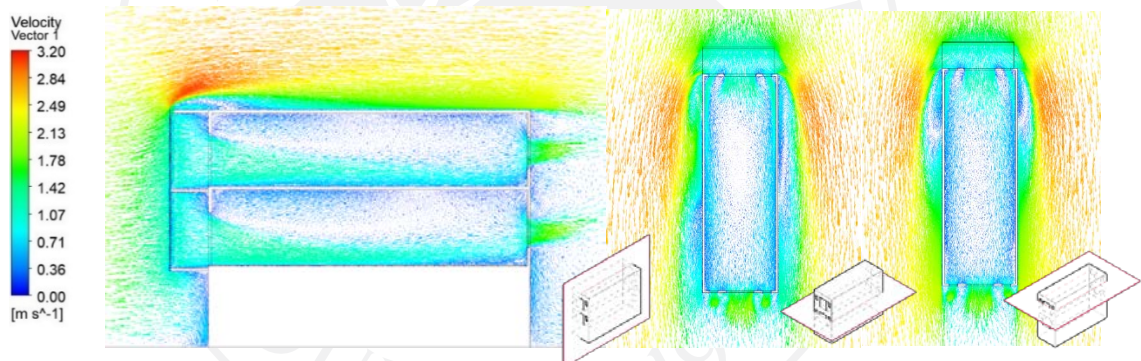
ภาพที่ 4.25: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแนวนอน 90 องศา (H90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.26: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD

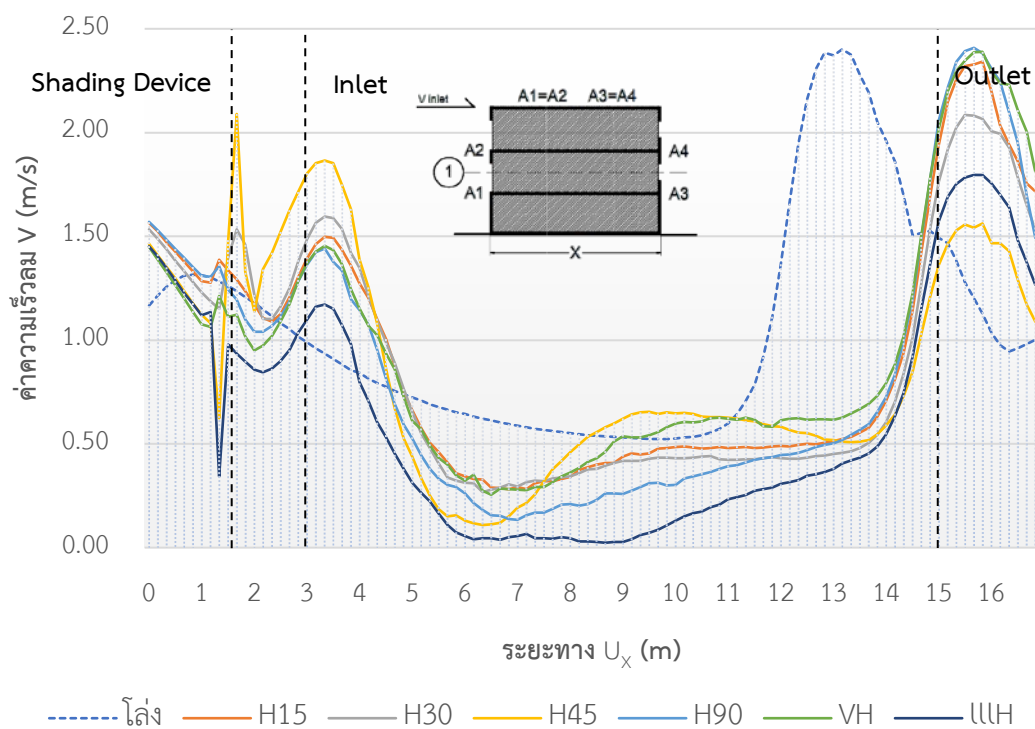


ภาพที่ 4.27: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศใต้ แผงกันแดดระแนงแนวนอน (HH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.28: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศใต้ชั้น 2

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 2 ทิศใต้ (S)

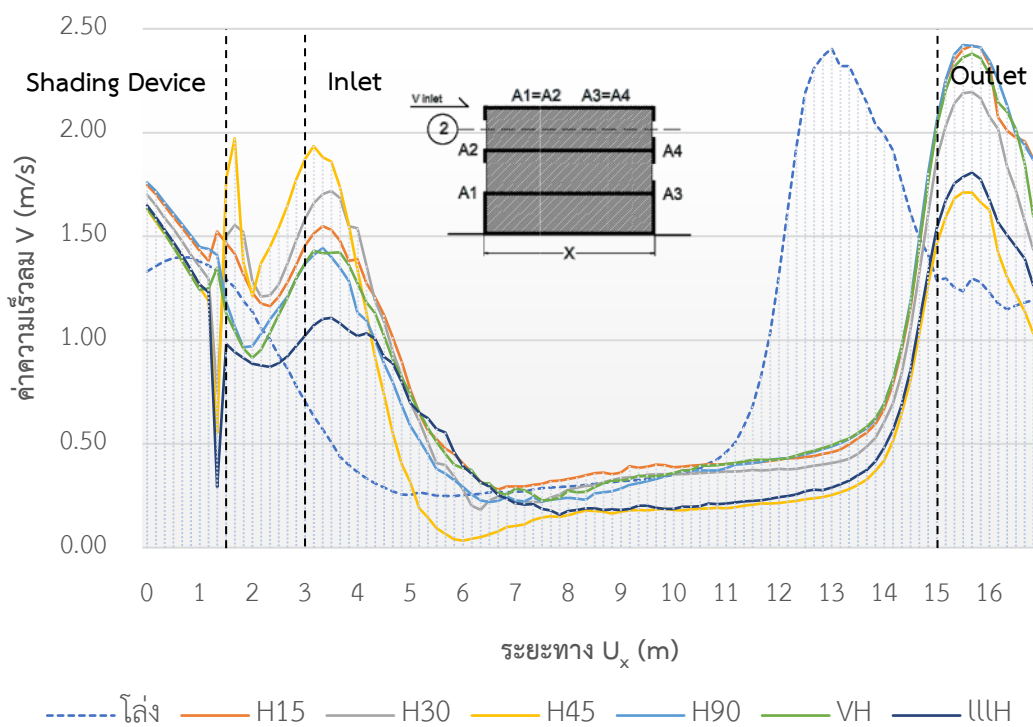


ตารางที่ 4.7: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศใต้ชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศใต้ (S) ชั้น 2 ($V_{inlet}=2.45\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00\text{ m}$)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โlož)	-	0.52 m/s	2.40 m/s	0.99 m/s	1.47 °C
แนวนอน (H15)	15	0.28 m/s	1.70 m/s	0.63 m/s	0.93 °C
แนวนอน (H30)	30	0.27 m/s	1.59 m/s	0.60 m/s	0.89 °C
แนวนอน (H45)	45	0.11 m/s	1.87 m/s	0.65 m/s	0.96 °C
แนวนอน (H90)	90	0.13 m/s	1.78 m/s	0.54 m/s	0.80 °C
ผสม (VH)	-	0.25 m/s	1.78 m/s	0.67 m/s	1.00 °C
ระแนงแนวนอน (IIIH)	-	0.02 m/s	1.30 m/s	0.35 m/s	0.51 °C

ภาพที่ 4.29: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศใต้ชั้น 3

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 3 ทิศใต้ (S)



ตารางที่ 4.8: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศใต้ชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศใต้ (S) ชั้น 3 ($V_{inlet}=2.45\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00\text{ m}$)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โlož)	-	0.25 m/s	2.41 m/s	0.77 m/s	1.14 °C
แนวนอน (H15)	15	0.28 m/s	1.78 m/s	0.62 m/s	0.92 °C
แนวนอน (H30)	30	0.18 m/s	1.72 m/s	0.58 m/s	0.86 °C
แนวนอน (H45)	45	0.03 m/s	1.94 m/s	0.42 m/s	0.62 °C
แนวนอน (H90)	90	0.22 m/s	1.81 m/s	0.56 m/s	0.83 °C
ผสม (VH)	-	0.23 m/s	1.76 m/s	0.60 m/s	0.88 °C
ระแนงแนวนอน (IIIH)	-	0.16 m/s	1.33 m/s	0.45 m/s	0.66 °C

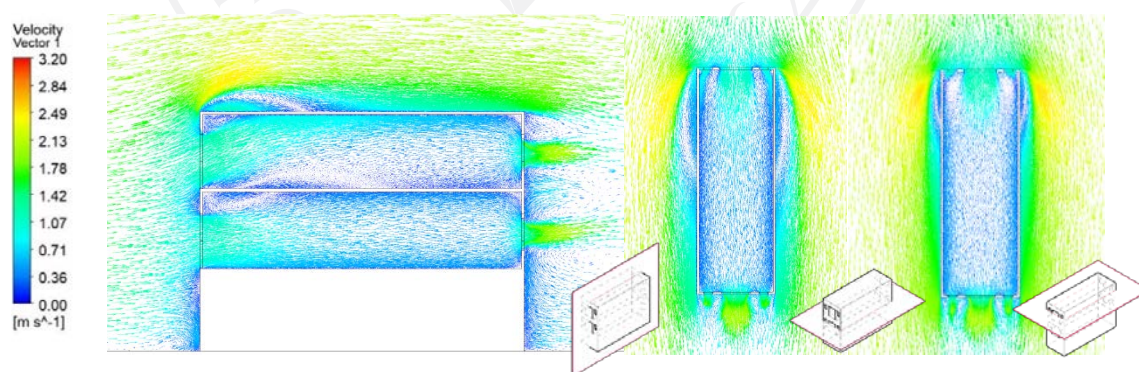
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศใต้ชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแนวนอน 45 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.87 m/s แผงกันแดดระแนงแนวนอน ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.02 m/s โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.67 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 1.00 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศใต้ชั้น 3 แผงกันแดดแนวนอน 45 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.94 m/s อีกทั้งยังให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.03 m/s โดยแผงกันแดดแนวนอน 15 องศา สามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.62 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.92 °C

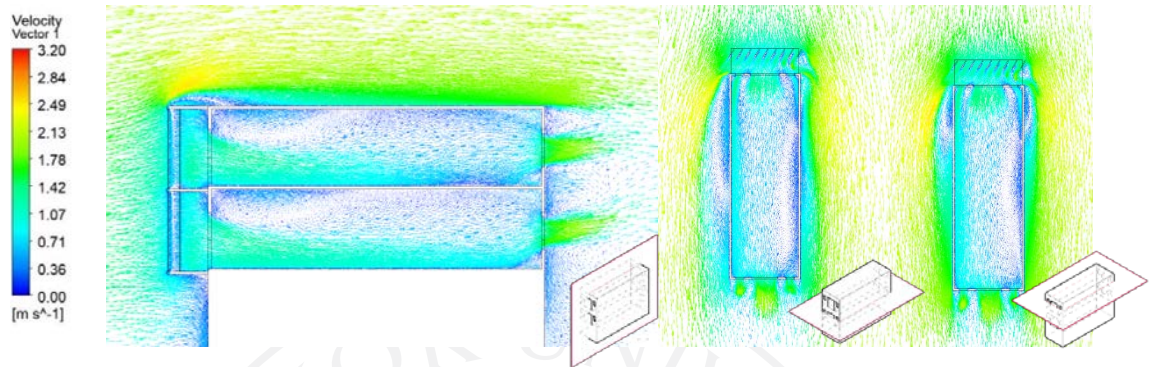
4.3.3 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก (E)

ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแบบผสม และแผงกันแดดระแนงแนวตั้งลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 2.01 m/s ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

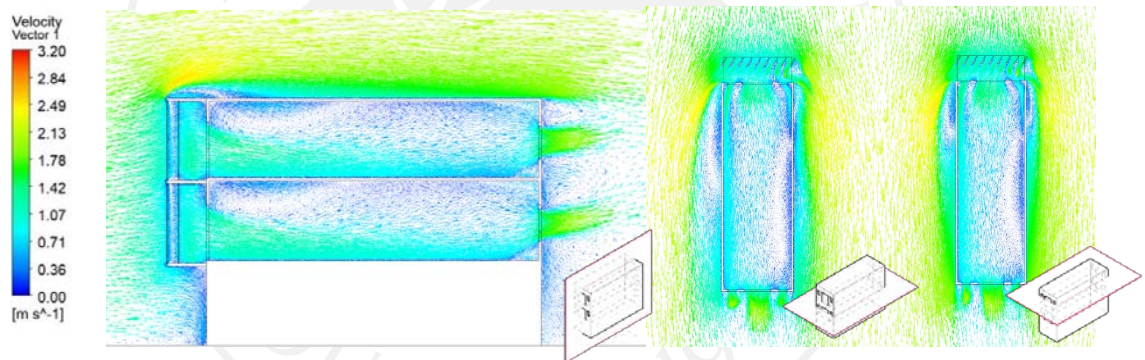
ภาพที่ 4.30: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



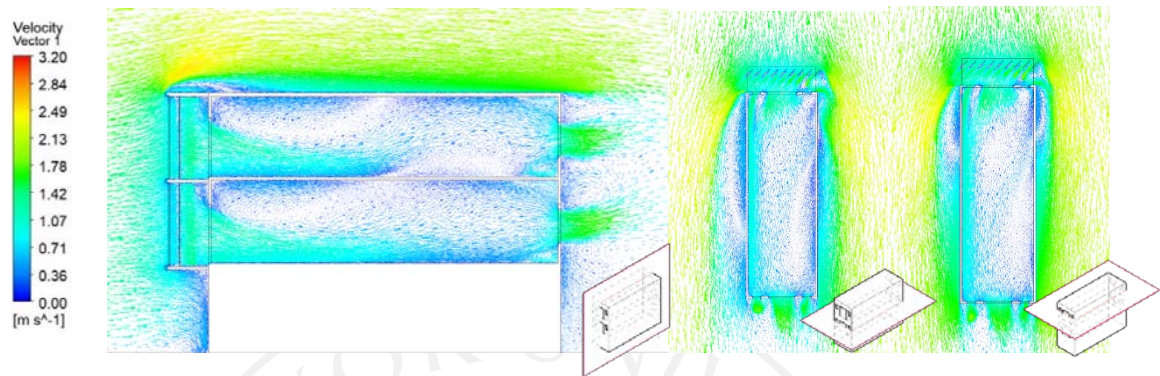
ภาพที่ 4.31: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



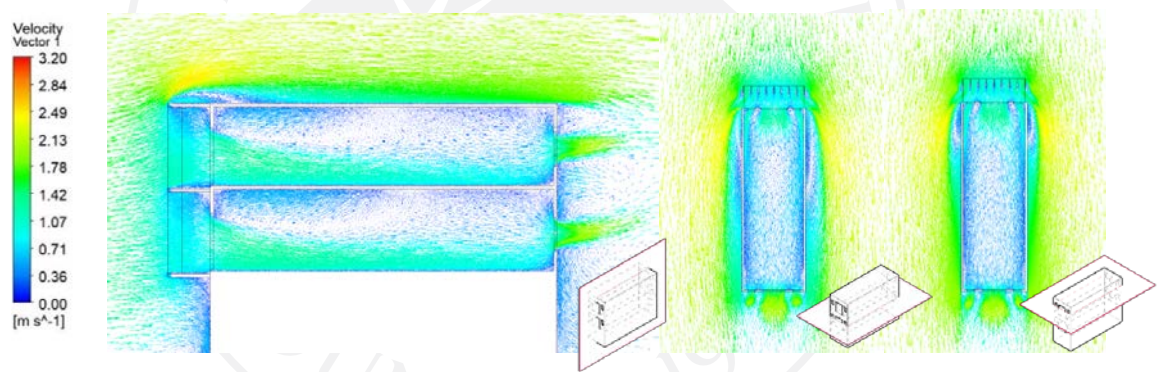
ภาพที่ 4.32: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



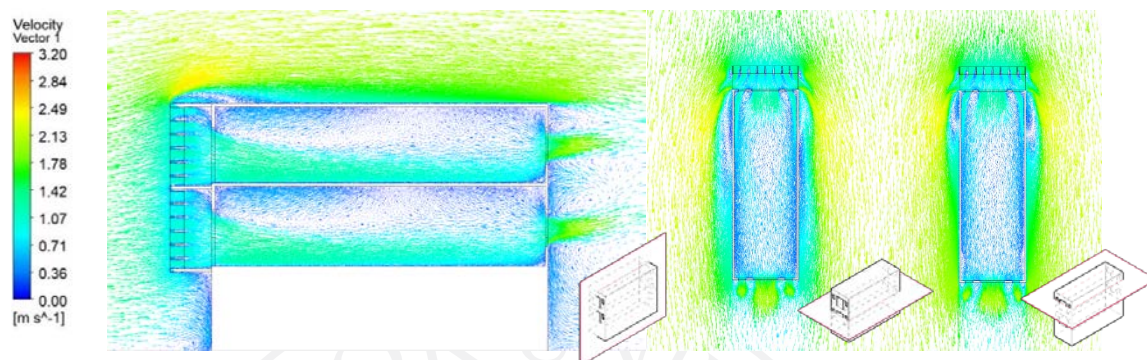
ภาพที่ 4.33: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



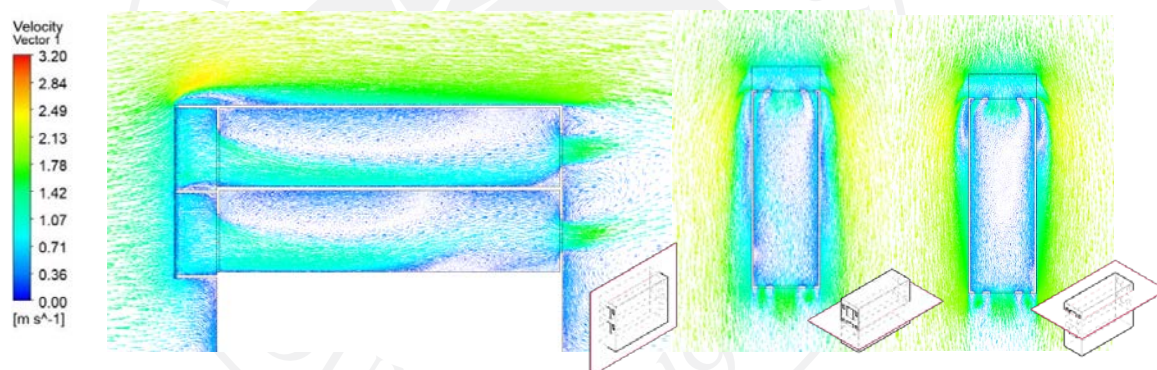
ภาพที่ 4.34: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.35: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD

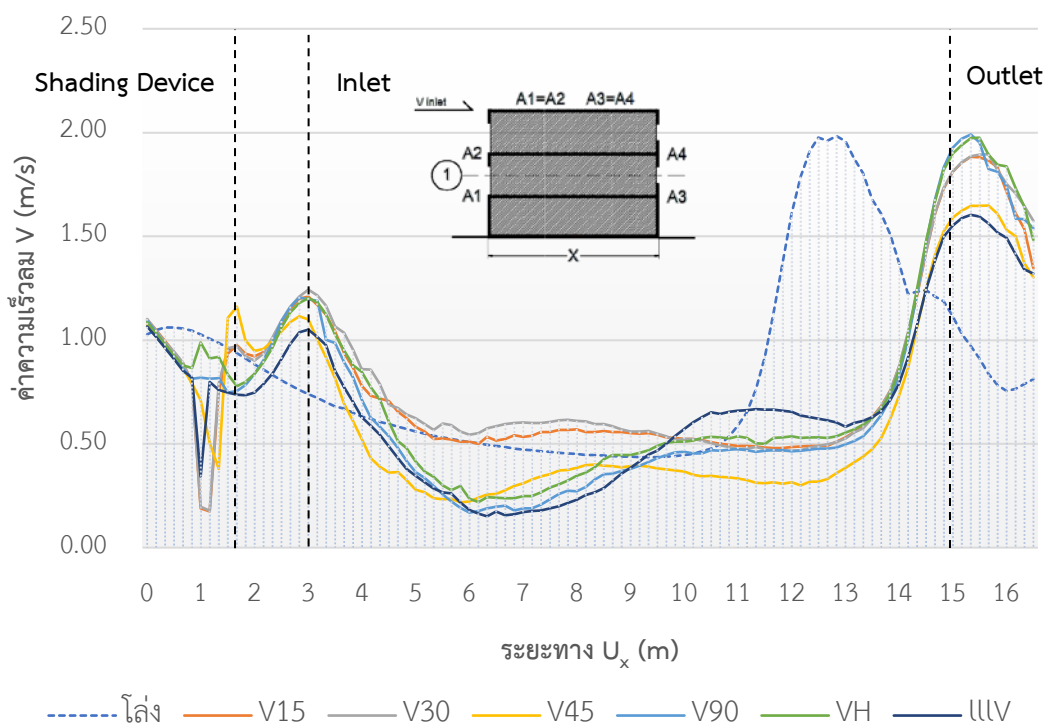


ภาพที่ 4.36: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออก แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (VV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.37: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกชั้น 2

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 2 ทิศตะวันออก (E)

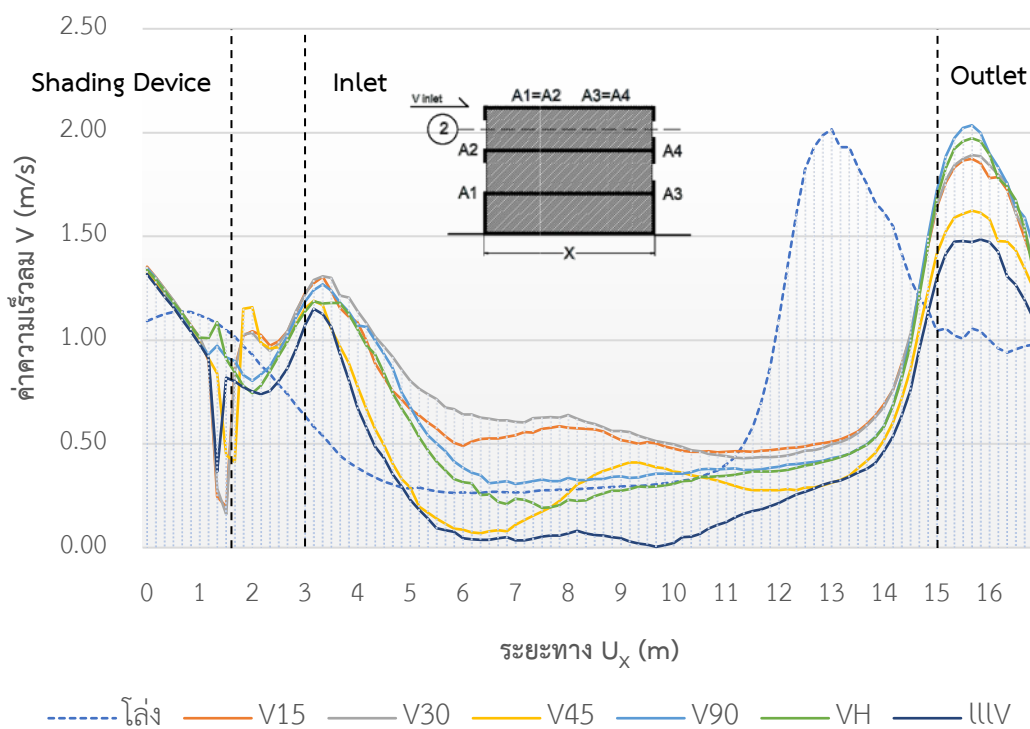


ตารางที่ 4.9: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศตะวันออก (E) ชั้น 2 ($V_{inlet}=2.01\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โlož)	-	0.44 m/s	1.98 m/s	0.81 m/s	1.21 °C
แนวตั้ง (V15)	15	0.48 m/s	1.42 m/s	0.64 m/s	0.95 °C
แนวตั้ง (V30)	30	0.47 m/s	1.43 m/s	0.67 m/s	0.99 °C
แนวตั้ง (V45)	45	0.22 m/s	1.25 m/s	0.45 m/s	0.66 °C
แนวตั้ง (V90)	90	0.17 m/s	1.47 m/s	0.51 m/s	0.76 °C
ผสม (VH)	-	0.22 m/s	1.48 m/s	0.57 m/s	0.84 °C
ระแนงแนวตั้ง (IIIIV)	-	0.15 m/s	1.24 m/s	0.53 m/s	0.78 °C

ภาพที่ 4.38: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกชั้น 3

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 3 ทิศตะวันออก (E)



ตารางที่ 4.10: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศตะวันออก (E) ชั้น 3 ($V_{inlet}=2.01\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	0.26 m/s	2.02 m/s	0.67 m/s	0.99 °C
แนวตั้ง (V15)	15	0.46 m/s	1.46 m/s	0.65 m/s	0.97 °C
แนวตั้ง (V30)	30	0.43 m/s	1.47 m/s	0.69 m/s	1.02 °C
แนวตั้ง (V45)	45	0.07 m/s	1.24 m/s	0.41 m/s	0.60 °C
แนวตั้ง (V90)	90	0.31 m/s	1.50 m/s	0.55 m/s	0.82 °C
ผสม (VH)	-	0.19 m/s	1.46 m/s	0.50 m/s	0.74 °C
ระแนงแนวตั้ง (IIIV)	-	0.00 m/s	1.15 m/s	0.28 m/s	0.42 °C

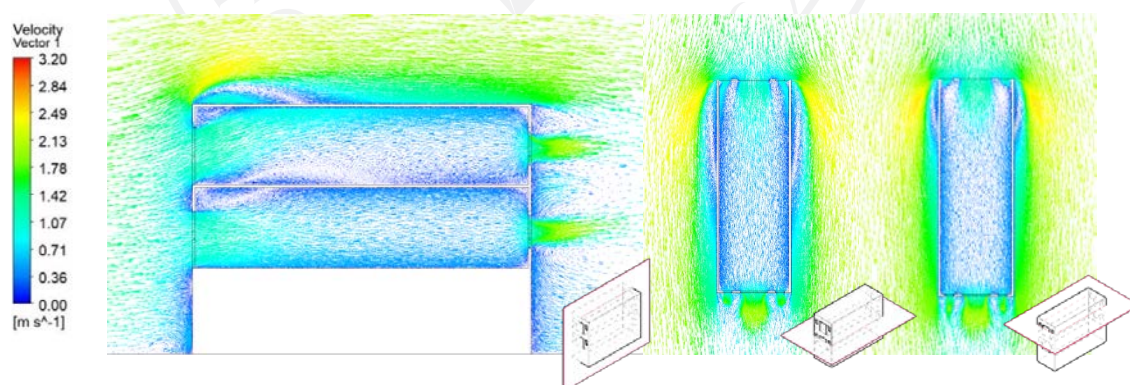
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.48 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.15 m/s โดยแผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศาสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.67 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.99 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกชั้น 3 แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.50 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.00 m/s (จุดอับลม) โดยแผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศาสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.69 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 1.02 °C

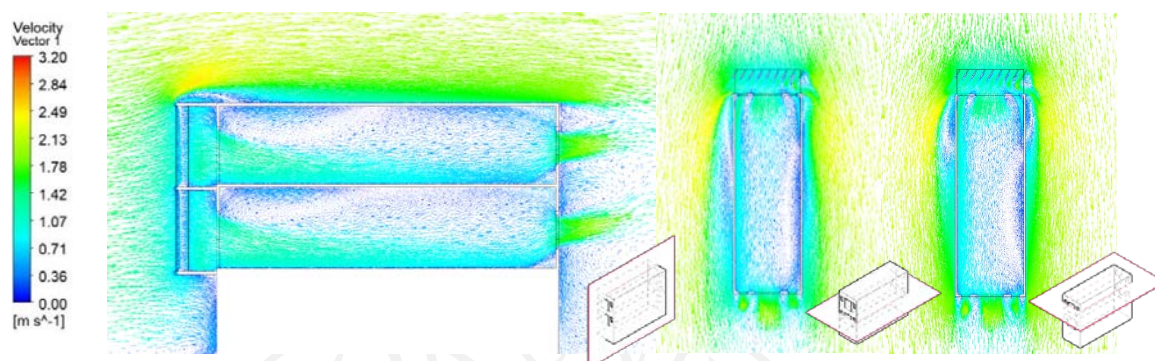
4.3.4 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก (W)

ชุดการทดลองที่ 4 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแบบผสม และแผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 1.99 m/s ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

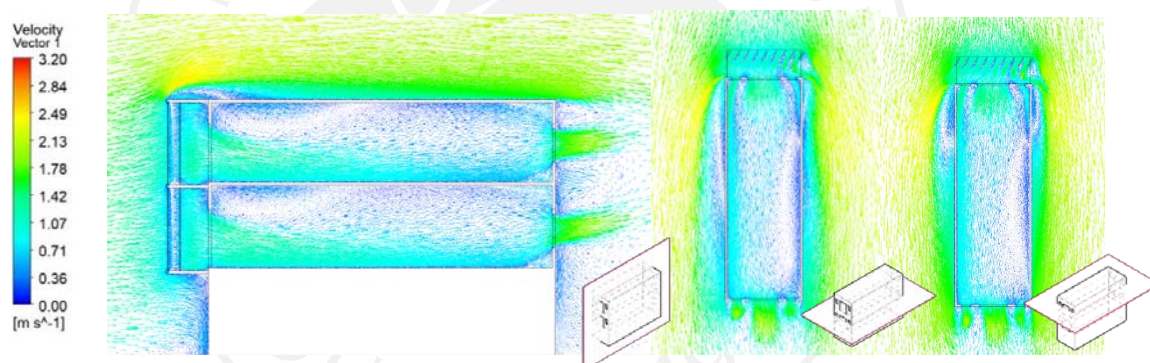
ภาพที่ 4.39: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



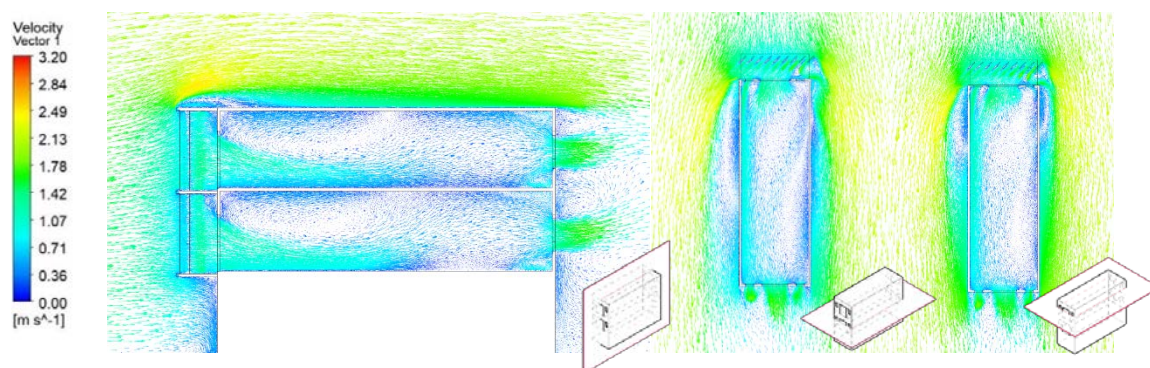
ภาพที่ 4.40: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



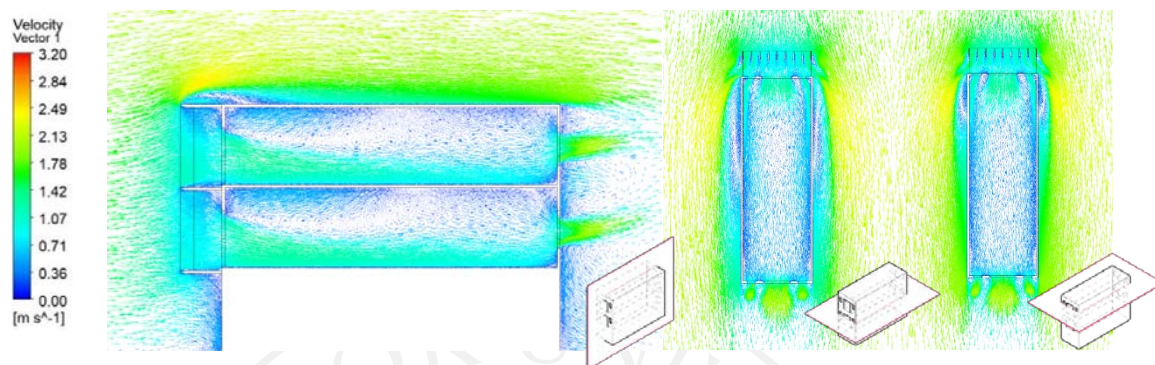
ภาพที่ 4.41: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



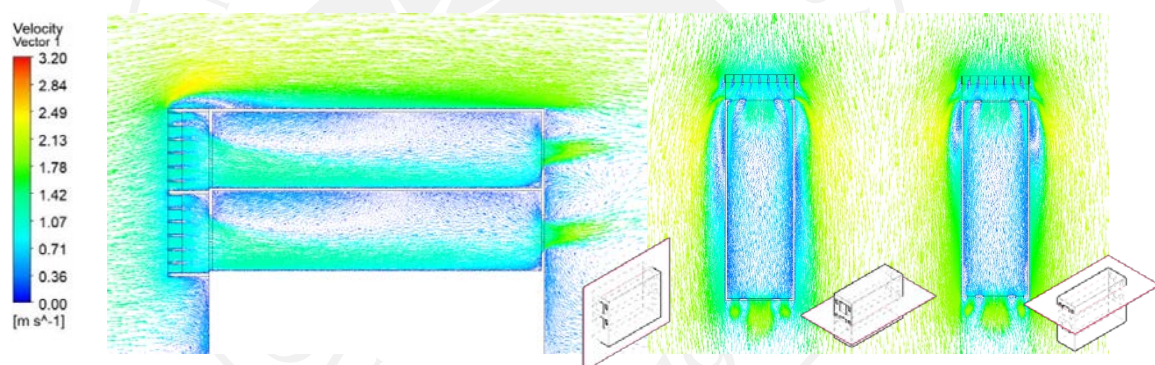
ภาพที่ 4.42: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



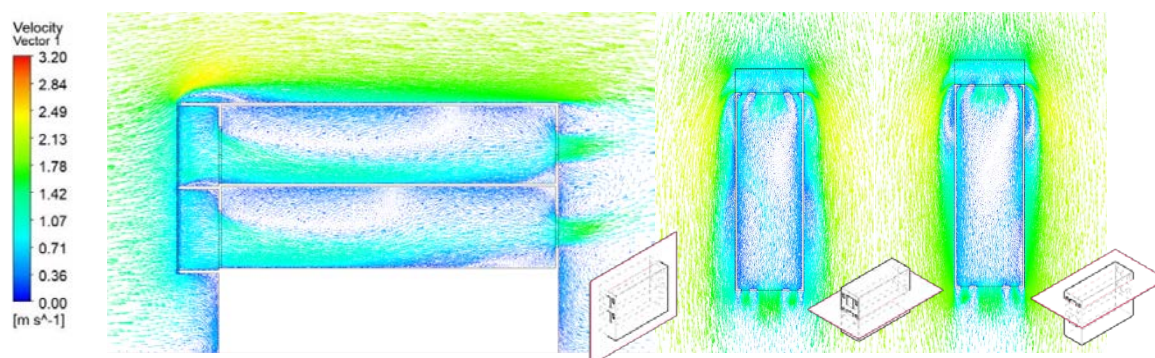
ภาพที่ 4.43: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.44: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตก แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD

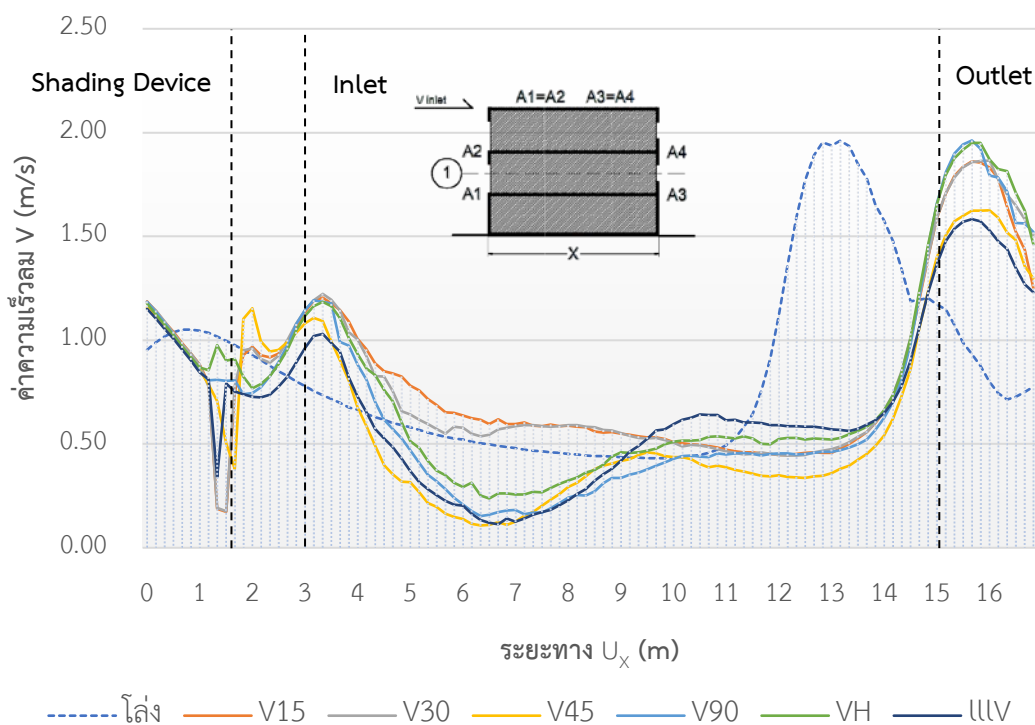


ภาพที่ 4.45: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (VV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.46: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกชั้น 2

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 2 ทิศตะวันตก (W)

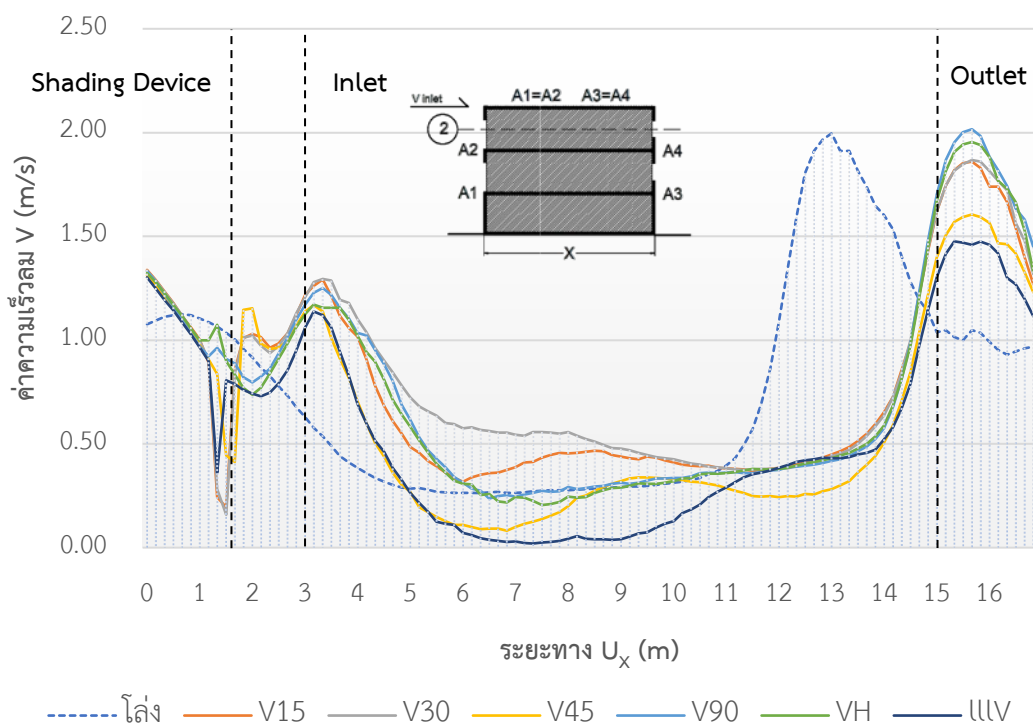


ตารางที่ 4.11: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศตะวันตก (W) ชั้น 2 ($V_{inlet}=1.99\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โlož)	-	0.43 m/s	1.96 m/s	0.80 m/s	1.19 °C
แนวตั้ง (V15)	15	0.45 m/s	1.40 m/s	0.66 m/s	0.98 °C
แนวตั้ง (V30)	30	0.44 m/s	1.40 m/s	0.65 m/s	0.96 °C
แนวตั้ง (V45)	45	0.11 m/s	1.24 m/s	0.43 m/s	0.64 °C
แนวตั้ง (V90)	90	0.15 m/s	1.45 m/s	0.50 m/s	0.74 °C
ผสม (VH)	-	0.24 m/s	1.46 m/s	0.57 m/s	0.84 °C
ระแนงแนวตั้ง (IIIV)	-	0.11 m/s	1.23 m/s	0.52 m/s	0.77 °C

ภาพที่ 4.47: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกชั้น 3

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 3 ทิศตะวันตก (W)



ตารางที่ 4.12: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศตะวันตก (W) ชั้น 3 ($V_{inlet}=1.99\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00\text{ m}$)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	0.26 m/s	2.00 m/s	0.66 m/s	0.98 °C
แนวตั้ง (V15)	15	0.32 m/s	1.43 m/s	0.56 m/s	0.83 °C
แนวตั้ง (V30)	30	0.38 m/s	1.44 m/s	0.63 m/s	0.93 °C
แนวตั้ง (V45)	45	0.08 m/s	1.22 m/s	0.38 m/s	0.56 °C
แนวตั้ง (V90)	90	0.24 m/s	1.49 m/s	0.52 m/s	0.77 °C
ผสม (VH)	-	0.21 m/s	1.45 m/s	0.50 m/s	0.74 °C
ระแนงแนวตั้ง (IIIV)	-	0.02 m/s	1.15 m/s	0.34 m/s	0.50 °C

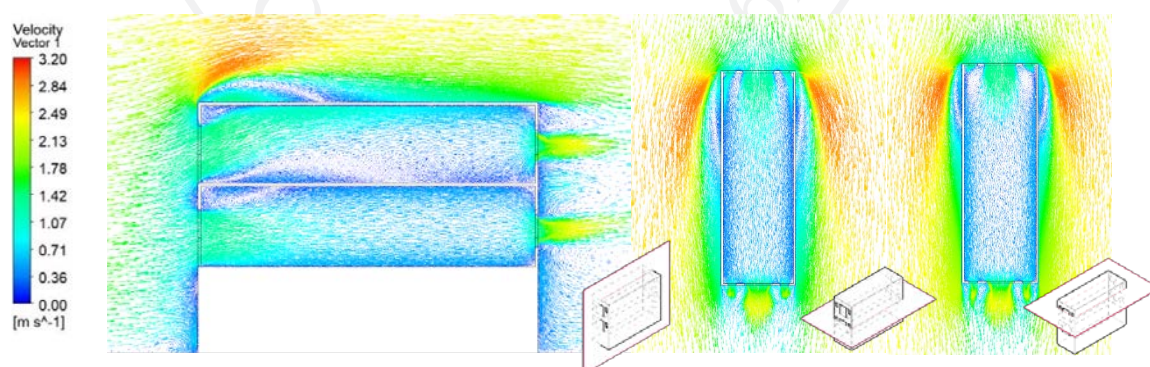
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.46 m/s แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา และแผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดเท่ากันอยู่ที่ 0.11 m/s โดยแผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศาสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.66 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.98 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกชั้น 3 แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.49 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุด อยู่ที่ 0.02 m/s โดยแผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศาสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้ สูงสุดที่ 0.63 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.93 °C

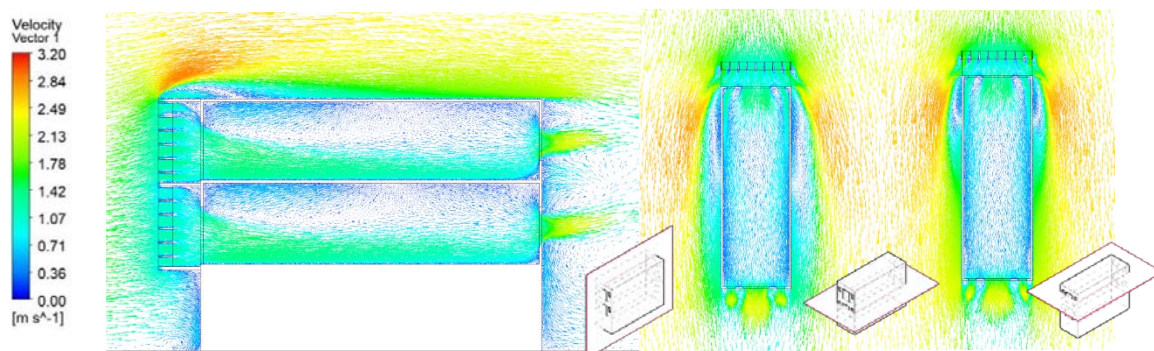
4.3.5 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

ชุดการทดลองที่ 5 เป็นการติดตั้ง แผงกันแดดแบบผสมเพียงชนิดเดียว ลงในแบบจำลอง ตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 2.34 m/s ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

ภาพที่ 4.48: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่ติดตั้ง แผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD

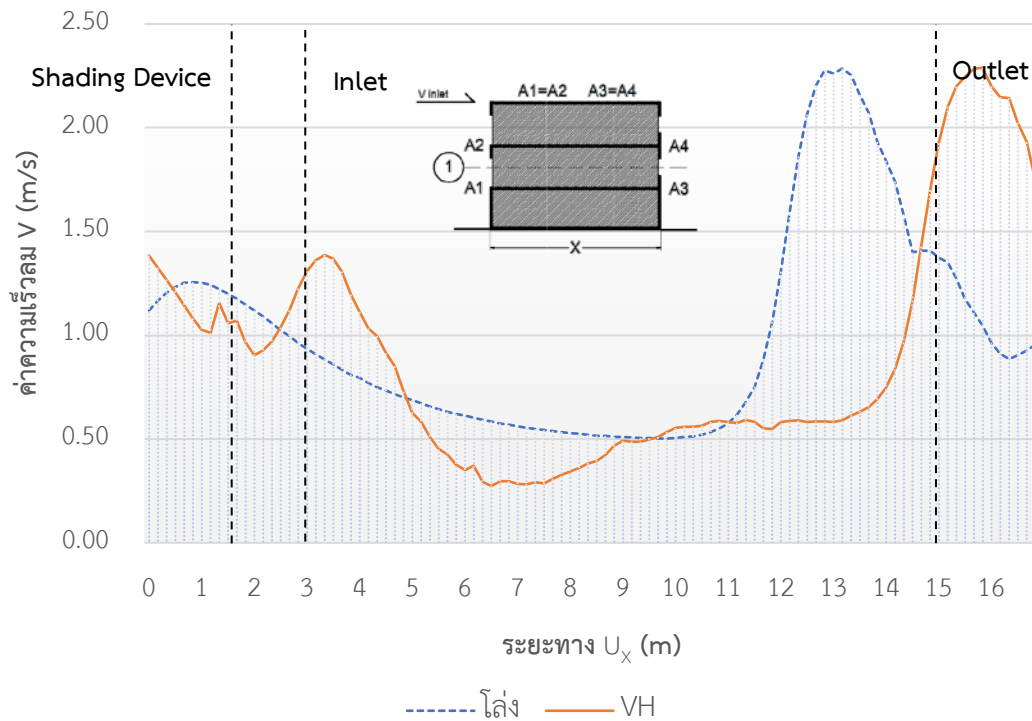


ภาพที่ 4.49: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.50: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ชั้น 2

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 2 ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

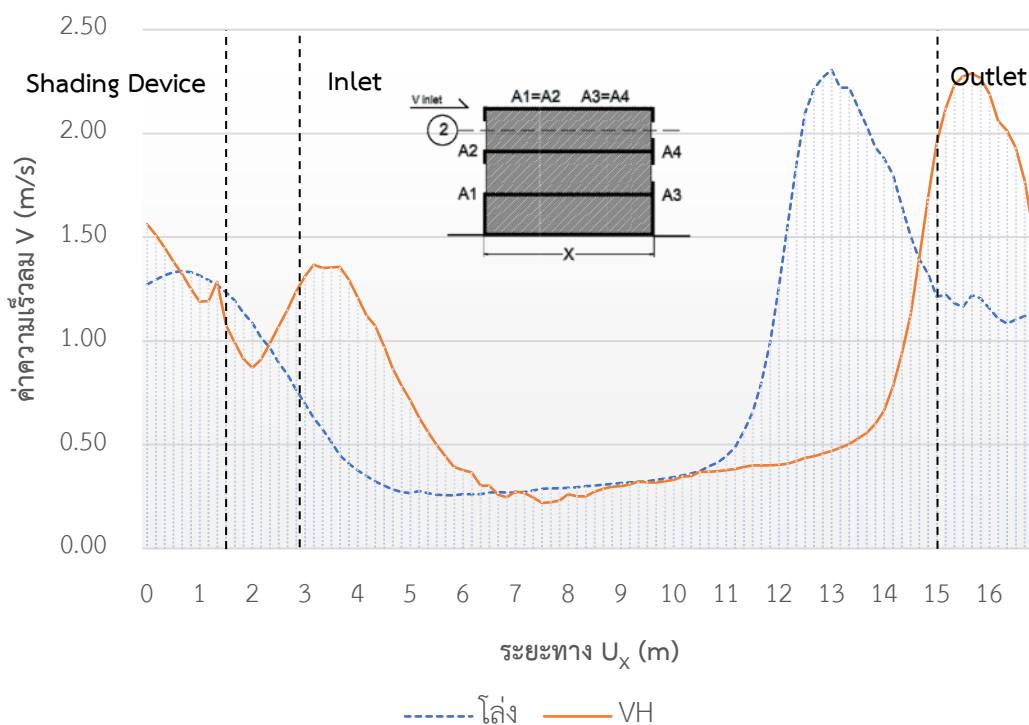


ตารางที่ 4.13: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ชั้น 2 ($V_{inlet}=2.34\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00\text{ m}$)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	0.50 m/s	2.29 m/s	0.95 m/s	1.41 °C
ผสม (VH)	-	0.27 m/s	1.93 m/s	0.66 m/s	0.97 °C

ภาพที่ 4.51: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 3

ความเร็วลมผ่านแผงกันแดดชั้น 3 ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)



ตารางที่ 4.14: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ชั้น 3 ($V_{inlet}=2.34\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00\text{ m}$)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	1.69 m/s	2.31 m/s	0.74 m/s	1.10 °C
ผสม (VH)	-	0.22 m/s	1.69 m/s	0.57 m/s	0.84 °C

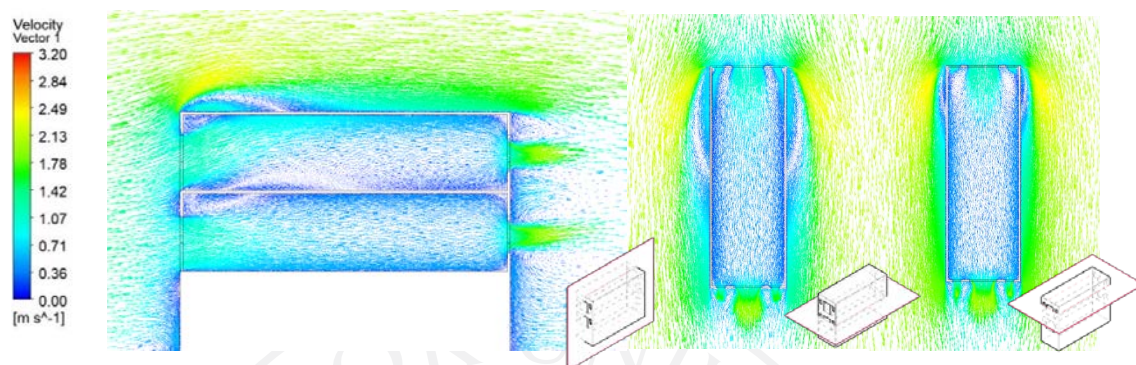
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 2 ซึ่งทำการทดลองแผงกันแดดเพียงรูปแบบเดียว ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.93 m/s ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.27 m/s โดยให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.66 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.97 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือชั้น 3 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.69 m/s ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.22 m/s โดยให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.57 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.84 °C

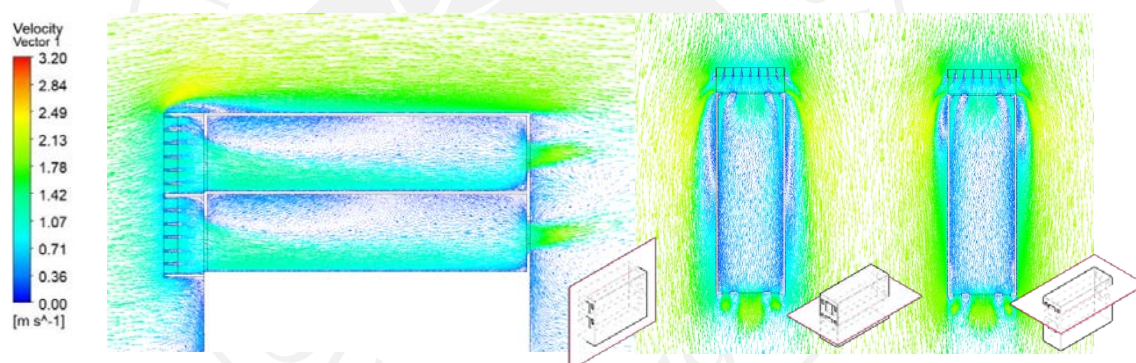
4.3.6 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)

ชุดการทดลองที่ 6 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแบบผสมและแผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 1.93 m/s ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคารหรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

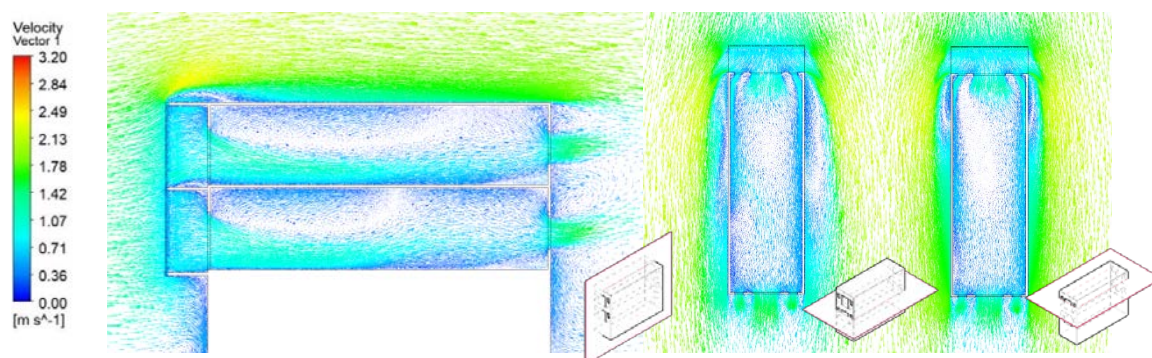
ภาพที่ 4.52: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



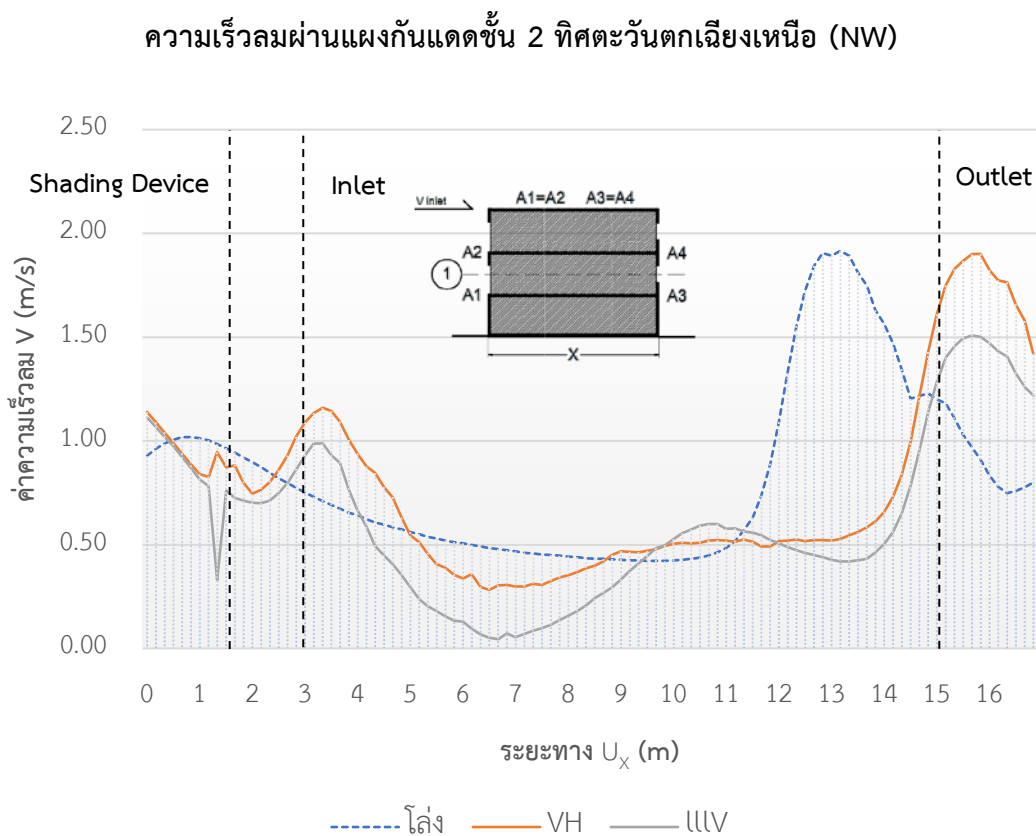
ภาพที่ 4.53: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.54: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (UV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



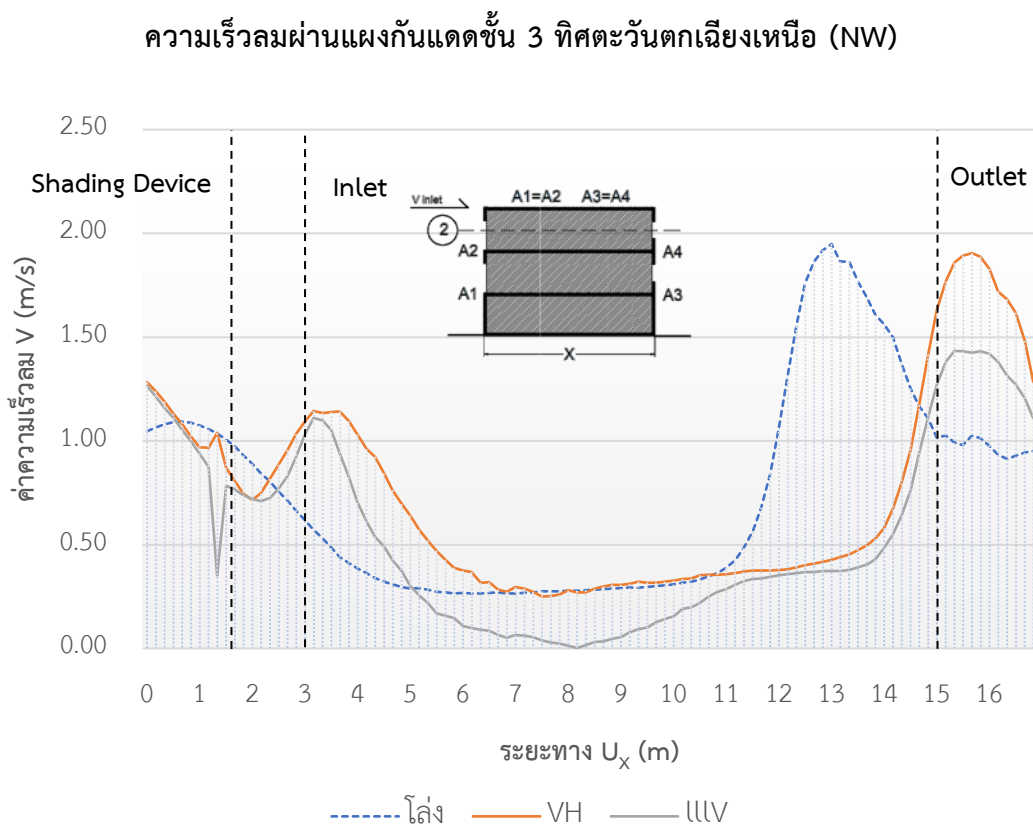
ภาพที่ 4.55: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
ชั้น 2



ตารางที่ 4.15: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ชั้น 2 ($V_{inlet}=1.93\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล้่ง)	-	0.42 m/s	1.92 m/s	0.79 m/s	1.17 °C
ผสม (VH)	-	0.28 m/s	1.43 m/s	0.58 m/s	0.85 °C
ระแนงแนวตั้ง (III V)	-	0.04 m/s	1.14 m/s	0.44 m/s	0.64 °C

ภาพที่ 4.56: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
ชั้น 3



ตารางที่ 4.16: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ชั้น 3 ($V_{inlet}=1.93\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	0.26 m/s	1.95 m/s	0.65 m/s	0.97 °C
ผสม (VH)	-	0.25 m/s	1.42 m/s	0.52 m/s	0.77 °C
ระแนงแนวตั้ง (III V)	-	0.00 m/s	1.12 m/s	0.34 m/s	0.50 °C

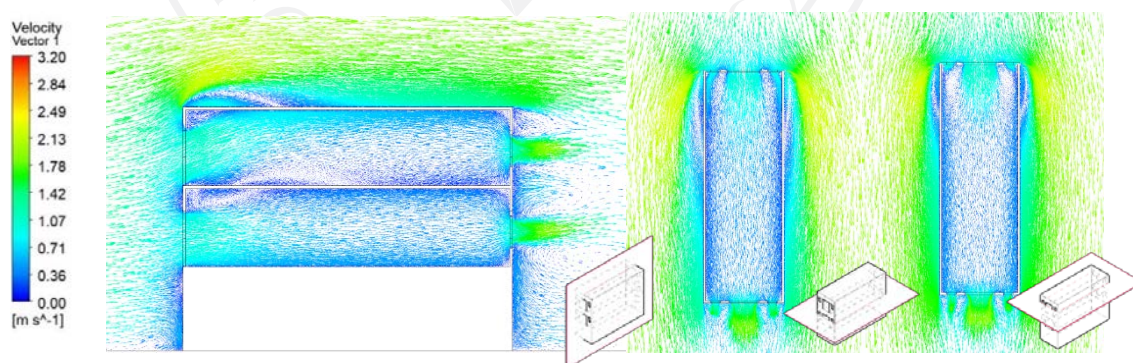
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.43 m/s แผงกันแดดระแนง แนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.04 m/s โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.58 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.85 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือชั้น 3 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.42 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.00 m/s (จุดอับลม) โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.52 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.77 °C

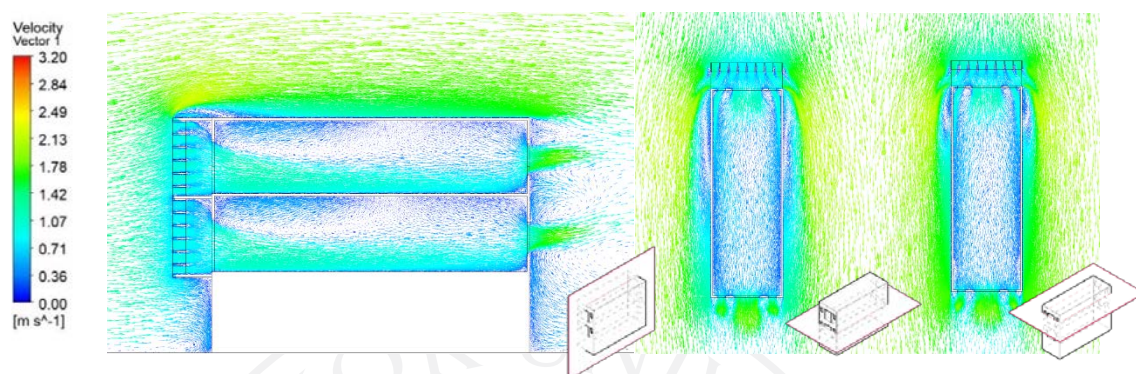
4.3.7 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)

ชุดการทดลองที่ 7 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแบบผสมและแผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 1.80 m/s ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

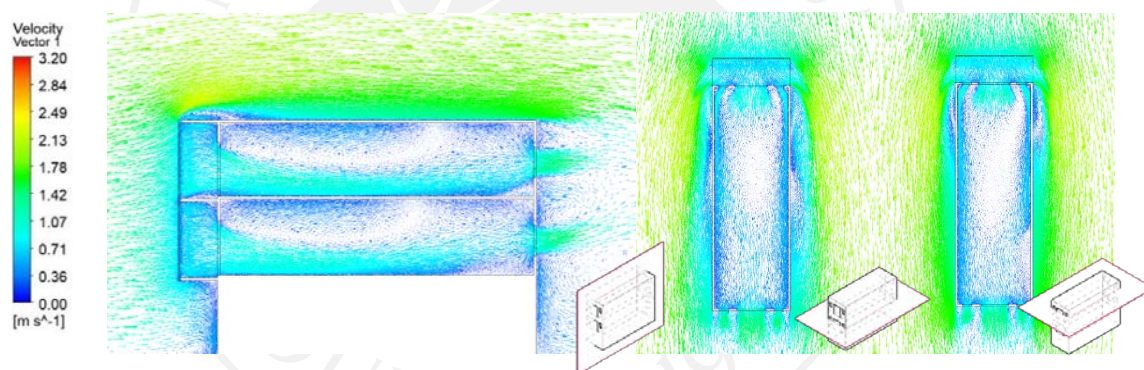
ภาพที่ 4.57: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ ไม่ติดตั้งแผงกันแดดตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



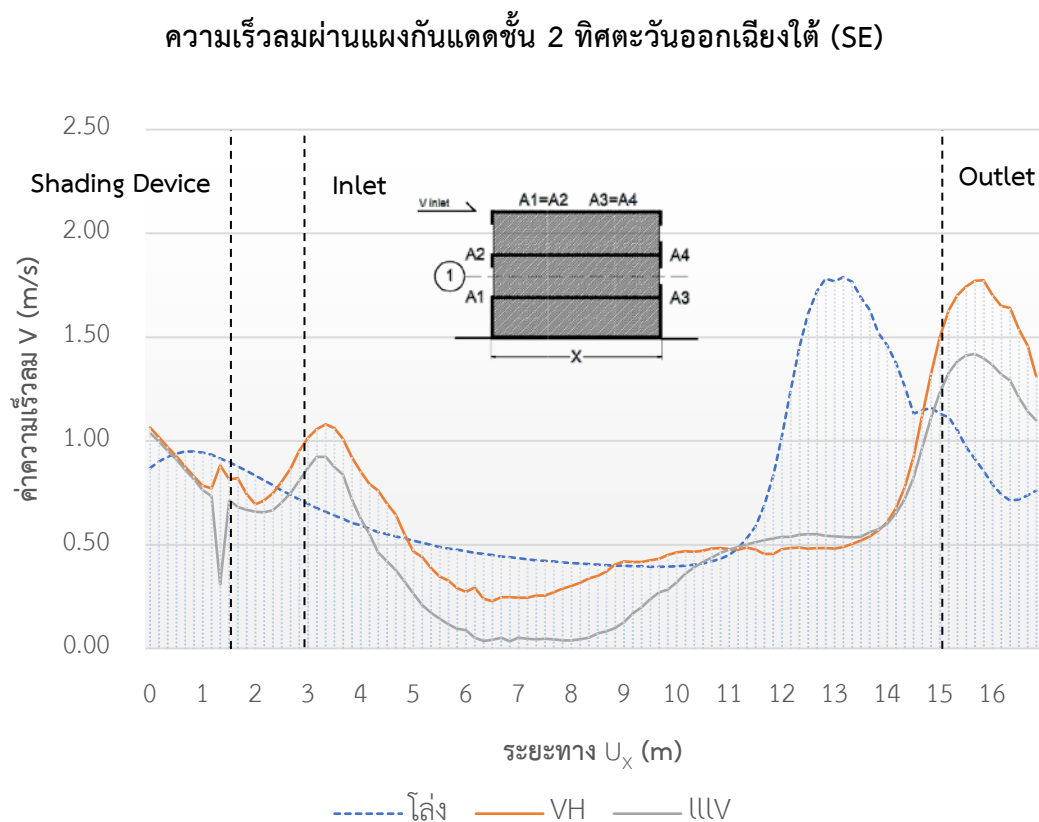
ภาพที่ 4.58: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.59: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันออกเฉียงใต้ แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (LLV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



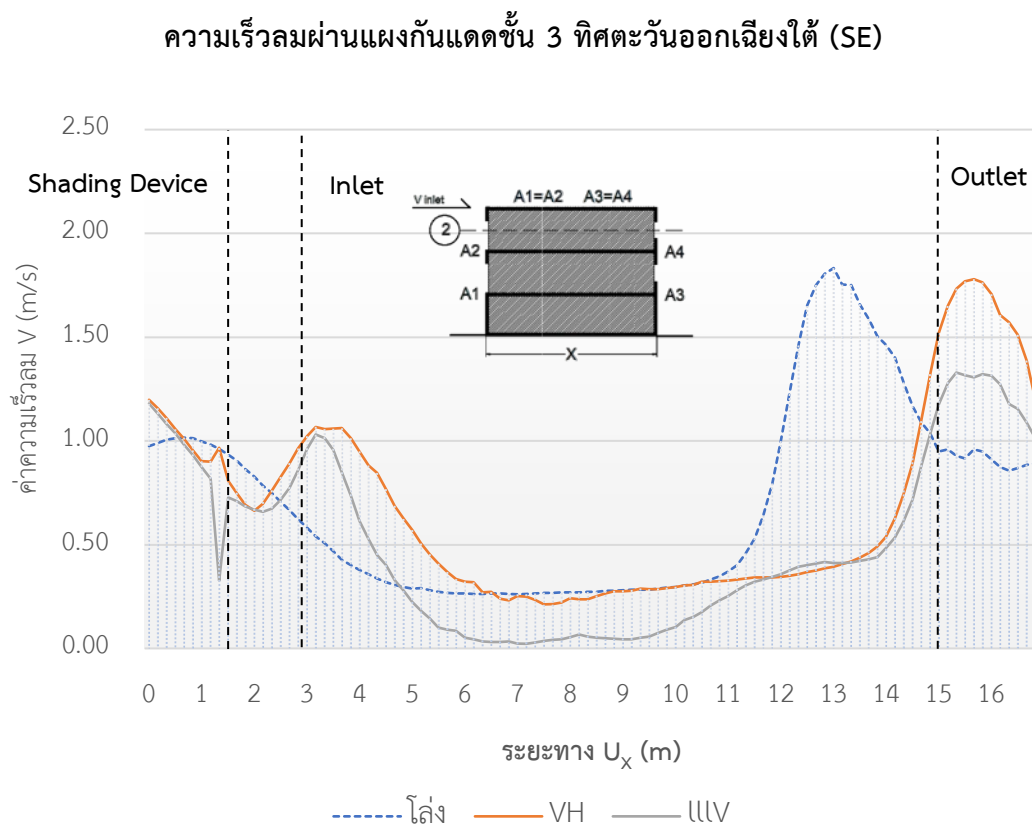
ภาพที่ 4.60: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงใต้
ชั้น 2



ตารางที่ 4.17: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงใต้ชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ชั้น 2 ($V_{inlet}=1.80\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	0.39 m/s	1.79 m/s	0.73 m/s	1.09 °C
ผสม (VH)	-	0.23 m/s	1.33 m/s	0.52 m/s	0.77 °C
ระแนงแนวตั้ง (III V)	-	0.03 m/s	1.11 m/s	0.39 m/s	0.58 °C

ภาพที่ 4.61: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงใต้
ชั้น 3



ตารางที่ 4.18: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันออกเฉียงใต้ชั้น 3

ค่าความเร็วมทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ชั้น 3 ($V_{inlet}=1.80\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็ ต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็ สูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็ ลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โลložง)	-	0.26 m/s	1.83 m/s	0.62 m/s	0.92 °C
ผสม (VH)	-	0.21 m/s	1.32 m/s	0.47 m/s	0.70 °C
ระแนงแนวตั้ง (III V)	-	0.02 m/s	1.03 m/s	0.31 m/s	0.45 °C

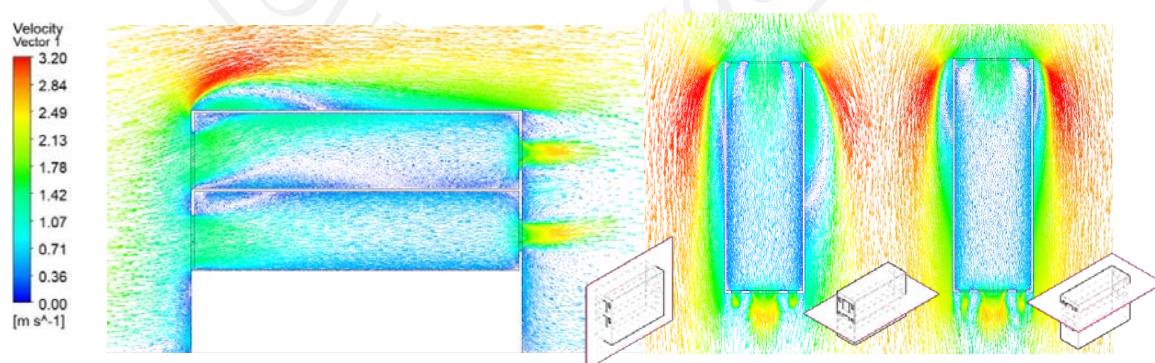
จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.33 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.03 m/s โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.52 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.77 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ชั้น 3 ปรากฏว่าแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 1.32 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้งให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.02 m/s โดยแผงกันแดดแบบผสมสามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.47 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 0.70 °C

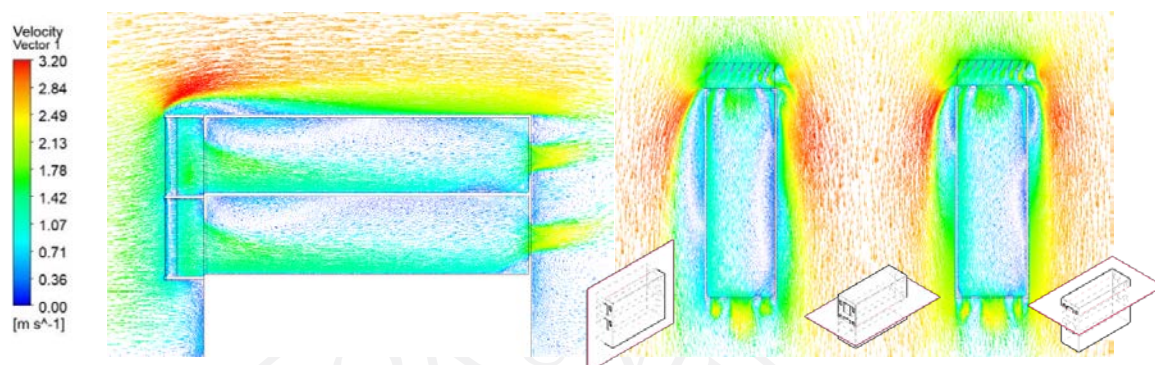
4.3.8 แบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)

ชุดการทดลองที่ 8 เป็นการติดตั้งแผงกันแดดแนวตั้ง แผงกันแดดแบบผสม แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ลงในแบบจำลองตึกแถว ณ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่ 2.58 m/s (เป็นทิศทางที่มีความเร็วลมประจำทิศทางมากที่สุด) ซึ่งทำการวัดค่าความเร็วลมภายในอาคาร หรือบริเวณ U_x ที่ 3.00 m ถึง 15.00 m เป็นระยะทาง 12.00 m ตามความยาวของแบบจำลองตึกแถวมาตรฐาน โดยมีการทดลองดังต่อไปนี้

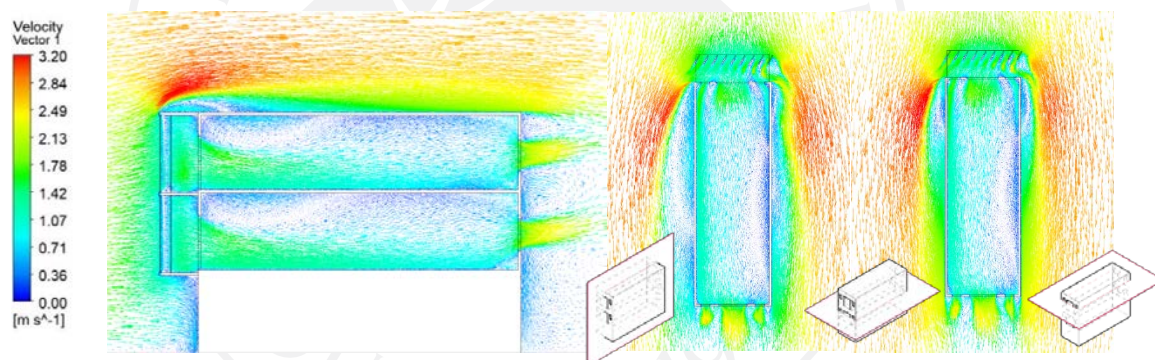
ภาพที่ 4.62: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไม่ติดตั้งแผงกันแดดตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



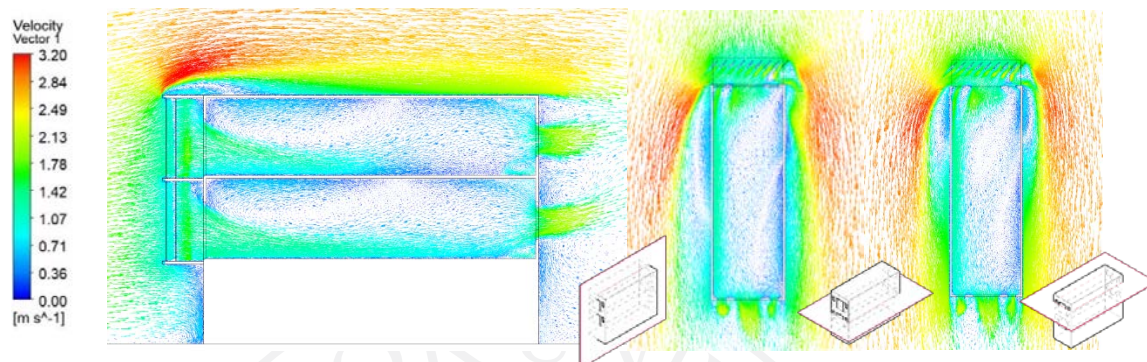
ภาพที่ 4.63: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา (V15) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



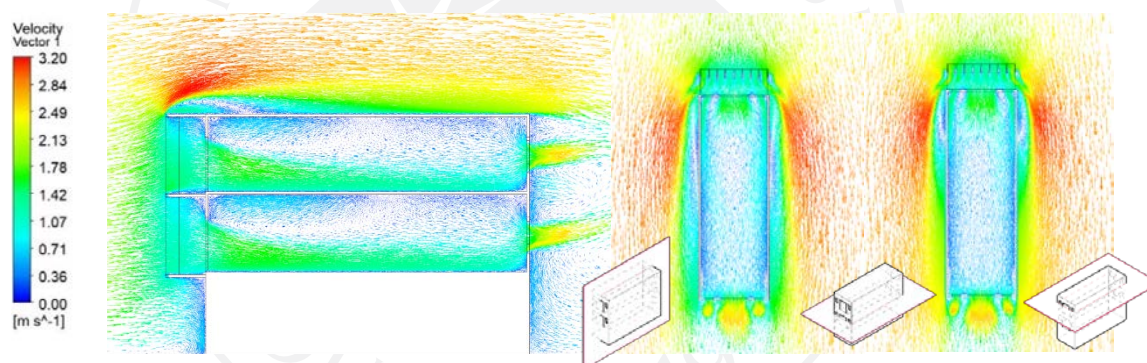
ภาพที่ 4.64: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา (V30) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



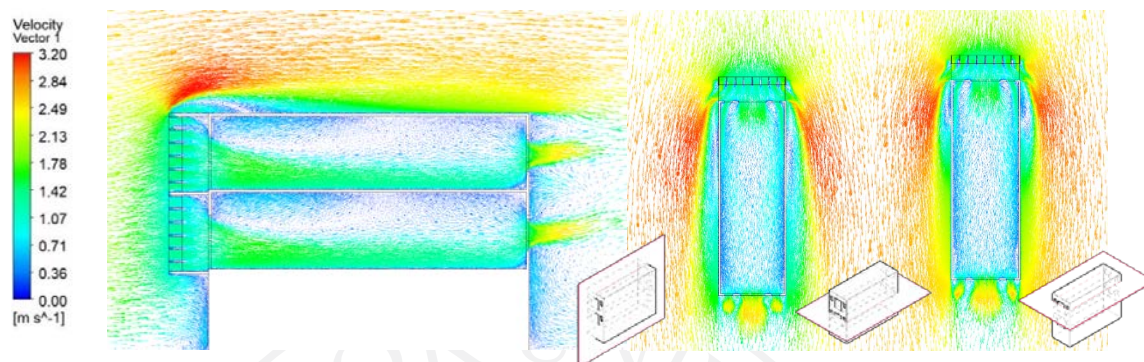
ภาพที่ 4.65: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศา (V45) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



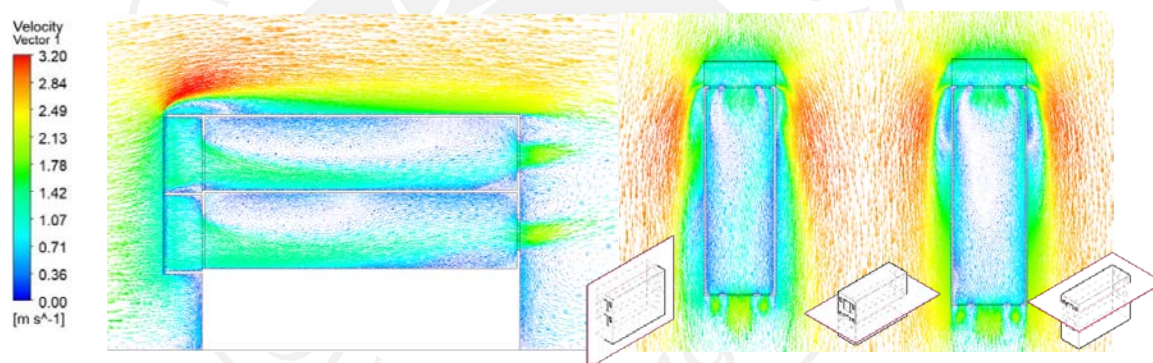
ภาพที่ 4.66: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา (V90) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



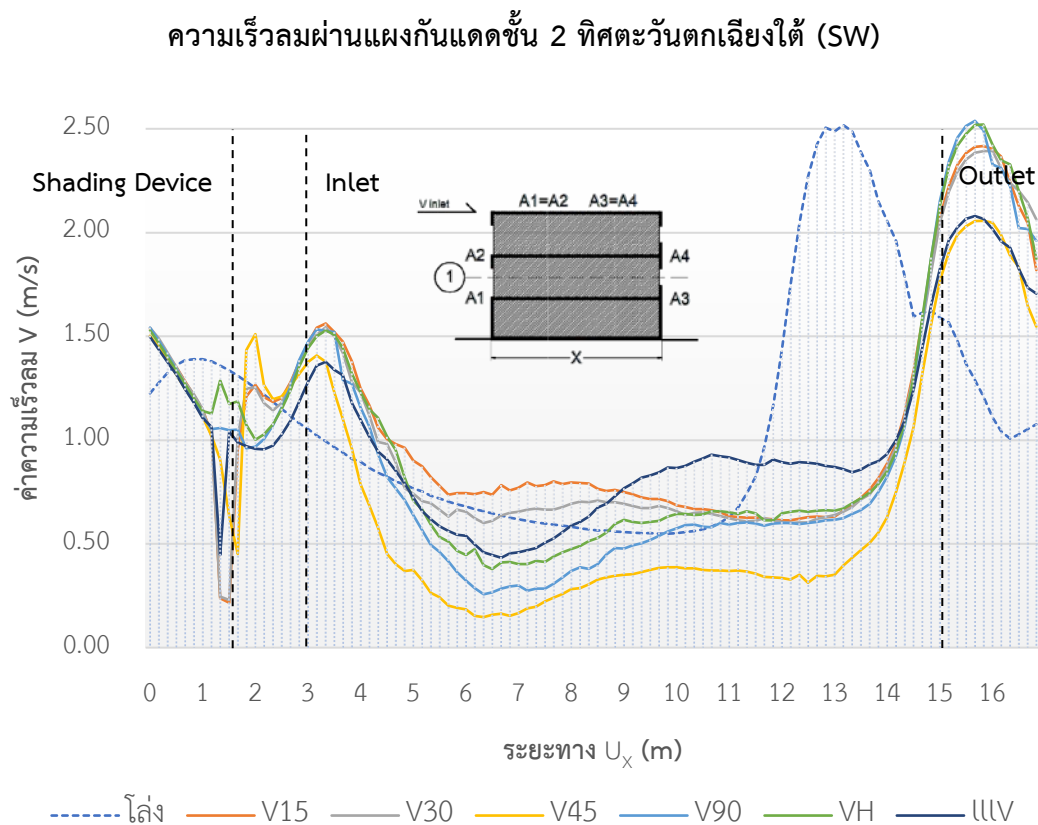
ภาพที่ 4.67: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศตะวันตกเฉียงใต้ แผงกันแดดแบบผสม (VH) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



ภาพที่ 4.68: แผนภาพแสดงความเร็วลมแบบจำลองตึกแถวทิศเหนือ แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง (VV) ตามแนวตัดจากโปรแกรม CFD



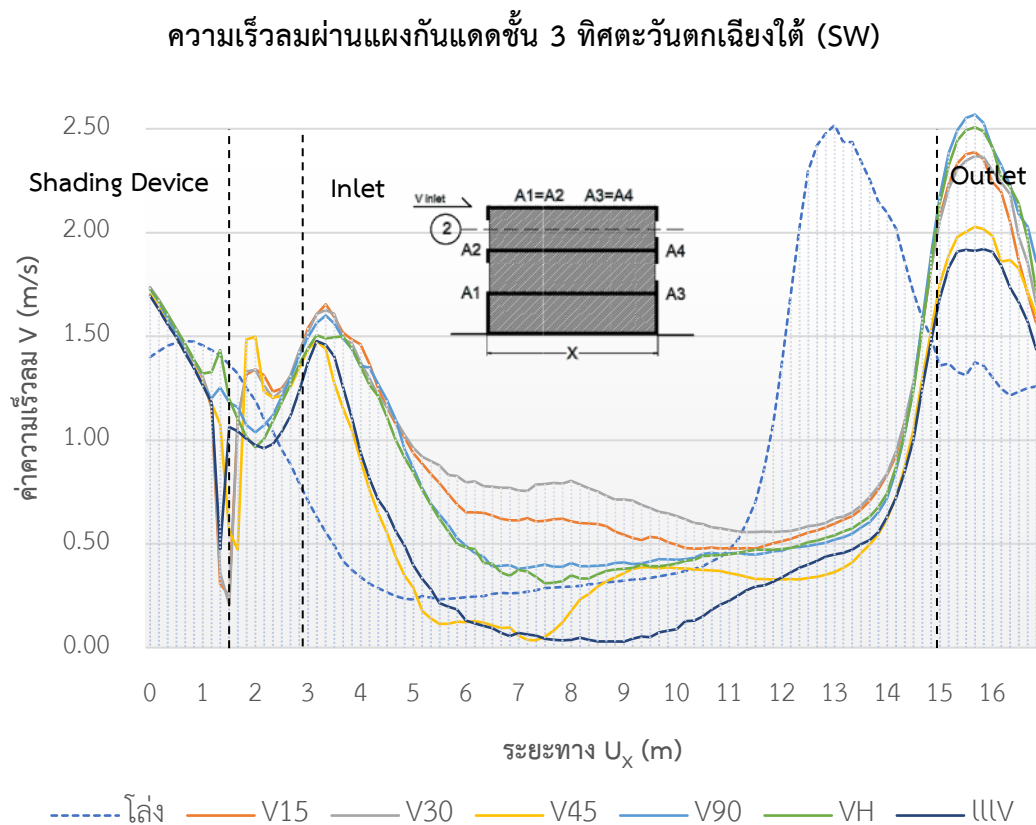
ภาพที่ 4.69: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ชั้น 2



ตารางที่ 4.19: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 2

ค่าความเร็วลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ชั้น 2 ($V_{inlet}=2.58\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โlož)	-	0.55 m/s	2.52 m/s	1.05 m/s	1.55 °C
แนวตั้ง (V15)	15	0.61 m/s	1.84 m/s	0.86 m/s	1.28 °C
แนวตั้ง (V30)	30	0.60 m/s	1.81 m/s	0.80 m/s	1.19 °C
แนวตั้ง (V45)	45	0.15 m/s	1.56 m/s	0.47 m/s	0.70 °C
แนวตั้ง (V90)	90	0.26 m/s	1.88 m/s	0.67 m/s	0.99 °C
ผสม (VH)	-	0.38 m/s	1.88 m/s	0.75 m/s	1.11 °C
ระแนงแนวตั้ง (IIIV)	-	0.43 m/s	1.65 m/s	0.84 m/s	1.24 °C

ภาพที่ 4.70: แผนภูมิแสดงค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 3



ตารางที่ 4.20: ตารางแสดงค่าผลการทดลองทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 3

ค่าความเร็วลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ชั้น 3 ($V_{inlet}=2.58\text{m/s}$)					
แบบจำลอง		ผลการทดลอง ภายในอาคาร ($U_x=3.00-15.00$ m)			
ชนิดแผงกันแดด	องศา	ค่าความเร็วต่ำสุด (V_{min})	ค่าความเร็วสูงสุด (V_{max})	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ไม่ติดตั้งแผงกันแดด (โล่ง)	-	0.23 m/s	2.52 m/s	0.79 m/s	1.18 °C
แนวตั้ง (V15)	15	0.48 m/s	1.83 m/s	0.78 m/s	1.16 °C
แนวตั้ง (V30)	30	0.56 m/s	1.83 m/s	0.86 m/s	1.27 °C
แนวตั้ง (V45)	45	0.03 m/s	1.53 m/s	0.45 m/s	0.67 °C
แนวตั้ง (V90)	90	0.38 m/s	1.90 m/s	0.68 m/s	1.01 °C
ผสม (VH)	-	0.31 m/s	1.86 m/s	0.67 m/s	0.99 °C
ระแนงแนวตั้ง (IIIV)	-	0.03 m/s	1.48 m/s	0.40 m/s	0.60 °C

จากผลการทดลองค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 2 ปรากฏว่าแผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา และแผงกันแดดแบบผสม ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดเท่ากันอยู่ที่ 1.88 m/s แผงกันแดดแนวตั้ง 45 องศาให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.15 m/s โดยแผงกันแดดแนวตั้ง 15 องศา สามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.86 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 1.28 °C

ส่วนค่าความเร็วลมผ่านแผงกันแดดรูปแบบต่าง ๆ ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ชั้น 3 ปรากฏว่าแผงกันแดดแนวตั้ง 90 องศา ให้ค่าความเร็วลมสูงสุดเท่ากันอยู่ที่ 1.90 m/s แผงกันแดดระแนงแนวตั้ง ให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 0.03 m/s โดยแผงกันแดดแนวตั้ง 30 องศา สามารถให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงสุดที่ 0.86 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เฉลี่ย 1.27 °C

ผลการทดลองทั้ง 8 ชุดการทดลองนั้นค่าความเร็วลมที่สำคัญที่สุดของผลการทดลองคือค่าความเร็วลมเฉลี่ย เพราะบ่งบอกถึงการกระจายตัวของลมที่เข้าสู่อาคารด้วยความเร็วเฉลี่ยทั่วถึงมากที่สุด ส่งผลต่อการประเมินสภาวะน่าสบาย อีกทั้งยังสามารถนำไปคำนวณหาค่า ACH หรือ Air change per hour ได้อีกด้วย ทั้งนี้การทดลองทุกชุดการทดลองจะสังเกตได้ว่าค่าพฤติกรรมของลมที่ผ่านแผงกันแดด หรือแม้กระทั่งความเร็วลมของอาคารชั้น 2 และชั้น 3 ล้วนแล้วแต่มีความแตกต่างกันไปตามรูปแบบของทิศทางต่าง ๆ โดยการสรุปผลการทดลองและวิธีการนำไปประยุกต์ใช้นั้น จะถูกพูดถึงในบทต่อไปของงานวิจัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองการติดตั้งแผงกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคารประเภทตึกแถว โดยใช้โปรแกรมคำนวณผลศาสตร์ของไหลซึ่งมีเป้าประสงค์หลักที่การศึกษาความเร็วลมที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิผ่านแบบจำลองในทิศทางต่าง ๆ ทั้ง 8 ทิศทางเท่านั้น รวมไปถึงงานวิจัยได้วิเคราะห์หาแนวทางในการนำไปปรับใช้กับการออกแบบอาคารกลุ่มเป้าหมายดังกล่าวทั้งในรูปแบบของการออกแบบปรับปรุงและการออกแบบโครงการที่เกิดขึ้นใหม่ รวมถึงข้อเสนอแนะของงานวิจัยที่ผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับประเด็นในเรื่องของการคำนวณผลศาสตร์ของไหลสามารถนำไปต่อยอดศึกษาในรูปแบบร่วมกับตัวแปรในการวิจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมเข้าไป ซึ่งการทดลองสามารถเชื่อมโยงผลการทดลองจากบทที่ 4 ไปสู่บทสรุปงานวิจัยได้ ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 5.1: แผนภาพเชื่อมโยงกระบวนการสรุปผลการวิจัยกับวัตถุประสงค์และคำถามงานวิจัย



5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การสรุปผลการทดลองภายในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำผลการทดลองจากบทที่ 4 โดยอ้างอิงค่าความเร็วลมเฉลี่ยของแผงกันแดดในแต่ละชุดการทดลองในแต่ละทิศทางที่มีค่ามากที่สุด จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่ลดลงขณะติดตั้งแผงกันแดดชนิดนั้น ๆ เพื่อหาแผงกันแดดที่ให้ประสิทธิภาพในการดักลมเข้าสู่อาคารดีที่สุดใน 8 ทิศทาง นำมาสรุปข้อมูลตามวัตถุประสงค์งานวิจัย โดยแบ่งการสรุปผลการวิจัยและข้อค้นพบเฉพาะที่เกิดจากการทดลองดังกล่าวออกเป็น 4 ประเด็นหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

5.1.1 สรุปแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมมากที่สุด

การพิจารณาแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด พิจารณาจากค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (แบบจำลอง) หรือวัดจาก U_x 3.00 m. ถึง 15.00 m. เป็นระยะทางทั้งหมด 12.00 m. ตามความยาวของอาคารต้นแบบ โดยไม่ได้พิจารณาจากค่าความเร็วลมสูงสุดเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากค่าความเร็วลมเฉลี่ยบ่งบอกถึงการกระจายตัวของลมภายในอาคาร โดยหากวิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ 4 จะพบว่า แผงกันแดดที่ทำให้ความเร็วลมเข้าสู่อาคารมากที่สุด อาจไม่ใช่แผงกันแดดที่มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารมากที่สุดก็ได้ ซึ่งจากการทดลองที่เกิดขึ้นสามารถสรุปหาแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมเข้าสู่อาคาร ทำให้เกิดค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารได้สูงที่สุด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1: ตารางสรุปแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุดจากผลการทดลอง

แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด			
แบบจำลอง		แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด	
ทิศทาง	ชั้น	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	อุณหภูมิที่ลดลง (ΔT)
ทิศเหนือ (N)	2	ผสม(VH)	ผสม(VH)
	3	ผสม(VH)	ผสม(VH)
ทิศใต้ (S)	2	ผสม(VH)	ผสม(VH)
	3	แนวนอน (H15)	แนวนอน (H15)
ทิศตะวันออก (E)	2	แนวตั้ง (V30)	แนวตั้ง (V30)
	3	แนวตั้ง (V30)	แนวตั้ง (V30)

(ตารางมีต่อ)

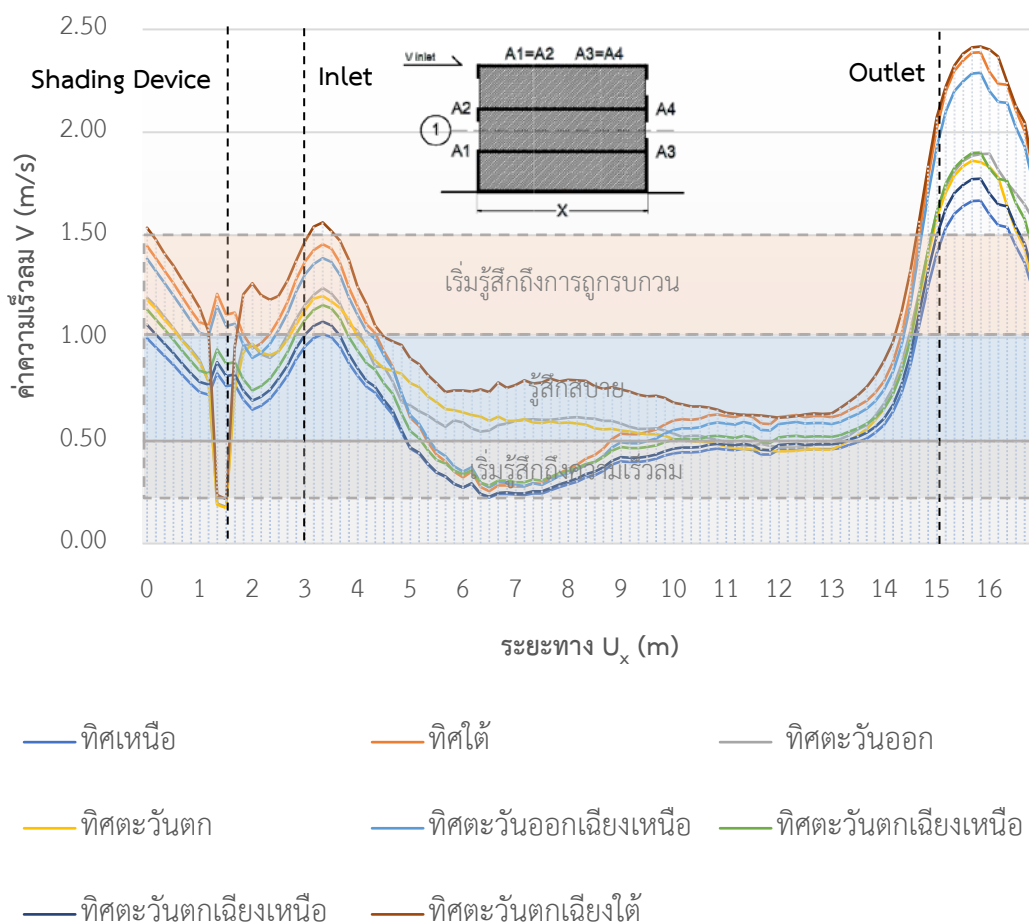
ตารางที่ 5.1(ต่อ): ตารางสรุปแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุดจากผลการทดลอง

แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด			
แบบจำลอง		แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด	
ทิศตะวันตก (W)	2	แนวตั้ง (V15)	แนวตั้ง (V15)
	3	แนวตั้ง (V30)	แนวตั้ง (V30)
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)	2	ผสม (VH)	ผสม (VH)
	3	ผสม (VH)	ผสม (VH)
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	2	ผสม (VH)	ผสม (VH)
	3	ผสม (VH)	ผสม (VH)
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)	2	ผสม (VH)	ผสม (VH)
	3	ผสม (VH)	ผสม (VH)
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	2	แนวตั้ง (V15)	แนวตั้ง (V15)
	3	แนวตั้ง (V30)	แนวตั้ง (V30)

จากตารางสรุปแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุดจากผลการทดลอง พบว่าชนิดของแผงกันแดดที่ได้จากผลการทดลองในแต่ละทิศทางมีความแตกต่างกันไป ตามความเร็วลมประจำทิศทาง โดยพฤติกรรมและความเร็วลมที่เกิดขึ้นในชั้น 2 และ ชั้น 3 ของอาคารนั้น แตกต่างกันส่งผลให้แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองทั้ง 2 ชั้นอาจแตกต่างกันในบางทิศทางเช่น ทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงใต้ แต่ค่าอุณหภูมิที่ลดลงภายในอาคารนั้นจะแปรผันตามค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารทำให้แผงกันแดดแต่ละชนิด ทำให้อุณหภูมิลดลงไปตามความเร็วลมที่เข้ามากกระทำต่ออาคาร

ภาพที่ 5.2: แผนภูมิสรุปค่าความเร็วลมเทียบกับความรู้สึกของมนุษย์ โดยแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด ชั้น 2 ในการประเมินเปรียบเทียบ

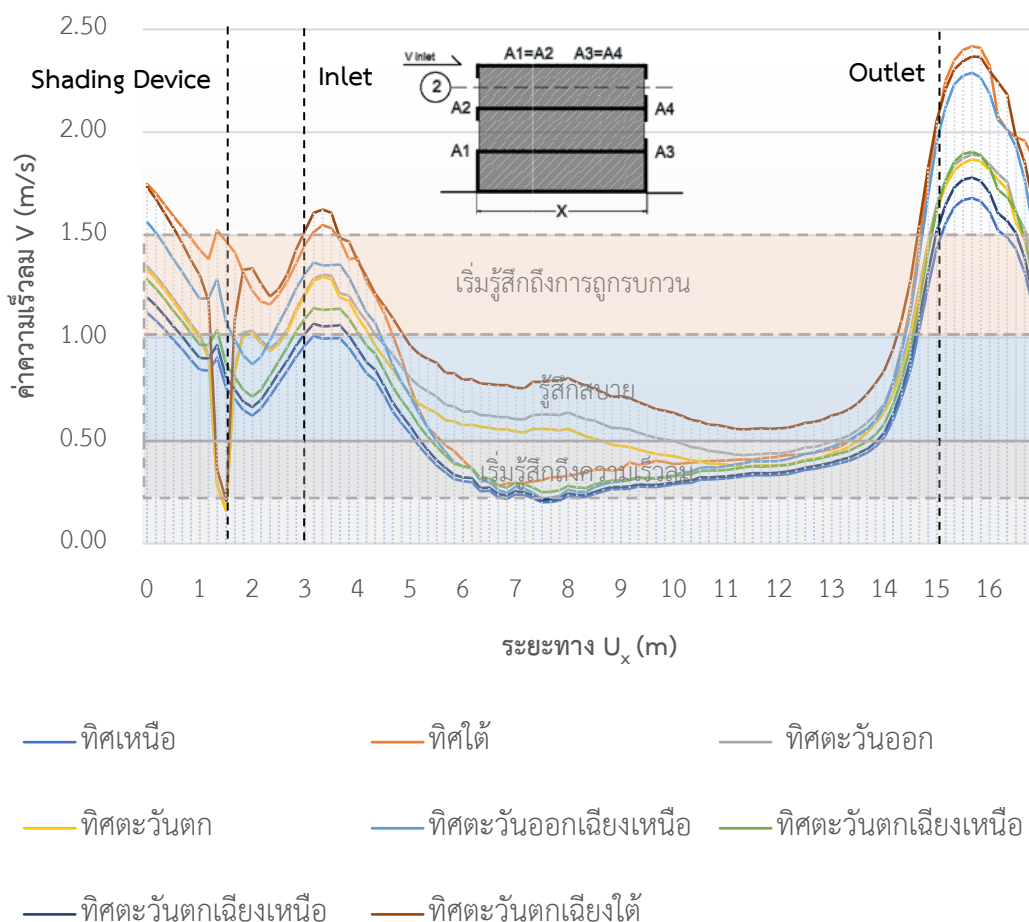
แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด ชั้น 2



จากแผนภูมิในข้างต้นได้สรุปรวบรวมความเร็วลมที่พัดผ่านแผงกันแดดที่ดีที่สุดของทิศทางต่าง ๆ ทั้ง 8 ทิศทางในชั้น 2 พบว่าแผงกันแดดทั้งหมดสามารถให้เกิดการรับรู้ถึงความเร็วลมที่ทำให้เกิดความรู้สึกสบาย โดยอ้างอิงจากค่าความเร็วลมจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง กล่าวคือ มนุษย์จะสามารถรับรู้ได้ถึงความเร็วลมที่ความเร็วลม 0.25 m/s ซึ่งจะรู้สึกถึงความสบายที่ความเร็วลม 0.50 m/s ถึง 1.00 m/s และจะเริ่มรู้สึกถึงการถูกรบกวนจากแรงลม ที่ความเร็วตั้งแต่ 1.00 m/s ถึง 1.50 m/s เป็นต้นไป

ภาพที่ 5.3: แผนภูมิสรุปค่าความเร็วลมเทียบกับความรู้สึกของมนุษย์ โดยแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด ชั้น 3 ในการประเมินเปรียบเทียบ

แผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุด ชั้น 3



โดยแผงกันแดดในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในชั้น 2 และชั้น 3 นั้นสามารถให้ความเร็วลมตั้งแต่ 0.25 m/s ถึง 1.00 m/s เป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่อาคาร แต่ในบริเวณทางเข้าของลมและบริเวณทางออกของลมจะให้ความเร็วลมที่ทำให้เกิดความรู้สึกถูกรบกวนตั้งแต่ 1.00 m/s ถึง 1.50 m/s เป็นต้นไป บางพื้นที่ของอาคาร เช่น บริเวณทางออกของลมที่มีความเร็วลมสูงกว่า 1.50 m/s ซึ่งเกินค่ามาตรฐานความรู้สึกสบายของมนุษย์ อีกทั้งยังเสมือนถูกรบกวนด้วยแรงลมภายในอาคารอีกด้วย

5.1.2 การประเมินสภาวะน่าสบาย PMV ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE 55

การประเมินค่า PMV ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE 55 อ้างอิงข้อมูลการคำนวณจากเว็บไซต์ CBE Thermal comfort tool for ASHRAE-55 (berkeley.edu) ในรูปแบบของแผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) ซึ่งจะทำให้ทราบว่าแมงกั้นแดครูปแบบต่าง ๆ ในทิศทางนั้น ๆ สามารถทำให้เกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคารการประเมินค่า PMV หรือไม่ โดยค่ามาตรฐาน PMV ที่อยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบายอยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 ค่า PMV ที่หมายถึงสภาวะน่าสบายมากที่สุดคือค่า PMV ที่ใกล้เคียง 0 มากที่สุด มีแนวทางในการตั้งค่าก่อนการคำนวณ ดังตารางต่อไปนี้

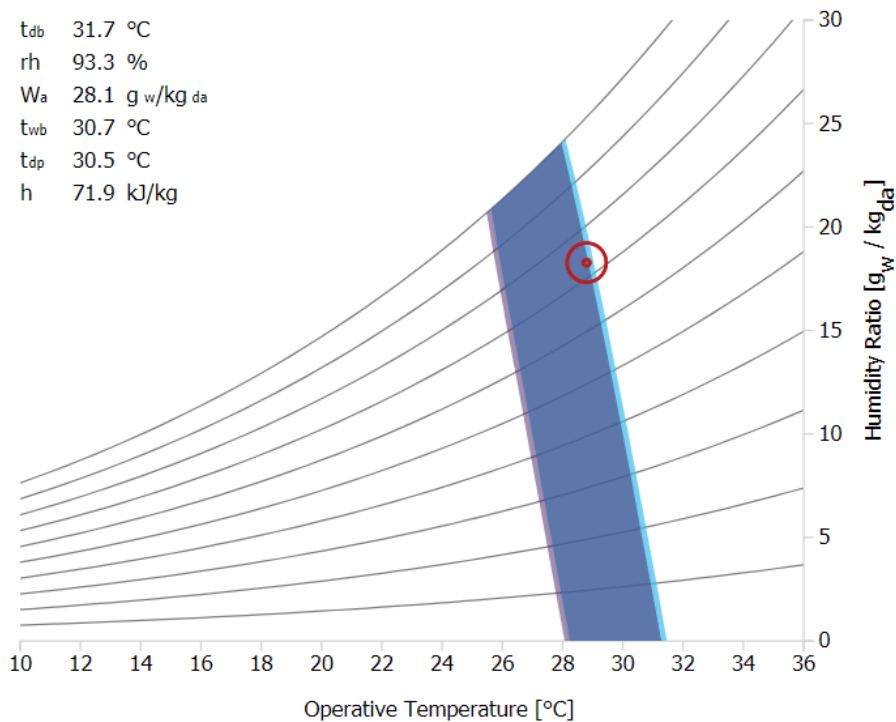
ตารางที่ 5.2: ตารางแสดงการตั้งค่าโปรแกรมคำนวณ PMV ของ berkeley.edu

การตั้งค่าโปรแกรม		ที่มา
เกณฑ์มาตรฐานในการประเมิน	ASHRAE Standard 55-2020	เลือกรูปแบบและมาตรฐานในการคำนวณ จากเว็บไซต์
Select method	PMV method	
Operative temperature	28.8	ค่าเฉลี่ยรายปีอุณหภูมิของประเทศไทยในภาคกลาง
Air speed	(ค่าความเร็วลมที่พัดผ่านแมงกั้นแดคชนิดต่าง ๆ)	ค่าความเร็วลมที่ได้จากการทดลอง
Relative humidity	73 %	ค่าเฉลี่ยรายปีความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทยในภาคกลาง
Metabolic rate	1.0	อิริยาบถการนั่ง หรือการอ่านหนังสือภายในอาคาร
Clothing level	0.5	การแต่งการชุดลำลองภายในอาคารในช่วงฤดูร้อน

จากการตั้งค่าโปรแกรมสามารถสรุปผลการคำนวณแยกเป็นแต่ละทิศทาง โดยจะแสดงออกในรูปแบบของแผนภาพ ซึ่งขอบเขตพื้นที่สีฟ้าในแผนภาพหมายถึงแมงกั้นแดคของทิศทางนั้น ๆ ในชั้น 2 และขอบเขตพื้นที่สีม่วงในแผนภาพหมายถึงแมงกั้นแดคของทิศทางนั้น ๆ ในชั้น 3 ให้ผลการคำนวณออกมา 8 ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศเหนือ

ภาพที่ 5.4: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศเหนือ

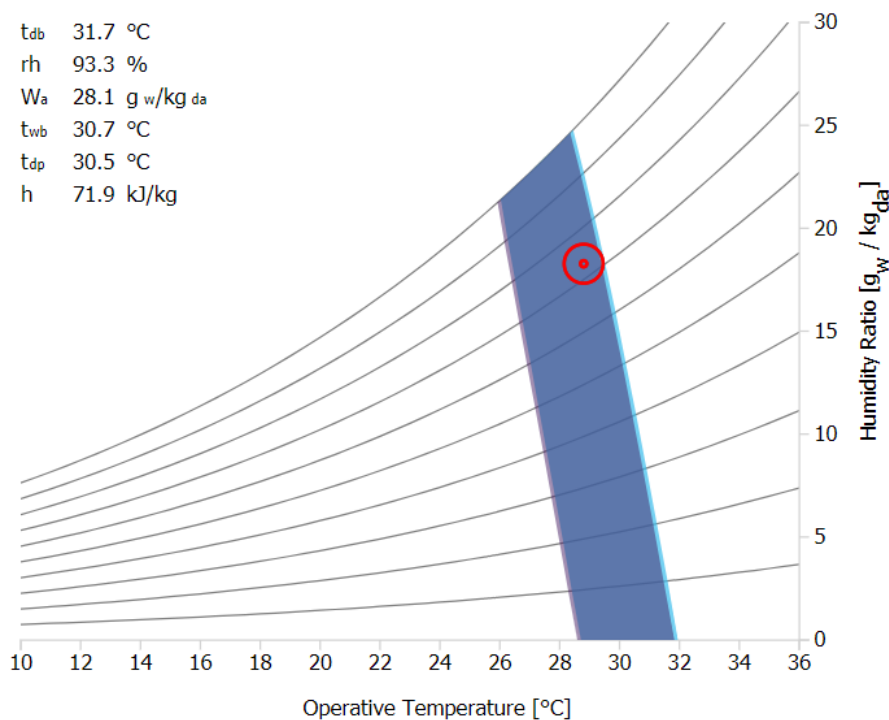


ตารางที่ 5.3: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศเหนือ

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศเหนือ		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.50)	ชั้น 3 (V=0.45)
	แบบผสม (VH)	แบบผสม (VH)
PMV with elevated air speed	0.42	0.48
PPD with elevated air speed	9%	10%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.7 °C	26.9 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.6 °C	26.8 °C
Cooling effect	2.2 °C	2.0 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

2. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศใต้

ภาพที่ 5.5: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศใต้

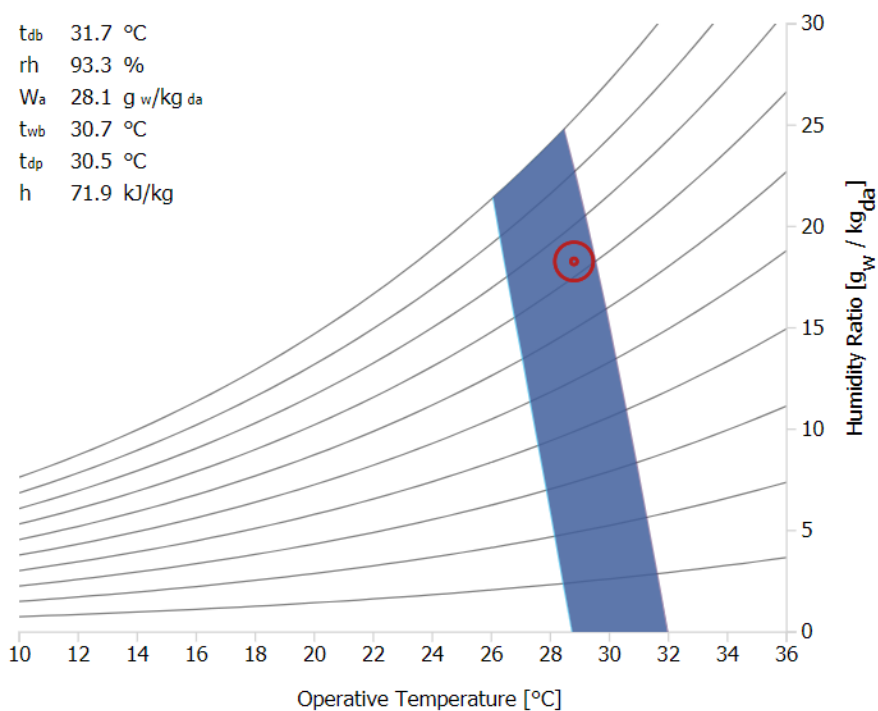


ตารางที่ 5.4: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศใต้

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศใต้		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.67)	ชั้น 3 (V=0.62)
	แบบผสม (VH)	แนวนอน (H15)
PMV with elevated air speed	0.27	0.31
PPD with elevated air speed	6%	7%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.2 °C	26.3 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.2 °C	26.4 °C
Cooling effect	2.6 °C	2.4 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

3. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันออก

ภาพที่ 5.6: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกั้นแดดทิศตะวันออก

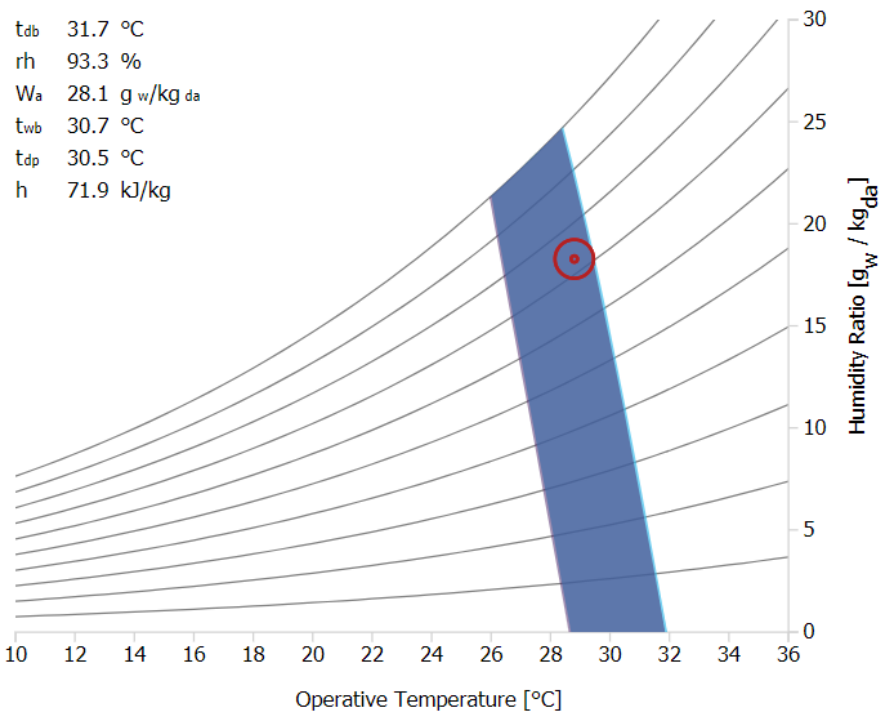


ตารางที่ 5.5: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันออก

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันออก		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.67)	ชั้น 3 (V=0.69)
	แนวตั้ง (V30)	แนวตั้ง (V30)
PMV with elevated air speed	0.27	0.25
PPD with elevated air speed	6%	6%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.2 °C	26.1 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.2 °C	26.2 °C
Cooling effect	2.6 °C	2.6 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

4. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันตก

ภาพที่ 5.7: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศตะวันตก

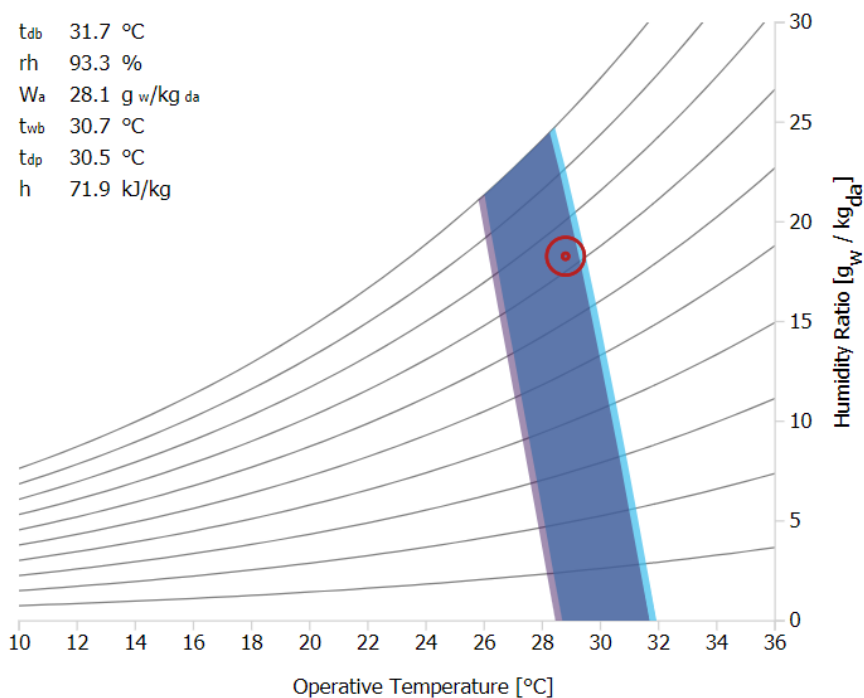


ตารางที่ 5.6: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันตก

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันตก		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.66)	ชั้น 3 (V=0.63)
	แนวตั้ง (V15)	แนวตั้ง (V30)
PMV with elevated air speed	0.28	0.30
PPD with elevated air speed	7%	7%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.2 °C	26.3 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.3 °C	26.3 °C
Cooling effect	2.5 °C	2.5 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

5. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาพที่ 5.8: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

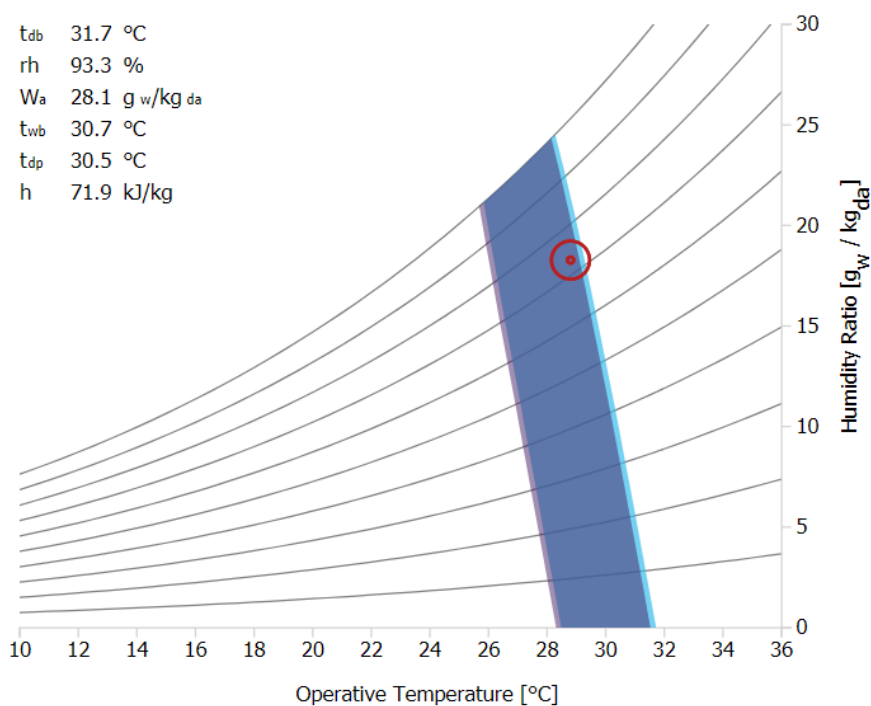


ตารางที่ 5.7: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันออกเฉียงเหนือ		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.66)	ชั้น 3 (V=0.57)
	แบบผสม (VH)	แบบผสม (VH)
PMV with elevated air speed	0.28	0.35
PPD with elevated air speed	7%	8%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.2 °C	26.5 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.3 °C	26.5 °C
Cooling effect	2.5 °C	2.3 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

6. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ภาพที่ 5.9: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกั้นแดด
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

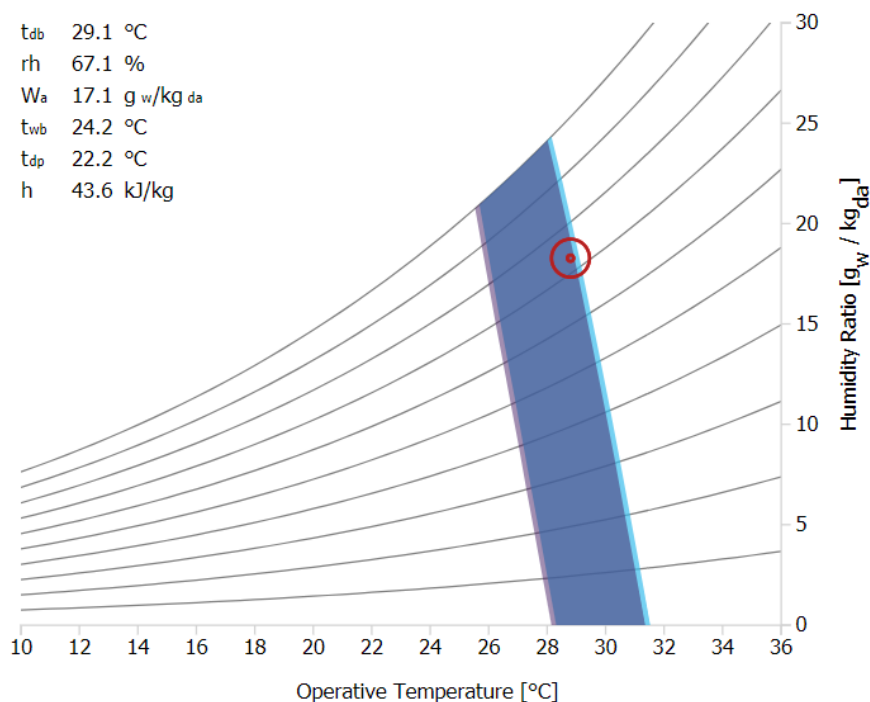


ตารางที่ 5.8: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันตกเฉียงเหนือ		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.58)	ชั้น 3 (V=0.52)
	แบบผสม (VH)	แบบผสม (VH)
PMV with elevated air speed	0.34	0.40
PPD with elevated air speed	7%	8%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.4 °C	26.6 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.4 °C	26.6 °C
Cooling effect	2.4 °C	2.2 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

7. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันออกเฉียงใต้

ภาพที่ 5.10: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกั้นแดด
ทิศตะวันออกเฉียงใต้

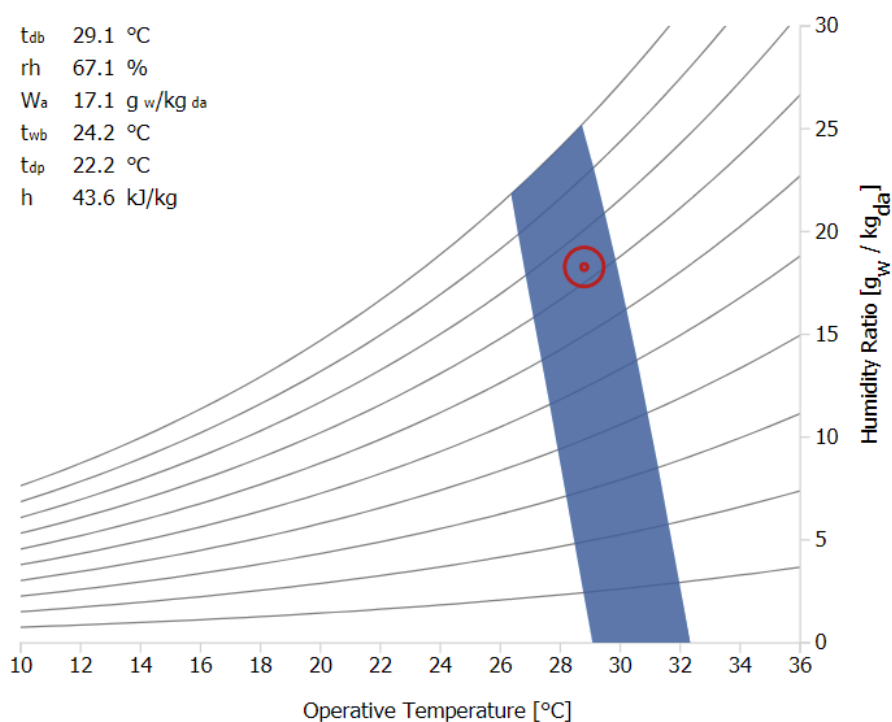


ตารางที่ 5.9: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันออกเฉียงใต้

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกั้นแดดทิศตะวันออกเฉียงใต้		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.52)	ชั้น 3 (V=0.47)
	แบบผสม (VH)	แบบผสม (VH)
PMV with elevated air speed	0.40	0.48
PPD with elevated air speed	8%	10%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	26.6 °C	26.9 °C
Dry-bulb Tmp at still air	26.6 °C	26.8 °C
Cooling effect	2.2 °C	2.0 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

8. ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้

ภาพที่ 5.11: แผนภูมิ Psychrometric (Operative temperature) แผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้



ตารางที่ 5.10: ผลการประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้

ประเมินสภาวะน่าสบายตามเกณฑ์ PMV แผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้		
ผลการประเมิน PMV	ชั้น 2 (V=0.86)	ชั้น 3 (V=0.86)
	แนวตั้ง (V15)	แนวตั้ง (V30)
PMV with elevated air speed	0.14	0.14
PPD with elevated air speed	5%	5%
Sensation	Neutral	Neutral
SET	25.7 °C	25.7 °C
Dry-bulb Tmp at still air	25.9 °C	25.9 °C
Cooling effect	2.9 °C	2.9 °C
ผลการประเมิน	เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55	

จากผลการคำนวณหาค่า PMV จากเว็บไซต์ CBE Thermal comfort tool for ASHRAE-55 (berkeley.edu) พบว่าแผงกันแดดกลุ่มตัวอย่างที่นำมาคำนวณนั้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ PMV ที่มีช่วงการคำนวณอยู่ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 โดยแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้แก่ แผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่า PMV อยู่ที่ 0.14 ด้วยความเร็วลมที่ 0.86 m/s ใกล้เคียงค่า PMV 0 มากที่สุด บ่งบอกถึงความรู้สึกสบายตามเกณฑ์การประเมิน และแผงกันแดดที่มีค่า PMV เกือบที่จะเกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ แผงกันแดดทิศเหนือชั้น 3 มีค่า PMV อยู่ที่ 0.48 นั้นหมายถึงความรู้สึกที่เริ่มร้อนมากขึ้น อันเนื่องมาจากความเร็วลมที่ 0.45 m/s ซึ่งเป็นความเร็วลมน้อยที่สุดจากการคัดเลือกแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

นอกจากนี้โปรแกรมยังคำนวณค่า PPD (Predicted percentage of dissatisfied) เป็นค่าเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่รู้สึกรู้สึกว่าพื้นที่นั้นไม่รู้สึกสบาย ซึ่งถูกระบุเป็นมาตรวัดสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิตามมาตรฐาน ISO 7730:1994 เช่นเดียวกับค่า PMV โดยค่า PPD จะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 5 และเหนือระดับนี้ขึ้นไปค่า PPD จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมถึงค่าดัชนี SET ค่า Dry-bulb Tmp at still air และ ค่า Cooling effect ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการพิจารณาของงานวิจัยฉบับนี้

5.1.3 ข้อค้นพบจากงานวิจัย

1. จากการทดลองศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับบรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า อาคารที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดดกับตัวอาคาร ทำให้ลมสามารถเข้าสู่อาคารได้เยอะกว่าอาคารที่มีแผงกันแดดหรือองค์ประกอบของอาคารอื่น ๆ ที่ลมประจำทิศทางทุกช่วงความเร็วลมปะทะ แต่พื้นที่ผนังของอาคารจะได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากกว่าปกติ ส่งผลให้ผนังอาคารเกิดสะสมความร้อนและคายความร้อนออกมาในรูปแบบรังสีความร้อน อาจทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นก็เป็นได้ รวมไปถึงแผงกันแดดในแนวตั้ง จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนลมในแนวระนาบ ส่วนแผงกันแดดแนวนอนจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของกระแสลมในแนวตั้ง

2. พฤติกรรมและความเร็วของลมอาจมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชั้น ซึ่งอาจส่งผลให้ส่งผลให้พฤติกรรมและความเร็วของลมเฉลี่ยทั่วทั้งห้องเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของอาคารที่ลมได้เข้ากระทำ

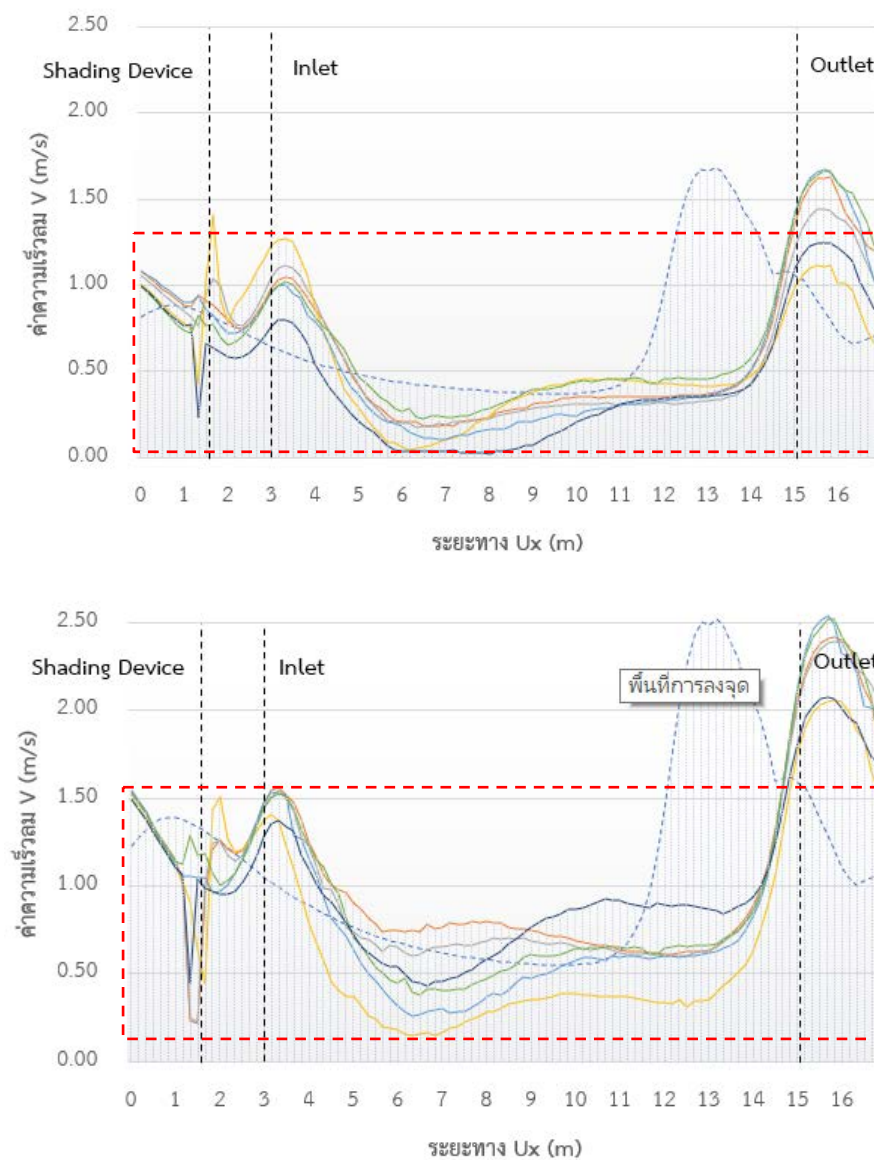
3. การติดตั้งแผงกันแดดจะส่งผลเพิ่มความเร็วลมเข้าสู่อาคารได้ในช่วง 2-3 เมตรแรกภายในอาคารได้อย่างเห็นได้ชัด ช่วยเพิ่มความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.24 m/s ถึง 0.95 m/s ซึ่งสามารถพิจารณาค่าความแตกต่างของความเร็วลมช่วง 2 เมตรแรกกับช่วงก่อนติดตั้งแผงกันแดดได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.11: ตารางเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของความเร็วลมช่วง 2 เมตรแรกกับช่วงก่อนติดตั้งแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพในการดักลมดีที่สุดจากผลการทดลอง

ความแตกต่างของลมช่วง 2.00 m. แรกระหว่างอาคารตึกแถวโค้งและอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดด					
ทิศทาง	ชั้น	รูปแบบของแผงกันแดด	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยอาคารโค้ง (m/s)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยติดตั้งแผงกันแดด (m/s)	ΔV (m/s)
ทิศเหนือ (N)	2	ผสม(VH)	0.56	0.80	0.24
	3	ผสม(VH)	0.39	0.84	0.45
ทิศใต้ (S)	2	ผสม(VH)	0.84	1.13	0.29
	3	แนวนอน (H15)	0.41	1.28	0.87
ทิศตะวันออก (E)	2	แนวตั้ง (V30)	0.67	0.99	0.32
	3	แนวตั้ง (V30)	0.41	1.10	0.69
ทิศตะวันตก (W)	2	แนวตั้ง (V15)	0.67	1.01	0.34
	3	แนวตั้ง (V30)	0.41	1.06	0.65
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)	2	ผสม (VH)	0.78	1.04	0.26
	3	ผสม (VH)	0.42	1.14	0.72
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW)	2	ผสม (VH)	0.65	0.92	0.27
	3	ผสม (VH)	0.41	0.97	0.56
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (SE)	2	ผสม (VH)	0.60	0.84	0.24
	3	ผสม (VH)	0.40	0.89	0.49
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)	2	แนวตั้ง (V15)	0.90	1.25	0.35
	3	แนวตั้ง (V30)	0.39	1.34	0.95

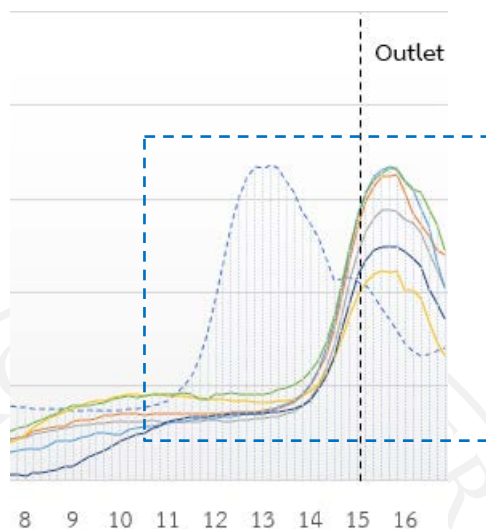
4. กระแสลมที่เข้าสู่อาคารด้วยความเร็วสูง เมื่อเข้าสู่ภายในอาคารแล้วความเร็วของกระแสลมจะลดลงอย่างรวดเร็วหากเทียบอัตราส่วนกับการทดลองที่กระแสลมน้อยกว่า แต่ความเร็วลมที่สูงจะทำให้เกิดการกระจายตัวของลมภายในอาคารได้ทั่วถึง และทำให้เส้นค่าเฉลี่ยของลมอยู่เหนือเส้นความเร็วลมก่อนติดตั้งแผงกันแดดได้พื้นที่ครอบคลุมกว่าอาคารที่กระแสลมเข้าน้อย

ภาพที่ 5.12: แผนภาพเปรียบเทียบพฤติกรรมลมที่เกิดขึ้น กรณีความเร็วลมมากและความเร็วลม
น้อย โดยใช้แผนภูมิอ้างอิงจากผลการทดลองแผงกันแดดทิศเหนือชั้น 2 และผลการ
ทดลองแผงกันแดดทิศตะวันตกเฉียงใต้ ชั้น 2



5. อาคารที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดดความเร็วลมที่เกิดขึ้นสูงช่วงก่อนออกสู่ภายนอกอาคารบริเวณ
ช่องเปิดทางออก ในทางตรงกันข้ามอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดทุกประเภทจะเกิดความเร็วลมสูงขึ้น
หลังจากออกสู่ภายนอกอาคารบริเวณช่องเปิดทางออกเช่นกัน

ภาพที่ 5.13: แผนภาพเปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นสูงของบริเวณช่องเปิดทางออก ของอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดและอาคารที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด



6. แผงกันแดดที่มีองศาของแผงกันแดดอยู่ที่ 15-30 องศาทั้งในรูปแบบแผงกันแดดแนวตั้งและแนวนอน โดยหากแผงกันแดดมีองศาใกล้เคียงกับรูปแบบของการตั้งฉากในแนวระนาบต่าง ๆ มีโอกาสที่ลมจะเข้าสู่ตัวอาคารได้สูงกว่าแผงกันแดดที่ทำมุมองศามาก และแผงกันแดดในรูปแบบระนาบ ทั้งนี้เกิดจากการที่เกิดการเบี่ยงเบนของลมมาก หรือกระทบวัตถุที่เป็นองค์ประกอบของอาคารมากขึ้นนั่นเอง

5.1.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. ในงานวิจัยรูปแบบของการคำนวณพลศาสตร์ของไหล หากใส่องค์ประกอบของอาคารมากหรืออาคารมีขนาดใหญ่ รวมไปถึงการสร้างบริบทโดยรอบของอาคารต้นแบบเข้าไปก่อนนำไปคำนวณตั้งแต่ในระดับกลุ่มอาคารไปจนถึงระดับผังเมืองอาจทำให้การสร้างแบบจำลองอาคารในรูปแบบ Mesh ที่ปริมาณของ Mesh ที่มากจนเกินกว่าคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะสามารถคำนวณได้ อีกทั้งยังส่งผลให้การคำนวณแบบจำลองแต่ละชุดการทดลองนานมากขึ้นกว่าปกติ เพราะฉะนั้นคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณจึงเป็นปัจจัยในการคำนึงถึงเมื่อเทียบกับสัดส่วนแบบจำลองของงานวิจัยในรูปแบบนี้

2. โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลมีความซับซ้อนและเข้าใจยาก เนื่องจากโปรแกรมถูกสร้างขึ้นโดยอ้างอิงหลักการและสมการทางฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อน ผู้วิจัยหรือใช้งานโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลควรมีความรู้ความเข้าใจในการตั้งค่าโปรแกรม รวมไปถึงความรู้พื้นฐานทางด้าน

พิลึกก่อนจะเริ่มใช้งานโปรแกรม เพื่อประสิทธิภาพในการคำนวณที่แม่นยำและการตั้งค่าโปรแกรมให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทั้งนี้ผู้วิจัยอาจปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการใช้งานโปรแกรมดังกล่าวระหว่างทำการวิจัย

3. ความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับการใช้งานอาคารในชีวิตจริง อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากตัวแปรอื่น ๆ ที่ผู้วิจัยอาจไม่ได้คำนึงถึงระหว่างใช้งานโปรแกรม และตัวแปรแทรกซ้อนที่มีอยู่จริงตามธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ความต่อเนื่องและความสม่ำเสมอของลม ซึ่งลมเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มนุษย์ไม่อาจควบคุมได้ การจะตั้งค่าโปรแกรมให้เสมือนว่าสร้างลมที่เกิดขึ้นจากธรรมชาตินั้นจึงเป็นไปได้ยาก ส่วนใหญ่งานวิจัยที่มีลักษณะของการคำนวณพลศาสตร์ของไหลจะมีการใช้ค่าเฉลี่ย หรือช่วงเวลาช่วงใดช่วงหนึ่งนำมาพิจารณาเท่านั้น

การศึกษาค้นคว้างานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการสร้างแบบจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปสู่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลในอาคารตึกแถวขนาดหน้ากว้าง 4.00 เมตร และมีความลึกอาคาร 12.00 เมตร เป็นกระบวนการศึกษาเพื่อหาแนวทางการใช้ลมธรรมชาตินำมาแก้ไขปัญหาเรื่องการระบายอากาศและความร้อนสะสมภายในอาคารที่มีพื้นที่ด้านหน้าอาคารแคบในลักษณะช่องเปิดทางเดียว จากผลการศึกษาที่ได้ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของลมในอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดด กล่าวได้ว่าอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดหากเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมจะทำให้ลมเคลื่อนที่ผ่านแผงกันแดดเข้าสู่อาคารได้ลึกและมีความเร็วลมที่สูงกว่าอาคารที่ไม่ติดตั้งแผงกันแดด ส่งผลในเรื่องของการกระจายตัวของลม ซึ่งรูปแบบของแผงกันแดดที่เหมาะสมจากการทดลองทั้ง 8 ทิศทางมีความสามารถในการช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร ควบคุมทิศทางการกระจายตัวของลมได้ตามคุณลักษณะของแผงกันแดดรูปแบบนั้น ๆ ตามแนวทางการวิจัยกำหนดให้ค่าความเร็วเฉลี่ยภายในอาคารที่ความเร็ว 0.25 m/s ช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องได้ 4 °C และมีช่วงสภาวะน่าสบายตามค่า PMV อยู่ในช่วง -0.5 ถึง +0.5 งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการออกแบบให้สถาปนิกเลือกใช้งานแผงกันแดดชนิดต่าง ๆ ในการออกแบบแผงกันแดดให้เข้ากับอาคารกลุ่มเป้าหมาย โดยหากผู้วิจัยยังไม่ชำนาญเรื่องการใช้งานโปรแกรมมากพออาจจะใช้การทำ Pilot Study หรือทำการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าเพื่อป้องกันโอกาสที่เกิดความผิดพลาดในการคำนวณในขั้นตอนต่อ ๆ ไปตลอดจนงานวิจัยแล้วเสร็จ

5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.2.1 แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้

1. สามารถนำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผงกันแดดที่เหมาะสมกับทิศทางที่ตั้งอาคารและความสูง ซึ่งหากเลือกใช้งานแผงกันแดดที่เหมาะสมนอกจากจะสามารถป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่กระทบสู่อาคารโดยตรงแล้วยังช่วยให้ลมเข้าสู่อาคาร เพิ่มสภาวะน่าสบายทั้งในรูปแบบของเชิงอุณหภูมิจึงความชื้น รวมไปถึงเพิ่มการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารอีกด้วย
2. เป็นแนวทางในการใช้แผงกันแดดบังคับทิศทางลมเบี่ยงเบนเข้าสู่พื้นที่ของห้องที่ต้องการ เช่น พื้นที่นั่งเล่น พื้นที่พักผ่อน อ่านหนังสือ ที่ต้องการให้ลมพัดผ่านเพื่อเพิ่มสภาวะน่าสบายหรือแม้กระทั่งการใช้เพื่อควบคุมความเร็วลมให้ลดลงในบางพื้นที่ที่มีลมกระโชกแรง เช่น พื้นที่ติดทะเล โดยควรคำนึงถึงช่วง 2 เมตรแรกที่ความเร็วลมเข้ามามากกว่าปกติด้วย
3. ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบูรณาการร่วมกับตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลม เช่น พฤติกรรมของลมที่ทำให้เกิดการสะสมฝุ่นตามมุมห้อง ความชื้นที่อาจทำให้เกิดโรคและแบคทีเรียภายในอาคาร การใช้ลมไล่ความร้อนบริเวณระนาบผนังทั้งภายในและภายนอกอาคารด้วยการบังคับทิศทางลม เป็นต้น เพื่อสร้างสภาวะที่ดีภายในอาคารด้วยวิธีการทางธรรมชาติ
4. ในกรณีที่ผู้ออกแบบหรือเจ้าของโครงการเลือกใช้งานแผงกันแดดไม่ได้ ด้วยข้อจำกัดของอาคารบางอย่าง แผงกันแดดแบบผสมเป็นแผงกันแดดที่ให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารสูงเป็นลำดับต้น ๆ ในทุกทิศทาง นอกจากนั้นยังมีความเหมาะสมกับการป้องกันแสงแดดในทุกทิศทางอีกด้วย
5. ลดภาระในการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยส่งเสริมให้ใช้วิธีการปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิจึงความชื้นได้ด้วยการใช้ลมธรรมชาติ รวมทั้งยังมีส่วนช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกลุ่มเป้าหมายและอาคารประเภทอื่น ๆ ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกัน

5.2.2 ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

1. ก่อนทำการทดลองในลักษณะของการคำนวณพลศาสตร์ของไหลควรทำ Pilot Study หรือทำการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าเพื่อป้องกันโอกาสที่เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ
2. สามารถนำรูปแบบการทดลองไปทำการทดลองต่อยอดกับรูปแบบอาคารที่มีความเฉพาะเจาะจงหรือรูปแบบแผงกันแดดที่มีความเฉพาะเจาะจงที่มีผลต่อความเร็วลม ซึ่งอาคารประเภททาว์นเฮาส์เป็นอาคารอีกหนึ่งประเภทที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายเคียงกับตึกแถว สามารถนำไปต่อยอดการศึกษางานวิจัยให้กว้างปรับใช้กับอาคารได้หลากหลายประเภทมากยิ่งขึ้น

3. นำการทดลองไปบูรณาการร่วมกับศาสตร์อื่น ๆ เช่น ฟุน ความชื้น ที่เกี่ยวกับสถานะน้ำ สบาย ด้วยการเพิ่มตัวแปรของงานวิจัยลงไป
4. พื้นที่และรูปแบบการกั้นผนังภายในเป็นหนึ่งในข้อกำหนดของอาคารที่ควรนำมาพิจารณา แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ตัวแปรดังกล่าว ถูกระบุเป็นตัวแปรแทรกซ้อนของงานวิจัย
5. ผลการทดลองเป็นเพียงค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นตามแนวตัดที่สมมติขึ้นเท่านั้น ไม่ได้วัดผล หรือการสรุปค่าเฉลี่ยด้วยปริมาตรรวมของพื้นที่ภายในอาคารทั้งหมด ซึ่งค่าตัวแปรในงานวิจัยควร เลือกใช้ตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรอิสระในด้านลบมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ใช้ค่าความร้อน ณ วันที่มี อุณหภูมิมากที่สุด ในการคำนวณหาค่า PMV เพื่อให้การออกแบบการวิจัยครอบคลุมทุกช่วงวันตลอด ทั้งปีได้ โดยผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าสามารถหาค่าการทดลองโดยละเอียดด้วยการศึกษาข้อจำกัดและ วิธีการใช้งานโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). *อุปกรณ์บังแดด (Shading Device)*. สืบค้นจาก <https://bit.ly/3wlbfgk>
- กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (ม.ป.ป.). *แบบแปลน กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย*. สืบค้นจาก <https://bit.ly/2T0K0mM>
- กวิณ ปรีชาวุฒิเดช. (2560). *การใช้ระบบทำความเย็นด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อการปรับปรุงโรงแรมขนาดเล็ก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิจชัย จิตจรรยาวิชัย. (2547). *สภาวะสบาย และการปรับตัวเพื่ออยู่แบบสบายของคนในท้องถิ่น (รายงานการวิจัย)*. นครปฐม: สถาบันวิจัยและพัฒนา, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ขวัญชัย กาแก้ว. (2548). *ประสิทธิผลขององค์ประกอบสภาพภูมิทัศน์ต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เฉลิมวัฒน์ ต้นตสวัสดิ์. (2547). *เครื่องช่วย (สลาย) ฝุ่นสถาปนิก: การคำนวณพลศาสตร์ของไหล สรรค์สร้างอาคารสบาย*. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์. (2546). การระบายอากาศทางตั้ง : Stack Effect Ventilation. *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 2(1), 33-38.
- ณัฐริกา มีนา. (2554). *ผลของแผงดักลมต่อความเร็วและการกระจายตัวของลม สำหรับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย*. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ตรึงใจ บุรณสมภพ. (2539). *การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.
- ธีรา อินทร์สวาท. (2544). *การศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอาคารพักอาศัยที่ใช้ระบบธรรมชาติในแต่ละภูมิภาค*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นุกูล กันเกต. (2556). *แนวทางการออกแบบเพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติสำหรับห้องปฏิบัติการเคมีสีเขียว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีเปรม โปรงโรตอง. (2550). *การศึกษาการออกแบบช่องเปิดและแผงบังแดดเพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ*. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปัทมาพร ท่อชู และ ศุทธา ศรีเผด็จ. (2558). *การศึกษาผลกระทบของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนต่อการระบายอากาศภายในอาคาร*. *วารสาร มทร.อีสาน*, 8(1), 115-126.

- เพียงชีวา ทองสุก. (2550). รูปแบบและวัสดุของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่มีอิทธิพลในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพลิน สงวนปัทมาวัลย์. (2553). แนวทางการออกแบบอาคารพักอาศัยประเภททาวน์เฮ้าส์เพื่อเพิ่มสภาวะน่าสบาย. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรนันท์ ทักขนนท์. (2547). สภาวะน่าสบาย: พื้นฐานและแบบจำลองสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น Thermal comfort: Basics and Models for Hot and Humid Climates. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 21(0), 133–146.
- มาลินี ศรีสุวรรณ. (2544). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. วารสารหน้าจั่ว คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 17(0), 152–168.
- ยงยุทธ อิมสงวน. (2557). ประสิทธิภาพการกันความร้อนของแผงอลูมิเนียมฉลุหลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วัฒนา ศรีวาจนะ. (2545). ผลของความเร็วลมต่อภาวะสบายเชิงความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุขฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีรศักดิ์ เขียวเชิงชล. (2546). โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์รูปทรงอาคาร วัสดุเปลือกอาคารและการออกแบบแผงบังแดดเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิธร ศรีเฟื่องฟู. (2560). การศึกษาความสบายเชิงอุณหภูมิของคนไทยภายในสถาปัตยกรรมประเภทโบสถ์ The Study of Thai Thermal Comfort in Buddhist Church. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(3), 85–98.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2523). การประหยัดพลังงาน: การระบายอากาศด้วยปล่อง. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับ ภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรรสุดา เจียมจิต. (2548). การประเมินสภาวะน่าสบายในอาคารสถาปัตยกรรมไทยในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สริน พินิจ. (2553). *การระบายอากาศโดยวิธีทางธรรมชาติ: แนวทางการออกแบบปรับปรุงผังอาคารชุดพักอาศัย กรณีศึกษาโครงการบ้านเอื้ออาทร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2544). *ระบบทำความเย็นแบบธรรมชาติ (Passive Design)*. โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทที่ยั่งยืน ฝ่ายสนับสนุนงานวิจัยพัฒนาวิศวกรรมและเสริมสร้างขีดความสามารถขององค์กร, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สุดาภรณ์ สุกประเสริฐ. (2559). การสำรวจสภาวะสบายเชิงความร้อนของนักศึกษาในห้องไม่ปรับอากาศ Field Study of Thermal Comfort of University Students in Non-Air Conditioned Room. *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 15(2), 148-160.
- สุนทร บุญญาธิการ; ธนิต จินดาวงศ์. (2536). *การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย (รายงานผลการวิจัยทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช)*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2542). *เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2545). นวัตกรรมที่อยู่อาศัยแบบยั่งยืน An Approach to a Sustainable Home. *วารสารวิธีวิทยาการวิจัย*, 15(3), 331-351.
- สุมล แซ่เฮง. (2548). *การจำลองการไหลอากาศในอาคารที่มีแผงดักลมและการจัดเรียงแผงกัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรุณศักดิ์ ต่อนตี. (2555). *การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุและสีของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เอกชัย อมรมพวรรณ. (2550). *การศึกษาการออกแบบช่องเปิดเพื่อปรับปรุงสภาวะทางอุณหภูมิโดยโปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา: อาคาร Early Year โครงการ Charter International School*. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ASHRAE. (1997). *ASHRAE handbook fundamentals 1997*. (n. p.) : American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.

- H.B. Rijal , M.A. Humphreys, & J.F. Nicol. (2019). Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwelling [Electronics version]. *Energy & Buildings*, 202:109371, 1-14.
- Importance of cross ventilation*. (n.d.) Retrieved from <https://bit.ly/3iaFBrP>
- J. S. Paul, & William K. S. Pao (2013). A Unified Adaptive Fanger's Model for Thermal Comfort in Tropical Countries. *Applied Mechanics and Materials*, 393(0), 799-808.
- Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. K. (2011). Airflow assessment in cross-ventilated buildings with operable façade elements. *Building and Environment*, 46(1), 266–279.
- Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong, N., & Hirunlabh, J. (2000). Thailand Ventilation Comfort Chart. *Energy and Buildings*, 32(1), 245-249.
- Olgay, V. (1967). *Design With Climate*. (n. p.) : Princeton University Press.
- Olu Ola Ogunsote & Dr. Bogda Prucnal-Ogunsote. (2002). Comfort Limits for the Effective Temperature Index in the Tropics: A Nigerian Case Study. *Architectural Science Review*, 45(2), 125-132
- Ramponi, R., & Blocken, B. (2012). CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters. *Building and Environment*, 53(0), 34–48.
- Roshan, G. R., Farrokhzad, M., & Attia, S. (2017). Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements. *Building and Environment*, 121(1), 168–189.
- Rosidah Saad. (2017). *Ventilation & a/c system*. Retrieved from <https://bit.ly/3uMTkaW>
- Stein, B. (1999). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings* (9th ed). New Jersey : Wiley.

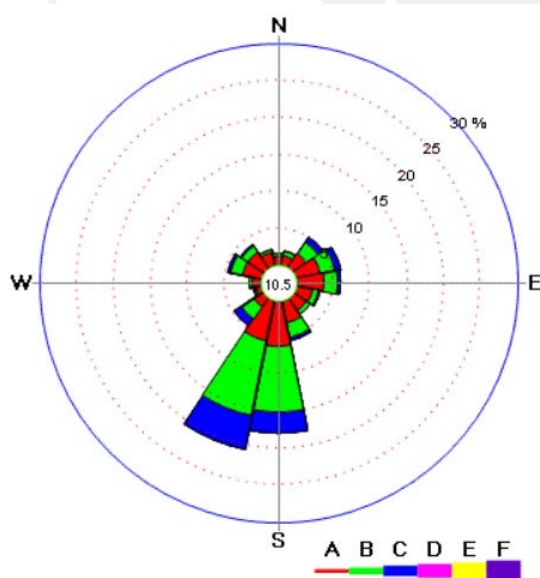


ภาคผนวก ก
แนวทางในการคำนวณหาความเร็วลมและความถี่ของลมในแต่ละทิศทาง
จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย

ภาคผนวกบนี้แสดงถึงวิธีการคำนวณหาค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นในทิศทางต่าง ๆ โดยเป็นข้อมูลจากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย โดยวิธีการเลือกชุดข้อมูลเลือกพื้นที่วัดความเร็วลมในภาคกลางของประเทศไทย ณ สถานีวัดความเร็วลมบางนา จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้เคียงกับพื้นที่กรุงเทพมหานครตามขอบเขตของงานวิจัยมากที่สุด ซึ่งเลือกรวบรวมข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2564 (วันที่เริ่มทำการเก็บข้อมูลก่อนวิจัยในเรื่องความเร็วลม)

ซึ่งทางกรมอุตุนิยมวิทยาได้เปิดให้ข้อมูลแก่สาธารณะในรูปแบบของแผนภาพ Wind rose ซึ่งแสดงช่วงความเร็วลมในทิศทางต่าง ๆ ทั้ง 16 ทิศทางเอาไว้เป็น 6 ช่วงความเร็วลมได้แก่ ช่วงความเร็วลม A มีความเร็วลม 1.50 m/s , ช่วงความเร็วลม B มีความเร็วลม 2.46 m/s , ช่วงความเร็วลม C มีความเร็วลม 4.46 m/s , ช่วงความเร็วลม D มีความเร็วลม 4.46 m/s , ช่วงความเร็วลม E มีความเร็วลม 6.93 m/s , ช่วงความเร็วลม F มีความเร็วลมมากกว่า 9.61 m/s โดยมีข้อมูลตามแผนภาพดังต่อไปนี้

ภาพที่ 1: แผนภาพแสดงช่วงความเร็วและความถี่ของลมเฉลี่ย 2 ปี ช่วงวันที่ 1 ม.ค. 2562 ถึงวันที่ 14 มี.ค. 2564 (ข้อมูลในภาคผนวก)



ตารางแสดงความเร็วลม			
A	1.50 m/s	D	6.93 m/s
B	2.46 m/s	E	9.61 m/s
C	4.46 m/s	F	>9.61 m/s

ตารางที่ 1: ตารางแสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 8 ทิศ จากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา
(ข้อมูลในภาคผนวก)

ทิศทาง	ค่าเฉลี่ยความถี่ลม				ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
	A	B	C	รวมความถี่ (%)	
N	1.2	0.3	0.0	1.50	1.69
NNE	1.3	0.5	0.1	1.90	1.91
NE	2.3	2.0	0.8	5.10	2.34
ENE	3.5	2.0	0.6	6.10	2.11
E	3.9	1.7	0.5	6.10	2.01
SSE	2.4	0.9	0.2	3.50	1.92
SE	2.2	0.6	0.1	2.90	1.80
SSW	3.3	2.0	0.5	5.80	2.09
S	6.3	8.8	2.9	18.00	2.45
SSW	5.7	10.3	4.5	20.50	2.63
SW	1.5	2.1	1.0	4.60	2.58
wsw	0.7	0.3	0.1	1.10	2.03
W	1.0	0.5	0.1	1.60	1.99
WNW	2.5	1.6	0.6	4.70	2.21
NW	2.5	1.1	0.2	3.80	1.93
NNW	1.7	0.5	0.0	2.20	1.72
รวมค่าความถี่ทั้งหมด					89.4 %
ค่าความถี่ที่ไม่สามารถตรวจวัดได้					10.5 %

วิธีการหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละทิศทาง ทำได้โดยการนำความถี่ช่วงนั้น ๆ คูณกับค่าความเร็วลม บวกกับค่าความถี่ช่วงต่อไปที่ปรากฏในตารางความเร็วลม จากนั้นนำค่าความเร็วลมรวมที่ได้หารความถี่รวมของทิศทางนั้น ๆ ตามสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความเร็วลมเฉลี่ยประจำทิศ} = \frac{(\text{ความถี่ช่วง } a \times 1.50) + (\text{ความถี่ช่วง } b \times 2.46) + (\text{ความถี่ช่วง } c \times 4.46)}{\text{ค่าความถี่รวมประจำทิศทาง}} \quad (6)$$

โดย ความถี่ลมช่วง A อ้างอิงค่าจากตารางข้อมูล มีความเร็วลมอยู่ที่ 1.50 m/s
 ความถี่ลมช่วง B อ้างอิงค่าจากตารางข้อมูล มีความเร็วลมอยู่ที่ 2.46 m/s
 ความถี่ลมช่วง C อ้างอิงค่าจากตารางข้อมูล มีความเร็วลมอยู่ที่ 4.46 m/s
 ความถี่ลมช่วง D อ้างอิงค่าจากตารางข้อมูล มีความเร็วลมอยู่ที่ 6.96 m/s
 ความถี่ลมช่วง E อ้างอิงค่าจากตารางข้อมูล มีความเร็วลมอยู่ที่ 9.61 m/s
 ความถี่ลมช่วง F อ้างอิงค่าจากตารางข้อมูล มีความเร็วลมอยู่ที่ >9.61 m/s

หมายเหตุ: หากทิศทางนั้น ๆ มีช่วงความเร็วลมช่วง D , E และ F ให้นำค่าดังกล่าวมาประกอบการพิจารณาด้วย ซึ่งในชุดข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงมีช่วงความเร็วลมเพียงช่วง A , B และ C เท่านั้น



ภาคผนวก ข

สมการการคำนวณหาค่า PMV (Predicted mean vote)

จากข้อมูลในเรื่องของ PMV (Predicted mean vote) จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 Fanger ได้เสนอเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า PMV โดยสมการดังกล่าวเกิดขึ้นจากการทดลองการถูกกีดกันด้านสรีรวิทยาโดยสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และได้บันทึกผลโหวตความรู้สึกสบาย ของประชากรกลุ่มตัวอย่างในห้องทดลองเอาไว้ และถูกระบุเอาไว้เป็นเกณฑ์ที่ทาง ASHRAE เลือกใช้ โดยถูกระบุเป็นมาตรฐานวัดสถานะน่าสบายเชิงอุณหภูมิตามมาตรฐาน ISO 7730:1994 เช่นเดียวกับค่า PPD อีกด้วย ซึ่งมีรายละเอียดสมการดังสมการที่ (7)

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028]L \quad (7)$$

เมื่อ M คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย
 L คือ ความร้อนสูญเสียจากร่างกายคน

โดยสามารถหาค่าความร้อนที่สูญเสียจากร่างกายคน (Heat loss, L) ได้จากสมการ (8)

$$\begin{aligned} L = & (M - W) \\ & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_r + 273.15)^4] \\ & - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \\ & - 3.05 [5.73 - 0.07(M - W) - p_v] \\ & - 0.42 [(M - W) - 58.15] \\ & - 0.0173M(5.87 - p_v) \\ & - 0.0014M(34 - T_a) \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ W คือ การเผาผลาญพลังงานเนื่องจากการทำงาน
 f_{cl} คือ สัมประสิทธิ์ของเสื้อผ้า
 T_{cl} คือ อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้า
 T_r คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย
 P_v คือ ความดันไอน้ำในอากาศ
 h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
 T_a คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

โดยสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_c หาได้จาก สมการ (9)

$$h_c = \begin{cases} 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25}, & 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \\ 12.1\sqrt{v}, & 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \end{cases} \quad (9)$$

อุณหภูมิเสื้อผ้า (T_{cl}) หาได้จากสมการ (10)

$$T_{cl} = 35.7 - 0.0275(M - W) \quad (10)$$

$$-R_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-9} \int_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_r + 273.15)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right\}$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของเสื้อผ้า (Clothing Factor, f_{cl}) นั้นหาค่าได้จากสมการ (11)

$$f_{cl} = \frac{A_c}{A_c}, \text{ อัตราส่วนพื้นที่เสื้อผ้ากับพื้นที่ของร่างกาย}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.0 + 0.2I_{clo}, & I_{clo} < 0.5 \text{ clo} \\ 1.05 + 0.1I_{clo}, & I_{clo} > 0.5 \text{ clo} \end{cases} \quad (11)$$

ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า (R_{cl}) หาได้จากสมการ (12)

$$R_{cl} = 0.155 I_{cl} \quad (12)$$

ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (I_{cl}) หาได้จากสมการ (13)

$$I_{cl} = \sum_i I_{cl,i} \quad (13)$$

และสืบเนื่องมาจากแนวคิดที่ว่าความรู้สึกสบายของมนุษย์นั้นอาจมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของแต่ละบุคคล ซึ่งบุคคลที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันอาจรู้สึกไม่สบายก็เป็นได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอาจอธิบายค่าความรู้สึกได้ยากเนื่องจากไม่มีสภาวะใดที่กลุ่มตัวอย่างจะรู้สึกถึงความสบายพร้อมกันทั้งหมด ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นดัชนี PPD (Predicted percentage dissatisfied) หรือเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคนที่รับรู้ถึงความรู้สึกไม่สบาย โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (14)

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)] \quad (14)$$

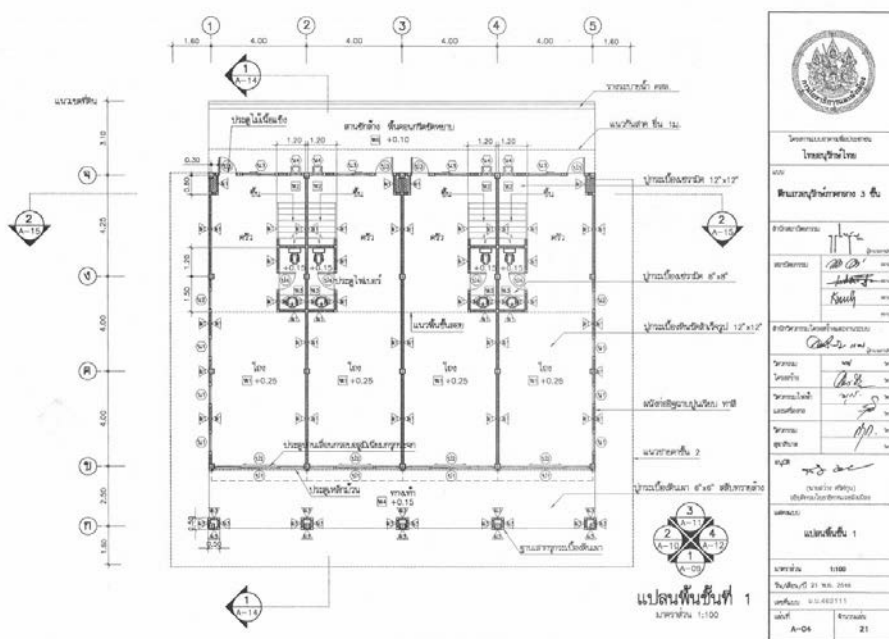
โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV และค่า PPD เกิดขึ้นจากการทดลองของ Fanger ซึ่งมีกลุ่มประชากรตัวอย่างเป็นชาวเดนมาร์ก 1,296 คน





แบบจำลองอาคารที่นำมาใช้ตลอดการทดลองนั้น อ้างอิงรูปแบบอาคารจากแบบอาคาร ตึกแถว ชื่อแบบแปลน ตึกแถวอนุรักษ์ภาคกลาง 3 ชั้น จัดทำโดยกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://subsites.dpt.go.th/construction/> (“กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย”, ม.ป.ป.) โดยอ้างอิงรูปแบบความกว้าง ความสูง รวมไปถึงรูปแบบและขนาด ช่องเปิดอาคารของอาคารบริเวณชั้น 2 และ ชั้น 3 เพื่อนำไปสู่การสร้างแบบจำลองอ้างอิงในการ ทดลองของอาคารต่อไป ลักษณะของอาคารคร่าว ๆ ประกอบไปด้วย อาคารที่มีความกว้างหน้า อาคาร 4.00 เมตร ลึก 12.00 เมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานชั้น 2 และชั้น 3 อยู่ที่ 3.00 เมตร ส่วนขนาดของช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังอาคาร ตามแบบขยายประตูหน้าต่าง ซึ่งมีรายละเอียด แบบแปลนตามภาพดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2: ผังพื้นที่ชั้น 1 แบบมาตรฐานตึกแถวอนุรักษ์ภาคกลาง 3 ชั้น

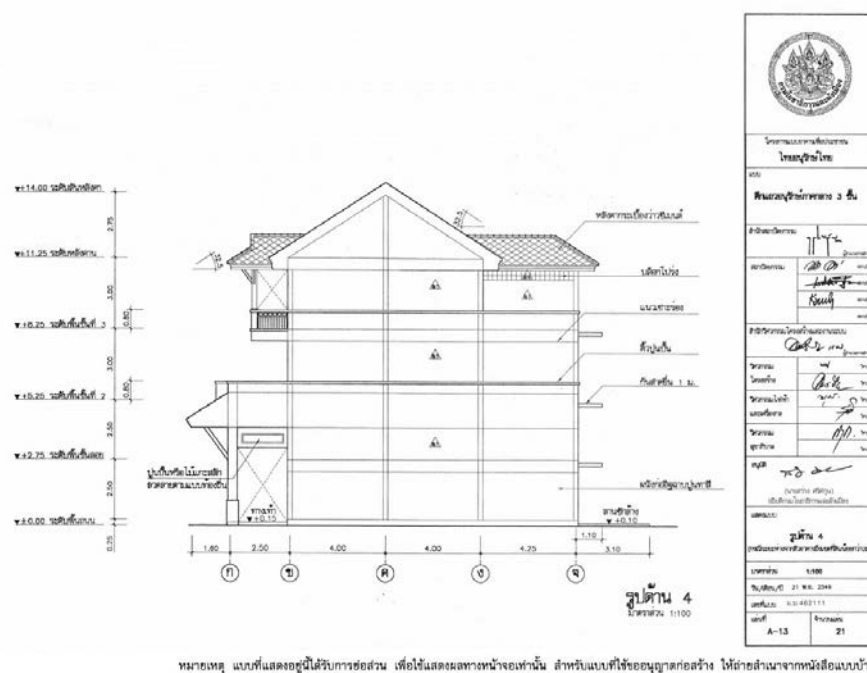


หมายเหตุ แบบที่แสดงอยู่ได้รับการย่อส่วน เพื่อให้เห็นผลทางนัยของมัน สำหรับแบบที่ใช้ออกแบบก่อสร้าง ให้ค่าตามจากหนังสือแบบบ้าน

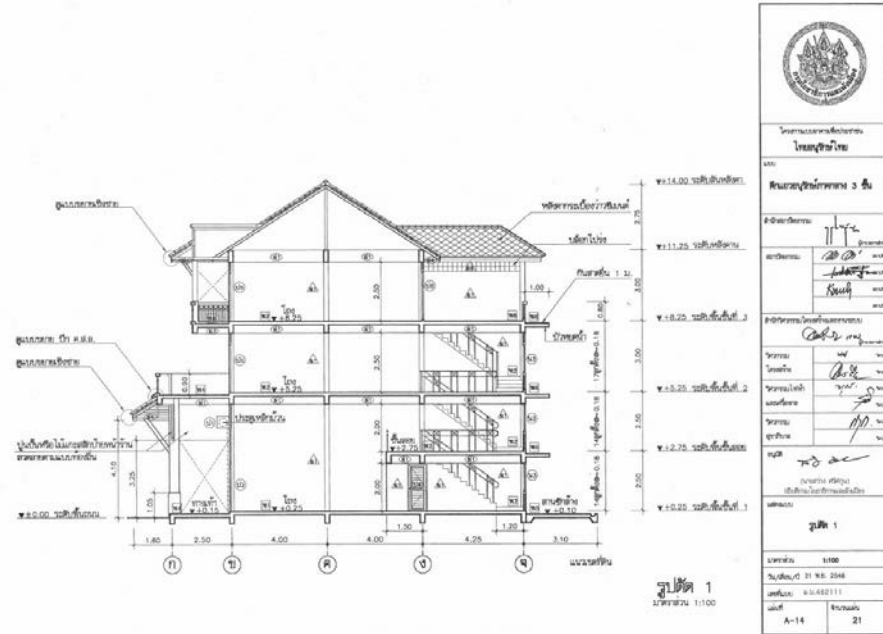
ภาพที่ 9: รูปด้าน 3 แบบมาตรฐานตึกแถวอนุรักษ์ภาคกลาง 3 ชั้น



ภาพที่ 10: รูปด้าน 4 แบบมาตรฐานตึกแถวอนุรักษ์ภาคกลาง 3 ชั้น



ภาพที่ 11: รูปตัด 1 แบบมาตรฐานตึกแถวอนุรักษ์ภาคกลาง 3 ชั้น



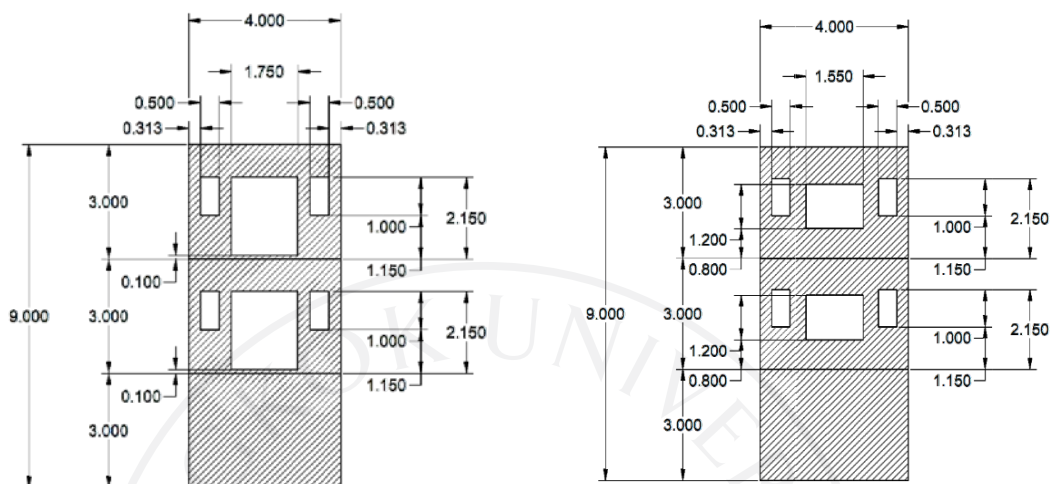
หมายเหตุ แบบที่แสดงอยู่นี้ได้รับการยืมมา เพื่อใช้แสดงผลงานเท่านั้น สำหรับแบบที่ใช้ขออนุญาตก่อสร้าง ให้ถ่ายสำเนาจากหนังสือแบบบ้าน

ภาพที่ 12: รูปตัด 2 แบบมาตรฐานตึกแถวอนุรักษ์ภาคกลาง 3 ชั้น



หมายเหตุ แบบที่แสดงอยู่นี้ได้รับการยืมมา เพื่อใช้แสดงผลงานเท่านั้น สำหรับแบบที่ใช้ขออนุญาตก่อสร้าง ให้ถ่ายสำเนาจากหนังสือแบบบ้าน

ภาพที่ 15: ผังแสดงขนาดรูปด้านหน้าและหลังของอาคารตึกแถว (ตามลำดับ) หลังถูกลดทอนองค์ประกอบอาคาร



ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากรูปแบบอาคารแล้วก่อนที่จะนำแบบจำลองเข้าสู่การสร้าง Mesh เพื่อระบุความละเอียดของระนาบพื้นผิวที่ต้องใช้ในการคำนวณ ผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องลดทอนองค์ประกอบอาคารในส่วนที่ไม่จำเป็นหรืออยู่นอกเหนือขอบเขตงานวิจัยออกไป ให้เหลือเพียงแต่อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมเท่านั้น เพื่อลดขนาดของ Mesh size ที่มีจำนวนไม่มากเกินไปที่คุณสมบัติเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะคำนวณได้

ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่าหากผู้ที่ทำการทดลองในหัวข้อลักษณะดังกล่าวใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติขั้นสูงที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉพาะของหน่วยงานราชการหรือทางมหาวิทยาลัย การสร้างอาคารที่มีองค์ประกอบครบจะช่วยให้ค่าที่ได้จากการคำนวณพลศาสตร์ของไหลออกมาใกล้เคียงกับอาคารต้นแบบมากยิ่งขึ้น

ประวัติเจ้าของผลงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายคชา ว่องมหาชัยกุล
วันเกิด	18 มิถุนายน 2536
อีเมล	kacha.wong@bumail.net
ประวัติการศึกษา	หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2555-2560 หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมภายใน มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ปีการศึกษา 2562-2564
ผลงานวิชาการ	แนวทางการออกแบบแผงกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิต สำหรับอาคารประเภทตึกแถวในกรุงเทพมหานคร. งานประชุมวิชาการ ระดับชาติ BUILT ENVIRONMENT RESEARCH ASSOCIATES CONFERENCE, VIRTUAL CONFERENCE ครั้งที่ 12 ประจำปี 2564 (12 th BERAC,2021) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ข้อตกลงว่าด้วยการอนุญาตให้ใช้สิทธิในวิทยานิพนธ์

วันที่ 7 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) _____ อยู่บ้านเลขที่ 788/19 ม.2
ซอย 25/1 ถนน แสงชูโต ตำบล/แขวง ท่าม่วง
อำเภอ/เขต ท่าม่วง จังหวัด กาญจนบุรี รหัสไปรษณีย์ 71110
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ รหัสประจำตัว 7621100044

ระดับปริญญา ตรี โท เอก

หลักสูตร _____ สถาบันศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา _____ สถาบันศึกษาศาสตร _____
ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ” ฝ่ายหนึ่ง และ

มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ตั้งอยู่เลขที่ 9/1 หมู่ 5 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัด
ปทุมธานี 12120 ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ” อีกฝ่ายหนึ่ง

ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ และ ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ ตกลงทำสัญญากันโดยมีข้อความดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิขอรับรองว่าเป็นผู้สร้างสรรค์และมีสิทธิแต่เพียงผู้เดียวในงานวิทยานิพนธ์หัวข้อ _____
_____ แนวทางการออกแบบผังกันแดดเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิตั้งสำหรับอาคารประเภทตึกแถว
ในกรุงเทพมหานคร

ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร _____ สถาบันศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยกรุงเทพ
(ต่อไปนี้จะเรียกว่า “วิทยานิพนธ์”)

ข้อ 2. ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิตกลงยินยอมให้ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ ใช้สิทธิโดยปราศจากค่าตอบแทนและไม่มีการกำหนดระยะเวลา ในการนำ วิทยานิพนธ์ ซึ่งรวมถึงแต่ไม่จำกัดเพียงการทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ต่อสาธารณชน ให้เข้าต้นฉบับหรือสำเนา งาน ให้ประโยชน์ในวิทยานิพนธ์ แก่ผู้อื่น อนุญาตให้ผู้อื่นใช้สิทธิโดยจะกำหนดเงื่อนไข
อย่างหนึ่งอย่างใดหรือไม่ก็ได้ ไม่ว่าทั้งหมดหรือเพียงบางส่วน หรือการกระทำอื่นใดในลักษณะทำนองเดียวกัน

ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิมีวัตถุประสงค์ในการเก็บรวบรวม ใช้ หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลของผู้
อนุญาตให้ใช้สิทธิ เพื่อให้เป็นไปตามข้อตกลงว่าด้วยการอนุญาตให้ใช้สิทธิในวิทยานิพนธ์ของผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ
ตลอดไป โดยข้าพเจ้าในฐานะผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ ตกลงยินยอมให้ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิทำการจัดเก็บ
รวบรวม ใช้ หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลดังกล่าวของข้าพเจ้าได้

ข้อ 3. หากกรณีมีข้อขัดแย้งในปัญหาสิทธิในวิทยานิพนธ์ระหว่างผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิกับบุคคลภายนอกก็ดี
หรือระหว่างผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิกับบุคคลภายนอกก็ดี หรือมีเหตุขัดข้องอื่นๆ เกี่ยวกับลิขสิทธิ์ อันเป็นเหตุ
ให้ผู้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิไม่สามารถนำงานนั้นออกทำซ้ำ เผยแพร่ หรือโฆษณาได้ ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิยินยอม

รับผิดชอบและชดใช้ค่าเสียหายแก่ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิในความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้นแก่ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิทั้งสิ้น

สัญญานี้ทำขึ้นสองฉบับ มีข้อความถูกต้องตรงกัน คู่สัญญาได้อ่านและเข้าใจข้อความในสัญญานี้โดยตลอดแล้ว จึงได้ลงลายมือชื่อไว้ต่อหน้าพยานเป็นสำคัญ และเก็บไว้ฝ่ายละฉบับ

ลงชื่อ _____ ผู้อนุญาตให้ใช้สิทธิ
(ศษา ว่องมหาชัยกุล)

ลงชื่อ _____ ผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้สิทธิ
(ดร.อัญญา จุลพิสิฐ)
ผู้อำนวยการสำนักหอสมุดและพื้นที่การเรียนรู้

ลงชื่อ _____ พยาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์)
ผู้อำนวยการหลักสูตร/ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

ลงชื่อ _____ พยาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ รุจิพงษ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย