

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ ในพื้นที่กึ่งเปิดโล่งสาธารณะ ของศูนย์การค้าชุมชน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FACTORS AFFECTING AIR QUALITY IN SEMI-OPEN SPACE OF COMMUNITY MALL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

FACULTY OF ARCHITECTURE

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ ในพื้นที่กึ่งเปิดโล่ง
	สาธารณะ ของศูนย์การค้าชุมชน
โดย	นายพลกฤต วิชาญศาสตร์กุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจฤติ)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พรหมชลัท สุริโยธิน)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ ینگโรจน์ฤทธิ์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)	

พลกฤต วิชาวิทยาศาสตร์กุล : ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ ในพื้นที่กึ่งเปิดโล่งสาธารณะ ของศูนย์การค้าชุมชน. (FACTORS AFFECTING AIR QUALITY IN SEMI-OPEN SPACE OF COMMUNITY MALL) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คุณภาพอากาศ เป็นประเด็นที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้คน ทั้งการแพร่ระบาดของโควิด-19 และฝุ่นละออง PM2.5 ทำให้ผู้คนหลีกเลี่ยงสถานที่แออัด แล้วหันมาใช้บริการศูนย์การค้าชุมชนที่เป็นอาคารลักษณะกึ่งเปิดโล่งมากขึ้น ซึ่งผู้คนโดยทั่วไปจะรับรู้ได้ว่าความโปร่งของอาคารช่วยถ่ายเทอากาศได้ดี อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษารายละเอียดในเชิงกายภาพของอาคารที่สัมพันธ์กับปริมาณมลพิษในอากาศ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัยทางกายภาพของศูนย์การค้าชุมชน ช่องโหว่และลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร กับทิศทางลมประจำ ที่สัมพันธ์กับคุณภาพอากาศ และชี้วัดด้วยมลพิษในอากาศ ผ่านการจำลองอาคารกรณีศึกษาศูนย์การค้าชุมชน 8 อาคารในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล ทดสอบในสภาวะที่มีฝุ่นละออง PM2.5 ในระดับมาตรฐานเฉลี่ยต่อปีที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีตัวแปรต้นเป็นจำนวนด้านเปิดของอาคารที่เปิดให้อากาศไหลผ่านได้ และขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร และมีตัวแปรตามเป็นอัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ภายในต่อภายนอก ค่าอายุของอากาศ และอัตราการเปลี่ยนอากาศ จากการจำลองด้วยโปรแกรมพบว่า อาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน จะมีอัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ยต่ำที่สุดที่ 0.55 มีค่าอายุของอากาศเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ 24.18 วินาที และอัตราการเปลี่ยนอากาศสูงที่สุด 90.38 ACH หมายถึงการมีคุณภาพอากาศที่ดีกว่ารูปแบบอื่น ซึ่งมีอัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ยใกล้เคียงหรือสูงกว่า 1 นอกจากนี้ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งส่งผลต่อคุณภาพอากาศเช่นกัน โดยพบว่าอาคารที่มีจำนวนด้านเปิดให้อากาศไหลผ่านได้เท่ากัน แต่มีขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งที่กว้างกว่า จะทำให้เกิดการสะสมของมลพิษมากกว่า เนื่องจากอากาศเคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ได้ช้ากว่า อีกทั้งยังพบปัจจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการไหลของอากาศ คือ การวางแนวของอาคาร และอาคารโดยรอบ ก็ส่งผลกระทบต่อไหลของลมและคุณภาพอากาศเช่นกัน ในงานวิจัยนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศมากที่สุดคือ ความพรุนหรือจำนวนด้านเปิดของอาคาร หากอาคารมีความพรุนที่มากจะทำให้ลมสามารถไหลผ่านอาคารได้ดี และไม่เกิดการสะสมของมลพิษ ทั้งหมดนี้นำไปสู่แนวทางการออกแบบอาคารศูนย์การค้าชุมชนเบื้องต้น หรืออาคารที่มีกายภาพกึ่งเปิดโล่งที่คล้ายคลึงกัน

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6470020725 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: Community Mall, Air Quality, PM2.5, Natural Ventilation, Computational Fluid Dynamics

Phokkrit Visitsartkul : FACTORS AFFECTING AIR QUALITY IN SEMI-OPEN SPACE OF COMMUNITY MALL. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

Air quality is a significant issue that has an impact on people's health. Covid-19 pandemic and PM2.5 have caused people such as consumer avoid high density places and turn to choose community mall instead. People perceive that the semi-open space of the building can be effectively ventilated. However, there has no research of community mall related to air pollution and air quality.

The objective of this research is to look at how physical characteristics of a community mall such as void, semi-open space area of the building and wind direction affect air quality by evaluating pollutant levels. The case studies of 8 community malls in Bangkok were simulated by Computational Fluid Dynamics program in conditions with PM2.5 at standard level of $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The Independent variable consists of the number of opening sides of the building and semi-open space area. The dependent variable comprises I/O Ratio of PM2.5, age of air and air change rate. According to the CFD simulation, building with 4 opening sides have the lowest pollution concentration that average I/O Ratio of 0.55, the lowest age of air 24.18 s. and the highest air change rate of 90.38 ACH. It signifies that air quality in the building is better than other case studies that have average I/O Ratio close to or above 1. Semi-open space also affects the air quality. It was found that building with the equal number of opening sides but the area of semi-open space is wider. It will have more pollutants due to the slower air flow from the area. In addition, building orientation and surrounding are all factors affect airflow and air quality. The porosity or number of opening sides of the building has the biggest impact on air quality. If building has a high porosity, the wind can flow through the building well and no accumulation of pollution. The findings of this study led to community mall design guidelines or other semi-open space of buildings.

Field of Study: Architecture

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถจน์ เศรษฐบุตร์ ที่คอยชี้แนะ ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์พรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่กรุณาสละเวลา และให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำในหลากหลายด้าน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งเป็นประโยชน์ที่สามารถนำไปปรับใช้หรือต่อยอดในชีวิตได้ และขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ที่ให้คำแนะนำ แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ รวมถึงกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวและคนใกล้ชิด ที่คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการศึกษานี้

พลกฤต วิศิษฐ์ศาสตร์กุล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ณ	ณ
สารบัญรูปภาพ.....ญ	ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2	2
1.3 ขอบเขตในการวิจัย..... 2	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย..... 3	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3	3
1.6 สมมติฐานการวิจัย..... 4	4
1.7 ข้อจำกัดในการวิจัย..... 4	4
1.8 คำจำกัดความในการวิจัย..... 4	4
1.9 กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 5	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6	6
2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกายภาพของศูนย์การค้าชุมชน..... 7	7
2.1.1 ศูนย์การค้าชุมชน..... 7	7
2.1.2 กายภาพของศูนย์การค้าชุมชน..... 7	7
2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ..... 10	10

2.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ	10
2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของรูปแบบการไหลของอากาศ	10
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอากาศผ่านอาคาร	12
2.2.4 การประเมินอัตราการเปลี่ยนอากาศ.....	16
2.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ.....	17
2.3.1 การตรวจวัดคุณภาพอากาศ	17
2.3.2 มลพิษในอากาศ	18
2.3.3 ความสัมพันธ์ของมลพิษในอากาศและการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ.....	22
2.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชี้วัดคุณภาพอากาศ	23
2.4.1 อัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก (I/O Ratio).....	23
2.4.2 อายุของอากาศ (Age of Air).....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
3.2 กำหนดกรณีศึกษา	30
3.3 การจำลองอาคารกรณีศึกษา	36
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	42
3.5 การเก็บข้อมูลจากการจำลอง.....	42
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	45
4.1 การแปรผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD	46
4.1.1 อาคารกรณีศึกษา 1A.....	46
4.1.2 อาคารกรณีศึกษา 1B.....	55
4.1.3 อาคารกรณีศึกษา 2A.....	64
4.1.4 อาคารกรณีศึกษา 2B.....	73

4.1.5 อาคารกรณีศึกษา 3A.....	82
4.1.6 อาคารกรณีศึกษา 3B.....	91
4.1.7 อาคารกรณีศึกษา 4A.....	100
4.1.8 อาคารกรณีศึกษา 4B.....	109
4.2 การวิเคราะห์ผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD.....	118
4.2.1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5.....	118
4.2.2 วิเคราะห์ค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศ.....	120
4.2.3 วิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ.....	124
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	130
5.1 การประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในศูนย์การค้าชุมชน.....	130
5.2 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5.....	134
5.3 สรุปผลจากการวิเคราะห์ค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศ.....	136
5.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ.....	138
5.5 แนวทางการประยุกต์ใช้ในการออกแบบ.....	140
5.6 ข้อเสนอแนะ.....	143
บรรณานุกรม.....	144
ภาคผนวก ก.....	148
ภาคผนวก ข.....	152
ประวัติผู้เขียน.....	160

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบงานหลักการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติกับประเด็นจากงานวิจัย	16
ตารางที่ 3.1 ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2563.....	30
ตารางที่ 3.2 การแบ่งศูนย์การค้าชุมชนที่มีการศึกษาการระบายอากาศตามลักษณะการวางผัง.....	31
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 1 ด้าน (1A)	32
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 1 ด้าน (1B).....	32
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 2 ด้าน (2A)	33
ตารางที่ 3.6 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 2 ด้าน (2B).....	33
ตารางที่ 3.7 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 3 ด้าน (3A)	34
ตารางที่ 3.8 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 3 ด้าน (3B).....	34
ตารางที่ 3.9 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 4 ด้าน (4A)	35
ตารางที่ 3.10 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 4 ด้าน (4B)	35
ตารางที่ 3.11 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 1A.....	37
ตารางที่ 3.12 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 1B.....	37
ตารางที่ 3.13 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 2A.....	38
ตารางที่ 3.14 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 2B.....	38
ตารางที่ 3.15 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 3A.....	39
ตารางที่ 3.16 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 3B.....	39
ตารางที่ 3.17 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 4A.....	40
ตารางที่ 3.18 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 4B.....	40
ตารางที่ 3.19 ข้อมูลที่นำเข้าไปโปรแกรม CFD.....	41
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1A.1.....	48

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1A.2.....	51
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1A.3.....	54
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1B.1.....	57
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1B.2.....	60
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1B.3.....	63
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2A.1.....	66
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2A.2.....	69
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2A.3.....	72
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2B.1.....	75
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2B.2.....	78
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2B.3.....	81
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3A.1.....	84
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3A.2.....	87
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3A.3.....	90
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3B.1.....	93
ตารางที่ 4.17 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3B.2.....	96
ตารางที่ 4.18 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3B.3.....	99
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4A.1.....	102
ตารางที่ 4.20 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4A.2.....	105
ตารางที่ 4.21 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4A.3.....	108
ตารางที่ 4.22 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4B.1.....	111
ตารางที่ 4.23 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4B.2.....	114
ตารางที่ 4.24 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4B.3.....	117
ตารางที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของผู้ละออง PM2.5 และค่า I/O Ratio เฉลี่ย.....	119

ตารางที่ 4.26 แสดงสัดส่วนการเกิดลมหมุนวนเฉลี่ยในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารกรณีศึกษา.....	124
ตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 8 อาคาร.....	130
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ.....	134
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการวิจัยและเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับศูนย์การค้าชุมชน.....	138
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 1A.....	152
ตารางที่ ข.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 1B.....	153
ตารางที่ ข.3 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 2A.....	154
ตารางที่ ข.4 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 2B.....	155
ตารางที่ ข.5 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 3A.....	156
ตารางที่ ข.6 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 3B.....	157
ตารางที่ ข.7 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 4A.....	158
ตารางที่ ข.8 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 4B.....	159

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	5
ภาพที่ 2.1 ลักษณะการวางผังศูนย์การค้า 5 รูปแบบ.....	8
ภาพที่ 2.2 รูปแบบการไหลของอากาศ.....	11
ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่านตัวอาคาร	11
ภาพที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนตัวของลมผ่านอาคาร และการเกิดความแตกต่างของความกดอากาศ...	13
ภาพที่ 2.5 การไหลของอากาศในรูปแบบการระบายอากาศแบบ Single-sided Ventilation	14
ภาพที่ 2.6 การไหลของอากาศในรูปแบบการระบายอากาศแบบ Cross Ventilation.....	15
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนอากาศและความเข้มข้นของมลพิษ	22
ภาพที่ 2.8 การกำหนดขอบเขตของพื้นที่กึ่งเปิดโล่งเพื่อพิจารณาอายุของอากาศที่ถูกขังอยู่	25
ภาพที่ 2.9 ประเด็นที่เกี่ยวข้องในการศึกษา.....	26
ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน.....	28
ภาพที่ 3.2 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน.....	28
ภาพที่ 3.3 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน.....	28
ภาพที่ 3.4 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน.....	28
ภาพที่ 3.5 ลักษณะแบบจำลองเบื้องต้นในโปรแกรม CFD.....	36
ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการแสดงผลจากโปรแกรม CFD.....	42
ภาพที่ 3.7 ที่ว่างของลานกึ่งเปิดโล่ง ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจากแต่ละกรณีศึกษา.....	44
ภาพที่ 4.1 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1A.1.....	46
ภาพที่ 4.2 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1A.1.....	47
ภาพที่ 4.3 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1A.1.....	47
ภาพที่ 4.4 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1A.2.....	49

ภาพที่ 4.53 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3B.3.....	98
ภาพที่ 4.54 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3B.3.....	98
ภาพที่ 4.55 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4A.1	100
ภาพที่ 4.56 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4A.1.....	101
ภาพที่ 4.57 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4A.1	101
ภาพที่ 4.58 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4A.2	103
ภาพที่ 4.59 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4A.2.....	104
ภาพที่ 4.60 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4A.2	104
ภาพที่ 4.61 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4A.3	106
ภาพที่ 4.62 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4A.3.....	107
ภาพที่ 4.63 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4A.3	107
ภาพที่ 4.64 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4B.1	109
ภาพที่ 4.65 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4B.1.....	110
ภาพที่ 4.66 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4B.1.....	110
ภาพที่ 4.67 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4B.2	112
ภาพที่ 4.68 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4B.2.....	113
ภาพที่ 4.69 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4B.2.....	113
ภาพที่ 4.70 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4B.3	115
ภาพที่ 4.71 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4B.3.....	116
ภาพที่ 4.72 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4B.3.....	116
ภาพที่ 4.73 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา	118
ภาพที่ 4.74 ความสัมพันธ์ของจำนวนด้านเปิดของอาคารกับค่า I/O Ratio เฉลี่ย.....	120
ภาพที่ 4.75 อาคาร 3B.2 ที่มีด้านทึบของอาคารขวางทางลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้	121
ภาพที่ 4.76 ค่าอายุของอากาศ ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา	122

ภาพที่ 4.77 อัตราการเปลี่ยนอากาศ ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา	122
ภาพที่ 4.78 ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนอากาศกับ I/O Ratio	123
ภาพที่ 4.79 รูปแบบการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่มีการสะสมของมลพิษต่ำที่สุด - กรณี 4A.1(ซ้าย) กรณี 4A.2 (กลาง) และกรณี 4A.3(ขวา).....	125
ภาพที่ 4.80 ตำแหน่งลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่งของกรณี 4A.1 และ กรณี 4A.3.....	126
ภาพที่ 4.81 รูปแบบการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่มีการสะสมของมลพิษสูงที่สุด - กรณี 1A.1(ซ้าย) กรณี 1A.2 (กลาง) และกรณี 1A.3(ขวา).....	126
ภาพที่ 4.82 ตำแหน่งลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่ง กรณี 1A.1 กรณี 1A.2 และ กรณี 1A.3	127
ภาพที่ 4.83 กรณี 2A.1 (ซ้าย) และ กรณี 2A.2 (ขวา) อาคารโดยรอบทำให้ทิศทางลมเปลี่ยนไป ..	128
ภาพที่ 4.84 กรณี 4B.3 อาคารโดยรอบส่งผลให้ทิศทางลมเปลี่ยนไป	129
ภาพที่ 5.1 อาคารที่มีด้านเปิดน้อย จะทำให้อากาศไม่สามารถไหลผ่านลานกึ่งเปิดโล่งได้.....	131
ภาพที่ 5.2 ช่องโล่งของอาคารแบบตั้งฉากกับทิศทางลม (ซ้าย) และทำมุมกับทิศทางลม (ขวา)	132
ภาพที่ 5.3 ส่วนทึบของอาคารที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (ซ้าย) และทำมุมกับทิศทางลม (ขวา).....	132
ภาพที่ 5.4 ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งที่กว้าง จะทำให้มีโอกาสเกิดลมหมุนวนมากขึ้น.....	133
ภาพที่ 5.5 อาคารโดยรอบที่ส่งผลกับกระแสลมที่พัดเข้าหาอาคาร	133
ภาพที่ 5.6 เปรียบเทียบค่า I/O Ratio เฉลี่ยของแต่ละอาคารกรณีศึกษา	134
ภาพที่ 5.7 เปรียบเทียบค่า I/O Ratio ของแต่ละอาคารกรณีศึกษาในกรณีที่ความเร็วลมต่ำที่สุด..	135
ภาพที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าอายุของอากาศเฉลี่ยของแต่ละอาคารกรณีศึกษา.....	136
ภาพที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยของแต่ละอาคารกรณีศึกษา.....	136
ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย กับ I/O Ratio เฉลี่ย	137
ภาพที่ 5.11 การเกิดลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่ง จากความกดอากาศที่เป็นลบ	139
ภาพที่ 5.12 การวางแนวอาคารให้สอดคล้องกับทิศทางลม	139
ภาพที่ 5.13 อาคารกรณีศึกษา 1A และทิศทางของลมธรรมชาติทั้ง 3 ทิศทาง.....	140
ภาพที่ 5.14 การปรับปรุงอาคารให้มีด้านเปิดที่สอดคล้องกับทิศทางลมประจำ.....	140

ภาพที่ 5.15 การปรับปรุงอาคารเรื่องแนวการวางอาคารทั้งส่วนที่บและส่วนโล่ง	141
ภาพที่ 5.16 การปรับปรุงอาคารให้มีขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งที่สอดคล้องกับขนาดของช่องโล่ง....	141
ภาพที่ 5.17 การปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องกับอาคารโดยรอบ	142
ภาพที่ ก.1 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบลูบ (Looping).....	149
ภาพที่ ก.2 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบโคน (Coning).....	150
ภาพที่ ก.3 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบพัด (Fanning).....	150
ภาพที่ ก.4 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบกระจายขึ้นด้านบน (Lofting).....	151
ภาพที่ ก.5 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบรมควัน (Fumigation).....	151
ภาพที่ ข.1 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 1A	152
ภาพที่ ข.2 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 1B.....	153
ภาพที่ ข.3 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 2A	154
ภาพที่ ข.4 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 2B.....	155
ภาพที่ ข.5 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 3A	156
ภาพที่ ข.6 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 3B.....	157
ภาพที่ ข.7 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 4A	158
ภาพที่ ข.8 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 4B.....	159

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ เช่น โรคระบาด หรือปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ส่งผลให้พฤติกรรมการใช้ชีวิตเริ่มเปลี่ยนแปลงไป หนึ่งในนั้นคือการบริโภค เมื่อผู้บริโภคเริ่มหลีกเลี่ยงสถานที่แออัดและอากาศถ่ายเทไม่สะดวก ทำให้ผู้บริโภคหลีกเลี่ยงการเข้าใช้บริการศูนย์การค้าแบบปิด แล้วหันมาใช้บริการศูนย์การค้าแบบเปิดในรูปแบบศูนย์การค้าชุมชน หรือ คอมมูนิตีมีอลล์มากขึ้น (บุษกร ภูแส, 2564)

ศูนย์การค้าชุมชน เน้นความคล่องตัวสำหรับผู้บริโภค มากกว่าศูนย์การค้าแบบปิดขนาดใหญ่ (กำพล อนันตพรพาณิชย์, 2553) และให้ความสำคัญกับลานกิจกรรม เป็นการสร้างจุดเด่นให้โครงการ (ณัฐพร ชีวาเกียรติยิ่งยง, 2557) ทั้งหมดนี้นำมาซึ่งรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ที่มีลักษณะกึ่งเปิดโล่ง เกิดการถ่ายเทอากาศภายในลานกึ่งภายนอกของอาคารได้ แต่ในขณะเดียวกัน การออกแบบศูนย์การค้าชุมชนนั้นยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจนในเชิงการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านคุณภาพอากาศ เช่นการออกแบบที่ไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่ง ขนาด หรือสัดส่วนของช่องโล่งที่เหมาะสมเพื่อให้ลมไหลผ่าน หรืออากาศถ่ายเทให้สะดวกได้ ทำให้อากาศเกิดการปนเปื้อน หรือมีมลพิษสะสมในอากาศเป็นเวลานาน

ปัจจุบันเริ่มมีงานวิจัยที่ศึกษาศูนย์การค้าชุมชน เป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบแต่ไม่ครอบคลุมปัจจัยด้านคุณภาพอากาศในบางปัจจัย โดยส่วนมากจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายภายในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน ซึ่งเกิดจากการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ผ่านลานกึ่งเปิดโล่งนี้ ซึ่งจะให้ความสำคัญกับช่องโล่งระหว่างอาคารที่ลมสามารถไหลผ่านได้ ทำการเก็บข้อมูลตัวแปรด้านสภาวะน่าสบาย เพื่อนำมาวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในพื้นที่ลานของอาคาร อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาอาคารศูนย์การค้าชุมชนในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับความสะอาดของอากาศที่ผ่านเข้ามา เพื่อชีวิตคุณภาพอากาศ

คุณภาพอากาศชีวิตได้ด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ มุ่งเน้นไปที่ มลพิษในอากาศ โดยที่มลพิษในอากาศ คือ อากาศโดยรอบที่มีสิ่งสกปรกเจือปน และมีค่าอยู่ในระดับที่รับรู้ได้ จนก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้อากาศในบริเวณนั้นมีคุณภาพที่ลดต่ำลง (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551) นอกจากนี้มลพิษในอากาศยังเป็นปัจจัยเสี่ยงอย่างหนึ่งที่ทำให้มีโอกาสติดเชื้อในระบบหายใจ ซึ่งสารมลพิษไม่ใช่พาหะของการติดเชื้อโดยตรง แต่เป็นการทำลายระบบหายใจ ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงที่จะติดเชื้อในระดับที่รุนแรง และอัตราการเสียชีวิตสูงมากขึ้น (Chakrabarty et al., 2021)

การจัดการกับปัญหามลพิษในอาคาร สามารถแก้ปัญหาเบื้องต้นได้ด้วย การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เนื่องจากมลพิษที่สะสมอยู่ในอาคารนั้น เกิดจากการที่อากาศไม่สามารถถ่ายเทได้หรือไม่ถึงในระดับที่เหมาะสม โดยการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาตินั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นทิศทางการวางอาคาร ทิศทางและตำแหน่งของช่องเปิดที่ลมสามารถไหลผ่านได้ และตำแหน่งของส่วนทึบในอาคารที่ทำให้เกิดการสะสมของมลพิษน้อยที่สุด โดยมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล เป็นการจำลองอาคารกรณีศึกษาและสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อทราบถึงทิศทางและพฤติกรรมการไหลของลม รวมถึงเก็บข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษที่สะสมภายในอาคารจอตลอดชั้นใต้ดิน แล้วนำผลเหล่านี้มาประเมินคุณภาพอากาศ (ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข, 2548) แต่ในขณะเดียวกัน อาคารศูนย์การค้าชุมชนในประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับมลพิษในอาคาร

จะเห็นได้ว่ายังไม่มีการศึกษามลพิษในอากาศกับศูนย์การค้าชุมชนในประเทศไทย และการออกแบบอาคารประเภทนี้ยังขาดแนวทางการออกแบบให้เกิดการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการสะสมของมลพิษ นำมาสู่การตั้งประเด็นในงานวิจัยว่า “ศูนย์การค้าชุมชน ที่มีลักษณะทางสถาปัตยกรรมแบบกึ่งเปิดโล่ง เอื้อให้เกิดการไหลผ่านของอากาศผ่านตัวอาคาร สามารถลดปัญหามลพิษที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน” โดยจะใช้การจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล เพื่อจำลองอาคารกรณีศึกษาจริง เป็นศูนย์การค้าชุมชนที่มีลักษณะกึ่งเปิดโล่ง และใช้ความเข้มข้นของมลพิษอย่างฝุ่นละออง PM2.5 ในการประเมินคุณภาพอากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสถาปัตยกรรมกับระดับของคุณภาพอากาศ ในลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยความพรุนหรือช่องโล่ง และลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน
- 1.2.2 เพื่อศึกษามลพิษในอากาศ และการประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง
- 1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางออกแบบอาคารให้มีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตในการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาศูนย์การค้าชุมชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่มีบริบทใกล้เคียงกัน
- 1.3.2 ศึกษาที่ผังอาคาร และระดับของมลพิษในอากาศเพื่อประเมินคุณภาพอากาศเท่านั้น
- 1.3.3 ศึกษาโดยจำลองสภาพแวดล้อมด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเป็นหลัก

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยในเชิงการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการศึกษาสภาพของศูนย์การค้าชุมชน ที่สัมพันธ์กับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อลดมลพิษในอากาศภายในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง โดยผลการศึกษานำไปสู่แนวทางการออกแบบหรือปรับปรุงอาคารให้มีคุณภาพอากาศที่ดี และลดปัญหาการสะสมของมลพิษในอากาศ

1.4.1 การศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การศึกษาเบื้องต้นกับสภาพของศูนย์การค้าชุมชนถึงความเกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ รวมไปถึงการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศเพื่อประเมินและศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอาคารและตัวแปรในการชี้วัดคุณภาพอากาศ

ส่วนที่ 1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพของศูนย์การค้าชุมชน

ส่วนที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

ส่วนที่ 3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ

ส่วนที่ 4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชี้วัดคุณภาพอากาศ

1.4.2 การจำลองรูปแบบการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

การกำหนดและจำลองอาคารกรณีศึกษาศูนย์การค้าชุมชนและสภาพแวดล้อมโดยรอบ เพื่อศึกษาผลที่เกิดจากการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) แสดงผลเป็นรูปแบบการไหลของอากาศ และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับมลพิษในอากาศเพื่อประเมินคุณภาพอากาศ

1.4.3 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล มาวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละอาคารกรณีศึกษา รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายอากาศเพื่อลดการสะสมของมลพิษ เพื่อพัฒนาเป็นแนวทางการออกแบบศูนย์การค้าชุมชน ที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยด้านความพรุน และขนาดของลานที่เหมาะสมของศูนย์การค้าชุมชน

1.5.2 ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ และระดับของคุณภาพอากาศที่เหมาะสมกับผู้ใช้อาคาร รวมถึงแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพอากาศ

1.5.3 เสนอแนวทางการออกแบบศูนย์การค้าชุมชน และพื้นที่ที่ลักษณะคล้ายคลึงกัน

1.6 สมมติฐานการวิจัย

ศูนย์การค้าชุมชน ที่มีลานในลักษณะกึ่งเปิดโล่ง สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้ ส่งผลให้บริเวณลานกึ่งเปิดโล่งที่ศึกษามีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น ผ่านการชี้วัดด้วยระดับความเข้มข้นของมลพิษที่ลดลงในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นของมลพิษของสภาพแวดล้อมโดยรอบ

1.7 ข้อจำกัดในการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติของศูนย์การค้าชุมชน โดยมีเงื่อนไขเป็นอาคารกรณีศึกษาที่สร้างจริงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และอ้างอิงอาคารโดยรอบจากสถานที่จริง แล้วทำการจำลองโดยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล ที่มีการกำหนดค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกายภาพอาคารและคุณภาพอากาศเท่านั้น การศึกษาไม่ได้คำนึงถึงตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ อย่างเช่น ยานพาหนะและความหนาแน่นของผู้ใช้งาน ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่ที่ศึกษาเช่นเดียวกัน

1.8 คำจำกัดความในการวิจัย

1.8.1 ศูนย์การค้าชุมชน หมายถึง อาคารศูนย์การค้ารูปแบบหนึ่ง ที่มีลักษณะทางสถาปัตยกรรมแบบกึ่งเปิดโล่ง ส่งผลให้อากาศสามารถถ่ายเทได้ดีภายในลานสาธารณะของโครงการ

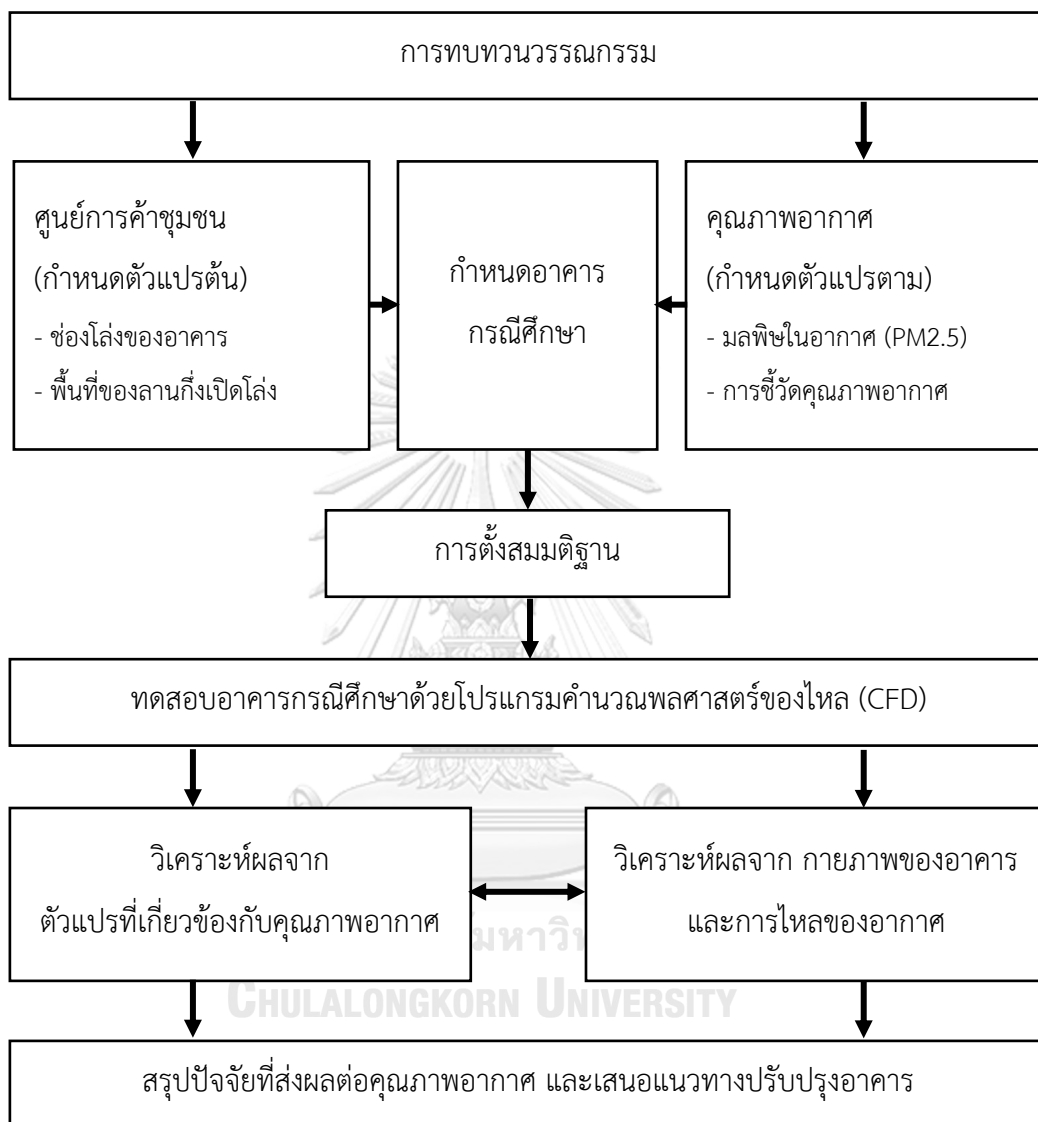
1.8.2 มลพิษในอากาศ หมายถึง อากาศที่ถูกเจือปนด้วยสารมลพิษในระดับที่สูงกว่ามาตรฐาน ("ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ," 2553, 24 มีนาคม) จนก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานอาคาร

1.8.3 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ หมายถึง สภาวะการเคลื่อนที่ของอากาศออกจากพื้นที่หนึ่ง แล้วมีมวลอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ โดยพิจารณาเฉพาะส่วนที่เกิดจากอิทธิพลของความกดอากาศเท่านั้น

1.8.4 โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อม และจำลองการเคลื่อนตัวของของไหล ในรูปแบบ 3 มิติ เช่น น้ำ หรืออากาศ เป็นต้น

1.9 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการวิจัยนี้ สามารถสรุปขั้นตอนการวิจัย ได้ดังที่แสดงในภาพ 1.1



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกายภาพของอาคารศูนย์การค้าชุมชนและคุณภาพอากาศ จะเน้นไปที่การศึกษาองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ภายในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร ส่งผลต่อระดับของมลพิษในอากาศ และทำให้คุณภาพอากาศเปลี่ยนแปลงไป โดยแบ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกายภาพของศูนย์การค้าชุมชน
 - 2.1.1 ศูนย์การค้าชุมชน
 - 2.1.2 กายภาพของศูนย์การค้าชุมชน
- 2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
 - 2.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
 - 2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของรูปแบบการไหลของอากาศ
 - 2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอากาศผ่านอาคาร
 - 2.2.4 การประเมินอัตราการเปลี่ยนอากาศ
- 2.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ
 - 2.3.1 การตรวจวัดคุณภาพอากาศ
 - 2.3.2 มลพิษในอากาศ
 - 2.3.3 ความสัมพันธ์ของมลพิษในอากาศและการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
- 2.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชี้วัดคุณภาพอากาศ
 - 2.4.1 อัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก
 - 2.4.2 อายุของอากาศ

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกายภาพของศูนย์การค้าชุมชน

2.1.1 ศูนย์การค้าชุมชน

ศูนย์การค้าชุมชน หรือคอมมูนิตีมอลล์ เป็นศูนย์การค้ารูปแบบหนึ่งที่เน้นการเข้าถึงที่ง่ายและรวดเร็วสำหรับผู้บริโภค ทั้งบริเวณใจกลางเมืองและชานเมือง โดยเฉพาะบริเวณชานเมืองที่เป็นพื้นที่การขยายตัวของเมืองอย่างกรุงเทพมหานคร ที่นักลงทุนมักจะเลือกนำที่ดินเหล่านี้มาพัฒนาเป็นศูนย์การค้าชุมชน ด้วยรูปแบบของพื้นที่การค้าที่เป็นแนวราบ เน้นพื้นที่ค้าปลีก เป็นศูนย์การค้าขนาดย่อมและขนาดกลาง รวมถึงต้นทุนต่ำกว่าศูนย์การค้าแบบปิดขนาดใหญ่ในกลางเมือง จึงเป็นเหตุให้เกิดศูนย์การค้าชุมชนมากขึ้น

นอกจากนี้ ด้วยผลกระทบจากปัญหาสภาพแวดล้อมในเรื่องฝุ่นละออง และการแพร่ระบาดของของโควิด-19 ส่งผลให้วิถีชีวิตของผู้คนในการบริโภคเปลี่ยนไป โดยผู้บริโภคจะเริ่มหลีกเลี่ยงสถานที่ที่มีความแออัดและอากาศถ่ายเทไม่สะดวก เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงในการติดเชื้อ ดังเช่นในอาคารศูนย์การค้าแบบปิดขนาดใหญ่ แล้วหันมาใช้บริการศูนย์การค้าชุมชนมากขึ้น (บุษกร ภูแส, 2564) เนื่องจากมีลักษณะกึ่งเปิดโล่ง และมีความโปร่ง รวมถึงอากาศถ่ายเทได้สะดวกในพื้นที่ใช้งาน

2.1.2 กายภาพของศูนย์การค้าชุมชน

อาคารศูนย์การค้าชุมชน เป็นอาคารที่เน้นความคล่องตัวสำหรับผู้ใช้บริการ มากกว่าศูนย์การค้าแบบปิดขนาดใหญ่ (กำพล อนันตพรพาณิชย์, 2553) ด้วยอาคารที่เป็นแนวราบและมักกระจายตัวตามพื้นที่ชุมชน สามารถเข้าถึงได้ง่าย อีกทั้งมีลักษณะอาคารแบบกึ่งทึบกึ่งโปร่ง ซึ่งเกิดจากการออกแบบที่ให้ความสำคัญกับลานกิจกรรมซึ่งเป็นโถงกลาง และเป็นการสร้างจุดเด่นของอาคารศูนย์การค้าชุมชน ทั้งหมดนี้นำมาซึ่งกายภาพของอาคารแบบกึ่งเปิดโล่ง ที่ช่วยสร้างบรรยากาศให้กับโครงการ ด้วยการมีสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติที่แทรกซึมไปกับพื้นที่ใช้งานของโถงกึ่งเปิดโล่ง ทำให้อาคารมีการระบายอากาศที่ดี ลมธรรมชาติสามารถไหลผ่านอาคารได้

การวางผังของศูนย์การค้าชุมชน เป็นปัจจัยสำคัญที่สร้างจุดเด่นให้เกิดขึ้นกับโครงการ เนื่องด้วยลานกิจกรรมกึ่งเปิดโล่งเป็นจุดที่ทำให้ผู้คนสนใจและดึงดูดผู้คนเข้ามาใช้บริการ (ณัฐพร สีวา เกียรติยั้งยง, 2557) ดังนั้นการวางผังร้านค้าขนาดเล็กที่เรียงต่อกันโดยรอบ เพื่อการล้อมกรอบพื้นที่ลาน จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยกำหนดลักษณะเด่น หรือเอกลักษณ์ที่น่าสนใจให้กับศูนย์การค้าชุมชน (ณัฐชานันท์ ศิริประเสริฐ, 2558) ซึ่งลักษณะการวางผังของ The Urban Land Institute (ULI) ในปี ค.ศ. 2006 (วิทวัส รุ่งเรืองผล, 2559) ได้แบ่งรูปแบบการวางผังศูนย์การค้าไว้ 5 รูปแบบ แสดงในภาพที่ 2.1 โดยจะประกอบด้วย

- รูปแบบตัวไอ (I-Shape) เป็นรูปแบบการวางอาคารให้การเดินของผู้ใช้งานหมุนเวียนรอบตัวอาคาร เหมาะกับศูนย์การค้าชุมชนขนาดเล็ก และวางบนที่ดินทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แคบแต่ยาว
 - รูปแบบตัวแอล (L-Shape) เป็นการแก้ปัญหาของอาคารรูปแบบตัวไอ ด้วยการต่อส่วนปลายของอาคารออกมา ลักษณะคล้ายตัวแอล ทำให้หน้าโครงการเปิดกว้างขึ้น
 - รูปแบบตัวยู (U-Shape) มีลักษณะเด่นคล้ายกับการวางอาคารรูปแบบตัวแอล แต่จะมีพื้นที่อาคารเพิ่มขึ้น โดยผู้เช่าหลักอยู่ที่ปลายตัวยูแต่ละด้าน ให้เป็นจุดสนใจกับตัวอาคาร และเกิดการไหลเวียนของผู้ใช้งานจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เป็นประโยชน์กับร้านค้าระดับรองที่อยู่บริเวณกลางอาคารเพิ่มมากขึ้น
 - รูปแบบตัวโอ (O-Shape) มีลักษณะคล้ายการวางอาคารแบบตัวไอ 2 อาคารคู่ขนานกัน แล้วเชื่อมต่อปลายอาคารทั้ง 2 ด้านเข้าด้วยกันจึงเป็นที่มาของลักษณะคล้ายตัวโอ เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของผู้ใช้งานในศูนย์การค้าชุมชนอย่างทั่วถึง สามารถสัญจรทั่วอาคารเป็นวงโดยรอบได้
 - รูปแบบกลุ่มอาคาร (Cluster) เป็นลักษณะการวางกลุ่มอาคารแบบเล็ก และใหญ่ สลับกันเป็นกลุ่มอาคาร การจัดวางกลุ่มอาคารนี้อาจเกิดจากการสร้างแบบทยอยพัฒนาเป็นระยะ ไม่ได้เป็นการสร้างอาคารพร้อมกันทั้งหมด หรืออาจเป็นข้อจำกัดทางกฎหมายที่ไม่สามารถสร้างอาคารขนาดใหญ่ได้ จึงใช้การสร้างอาคารขนาดเล็กหลายอาคารในโครงการเดียวกันเป็นกลุ่มแทน เพื่อให้ยังคงได้พื้นที่ขายตามที่ต้องการ
- จะสังเกตได้ว่าศูนย์การค้าชุมชน เป็นอาคารที่ให้ความสำคัญกับลานกึ่งเปิดโล่ง ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนกลางที่สร้างเอกลักษณ์และความน่าสนใจให้กับพื้นที่ใช้งานของอาคาร ซึ่งจะมีเอกลักษณ์แตกต่างกันออกไปตามที่ตั้งของอาคาร รวมถึงขนาดของลานเอง ก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ผู้คนสัญจรไปมาจำนวนมาก เป็นจุดนัดพบสำหรับผู้มาใช้บริการ การออกแบบอาคารประเภทนี้จึงต้องมีการคำนึงถึงรูปร่างและขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งให้สอดคล้องกับความต้องการ และปริมาณผู้ใช้งานที่เป็นกลุ่มเป้าหมายของแต่ละโครงการ



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการวางผังศูนย์การค้า 5 รูปแบบ

ที่มา: The Urban Land Institute, 2006

จากรูปแบบการวางผังที่มีลานกึ่งเปิดโล่งเป็นจุดเด่นในพื้นที่ของอาคาร นำมาซึ่งการเกิดสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติภายในลานกึ่งเปิดโล่ง เนื่องจากลมธรรมชาติสามารถไหลผ่านเข้ามายังพื้นที่ลานของอาคารได้ ทำให้อาคารไม่เกิดความแออัด สามารถระบายอากาศได้ดี เป็นผลให้เกิดสภาวะน่าสบายที่เหมาะสมกับมนุษย์ โดยจากงานวิจัยของ Atthakorn, S. ในปี ค.ศ. 2019 และงานวิจัยของ Tantasavasdi, C. & Inprom, N. ในปี ค.ศ. 2020 เป็นการศึกษาภาพถ่ายของศูนย์การค้าชุมชนที่เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) ผ่านลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร ส่งผลให้เกิดสภาวะน่าสบายสำหรับผู้ใช้งาน ทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) ในการจำลองสภาพแวดล้อมและภาพถ่ายของศูนย์การค้าชุมชน แล้วทำการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ (Airflow Pattern) ร่วมกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย ทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนตัวของลม และความเร็วลม เมื่อพิจารณาความสอดคล้องกันของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศและภาพถ่ายของศูนย์การค้าชุมชน จะพบเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบศูนย์การค้าชุมชนเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายดังนี้ (Tantasavasdi & Inprom, 2020)

- ตำแหน่งของช่องเปิดหรือช่องโล่งที่สอดคล้องกับกระแสลม

อาคารควรมีการวางตำแหน่งของช่องเปิดที่ให้อากาศไหลผ่านได้ โดยควรพิจารณาทิศทางของลมประจำในแต่ละฤดูกาล เพื่อจะกำหนดตำแหน่งของช่องเปิดให้สัมพันธ์กับทิศทางลมมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร

- การกระจายของช่องเปิด

อาคารควรมีช่องเปิดหลายตำแหน่งและกระจายไปโดยรอบอาคาร เพื่อให้มีช่องลมเข้า (Inlet) และช่องลมออก (Outlet) หลายทางให้อากาศสามารถไหลผ่านอาคารได้สะดวก และเพื่อให้รองรับกับทิศทางของลมที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาลตามปัจจัยก่อนหน้า ที่ควรมีช่องเปิดในตำแหน่งที่สอดคล้องกับกระแสลม

- อัตราส่วนพื้นที่ช่องโล่งต่อผนังทึบ

ขนาดของช่องโล่งหรือช่องเปิดส่งผลโดยตรงต่ออากาศที่ไหลเข้ามาในอาคาร ซึ่งจะสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ของผนังทึบ ซึ่งหากมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องโล่งต่อผนังทึบที่มาก (มากกว่าร้อยละ 20) จะช่วยให้อากาศไหลผ่านอาคารได้ดีและมีประสิทธิภาพกว่าอาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องโล่งต่อผนังทึบที่น้อย (น้อยกว่าร้อยละ 10) (Tantasavasdi & Inprom, 2020) ที่จะทำให้อาคารไม่สามารถระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้มากเท่าที่ควร

- รูปร่างของผิวอาคาร

อาคารที่มีรูปร่างโค้ง หรือมีผิวอาคารที่โค้ง จะส่งผลให้อากาศสามารถไหลผ่านพื้นผิวนั้นได้มากกว่า อาคารที่มีผิวอาคารรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม โดยเฉพาะอาคารที่มีลักษณะเป็นมุมฉาก

- ช่องเปิดที่ทำให้เกิด Cross Ventilation

Cross Ventilation เป็นวิธีการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเป็นการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยช่องเปิดที่ทำให้เกิด Cross Ventilation ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด คือการมีช่องเปิดในด้านที่ตรงข้ามอาคาร เพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านพื้นที่ลานได้อย่างทั่วถึง

ปัจจัยทั้งหมดที่สัมพันธ์กับการออกแบบ จะมีปัจจัยสำคัญคือช่องโถงระหว่างอาคาร และการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งเป็นการเคลื่อนตัวของอากาศผ่านอาคาร โดยอาศัยช่องโถงที่สอดคล้องกับทิศทางลม ให้อาคารมีการระบายอากาศที่ดี และสร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีกับผู้ใช้อาคาร

2.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

2.2.1 การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

การระบายอากาศ (Ventilation) เกิดจากการเคลื่อนตัวของอากาศเข้าและออกจากอาคาร โดยการระบายอากาศนั้นมีทั้งวิธีการ ที่เป็นการใช้อุปกรณ์เช่นพัดลมเป็นตัวช่วยในการระบายอากาศ เพื่อให้อากาศเคลื่อนตัวเข้าและออกจากพื้นที่ได้มากขึ้น และอีกวิธีคือการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ที่อาศัยปรากฏการณ์ในการเคลื่อนที่ของอากาศเอง

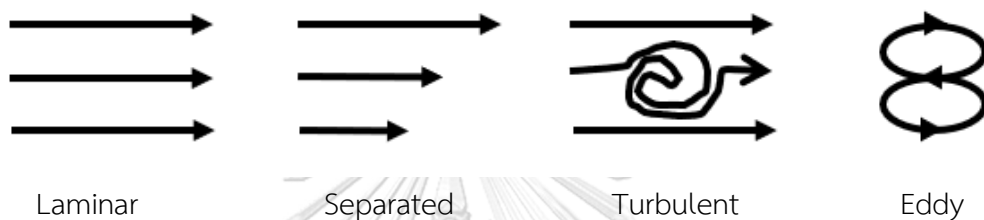
การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศโดยอาศัยช่องเปิดหรือช่องโถงของอาคารเพื่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศเดิมออกจากอาคาร และนำอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งการไหลของอากาศนี้เป็นกระบวนการที่ช่วยลดความร้อนในอาคาร ด้วยการพาความร้อนเดิมที่สะสมอยู่ภายใน ให้เคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ไปตามกระแสลม นอกจากนี้ยังช่วยในการลดมลพิษหรือลดอากาศเสียที่สะสมภายในพื้นที่อาคาร และเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปภายใน โดยไม่ต้องพึ่งเครื่องกลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า

2.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของรูปแบบการไหลของอากาศ

สำหรับการออกแบบการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติให้เกิดขึ้นกับอาคารนั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการที่จะทำให้อากาศเคลื่อนตัวได้ ซึ่งการเคลื่อนไหวของลมหรืออากาศเกิดขึ้นจากปัจจัยเบื้องต้น 2 ปัจจัย คือความแตกต่างของความกดอากาศ (Pressure Differential) ที่เป็นการกระจายตัวของระดับความกดอากาศที่แตกต่างกัน ทำให้อากาศเคลื่อนตัวไปได้ และอีกปัจจัยคือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Differential) ที่พิจารณาระหว่างพื้นที่ภายนอกเทียบกับพื้นที่ภายในที่ทำการศึกษา ซึ่งรูปแบบการไหลของอากาศ จัดแบ่งเป็นรูปแบบได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

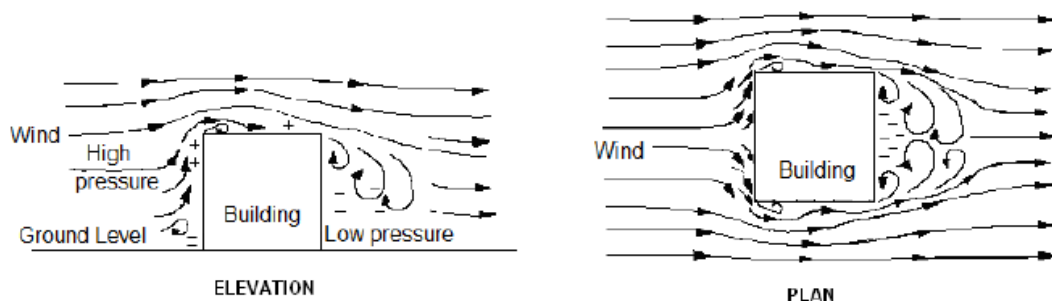
- การไหลแบบสม่ำเสมอ (Laminar) หมายถึง กระแสลมที่ไหลอย่างอิสระ มีความเร็วลมที่สม่ำเสมอ และไม่มีสิ่งกีดขวางการไหลของลม

- การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Separated) หมายถึง กระแสลมที่ไหลผ่านพื้นผิว ต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง เป็นต้น ทำให้เกิดแรงเสียดทาน (Friction) จะทำให้ความเร็วลมในแต่ละระดับความสูงไม่สม่ำเสมอ
- การไหลแบบแปรปรวน (Turbulent) หมายถึง กระแสลมที่มีความแปรปรวน จากการพัดผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง โดยลมในสภาพแวดล้อมทั่วไป มักจะเป็นรูปแบบ Turbulent
- ลมหมุน (Eddy) หมายถึง กระแสลมแบบ Turbulent ที่มาก ก่อให้เกิดลมหมุนขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นหรือลมในพื้นผิว รวมถึงมลพิษในอากาศ



ภาพที่ 2.2 รูปแบบการไหลของอากาศ

การเคลื่อนที่ของกระแสลม ในภาพที่ 2.3 เป็นกระแสลมที่พัดมาปะทะกับส่วนทึบของอาคาร จะทำให้เกิดความกดอากาศในบริเวณที่ปะทะนั้นมากกว่าปกติ (Positive Pressure) ในขณะเดียวกัน ในด้านตรงกันข้าม หรือด้านหลังของอาคารที่ลมไหลผ่านไป อากาศในบริเวณนั้นจะถูกดูดออกทำให้มีความกดอากาศที่ลดต่ำลง (Negative Pressure) ซึ่งในบริเวณที่ความกดอากาศลดต่ำลงนี้เอง จะทำให้เกิดการไหลแบบแปรปรวนและลมหมุน ส่งผลให้เกิดผลเสียขึ้นกับพื้นที่หรือตัวอาคาร คือเกิดการสะสมของฝุ่นละอองหรือมลพิษที่ไหลมาพร้อมกับลม ก่อให้เกิดอากาศที่เป็นพิษในบริเวณนั้น



ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของกระแสลมผ่านตัวอาคาร

ที่มา: Bhatia, 2014

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอากาศผ่านอาคาร

- ที่ตั้งของอาคาร

ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารจะมีผลกับการไหลของลมธรรมชาติโดยตรง เนื่องจากสภาพภูมิประเทศทั้งราบเรียบ ลาดเอียง หรือเป็นเนิน จะส่งผลต่อความกดอากาศและทำให้กระแสลมที่พัดมา มีพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ หรือแม้กระทั่งความหนาแน่นของสภาพแวดล้อมโดยรอบที่ตั้งเอง ก็ส่งผลกระทบด้วยเช่นกัน ที่ตั้งของอาคารเป็นปัจจัยที่จะกำหนดว่าลมประจำของที่ตั้งนั้น จะมีทิศทางเปลี่ยนไปตามแต่ละสถานที่ รวมถึงเปลี่ยนไปในแต่ละฤดูกาลเช่นกัน ดังนั้นการออกแบบอาคารที่มีการระบายอากาศที่ดี จึงควรออกแบบให้สามารถรับลมได้จากทุกทิศทางนั่นเอง

- รูปทรงของอาคาร

รูปทรงของอาคารมีอิทธิพลอย่างมากต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งจะมีปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องในหลากหลายด้าน โดยสามารถแบ่งได้เป็นหมวดหมู่ดังนี้

- อาคารที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติควรที่จะมีลักษณะแคบยาว เพื่อให้ให้อากาศสามารถไหลผ่านทั่วพื้นที่ของอาคารได้ ไม่เกิดจุดที่เป็นมุมอับมากเท่าอาคารที่มีความกว้าง

- ความสูง รูปทรงอาคาร รวมถึงมุมมองศอกของหลังคาล้วนเป็นปัจจัยสำคัญ เพื่อนำไปสู่การระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ โดยสัดส่วนระหว่างความยาวและความกว้างของอาคาร ควรอยู่ในระดับที่ต่ำ

- สำหรับอาคารที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ด้านยาวของอาคารควรที่จะหันเข้าหาลมประจำในฤดูร้อน เพื่อให้สามารถรับลมได้เต็มที่ นำมาซึ่งการระบายอากาศที่ดี

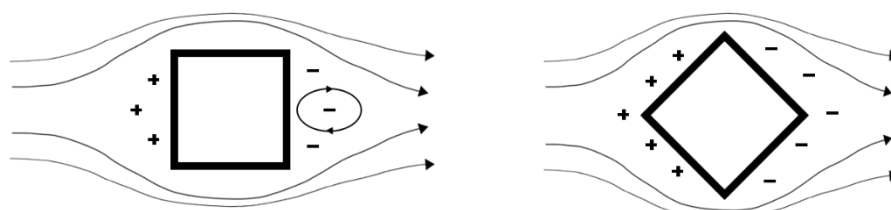
- สำหรับอาคารที่รูปทรงไม่สม่ำเสมอ อาจเกิดความกดอากาศในระดับที่หลากหลายบนผิวอาคาร และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้

- อาคารที่มีชั้นเดียวและมีความลึกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยช่องระหว่างตัวอาคารและหลังคา เพื่อเป็นช่องลมออกให้เกิดการระบายอากาศได้ และสำหรับอาคารที่มีหลายชั้นควรมีการพิจารณาให้มีโถงกลาง (Atrium) เพื่อให้เกิดการระบายอากาศจากส่วนที่เป็นจุดอับในแต่ละชั้น และระบายออกทางด้านบนของโถงกลางได้

- การวางแนวของอาคาร

การจัดวางอาคารแนวของอาคารเพื่อให้กระแสลมพัดผ่านอาคารได้ดีที่สุด ควรเป็นการจัดวางอาคารที่มีส่วนทึบของอาคารทำมุมองศากับทิศทางลม เนื่องจากลมที่พัดเข้าสู่ผนังของอาคารจะเกิดความกดอากาศที่สูง (Positive Pressure) ส่วนด้านตรงข้ามของอาคารที่ลมธรรมชาติพัดผ่าน จะเป็นส่วนที่อากาศถูกดูดออก ทำให้เกิดความกดอากาศที่ลดต่ำลง (Negative Pressure) ซึ่งหากส่วนที่เกิดความแตกต่างของความกดอากาศมากจะส่งผลให้เกิดลมหมุนวนขึ้นมากขึ้น ส่งผลเสียกับอากาศในบริเวณนั้น คือการสะสมของมลพิษที่พัดผ่านมาพร้อมกับลม และทำให้เกิดการระบายอากาศที่ต่ำลง

ในบริเวณนั้น ดังนั้นการวางอาคารทำมุมองศากับทิศทางของลมจึงจะทำให้ความแตกต่างของความกดอากาศน้อยกว่าการวางส่วนทึบของอาคารตั้งฉากกับทิศทางลม เนื่องจากกระแสลมจะไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่องมากกว่า แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนตัวของลมผ่านอาคาร และการเกิดความแตกต่างของความกดอากาศ

อาคารมีทิศทางของช่องโหว่สัมพันธ์กับทิศทางลม อาคารสามารถไหลผ่านอาคารได้ง่ายและทั่วถึง การวางอาคารให้ด้านที่มีช่องเปิดโหว่ตั้งฉากกับทิศทางลม จะเกิดความเร็วลมสูงสุด หากช่องโหว่ทำมุมกับทิศทางลม ส่งผลให้ความเร็วลมลดลง ประสิทธิภาพการระบายอากาศก็ลดลงเช่นกัน

- องค์ประกอบภายนอก

อาคารโดยรอบที่ตั้ง ต้นไม้ หรือองค์ประกอบที่มีส่วนทึบจะมีผลกับการไหลของลมทั้งสิ้น ซึ่งจะเป็นได้ทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

- ข้อดี คือ กรณีที่องค์ประกอบโดยรอบหรือองค์ประกอบภายนอก ทำให้ลมธรรมชาติเปลี่ยนทิศทางมาสัมพันธ์กับพื้นที่หรือทิศทางการวางอาคารที่พิจารณาอยู่ จะทำให้ลมสามารถพัดผ่านอาคารที่ต้องการได้มากขึ้น นำมาซึ่งการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

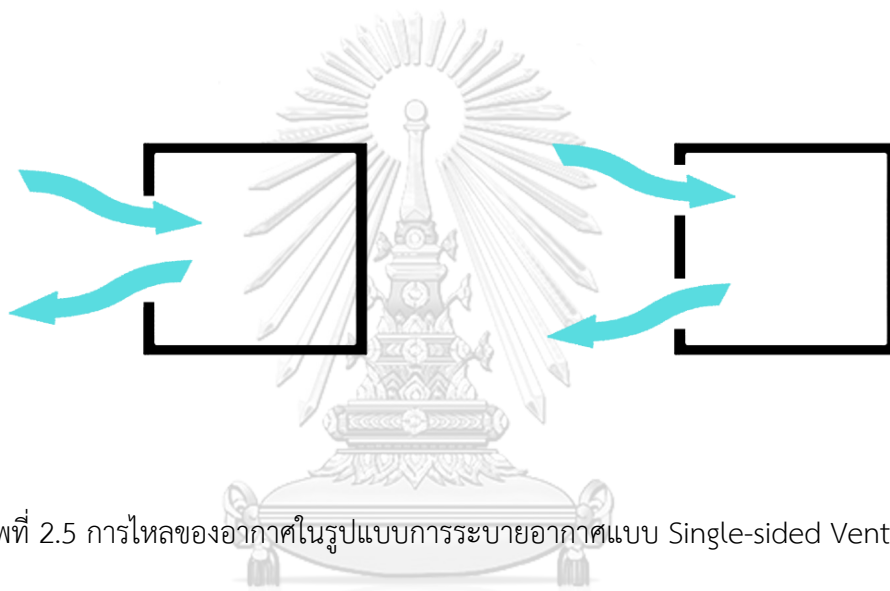
- ข้อเสีย คือ การมีองค์ประกอบภายนอกที่เป็นส่วนทึบ โดยอาจเป็นได้ทั้งอาคารข้างเคียง ต้นไม้ หรือองค์ประกอบอื่น ๆ มาขวางทิศทางลมที่พัดมายังอาคาร จะทำให้ลมที่พัดมายังอาคาร และมีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาตินั้นในอาคารนั้นมีประสิทธิภาพลดลง

- ทางเข้าและทางออกของอากาศ

การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เป็นการอาศัยแรงลมตามธรรมชาติที่พัดผ่านตัวอาคารในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมีความสอดคล้องกับสถาปัตยกรรมในเรื่องของช่องเปิดรูปแบบต่าง ๆ โดยสามารถจัดแบ่งรูปแบบได้ดังนี้ (Bhatia, 2014)

- การระบายอากาศแบบ Single-sided Ventilation

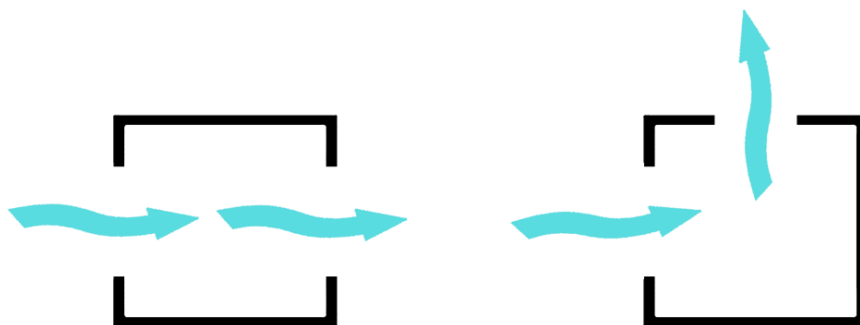
เป็นการระบายอากาศรูปแบบหนึ่ง ที่มีการเปิดช่องเปิดของตัวอาคารเพียงด้านเดียว โดยอากาศสามารถเคลื่อนตัวเข้าและออกจากช่องเปิดเดียวกันของห้องหรืออาคาร หรือหลายช่องเปิด บนผนังด้านเดียวกันเท่านั้น โดยจะมีทิศทางของอากาศเป็นไปตามภาพที่ 2.5 จะเกิดการระบายอากาศได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการระบายอากาศรูปแบบอื่น เนื่องจากความกดอากาศที่ระดับใกล้เคียงกันทั้งภายนอกและภายในอาคาร ส่งผลให้การไหลของอากาศน้อย และไม่เกิดการไหลเวียนอากาศภายในพื้นที่ จนเป็นผลให้เกิดการสะสมของอากาศเดิมที่วนอยู่ในพื้นที่เป็นเวลานานนั่นเอง



ภาพที่ 2.5 การไหลของอากาศในรูปแบบการระบายอากาศแบบ Single-sided Ventilation

- การระบายอากาศแบบ Cross Ventilation

เป็นการระบายอากาศที่มีช่องลมเข้า (Inlet) และช่องลมออก (Outlet) อยู่ตรงกันข้ามกัน หรืออยู่คนละด้านของพื้นที่อาคาร ตามภาพที่ 2.6 จะทำให้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศจะขึ้นกับขนาดของช่องลมเข้า และช่องลมออก แต่อย่างไรก็ตามการระบายอากาศแบบ Cross Ventilation ยังคงเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการระบายอากาศแบบ Single-sided Ventilation เนื่องจากความกดอากาศที่แตกต่างกันทำให้เกิดแรงที่ส่งให้อากาศไหลผ่านช่องเปิดของอาคารได้มากกว่า อีกทั้งยังทำให้อากาศสามารถไหลผ่านพื้นที่ของห้องหรืออาคารได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น มีการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างพื้นที่ใช้งานภายในกับบรรยากาศภายนอก สามารถนำอากาศบริสุทธิ์ (Fresh Air) จากบรรยากาศภายนอกเข้ามาหมุนเวียนภายในพื้นที่ใช้งานได้มากขึ้น



ภาพที่ 2.6 การไหลของอากาศในรูปแบบการระบายอากาศแบบ Cross Ventilation

นอกจากนี้ขนาดของช่องโถงหรือช่องเปิดเองก็เป็นปัจจัยที่ควบคุมทั้งอัตราการเปลี่ยนอากาศและความเร็วลมสำหรับภายในพื้นที่ที่พิจารณา โดยเกณฑ์เบื้องต้นในการเกิดการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือการมีช่องลมเข้า และช่องลมออกที่มีขนาดใหญ่เท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งจะมีปัจจัยที่ควรคำนึงถึงดังนี้

- หากช่องลมออกมีพื้นที่มากกว่าช่องลมเข้า จะเกิด Venturi Effect ทำให้ภายในพื้นที่ที่ศึกษานั้นมีความเร็วของลมในพื้นที่นั้นสูงขึ้น
- หากช่องลมออกมีพื้นที่น้อยกว่าช่องลมเข้า จะทำให้ความเร็วลมในห้องลดต่ำลง ซึ่งอาจนำมาซึ่งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศได้

โดยสรุปแล้ว การระบายอากาศแบบ Cross Ventilation เป็นรูปแบบการระบายอากาศที่สามารถระบายอากาศได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับ Single-sided Ventilation โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของการระบายอากาศคือ ตำแหน่งของช่องเปิด ซึ่งส่งผลกับทิศทางการไหลของลมธรรมชาติ รวมไปถึงขนาดของช่องเปิดที่มีผลกับปริมาณของลมหรืออากาศที่ไหลเข้ามาในพื้นที่ที่ศึกษาและทำให้มีอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกันออกไปตามปัจจัยต่าง ๆ นี้ และลักษณะทางกายภาพเหล่านี้มีผลต่อความทั่วถึงของการระบายอากาศ รวมถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ และการสะสมของมลพิษในพื้นที่

เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอากาศในปัจจัยต่าง ๆ กับงานวิจัยของ Tantasavasdi, C. & Inprom, N. ในปี ค.ศ. 2020 ที่ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกายภาพของอาคารศูนย์การค้าชุมชน แสดงในตารางที่ 2.1 จะพบว่ามีผลสอดคล้องกันในหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น ตำแหน่งของช่องเปิดหรือช่องโถงที่สอดคล้องกับกระแสลม การกระจายของช่องเปิด อัตราส่วนพื้นที่ช่องโถงต่อผนังที่ทับ ช่องเปิดที่ทำให้เกิด Cross Ventilation ที่จะสัมพันธ์กับปัจจัยเรื่อง ทางเข้า

และทางออกของอากาศ และอีกส่วนหนึ่งคือเรื่องรูปร่างของอาคารที่จะทำให้เกิดความกดอากาศที่ หลากหลายบนผิวของอาคาร จะเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติได้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบงานหลักการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติกับประเด็นจากงานวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อการ ระบายอากาศด้วยวิธี ธรรมชาติ	Impact of design features on natural ventilation of open-air malls in Thailand (Tantasavasdi & Inprom, 2020)	ประเด็นที่เกี่ยวข้อง
ที่ตั้งของอาคาร	ตำแหน่งช่องโถงสอดคล้องกับกระแสลม	ลมประจำฤดู
รูปทรงของอาคาร	รูปร่างของผิวอาคาร	การกระจายตัวของลม
การวางแนวของอาคาร	การกระจายของช่องเปิด	ช่องเปิดสอดคล้องกับ แนวการวางอาคาร
องค์ประกอบภายนอก	(ไม่พบปัจจัยที่สอดคล้องกัน)	-
ทางเข้าและทางออก ของอากาศ	ตำแหน่งช่องโถงสอดคล้องกับกระแสลม อัตราส่วนพื้นที่ช่องโถงต่อผนังที่บ ช่องเปิดที่ทำให้เกิด Cross Ventilation	การเกิด Cross Ventilation

2.2.4 การประเมินอัตราการเปลี่ยนอากาศ

การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ โดยคำนวณจากความเร็วมวลที่ผ่านช่องเปิดหรือระนาบ ช่องโถงของอาคาร สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$Q = v \times A \quad (1)$$

Q = อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

v = ความเร็วมวลเฉลี่ย (m/s)

A = พื้นที่ช่องลมเข้า (m^2)

อัตราการเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate) คือปริมาตรอากาศที่ไหลเข้า หรือไหลออกจาก บริเวณใดบริเวณหนึ่ง เทียบกับปริมาตรของอากาศเดิมในบริเวณนั้นในหนึ่งหน่วยเวลา (โดยปกติจะ พิจารณาเป็นช่วงเวลา 1 ชั่วโมง) โดยที่อัตราการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง สามารถคำนวณได้ตาม สมการ (2) (ASHRAE, 2010)

$$ACH = (3600 \times v \times A) / V \quad (2)$$

ACH	= อัตราการเปลี่ยนอากาศ (ACH)
v	= ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
A	= พื้นที่ช่องลมเข้า (m ²)
V	= ปริมาตรห้องหรือพื้นที่ที่ศึกษา (m ³)

2.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ

2.3.1 การตรวจวัดคุณภาพอากาศ

คุณภาพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผู้ใช้งานอาคารโดยตรง ทั้งในด้านการรับรู้และด้านสุขภาพของผู้ใช้งาน คุณภาพอากาศที่ดีย่อมส่งเสริมให้ผู้ใช้งานอาคารมีสุขภาพที่ดี ในทางกลับกัน หากคุณภาพอากาศอยู่ในระดับที่ต่ำอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้งานอาคารได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยมีหลักเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพอากาศขั้นต้นอยู่ 2 ประเด็นประกอบไปด้วย

- ความสบายและผลการทำงาน (สภาวะน่าสบาย) - ความสบาย ขึ้นกับความพึงพอใจของผู้ใช้อาคาร ซึ่งส่งผลต่อสมาธิและผลการทำงานโดยตัวแปรที่สามารถใช้วัดถึงความสบายได้หลากหลาย เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม การระบายอากาศ การสั่นสะเทือน และเสียง เป็นต้น การทำการวัดระดับของค่าต่าง ๆ ควรจะมีเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์วัดค่าสามารถอ่านค่าได้ และอยู่ในระดับคงที่ เพื่อให้สามารถตีความตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้

- สุขภาพและความปลอดภัย (มลพิษในอากาศ) - สิ่งปนเปื้อนหลายชนิดที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ คุณภาพของอากาศภายในอาคารที่ไม่ดีเกิดจากก๊าซ หรืออนุภาคฝุ่นที่มีความเข้มข้นในระดับหนึ่งจะส่งผลเสียต่อผู้ใช้อาคาร นอกจากนี้มลพิษยังเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อ ทำให้เกิดภูมิแพ้ ก่อความระคายเคืองต่อร่างกาย หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน แต่ทั้งนี้ผลกระทบต่อข้างต้นขึ้นกับระดับความเข้มข้นของมลพิษซึ่งผู้ใช้อาคารไม่สามารถรับรู้ได้ในบางกรณี จึงต้องมีการประเมินและตรวจวัดค่าสารมลพิษในอากาศ เพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับอาคารศูนย์การค้าชุมชน เคยมีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย (ความสบายและผลการทำงาน) อยู่ก่อนแล้ว แต่ในประเด็นด้านมลพิษในอากาศ (สุขภาพและความปลอดภัย) ยังไม่เคยถูกนำมาศึกษากับอาคารศูนย์การค้าชุมชน

2.3.2 มลพิษในอากาศ

มลพิษในอากาศ (Air Pollution) คือสารเจือปนที่อยู่ในบรรยากาศ ซึ่งสามารถเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้ง มนุษย์ สัตว์ พืช รวมถึงสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในธรรมชาติ โดยมลพิษในอากาศจะมีประเด็นในการพิจารณาเบื้องต้น ประกอบไปด้วย (ชลทิศ อุไรฤกษ์กุล, 2562)

- แหล่งกำเนิด (Source) ซึ่งจะทำให้การมุ่งเน้นไปที่แหล่งในการปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศ โดยรอบ (Emission) และจะมีปัจจัยในการพิจารณาประกอบกันคือ อัตราการปล่อยมลพิษ ประเภทของการปล่อยมลพิษ และลักษณะของแหล่งกำเนิด

- สภาวะของบรรยากาศ (State of Atmosphere) โดยจะประกอบไปด้วย

- การกระจายตัว (Dispersion) มีทั้งการกระจายตัวในทางตั้ง และทางนอน เมื่ออากาศเกิดการกระจายตัวและนั่น สารที่เจือปนในอากาศรวมถึงมลพิษจะกระจายตัวไปตามอากาศด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวในรูปแบบต่าง ๆ นั้น ประกอบไปด้วย ความเสถียรของบรรยากาศ กระแสลมหมุนวน และความเร็วลม ที่จะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษในอากาศแตกต่างกันออกไปตามปัจจัย และเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

- การเปลี่ยนรูป (Transformation) โดยอากาศที่มีสารเจือปน สามารถเกิดการเปลี่ยนรูปได้จากปฏิกิริยาทางเคมีของสารที่เจือปนอยู่ เช่น การเกิดหมอกควันพิษ (Chemical Smog) ที่เกิดจากสารไฮโดรคาร์บอนที่มาจากการเผาไหม้

- การเจือจางมลพิษ (Removal) เช่น การที่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ที่ลอยอยู่ในอากาศตกลงสู่พื้นตามแรงโน้มถ่วง แล้วถูกพื้นดินหรือพื้นน้ำดูดซับเข้าไป หรือการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมในการพามลพิษ จะทำให้สามารถเจือจางมลพิษในพื้นที่ที่พิจารณานั้น ๆ ได้

- บรรยากาศที่เจือปนด้วยมลพิษที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (Sink) โดยสิ่งที่รับมลพิษเข้าไป จะเกิดการตอบสนอง (Receptor Response) เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิต พืชที่เจริญเติบโตช้าลงหรือตายไป รวมไปถึงการปนเปื้อนมลพิษตามพื้นดิน หรือแหล่งน้ำ และสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ

สารมลพิษต่าง ๆ ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ มีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ในกรณีที่ปริมาณไม่มากนัก กระบวนการทางธรรมชาติจะสามารถเจือจางและกำจัดมลพิษนั้นไปได้ ซึ่งสารเจือปนในปริมาณที่ไม่มากนักจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และไม่จัดว่าเป็นสารมลพิษ แต่เนื่องจากลมธรรมชาติสามารถพาสารมลพิษจากสถานที่หนึ่ง ไปยังอีกสถานที่หนึ่งได้ ถ้าหากมีการสะสมของมลพิษในบรรยากาศมากขึ้น อาจทำให้เกิดผลกระทบที่กว้างออกไปได้ การป้องกันมลพิษจากแหล่งกำเนิด จึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้น จึงควรที่จะทราบถึงแหล่งกำเนิด หรือแหล่งผลิตมลพิษทั้งจากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งสามารถແจกແจงได้ดังนี้

- ฝุ่นละออง (Particular Matter: PM) สามารถเกิดได้จาก ภูเขาไฟ ลมพัด ละอองจากคลื่นทะเล ไฟป่า ฝนดาวตก และในส่วนของที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การเผาป่า และกระบวนการทางอุตสาหกรรม

- ส่วนประกอบของกำมะถัน (Sulphur Compound: SO_x) สามารถเกิดได้จาก แบคทีเรีย ภูเขาไฟ ละอองจากคลื่นทะเล และในส่วนของที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้ของฟอสซิล และกระบวนการทางอุตสาหกรรม

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สามารถเกิดได้จาก ภูเขาไฟ ไฟป่า และในส่วนของที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ หรือเชื้อเพลิงฟอสซิล

- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สามารถเกิดได้จาก ภูเขาไฟ การหายใจของสิ่งมีชีวิต และในส่วนของที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้ของฟอสซิล

- ไฮโดรคาร์บอน (HC) สามารถเกิดได้จาก แบคทีเรีย พืช และในส่วนของที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์

- สารประกอบไนโตรเจน (NO_x) สามารถเกิดได้จากแบคทีเรีย และการเผาไหม้ที่เป็นกิจกรรมของมนุษย์

สารมลพิษเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป อันเนื่องมาจากกระบวนการเกิดสารมลพิษชนิดต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติที่แตกต่างกันนี้ ทำให้การกระจายตัวหรือการเกิดปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศนั้นแตกต่างกันออกไป และผลกระทบที่เกิดกับทั้งสิ่งที่มีชีวิต และสิ่งที่ไม่มีชีวิตแตกต่างกันออกไปเช่นเดียวกัน โดยสารมลพิษแต่ละชนิด จะมีรายละเอียดดังนี้

- ฝุ่นละออง (PM) ในปัจจุบัน ฝุ่นละอองเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์มากกว่าเกิดโดยธรรมชาติ เช่น การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ฟอสซิล กระบวนการทางอุตสาหกรรมในหลายรูปแบบ กระบวนการก่อสร้าง รวมไปถึงการเผาป่าเพื่อเพาะปลูก ทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในปัจจุบัน ทำให้ฝุ่นละอองเป็นปัญหาใหญ่ในระดับประเทศ และมีขนาดที่หลากหลาย สามารถจัดแบ่งหมวดหมู่ของฝุ่นละอองได้ดังนี้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

- ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate: TSP) เป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา โดยฝุ่นรวมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดนี้ จะมีมาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมงอยู่ที่ 330 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใน 1 ปี อยู่ที่ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.5 – 10 ไมครอน (PM10) ตามคำจำกัดความของ US.EPA โดยส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น การบดย่อยหิน หรือการจราจรบนถนนที่ขรุขระ จนเกิดฝุ่นละอองขึ้น มีมาตรฐาน

ความเข้มข้นเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมงอยู่ที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใน 1 ปี อยู่ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ฝุ่นละอียด (Fine Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ตามคำจำกัดความของ US.EPA ฝุ่นละอองรูปแบบนี้เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และออกมาเป็นควันเสีย โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงควันที่เกิดจากการหุงต้มด้วยเช่นกัน โดยฝุ่นละอียดที่มีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับฝุ่นละอองก่อนหน้า จะมีมาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมงอยู่ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใน 1 ปี อยู่ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ฝุ่นละอองขนาดเล็กส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ง่าย เนื่องจากการหายใจของมนุษย์สามารถรับฝุ่นละอองเหล่านี้เข้าไปปะปนในทางเดินหายใจ การเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กจะสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของปอดลดลง นำไปสู่การติดเชื้อรุนแรงและเสียชีวิตได้

- สารประกอบซัลเฟอร์ (SO_x) สามารถอยู่ในอากาศได้หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เป็นต้น โดยส่วนมาก สารประกอบซัลเฟอร์จะมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ และแบคทีเรีย ยกเว้นแต่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ การเผาไหม้ถ่านหิน หรือน้ำมัน สารประกอบซัลเฟอร์สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นในบรรยากาศ จนเกิดเป็นฝุ่นละอียดได้

- ออกไซด์ของคาร์บอน (CO_x) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบที่เป็นข้อพิจารณา คือ

- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มักจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์รูปแบบอื่น ๆ ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เข้าไปในระบบทางเดินหายใจ จะไปจับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือด ขัดขวางการแลกเปลี่ยนอากาศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีทั้งรูปแบบที่เป็นมลพิษและไม่เป็นมลพิษ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของมนุษย์ หรือที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชนั้น อยู่ในปริมาณที่ต่ำ ไม่ถือว่าเป็นมลพิษ แต่สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และการเผาไหม้รูปแบบอื่น จะมีปริมาณที่มากกว่าการหายใจ ถือว่ามีความเป็นมลพิษ

- สารไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายของพืชในบางส่วน แต่โดยส่วนมากแล้ว เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เช่นการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดต่าง ๆ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และทำให้เกิดหมอกควันที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์ (Photochemical Smog)

- ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยส่วนมากจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือการเผาไหม้ในสถานะที่มีแรงดันอากาศที่สูง เกิดการรวมตัวของออกซิเจนกับไนโตรเจน เกิดเป็นไนตริกออกไซด์

(NO) และเมื่อลอยขึ้นสู่บรรยากาศ ไนตริกออกไซด์จะถูกออกซิไดซ์เป็น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ที่เป็นสารมลพิษที่ทำให้เกิดการระคายเคือง โดยเฉพาะดวงตา นอกจากนี้ ออกไซด์ของไนโตรเจนสามารถเกิดได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในธรรมชาติ แต่จะเกิดในปริมาณที่น้อย

- มลพิษทางอากาศที่พบน้อย เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ โทลูอิน สารกัมมันตรังสี โดยสารเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างรุนแรงทั้งการระคายเคือง และผลกระทบต่อระบบร่างกาย

- มลพิษทุติยภูมิ (Secondary Pollutant) ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของสาร 2 ชนิดขึ้นไป และมีสารในบรรยากาศเป็นส่วนในการเร่งปฏิกิริยา เช่น โอโซน (O₃) อัลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือหมอกควันที่เกิดจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอาทิตย์ (Photochemical Smog)

การปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดต่าง ๆ มีหลากหลายรูปแบบ สามารถแบ่งได้เป็น รูปแบบจุด (Point) เช่น การปล่อยมลพิษจากปล่องของโรงงาน ถัดมาคือรูปแบบแนว (Line) เช่น การปล่อยควันที่เป็นมลพิษจากท่อไอเสียของรถยนต์ตามถนน และสุดท้ายคือรูปแบบพื้นที่ (Area) เช่น ไฟป่า

การประเมินระดับของคุณภาพอากาศจะเป็นการใช้ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ซึ่งเป็นรูปแบบสากล ที่คำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด ประกอบไปด้วย ก๊าซโอโซน (O₃) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) โดยสารมลพิษทางอากาศเหล่านี้ เป็นสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและระบบทางเดินหายใจของมนุษย์โดยตรง (Thomas et al., 2021)

นอกจากนี้ การประเมินความเสี่ยงในการรับเชื้อไวรัส เช่น ในปัจจุบันคือการแพร่ระบาดของโควิด-19 มีความสัมพันธ์กับระบบทางเดินหายใจ จึงมีการศึกษาการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยให้มีหน้าที่เป็นสารตัวแทน (Proxy) เพื่อสำรวจและประเมินความเสี่ยงในการสัมผัสโควิด-19 เนื่องจากการมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นในพื้นที่ที่พิจารณาหรือพื้นที่ที่ทำการประเมิน เป็นการแสดงถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นต่อการติดเชื้อโควิด-19 (Peng & Jimenez, 2020) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยใช้สารมลพิษอื่นที่กล่าวมาข้างต้นเป็นตัวแทนในการประเมินความเสี่ยงในการติดเชื้อและอัตราการเสียชีวิตจากโควิด-19 จากการใช้สารตัวแทนเป็นสารมลพิษ (Thomas et al., 2021) โดยค่าของสารมลพิษที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อศึกษา จะเป็นค่าที่อ้างอิงมาจากค่าที่ใช้วัดดัชนีคุณภาพอากาศ เนื่องจากมีการวัดค่าความเข้มข้นเป็นสากล อีกทั้งสารมลพิษทุกชนิดส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ทั้งสิ้น

สารแต่ละชนิดมีข้อสังเกตต่างกัน ในการเป็นตัวแทนที่สัมพันธ์กับอัตราการติดเชื้อและอัตราการเสียชีวิตจากโควิด-19 โดยสารที่มักถูกมีการหยิบยกมาทำการศึกษามากที่สุด มีอยู่ 2 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งทั้ง 2 ชนิด มีข้อสังเกตดังนี้

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะเน้นการเก็บข้อมูลความเข้มข้นจากสถานที่จริงเป็นหลัก เนื่องจากมีปัจจัยในเรื่องปริมาณของผู้ใช้งานในอาคารจริง ด้วยคุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของผู้คนโดยตรง (Peng & Jimenez, 2020)

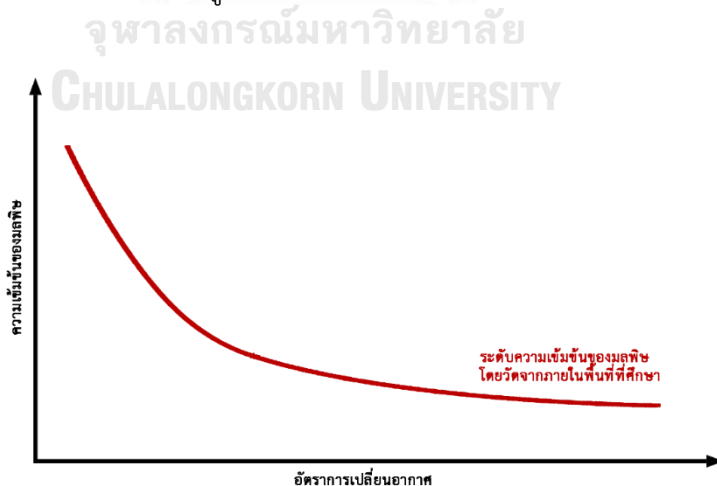
- ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($\text{PM}_{2.5}$) เป็นสารมลพิษชนิดหนึ่งที่ส่งผลกับคุณภาพอากาศโดยรอบพื้นที่ ดังนั้น จึงใช้ข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยของสารมลพิษโดยทั่วไปมาพิจารณาคุณภาพอากาศ และความหนาแน่นของผู้คนในพื้นที่ใช้งานจะเป็นปัจจัยรอง (Chakrabarty et al., 2021)

เมื่อพิจารณาถึงความเกี่ยวข้องของสารมลพิษ ในการศึกษาร่วมกับศูนย์การค้าชุมชน จะเน้นไปที่ฝุ่นละออง $\text{PM}_{2.5}$ เป็นหลัก เนื่องจากเป็นสารมลพิษที่เป็นปัญหาคุณภาพอากาศโดยทั่วไปในปัจจุบัน มีผลต่อระบบหายใจโดยตรง และไม่ต้องคำนึงถึงปัจจัยเรื่องความหนาแน่นของผู้คนมากเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สัมพันธ์กับระบบทางเดินหายใจเช่นกัน

2.3.3 ความสัมพันธ์ของมลพิษในอากาศและการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

การควบคุมมลพิษในอาคาร เพื่อรักษาคุณภาพอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐาน สามารถเกิดขึ้นด้วย 2 ปัจจัยเบื้องต้น (Allard, 1998) คือ การไหลของลมเข้าสู่พื้นที่ เพื่อการเจือจางมลพิษที่สะสมอยู่ในพื้นที่ และการไหลของลมออกจากพื้นที่ ให้อากาศที่มีมลพิษไหลออกจากพื้นที่

การเจือจางมลพิษด้วยการระบายอากาศ จะเกิดความสัมพันธ์ดังที่แสดงในภาพที่ 2.7 เป็นอัตราการเปลี่ยนอากาศ ที่สัมพันธ์แบบผกผันกับ ความเข้มข้นของสารมลพิษ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนอากาศที่สูงขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษต่ำลง แต่ความเข้มข้นของมลพิษที่ถูกเจือจางลงไปแล้ว จะไม่สามารถลดลงไปจนเหลือศูนย์ได้ (Hänninen & Asikainen, 2013)



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนอากาศและความเข้มข้นของมลพิษ

ที่มา: Hänninen & Asikainen, 2013

2.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชี้วัดคุณภาพอากาศ

การชี้วัดคุณภาพอากาศโดยการมีความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 เป็นตัวแปรหลัก ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่กระจายโดยทั่วไปในบรรยากาศ ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นระหว่างพื้นที่ที่ทำการศึกษา เปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมโดยรอบ จึงเป็นแนวทางในการชี้วัดระดับของคุณภาพอากาศโดยมีมลพิษเป็นปัจจัยสำคัญ ผ่านการใช้มาตรวัดความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษ ที่มีความสัมพันธ์อยู่ 3 ทางเลือก ประกอบไปด้วย (Chen & Zhao, 2011)

- ค่าการรั่ว (Infiltration Factor)
- ค่าการผ่านทะลุ (Penetration Factor)
- อัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก (I/O Ratio)

ตัวแปรเหล่านี้ มีข้อสังเกตคือ ค่าการรั่วและค่าการผ่านทะลุ เป็นตัวแปรที่มีความละเอียดสูง และพิจารณาไปที่แทรกซึมของอนุภาคผ่านรอยรั่ว หรือรอยแตกรั่ว จึงจะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดสูง เหมาะกับการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็กเช่นบ้าน หรือห้องที่มีการใช้งานรูปแบบเดียว แตกต่างออกไปจากค่าอัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก ที่จะเน้นไปที่การวิเคราะห์พื้นที่กว้างขึ้นกับภาพรวมของอาคาร เมื่อนำมาพิจารณาถึงความสอดคล้องกับศูนย์การค้าชุมชนที่เป็นอาคารสาธารณะ มีพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งที่กว้างเนื่องจากเป็นแหล่งพักคอยหรือรวมผู้คนได้ ดังนั้นปัจจัยที่มีความเหมาะสมในการพิจารณากับพื้นที่ลักษณะนี้คือ อัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก ที่จะใช้ในการประเมินความเข้มข้นของสารมลพิษเพื่อชี้วัดคุณภาพอากาศ

2.4.1 อัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก (I/O Ratio)

อัตราส่วนความเข้มข้นภายในต่อภายนอก เป็นการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองหรืออนุภาคอื่น ๆ เปรียบเทียบกัน 2 พื้นที่ระหว่างภายในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (ภายใน) เทียบกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของบรรยากาศโดยรอบ (ภายนอก) แล้วนำความเข้มข้นของทั้ง 2 ส่วนมาคำนวณอัตราส่วนความเข้มข้นของมลพิษหรือฝุ่นละอองได้จากสมการ (3) (Chen & Zhao, 2011)

$$I/O \text{ Ratio} = C_{in} / C_{out} \quad (3)$$

I/O Ratio	= อัตราส่วนความเข้มข้นของมลพิษหรือฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก
C_{in}	= ความเข้มข้นของสารมลพิษเฉลี่ยภายในอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C_{out}	= ความเข้มข้นของสารมลพิษเฉลี่ยภายนอกอาคาร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

จากการหาอัตราส่วนของความเข้มข้นสารมลพิษภายในต่อภายนอก สามารถตีความตัวแปรได้ว่า กรณีอัตราส่วนต่ำกว่า 1 หมายถึง ความเข้มข้นของสารมลพิษของพื้นที่ภายนอกมากกว่าพื้นที่ภายใน มีการสะสมของมลพิษที่ต่ำภายในพื้นที่ และกรณีอัตราส่วนสูงกว่า 1 หมายถึง ความเข้มข้นของสารมลพิษของพื้นที่ภายในมากกว่าพื้นที่ภายนอก มีการสะสมของมลพิษที่สูงภายในพื้นที่

นอกจากนี้การศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นของมลพิษหรือฝุ่นละออง ยังสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนอากาศในข้างต้น กรณีที่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองหรือสารมลพิษของพื้นที่ภายในนั้นมีค่าที่น้อย สู่ถึงการระบายอากาศที่ดี ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอากาศสูงขึ้น ในทางกลับกันในกรณีที่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในมีมากกว่าสภาพแวดล้อมหมายถึงการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำในพื้นที่นั้น และมีอัตราการเปลี่ยนอากาศที่ต่ำลงเช่นกัน (Chen & Zhao, 2011)

2.4.2 อายุของอากาศ (Age of Air)

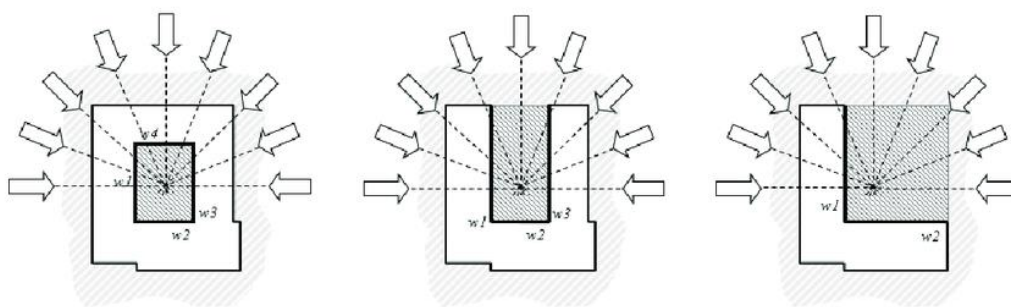
ความเข้มข้นของมลพิษเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าพื้นที่ที่มีการสะสมของมลพิษที่มากย่อมเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานอาคาร และการสะสมของมลพิษในพื้นที่เป็นเวลานาน สามารถเกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งานได้เช่นกัน แม้ว่าสารมลพิษจะมีความเข้มข้นที่ไม่สูงมาก ดังนั้นปัจจัยด้านเวลาจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญที่ควรพิจารณาในการประเมินคุณภาพอากาศ โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการชีวิตคุณภาพอากาศนั้นคือ อายุของอากาศ (Age of Air) ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนอากาศด้วยเช่นกัน

อายุของอากาศ เป็นวิธีการชีวิตคุณภาพอากาศรูปแบบหนึ่ง ผ่านการศึกษาระยะเวลาของมวลอากาศที่ไหลเข้ามาเพื่อทดแทนมวลอากาศเดิมภายในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งอายุของอากาศหรือระยะเวลาการแทนที่ของอากาศสูงที่สุดจะสอดคล้องกับ อัตราการเปลี่ยนอากาศ ที่กำหนดในแต่ละพื้นที่ตามมาตรฐานโดยจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้สอย ในกรณีที่พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งในส่วนที่พิจารณามีค่าอายุของอากาศสูงกว่ามาตรฐานที่สัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนอากาศ เป็นการแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นจุดอับอากาศ (กิตติคุณ ยกทรัพย์, 2558) ทำให้สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดปัญหาคุณภาพอากาศจากการสะสมของมลพิษได้ และสามารถนำไปต่อยอดในการแก้ปัญหาในการออกแบบเพื่อให้อาคารมีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น และสามารถระบายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอายุของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ (4) (Hang et al., 2009)

$$\tau_n = V / Q \quad (4)$$

- τ_n = อายุของอากาศ (วินาที)
 V = ปริมาตรห้องหรือพื้นที่ที่ศึกษา (m^3)
 Q = ปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้าพื้นที่ต่อวินาที (m^3/s)

โดยปกติแล้วอายุของอากาศ มักจะศึกษาที่พื้นที่ภายในที่ปิดล้อมชัดเจน แต่กับพื้นที่กึ่งเปิดโล่ง สามารถใช้แนวคิดเรื่องอายุของอากาศในการชี้วัดคุณภาพอากาศได้เช่นกัน โดยกำหนดกรอบของพื้นที่ จากอาคารโดยรอบที่เป็นส่วนที่ปิดล้อมเหมือนมวลอากาศที่ถูกขังอยู่ในพื้นที่ภายในขนาดใหญ่ แสดงในภาพที่ 2.8 แต่ด้วยลักษณะของพื้นที่กึ่งเปิดโล่งจึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน และมีปัจจัยแวดล้อมที่ทำให้ควบคุมได้ยาก (Padilla-Marcos & Meiss, 2018) นอกจากนี้กายภาพของอาคารเอง ทั้งรูปร่างของผิวอาคารโดยรอบ และทิศทางการวางอาคารที่เปลี่ยนไป ย่อมมีผลให้รูปแบบการไหลของอากาศเปลี่ยนไป ส่งผลให้อายุของอากาศเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน (Hang et al., 2009)

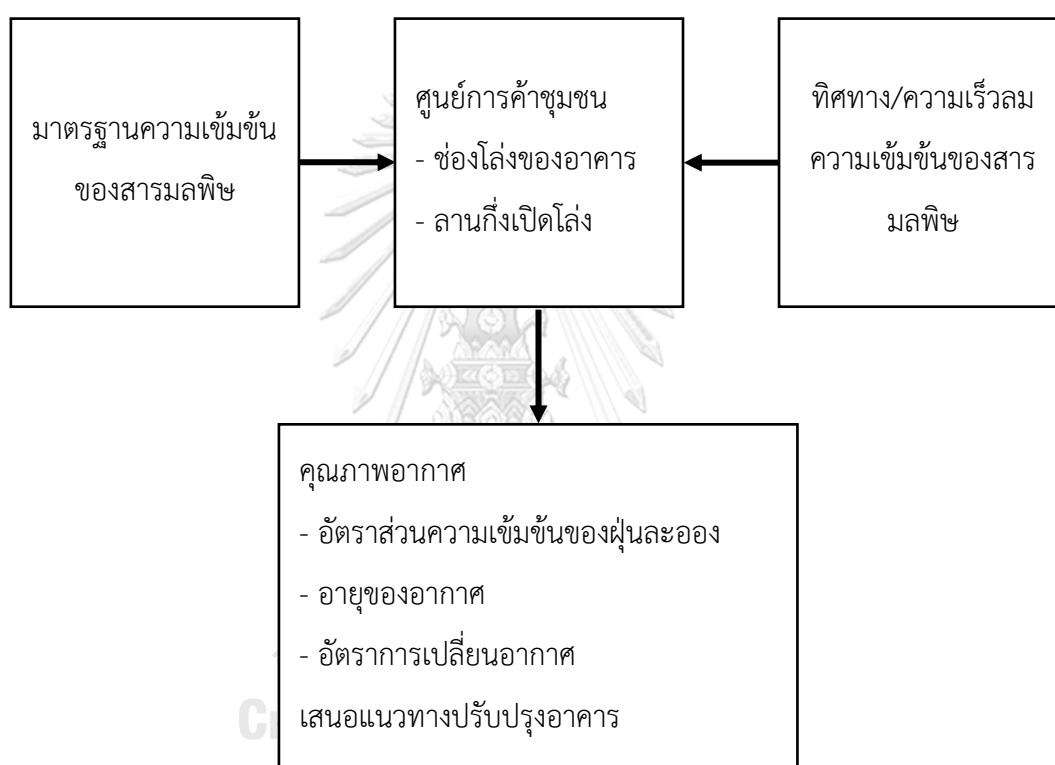


ภาพที่ 2.8 การกำหนดขอบเขตของพื้นที่กึ่งเปิดโล่งเพื่อพิจารณาอายุของอากาศที่ถูกขังอยู่
ที่มา: Padilla-Marcos & Meiss, 2018

การชี้วัดคุณภาพอากาศ โดยอายุของอากาศ ในลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน จึงสามารถใช้แนวคิดข้างต้นโดยการกรอบพื้นที่ของลานด้วยพื้นที่ชาย ที่เป็นส่วนที่ปิดของอาคาร เพื่อพิจารณาระยะเวลาของอากาศที่ปนเปื้อนฝุ่นละอองหรือมลพิษ ที่ถูกขังอยู่ในลานกึ่งเปิดโล่ง เพื่อประเมินคุณภาพอากาศของศูนย์การค้าชุมชน

โดยสรุปจากกายภาพของศูนย์การค้าชุมชนที่มีกายภาพของอาคารทั้งช่องโล่งของอาคาร และลานกึ่งเปิดโล่ง เอื้อให้เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ มีลมธรรมชาติที่พัดผ่านอาคารเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดสภาวะน่าสบายในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร แต่ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจนในงานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในศูนย์การค้าชุมชนในประเทศไทย ที่คำนึงถึงเรื่อง

ความสะอาดของอากาศผ่านการตรวจวัดระดับของมลพิษที่กระจายอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งความเข้มข้นของสารมลพิษ สามารถเจือจางได้โดยการมีอัตราการเปลี่ยนอากาศที่สูง หรือหมายถึงการระบายอากาศที่ดีในอาคารนั่นเอง เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการระบายอากาศให้สัมพันธ์กับศูนย์การค้าชุมชน รูปแบบการระบายอากาศที่สอดคล้องกันคือการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่กล่าวไปในข้างต้น และทำการชี้ด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก อายุของอากาศ และอัตราการเปลี่ยนอากาศ เพื่อชี้วัดคุณภาพอากาศ โดยสามารถสรุปประเด็นที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นได้ตามภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ประเด็นที่เกี่ยวข้องในการศึกษา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ศึกษาสภาพของศูนย์การค้าชุมชน ที่เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อลดมลพิษในอากาศภายในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง โดยจะควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้มีเพียงสภาพของอาคารซึ่งเป็นแบบจำลองที่อ้างอิงมาจากอาคารที่สร้างจริงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และใช้มลพิษในอากาศเป็นตัวชี้วัดคุณภาพอากาศเท่านั้น ผลที่ได้จะเป็นการวิเคราะห์การไหลของลมที่เกิดขึ้นในลานกึ่งเปิดโล่ง และความเข้มข้นของมลพิษ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ที่จะเจือจางมลพิษ และสามารถนำไปประยุกต์เป็นแนวทางในการออกแบบต่อไปได้ โดยมีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

- 3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.2 กำหนดกรณีศึกษา
- 3.3 การจำลองอาคารกรณีศึกษา
- 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
- 3.5 การเก็บข้อมูลจากการจำลอง
- 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ มีการศึกษาทฤษฎีและตัวอย่างการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับศูนย์การค้าชุมชน และคุณภาพอากาศเป็นหลัก โดยเริ่มต้นจาก สภาพของศูนย์การค้าชุมชน ที่มีจุดเด่นคือลักษณะกึ่งเปิดโล่ง สอดคล้องกับภูมิอากาศในประเทศไทย มีการถ่ายเทอากาศจากการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายให้กับผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันมุ่งเน้นศึกษาที่สภาวะน่าสบายกับอาคารศูนย์การค้าชุมชน แต่ในขณะเดียวกัน การศึกษาเกี่ยวกับความสะอาดของอากาศที่ผ่านเข้ามา โดยชี้วัดด้วยมลพิษในอากาศ ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าสภาวะน่าสบาย จึงทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษในอากาศและมาตรฐานมลพิษในอากาศ รวมถึงการจัดการกับปัญหามลพิษในอากาศจากการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ นำไปสู่การศึกษาถึงตัวแปรที่ใช้ในการชี้วัดคุณภาพอากาศที่สัมพันธ์กับมลพิษในอากาศ เพื่อกำหนดเป็นตัวแปรในการวิจัยนี้ ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพของอาคารกรณีศึกษากับมลพิษในอากาศที่ใช้ในการชี้วัดคุณภาพอากาศ เพื่อการเป็นแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารให้มีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น

3.1.1 การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น

- จำนวนด้านของอาคารที่มีช่องโถงเปิดให้อากาศไหลผ่าน

แบ่งกลุ่มอาคารตามจำนวนด้านที่เป็นช่องโถงให้ลมผ่าน ในภาพที่ 3.1 ถึง ภาพที่ 3.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ส่งผลต่อระดับมลพิษ ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้คำนึงถึงขนาดหรือความกว้างของช่องโถง



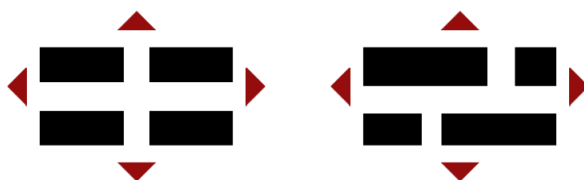
ภาพที่ 3.1 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน



ภาพที่ 3.2 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน



ภาพที่ 3.3 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน



ภาพที่ 3.4 ไดอะแกรมอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน

- ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง

ลานกึ่งเปิดโล่งเป็นลักษณะเด่นของศูนย์การค้าชุมชน และเป็นพื้นที่หลักที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก จึงเป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของขนาดของพื้นที่กับปริมาณการสะสมของมลพิษในอากาศ

ตัวแปรตาม

- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio)

ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 จะเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยเป็นหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งในส่วนที่มีผู้ใช้งาน เพื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยรวม

- อายุของอากาศ (Age of Air)

เวลาที่มวลอากาศไหลเวียนอยู่ในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งหน่วยเป็นวินาที โดยจะเก็บข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดของมวลอากาศในปริมาตรของลานกึ่งเปิดโล่ง เพื่อทราบถึงระยะเวลาการสะสมของมลพิษในอากาศ และสามารถนำไปหาความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนอากาศ

- อัตราการเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate) ปริมาตรอากาศที่ไหลเข้า หรือออกจากบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เทียบกับปริมาตรของอากาศเดิมในบริเวณนั้นในเวลา 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็น ACH (Air Change per Hour)

ตัวแปรควบคุม

- ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5

ใช้ค่ามาตรฐานที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2553, 2553) กำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยรวม

- ความเร็วลมเฉลี่ย

ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร โดยอ้างอิงค่าเฉลี่ยในช่วง 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2563 จากสถานีตรวจวัดอากาศในเขตดอนเมือง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยค่าความเร็วลมที่จะนำมาใช้จำลองจะแบ่งเป็น 3 ทิศ คือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากลมทั้ง 3 ทิศทางนี้ มาจากการหาค่าเฉลี่ยของทิศทางลมประจำในแต่ละฤดูตลอดทั้งปี

ตารางที่ 3.1 ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2563

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ทิศทางลม
มกราคม	2.86	NE
กุมภาพันธ์	3.22	S
มีนาคม	3.53	S
เมษายน	3.28	S
พฤษภาคม	3.08	S
มิถุนายน	3.33	S, SW
กรกฎาคม	3.36	W, SW
สิงหาคม	3.25	W, SW
กันยายน	2.53	S, SW
ตุลาคม	2.39	E, NE
พฤศจิกายน	2.89	E, NE
ธันวาคม	3.11	E, NE
ความเร็วลมช่วงฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม)	3.28	S
ความเร็วลมช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน)	3.12	SW
ความเร็วลมช่วงฤดูหนาว (ตุลาคม-มกราคม)	2.18	NE

หมายเหตุ: ข้อมูลในปี พ.ศ. 2564 สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ไม่เกินครึ่งปี จึงไม่นำมาคิดในค่าเฉลี่ย
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563

3.2 กำหนดกรณีศึกษา

งานวิจัยของ Atthakorn, S. ในปี ค.ศ. 2019 และงานวิจัยของ Tantasavasdi, C. & Inprom, N. ในปี ค.ศ. 2020 ที่เน้นการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติผ่านลานของศูนย์การค้าชุมชน เช่นกัน และจากการวางผังอาคารศูนย์การค้า 5 รูปแบบ (The Urban Land Institute (ULI), 2006) รูปแบบของผังอาคารที่ถูกเลือกมาจำลอง จะเป็นรูปแบบตัวยู (U-Shape) รูปแบบตัวโอ (O-Shape) และรูปแบบกลุ่มอาคาร (Cluster) แสดงในตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงผังอาคารใน 3 รูปแบบนี้ เป็นรูปแบบที่เอื้อให้เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

ตารางที่ 3.2 การแบ่งศูนย์การค้าชุมชนที่มีการศึกษาการระบายอากาศตามลักษณะการวางผัง

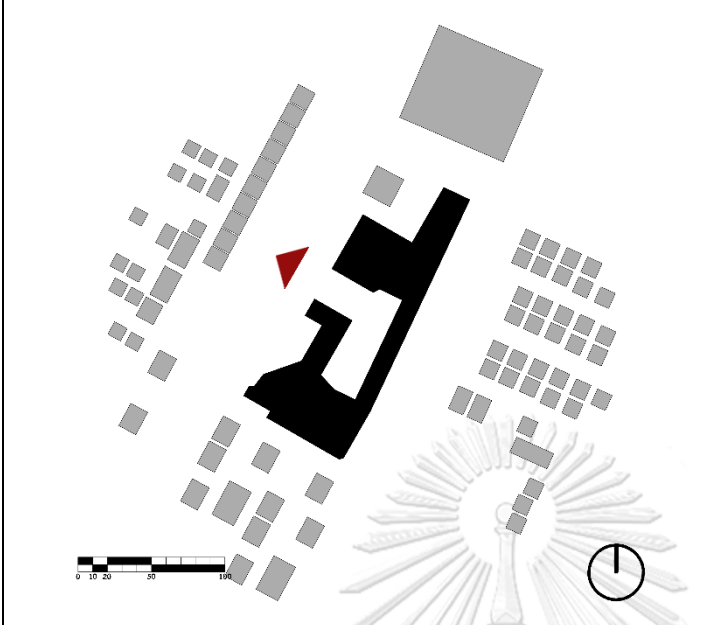
ชื่องานวิจัย (จำนวนกรณีศึกษา)	จำนวนกรณีศึกษาแยกตามรูปแบบการวางผัง					ที่มา
	I-Shape	L-Shape	U-Shape	O-Shape	Cluster	
Airflow patterns of semi-open shopping malls in Bangkok (8)	-	-	3	3	2	Atthakorn, S. (2019)
Impact of design features on natural ventilation of open-air malls in Thailand (6)	-	-	4	1	1	Tantasavasdi, C. & Inprom, N. (2020)

จากศูนย์การค้าชุมชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลกว่า 50 แห่ง (Atthakorn, 2019) เกณฑ์ในการคัดเลือกอาคารกรณีศึกษาจึงจะคัดเลือกอาคารจากส่วนประกอบของอาคารดังนี้

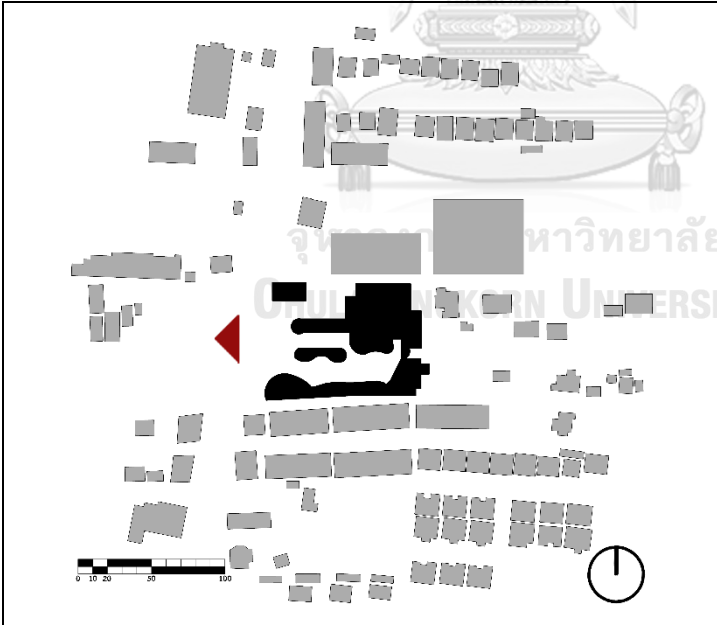
- รูปแบบการวางผังที่เอื้อให้เกิดการไหลผ่านของลมธรรมชาติและอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า ที่แสดงในตารางที่ 3.2 คือรูปแบบการวางผังรูปแบบตัวยู รูปแบบตัวโอ และรูปแบบกลุ่มอาคาร
- ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร จะพิจารณาขนาดพื้นที่ของลานเฉพาะในส่วนที่มีการใช้งานของผู้คนเท่านั้น ขนาดพื้นที่ของลานจะมีขนาดพื้นที่ของลานรวมมากกว่า 1,000 ตารางเมตร ขึ้นไป (ณัฐพร ชีวาเกียรติยิ่งยง, 2557) เนื่องจากเป็นขนาดพื้นที่ที่มีความสะดวกในการจัดกิจกรรมที่หลากหลาย เป็นสามารถเป็นจุดพักคอยที่รวมผู้คนได้แบบไม่แออัด (ณัฐชานันท์ ศิริประเสริฐ, 2558)
- แบบของอาคารกรณีศึกษาที่นำมาใช้จำลองในงานวิจัยนี้ ได้มาจากแบบอาคารที่สร้างจริงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และเป็นข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้แบบสาธารณะ

จากการคัดเลือกอาคารกรณีศึกษา จะมีอาคารกรณีศึกษา 8 อาคารและแบ่งอาคารออกเป็นกลุ่มตามจำนวนด้านของอาคารที่เปิดให้ลมธรรมชาติไหลผ่านได้ (ตัวแปรต้น) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ถึง 3.10 จะเป็นผังพื้นของอาคารกรณีศึกษาที่มีการลดทอนรายละเอียดเพื่อสามารถนำไปสร้างแบบจำลองสามมิติ (แบบสามมิติของอาคารที่ใช้ศึกษา จะแสดงในภาคผนวก ข) ให้สามารถจำลองในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลได้ ซึ่งอาคารกรณีศึกษา A จะมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่น้อยกว่ากรณีศึกษา B และจะทำการวัดค่าในโปรแกรม CFD ที่ระดับความสูง 1.00 เมตรจากระดับพื้นที่ใช้งานหลักของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

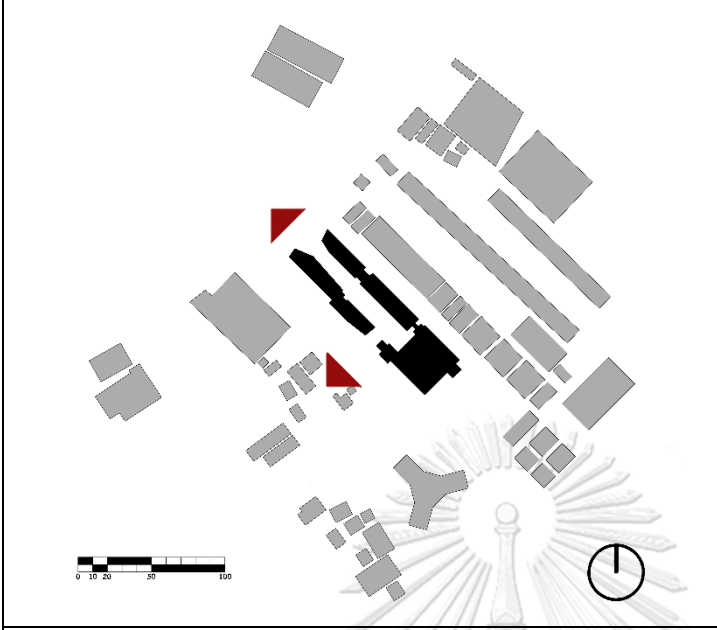
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 1 ด้าน (1A)

	อาคารกรณีศึกษา 1A
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	4 %
	จำนวนด้านเปิด
	1
พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง	
2,500 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 1 ด้าน (1B)

	อาคารกรณีศึกษา 1B
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	5 %
	จำนวนด้านเปิด
	1
พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง	
1,280 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

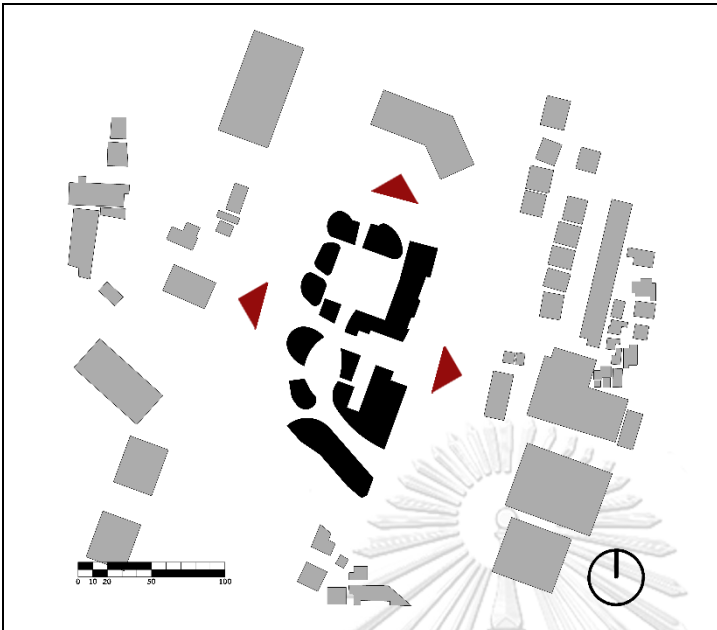
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลอาคารกรณศึกษา แบบด้านเปิด 2 ด้าน (2A)

	อาคารกรณศึกษา 2A
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	7 %
	จำนวนด้านเปิด
	2
พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง	
1,210 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

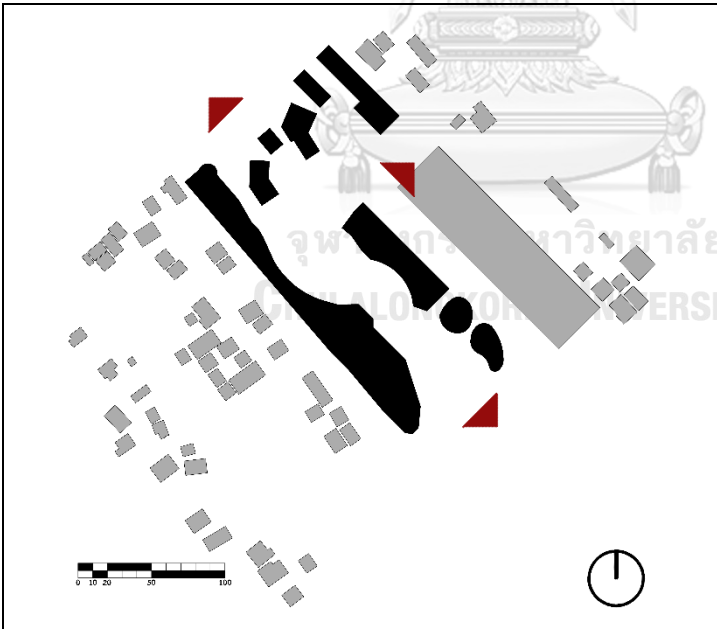
ตารางที่ 3.6 ข้อมูลอาคารกรณศึกษา แบบด้านเปิด 2 ด้าน (2B)

	อาคารกรณศึกษา 2B
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	10 %
	จำนวนด้านเปิด
	2
พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง	
2,274 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

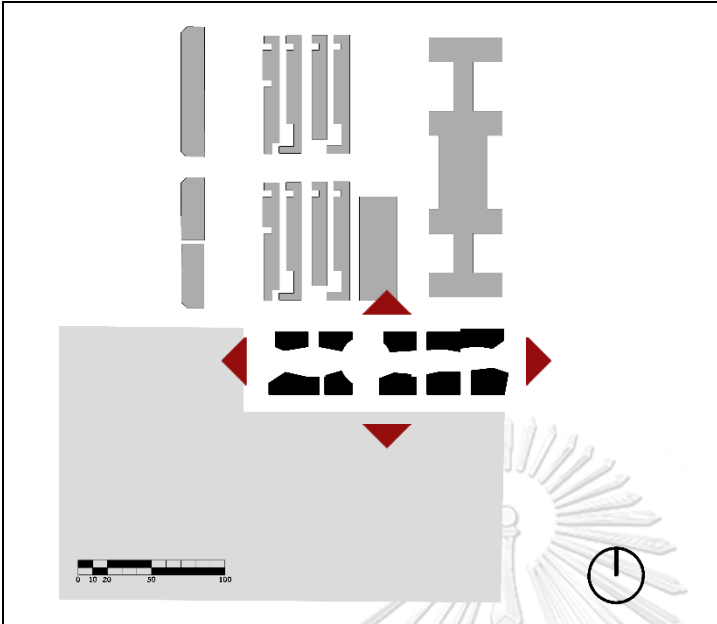
ตารางที่ 3.7 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 3 ด้าน (3A)

	อาคารกรณีศึกษา 3A
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	13 %
	จำนวนด้านเปิด
	3
	พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง
2,645 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

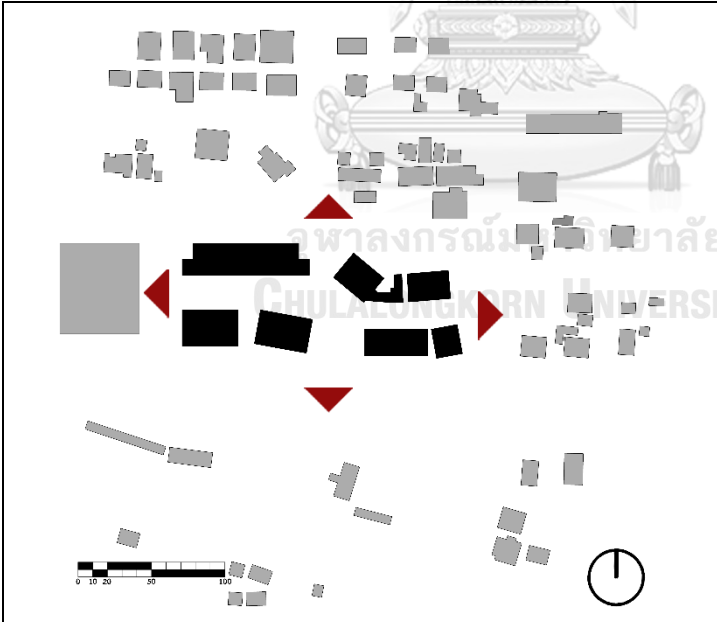
ตารางที่ 3.8 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 3 ด้าน (3B)

	อาคารกรณีศึกษา 3B
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	14 %
	จำนวนด้านเปิด
	3
	พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง
7,860 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 4 ด้าน (4A)

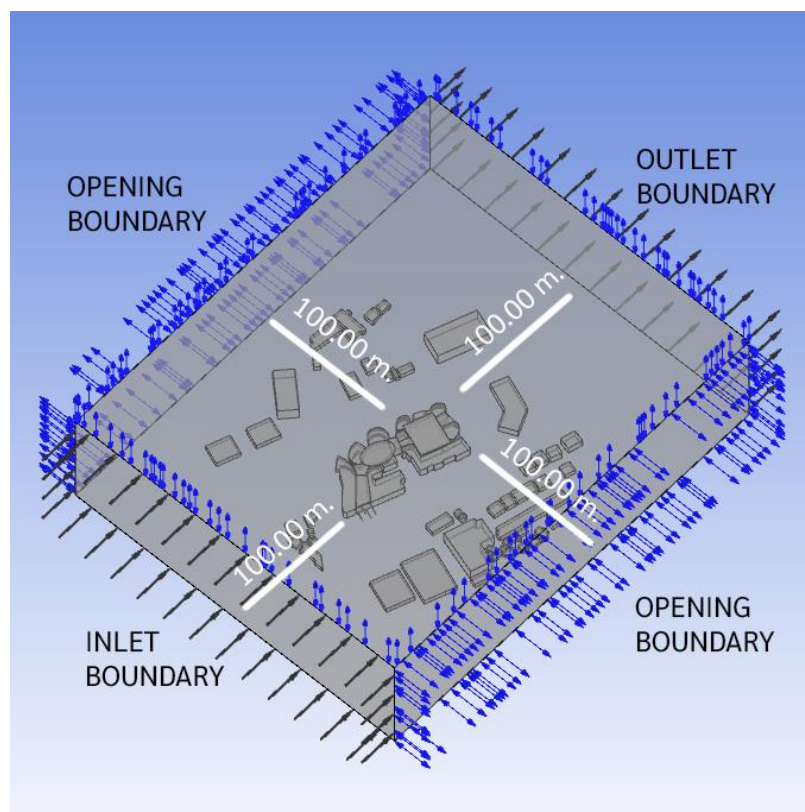
	อาคารกรณีศึกษา 4A
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	18 %
	จำนวนด้านเปิด
	4
พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง	
2,347 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา แบบด้านเปิด 4 ด้าน (4B)

	อาคารกรณีศึกษา 4B
	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ
	20 %
	จำนวนด้านเปิด
	4
พื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง	
3,529 ตารางเมตร	
ที่มา: ปรับปรุงโดยผู้วิจัย	

3.3 การจำลองอาคารกรณีศึกษา

การจำลองสภาวะแวดล้อมด้วยโปรแกรม CFD เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารกรณีศึกษา และศึกษาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดจากการพัดผ่านของลมธรรมชาติ ซึ่งจะกำหนดแบบจำลองสำหรับโปรแกรม CFD โดยที่อาคารกรณีศึกษาที่ลดทอนรายละเอียดเพื่อให้จำลองในโปรแกรมได้ และล้อมรอบด้วยอาคารที่อ้างอิงมาจากสถานที่จริงของแต่ละกรณีศึกษา นอกจากนี้จะกำหนดขนาดของจุด (Node) ที่ใช้คำนวณทุก ๆ 0.50 เมตร เนื่องด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมจำลอง แบบจำลองจะมีภาพรวมสำหรับการทดสอบในโปรแกรมดังภาพที่ 3.5



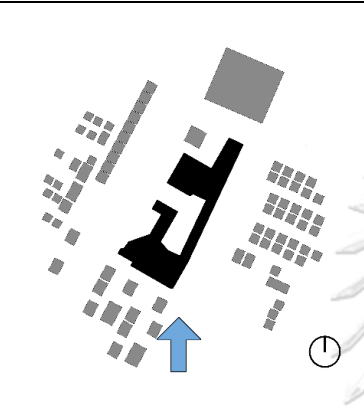
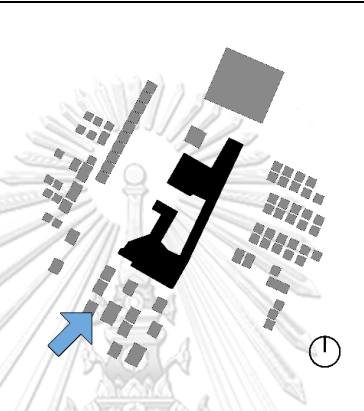
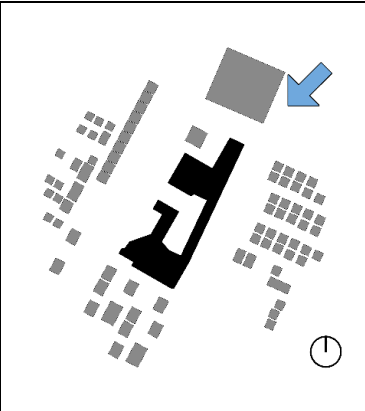
ภาพที่ 3.5 ลักษณะแบบจำลองเบื้องต้นในโปรแกรม CFD

กรอบของการจำลองของไหล (Flow Domain) จะกำหนดให้ขอบเขตมีระยะห่างจากผิวอาคารกรณีศึกษาออกมาทุกด้าน ออกมาเท่ากับ 6 เท่าของความสูงอาคาร (Tantasavasdi & Inprom, 2020) เพื่อให้มีระยะการไหลของอากาศที่มากเพียงพอสำหรับการจำลอง ส่วนอาคารข้างเคียงจะอ้างอิงจากสถานที่จริง ที่อยู่ในขอบเขตของกรอบที่ใช้จำลองการไหล




อาคารกรณีศึกษาที่นำมาทำการจำลองด้วยโปรแกรม CFD นั้นมีทั้งหมด 8 อาคาร และแต่ละอาคารจะมีการแบ่งออกเป็น 3 กรณี เนื่องจากการคำนึงถึงทิศทางของลมธรรมชาติในแต่ละฤดูกาล

ตามตารางที่ 3.1 ดังนั้น จะมีกรณีที่ทำกรงจำลองทั้งหมด 24 กรณี ดังที่แสดงในตารางที่ 3.11 ถึง 3.18 และมีความเร็วลมตามที่กำหนดในตัวแปรควบคุมข้างต้น โดยจะกำหนดตัวเลขสำหรับแต่ละกรณีศึกษาเป็น ลมจากทิศใต้แทนด้วยตัวเลข .1 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้แทนด้วยตัวเลข .2 และ ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือแทนด้วยตัวเลข .3

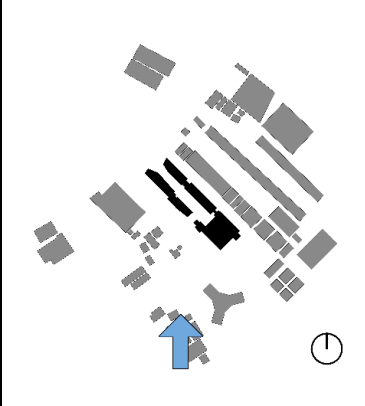
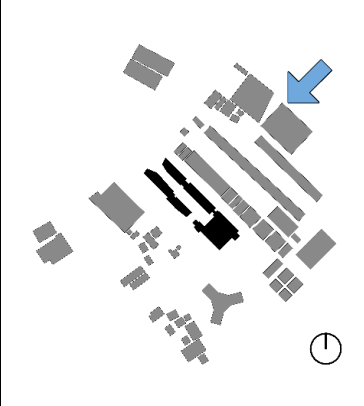
ตารางที่ 3.11 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 1A

อาคารกรณีศึกษา 1A		
		
กรณี 1A.1	กรณี 1A.2	กรณี 1A.3

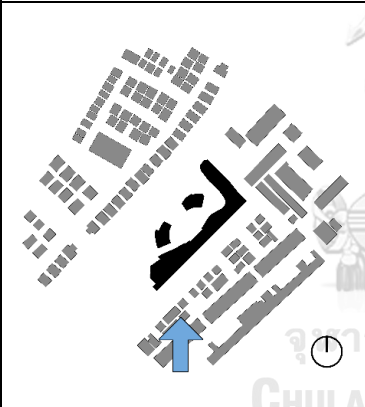

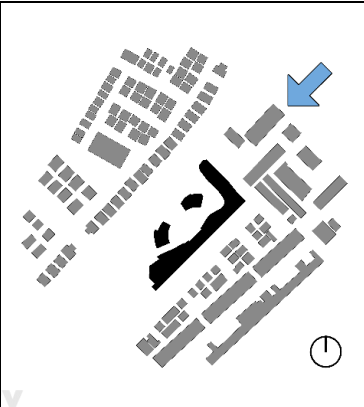
ตารางที่ 3.12 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 1B

อาคารกรณีศึกษา 1B		
		
กรณี 1B.1	กรณี 1B.2	กรณี 1B.3

ตารางที่ 3.13 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 2A

อาคารกรณีศึกษา 2A		
		
กรณี 2A.1	กรณี 2A.2	กรณี 2A.3

ตารางที่ 3.14 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 2B

อาคารกรณีศึกษา 2B		
		
กรณี 2B.1	กรณี 2B.2	กรณี 2B.3

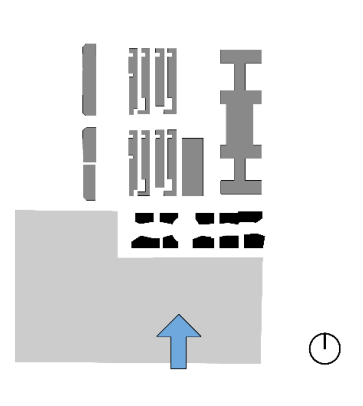
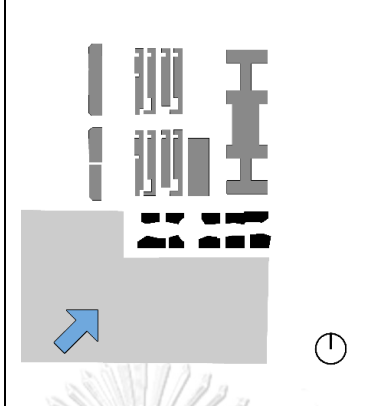
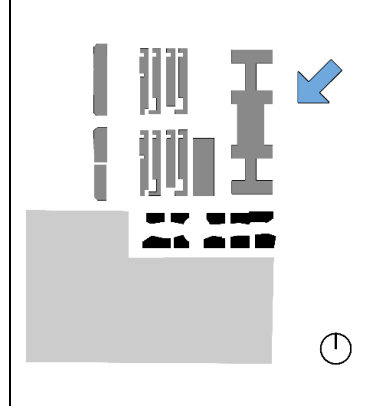
ตารางที่ 3.15 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 3A

อาคารกรณีศึกษา 3A		
กรณี 3A.1	กรณี 3A.2	กรณี 3A.3

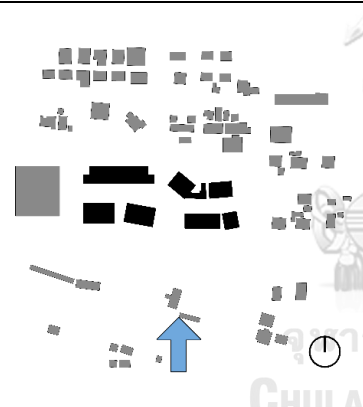
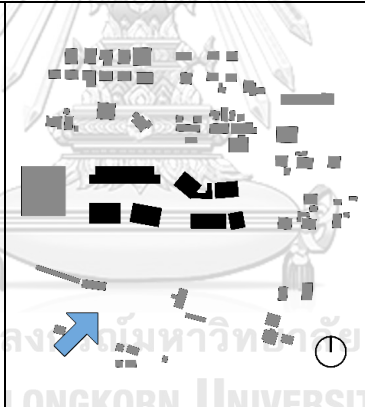
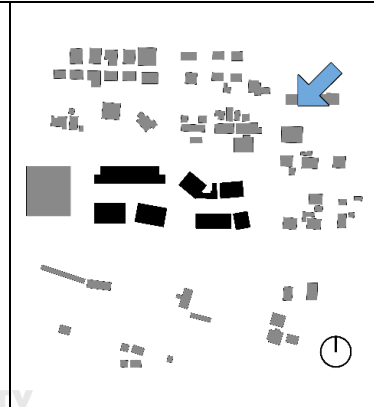
ตารางที่ 3.16 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 3B

อาคารกรณีศึกษา 3B		
กรณี 3B.1	กรณี 3B.2	กรณี 3B.3

ตารางที่ 3.17 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 4A

อาคารกรณีศึกษา 4A		
		
กรณี 4A.1	กรณี 4A.2	กรณี 4A.3

ตารางที่ 3.18 กรณีในการจำลองการไหลของอากาศ อาคาร 4B

อาคารกรณีศึกษา 4B		
		
กรณี 4B.1	กรณี 4B.2	กรณี 4B.3

การใส่ค่าในโปรแกรม CFD จะเป็นการใส่ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม เช่น ความเร็วลมเฉลี่ย ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง เป็นต้น โดยข้อมูลที่นำเข้าไปในโปรแกรมทั้งหมดนั้น แสดงในตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 ข้อมูลที่นำเข้าไปในโปรแกรม CFD

Parameter		Value
Initial Condition	PM2.5	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Inlet Boundary	Wind Velocity (S)	3.28 m/s
	Wind Velocity (SW)	3.12 m/s
	Wind Velocity (NE)	2.18 m/s
	PM2.5	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Opening Boundary	PM2.5	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Iteration Counts		1000

การจำลองในงานวิจัยนี้ เป็นการจำลองการไหลในพื้นที่โล่ง จึงมีการใช้แบบจำลองความปั่นป่วน K-epsilon (K-epsilon Turbulence Model) ที่เป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการคำนวณพื้นที่ภายนอก จึงต้องมีการคำนวณค่า K และค่า epsilon สามารถคำนวณได้ตามสมการ (5) และ (6) ตามลำดับ โดยค่า K-epsilon ของแต่ละอาคารกรณีศึกษาจะแตกต่างกันออกไปตามค่าความเร็วลมในแต่ละกรณี และตามความยาวของอาคารด้านที่ยาวที่สุด (D)

$$K = (0.05V_{\text{inlet}})^2 \quad (5)$$

$$\text{epsilon} = (0.09^{0.75} \cdot K^{1.5})/D \quad (6)$$

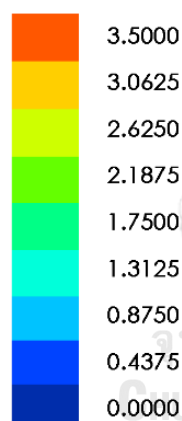
- K = ค่า Kinetic Energy
 V_{inlet} = ค่าความเร็วลมที่ Inlet Boundary (m/s)
 epsilon = ค่า Dissipation Rate
 D = ความยาวของอาคารด้านที่ยาวที่สุด (m)

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

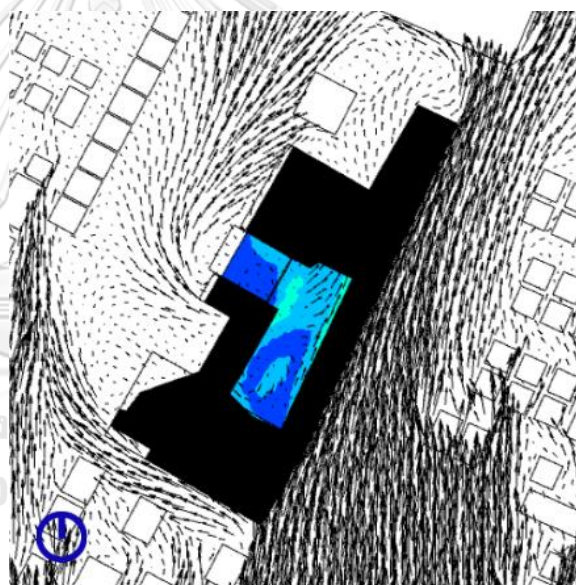
การวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการศึกษาคือโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของของไหล โดยจะใช้โปรแกรมที่ชื่อว่า ANSYS-2021 R2 เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองการเคลื่อนตัวของของไหลได้ในรูปแบบ 3 มิติ แล้วเลือกวิธีการแสดงผลได้ทั้งรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งโปรแกรมสามารถคำนวณค่าของตัวแปรที่ใส่ค่า (Input) เข้าไปในโปรแกรม แล้วเลือกแสดงผลการวิเคราะห์เพียงส่วนที่ต้องการได้ รวมถึงสามารถแสดงค่าสถิติเชิงลึกของแต่ละตัวแปรในการจำลองเพื่อประกอบรายละเอียดในงานวิจัยได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกวิธีการแสดงผลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยจะมีตัวอย่างดังภาพที่ 3.6 และมีรายละเอียดประกอบด้วย

- ทิศทางการไหลของลมธรรมชาติ โดยการแสดงด้วยลูกศร (Vector) บอกขนาดและทิศทาง
- ระดับสีแสดงค่า มาก/น้อย ของตัวแปรที่กำหนดในงานวิจัย

Velocity



[m/s]



ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการแสดงผลจากโปรแกรม CFD

3.5 การเก็บข้อมูลจากการจำลอง

การจำลองอาคารกรณีศึกษาในกรณีต่าง ๆ ที่กำหนดด้วยโปรแกรม CFD จะทำการเก็บข้อมูลจากปริมาตรของอากาศที่เป็นพื้นที่ว่างของลานกึ่งเปิดโล่งในอาคารกรณีศึกษา ตามที่แสดงในภาพที่ 3.7 และจะแสดงผลลัพธ์ออกมาในหลายรูปแบบที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย โดยข้อมูลส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย

3.5.1 รูปแบบการไหลของอากาศ

แสดงผลการจำลองจากโปรแกรม CFD ด้วยลูกศร (Vector) ที่เป็นการบอกขนาดและทิศทางของกระแสลม โดยจะทำการบันทึกข้อมูลรูปแบบการไหลของอากาศที่ระดับความสูง 1.00 เมตร เหนือระดับพื้นชั้น 1 ในลานกึ่งเปิดโล่งของแต่ละอาคารกรณีศึกษา เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการไหล รวมถึงการเกิดลมหมุนวน นำไปสู่การวิเคราะห์การสะสมของมลพิษ

3.5.2 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 (PM2.5 Concentration)

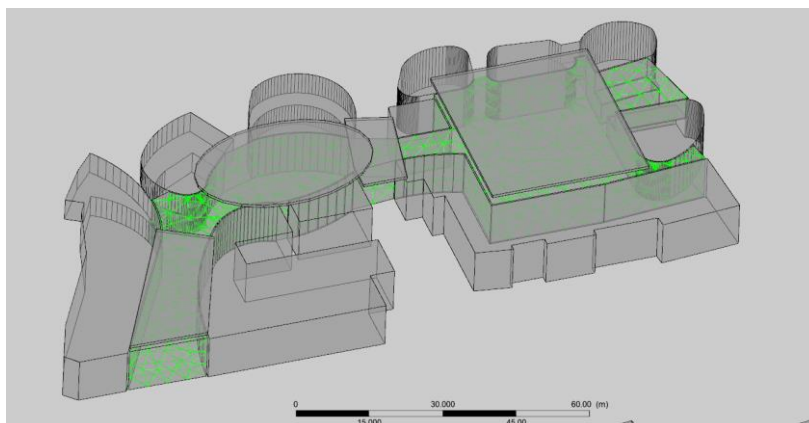
เป็นการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 แสดงในรูปแบบระดับชั้น (Contour) ของความเข้มข้น และเป็นค่าตัวแปร โดยจะเก็บข้อมูลจากทุกจุด (Node) ในลานกึ่งเปิดโล่งของแบบจำลองอาคาร ทำการบันทึกข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร เหนือระดับพื้นชั้น 1 ในลานกึ่งเปิดโล่งของแต่ละอาคารกรณีศึกษา มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3.5.3 อายุของอากาศ (Age of Air)

เป็นการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยอายุของอากาศ แสดงในรูปแบบระดับชั้น (Contour) ของอายุของอากาศ และเป็นค่าตัวแปร โดยจะเก็บข้อมูลจากทุกจุด (Node) ในลานกึ่งเปิดโล่งของแบบจำลองอาคาร ทำการบันทึกข้อมูลอายุของอากาศที่ระดับความสูง 1.00 เมตร เหนือระดับพื้นชั้น 1 ในลานกึ่งเปิดโล่งของแต่ละอาคารกรณีศึกษา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

3.5.4 ความเร็วลม

เป็นการเก็บข้อมูลความเร็วลม แสดงในรูปแบบระดับชั้น (Contour) ของความเร็วลม และเป็นค่าตัวแปร โดยจะเก็บข้อมูลจากทุกจุด (Node) ในลานกึ่งเปิดโล่งของแบบจำลองอาคาร ทำการบันทึกข้อมูลความเร็วลมที่ระดับความสูง 1.00 เมตร เหนือระดับพื้นชั้น 1 ในลานกึ่งเปิดโล่งของแต่ละอาคารกรณีศึกษา มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)



ภาพที่ 3.7 ที่ว่างของลานกึ่งเปิดโล่ง ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจากแต่ละกรณีศึกษา

การดึงข้อมูลตัวแปรที่ได้จากโปรแกรม ต้องทำการกำหนดที่ว่างในส่วนที่จะดึงข้อมูลและมีการใส่ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเท่านั้น กำหนดให้ที่ว่างของลานเป็น Sub Domain

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการจำลองด้วยโปรแกรม CFD จะทำการแบ่งส่วนของข้อมูลที่วิเคราะห์ดังนี้

3.6.1 วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5

จากการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 จากภายในลานกึ่งเปิดโล่ง จะเป็นการนำมาคำนวณหาค่า I/O Ratio โดยนำค่าตัวแปรที่เก็บได้ มาเทียบกับมาตรฐานฝุ่นละอองเฉลี่ยต่อปี เพื่อป้องกันคุณภาพอากาศในแต่ละอาคารกรณีศึกษา

3.6.2 วิเคราะห์ค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศ

- วิเคราะห์ค่าอายุของอากาศในแต่ละอาคารกรณีศึกษา
- วิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนอากาศในแต่ละอาคารกรณีศึกษา
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของจำนวนด้านเปิดกับ I/O Ratio

3.6.3 วิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ

การพิจารณาพื้นที่ภายในลานกึ่งเปิดโล่ง เพื่อสังเกตการไหลและการเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ลาน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอายุของอากาศเนื่องจากการเกิดบริเวณที่มีลมหมุนวนในสัดส่วนที่มาก มีแนวโน้มที่จะทำให้อายุของอากาศสูง นำมาซึ่งการสะสมของมลพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

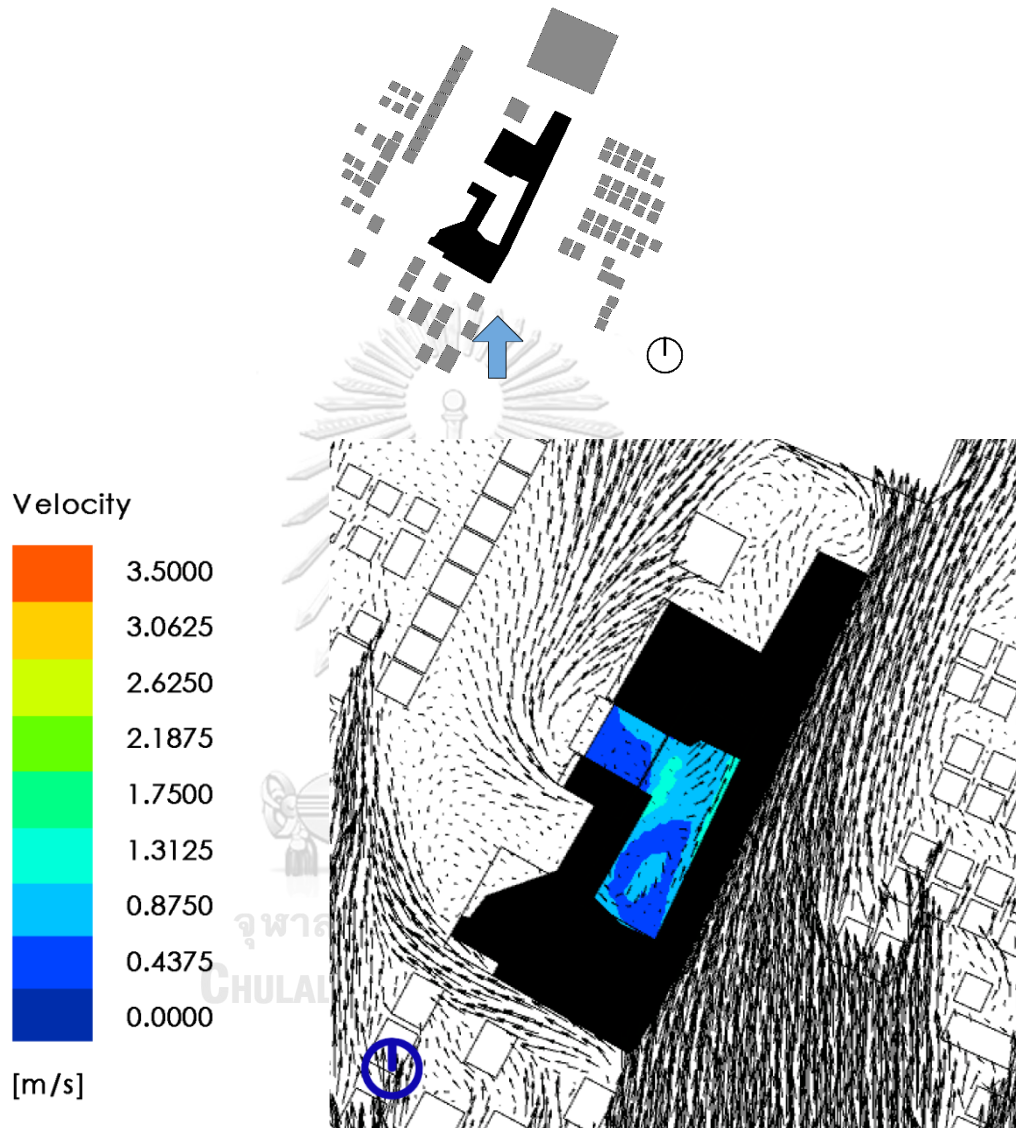
การจำลองอาคารกรณีศึกษาและสภาพแวดล้อมโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) ศึกษาการไหลของอากาศผ่านอาคารกรณีศึกษา เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยความพรุนหรือช่องโหว่ที่มีตัวแปรเป็นจำนวนด้านของอาคารที่เปิดให้อากาศไหลผ่าน และขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้า ชุมชนเพื่อสังเกตรูปแบบการไหลของอากาศ ที่ส่งผลถึงคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ลานของอาคาร โดยที่ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CFD และส่วนการวิเคราะห์ จะประกอบไปด้วย

- 4.1 การแปรผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD
 - 4.1.1 อาคารกรณีศึกษา 1A
 - 4.1.2 อาคารกรณีศึกษา 1B
 - 4.1.3 อาคารกรณีศึกษา 2A
 - 4.1.4 อาคารกรณีศึกษา 2B
 - 4.1.5 อาคารกรณีศึกษา 3A
 - 4.1.6 อาคารกรณีศึกษา 3B
 - 4.1.7 อาคารกรณีศึกษา 4A
 - 4.1.8 อาคารกรณีศึกษา 4B
- 4.2 การวิเคราะห์ผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD
 - 4.2.1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5
 - 4.2.2 วิเคราะห์ค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศ
 - 4.2.3 วิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ

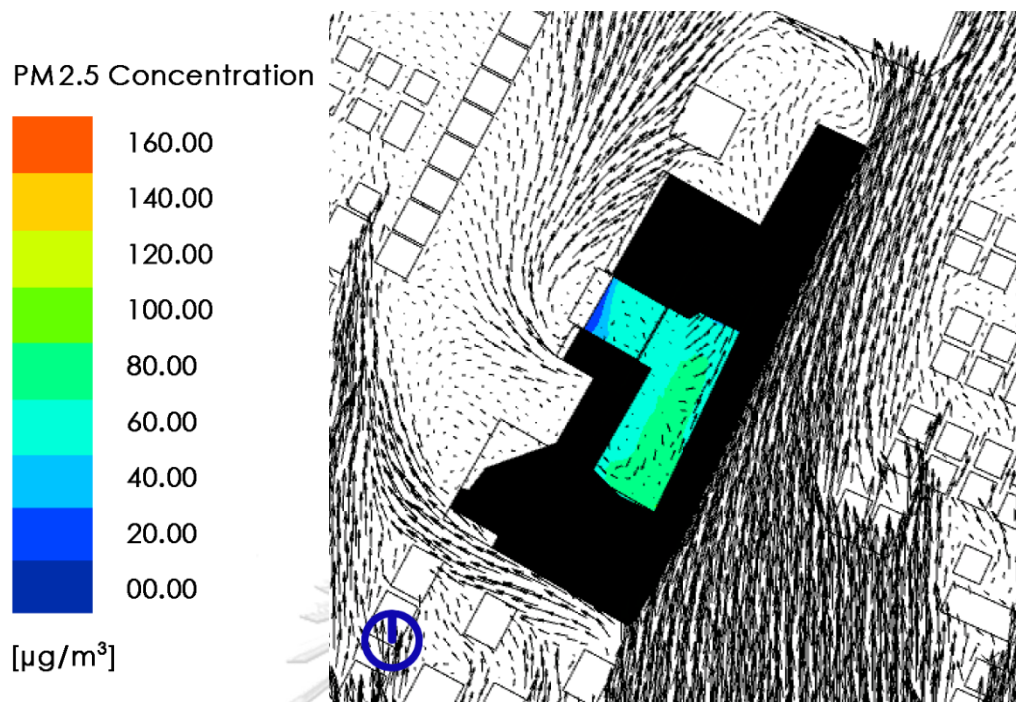
4.1 การแปรผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD

4.1.1 อาคารกรณีศึกษา 1A

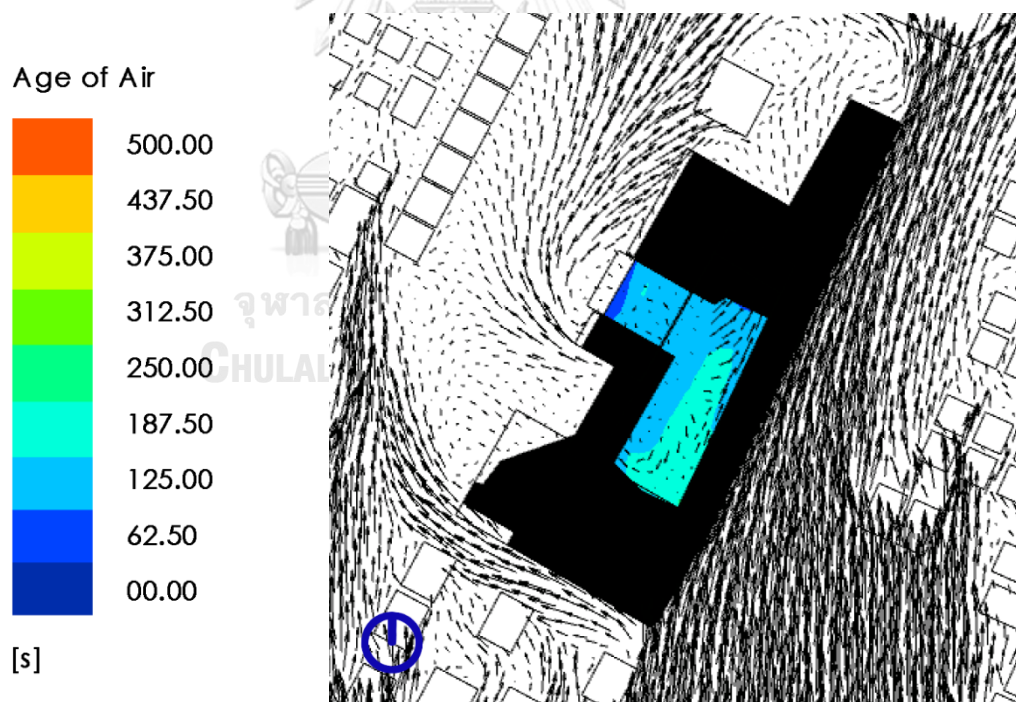
กรณี 1A.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.1 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1A.1



ภาพที่ 4.2 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1A.1



ภาพที่ 4.3 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1A.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 1A.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ ลมจะพัดผ่านช่องเปิดของอาคารไป มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ อีกทั้งเป็นการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation จึงมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1A.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.32	0.53	m/s
Air Change Rate	9.32			ACH
PM2.5 (In)	0.00	86.01	54.17	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	3.44	2.17	-
Age of Air	12.61	214.19	111.25	s

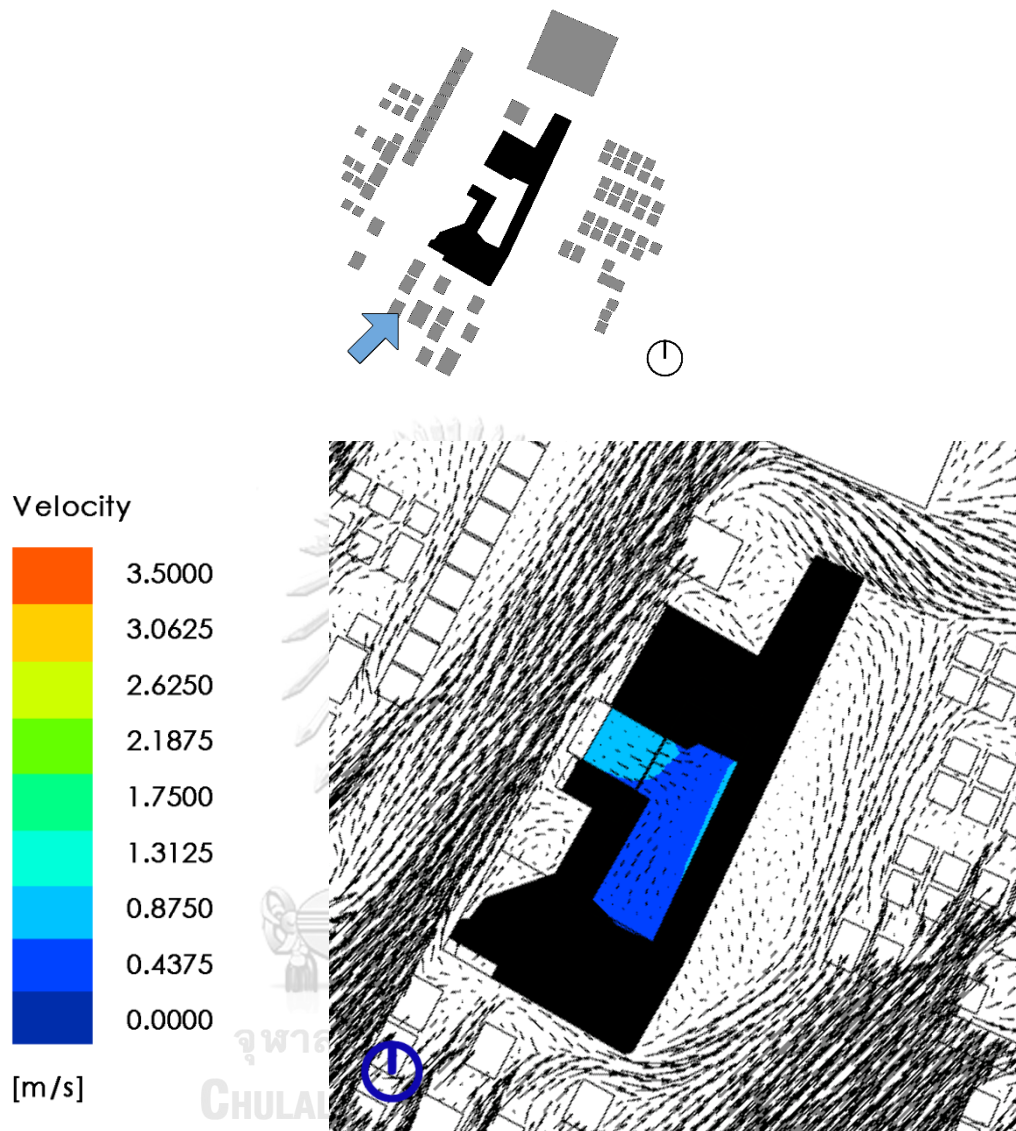
การวิเคราะห์กรณี 1A.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.1 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 1A.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.53 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณที่ใกล้กับช่องลมเข้าเท่ากับ 1.32 เมตรต่อวินาที

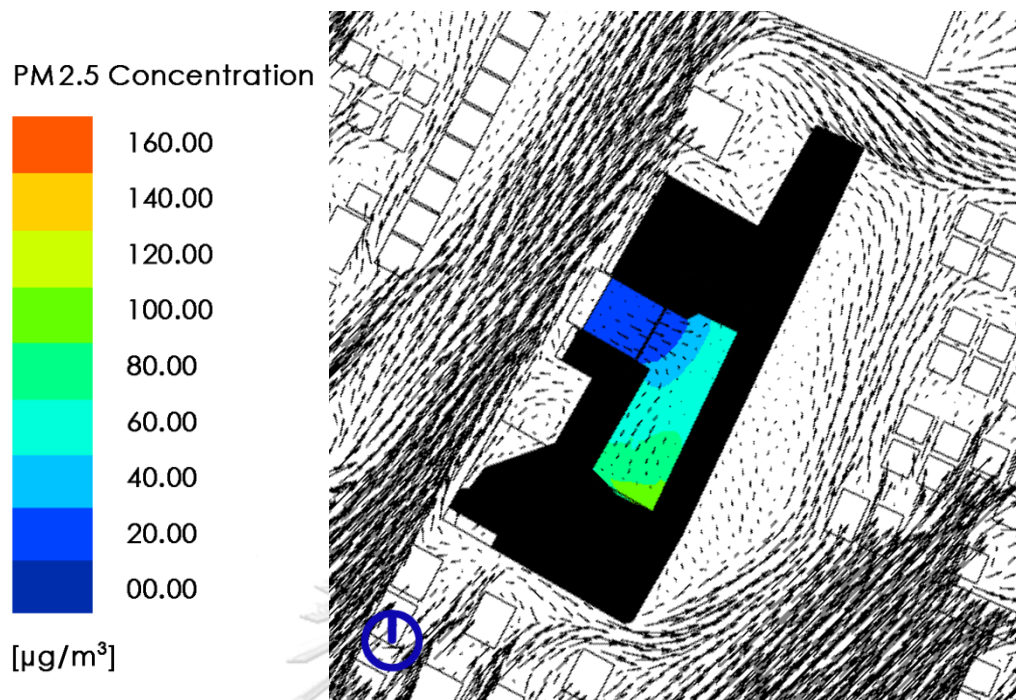
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.1 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 1A.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 54.17 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 2.17 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.1 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 1A.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 111.25 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 214.19 วินาที

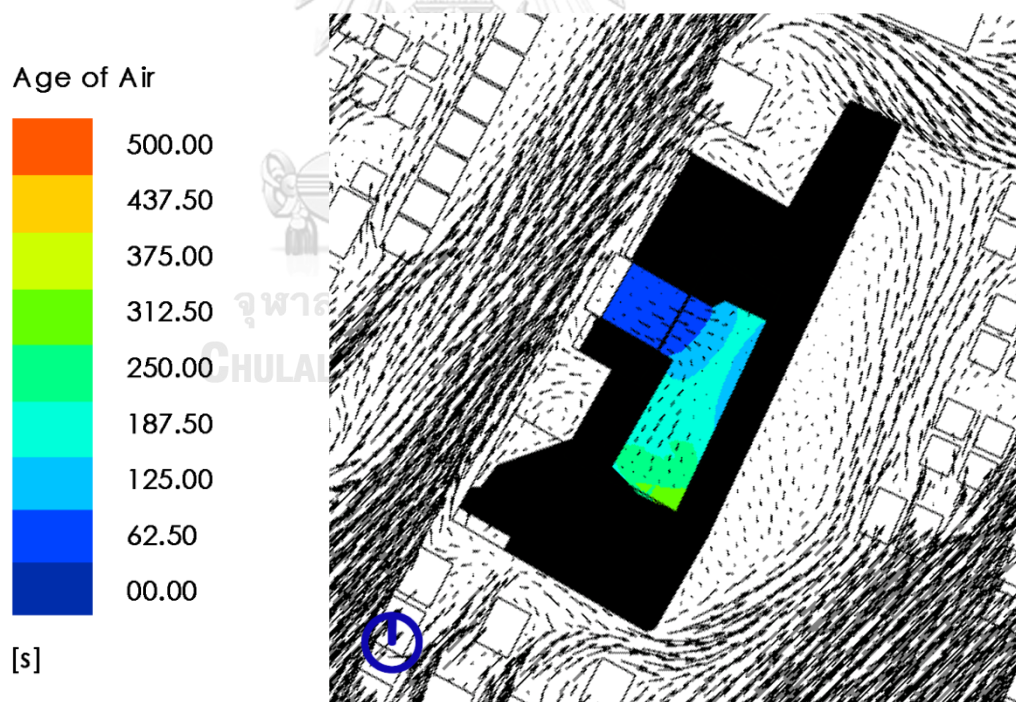
กรณี 1A.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.4 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1A.2



ภาพที่ 4.5 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1A.2



ภาพที่ 4.6 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1A.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 1A.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดใกล้เคียงกับทิศทางของลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง เพียงแต่รูปแบบของผังอาคาร ทำให้เกิดการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation จึงมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำ แม้จะมีทิศทางของช่องเปิดที่สอดคล้องกับทิศทางลม

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1A.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.72	0.34	m/s
Air Change Rate	20.61			ACH
PM2.5 (In)	0.00	100.36	41.96	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	4.01	1.68	-
Age of Air	1.80	308.37	120.83	s

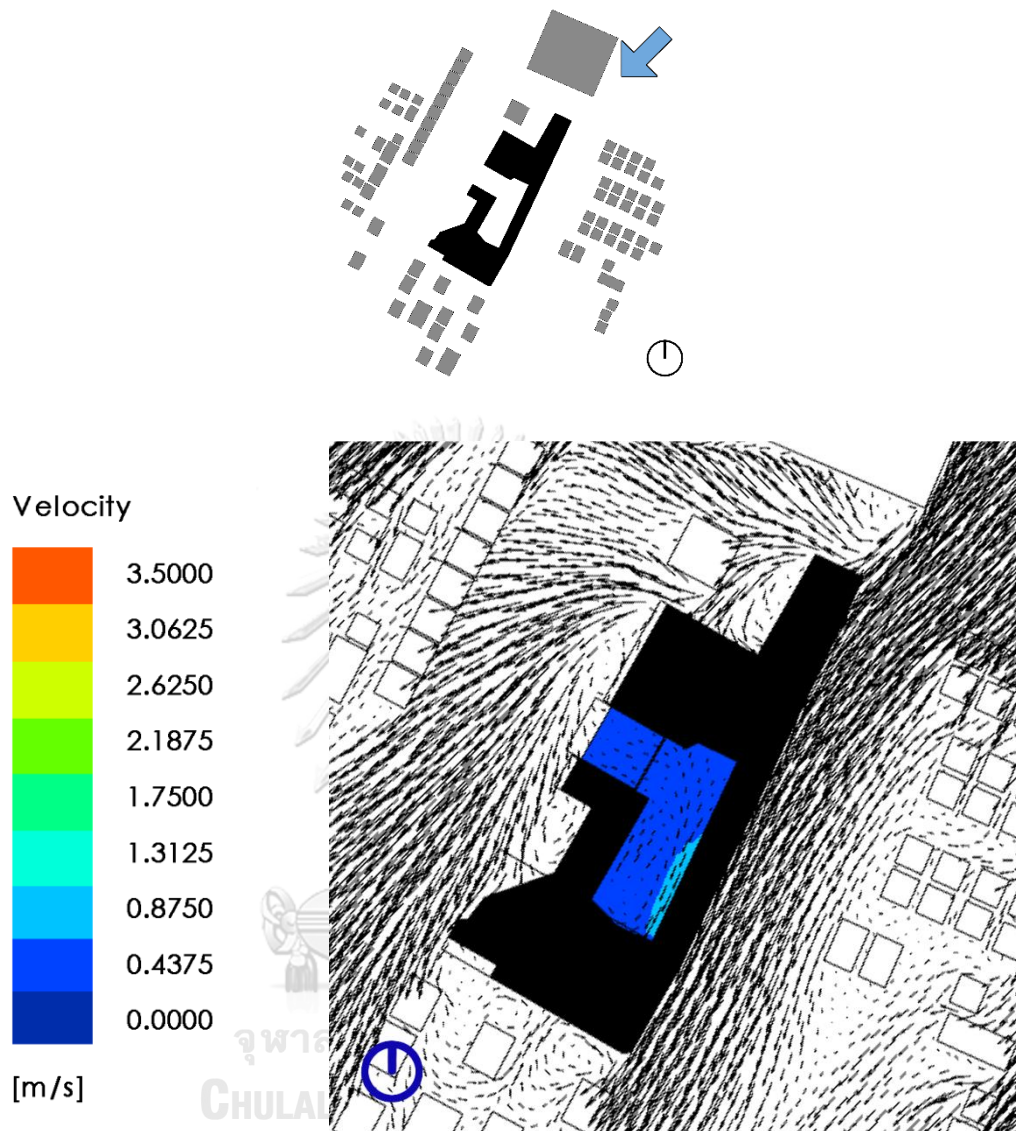
การวิเคราะห์กรณี 1A.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.2 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 1A.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.34 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.72 เมตรต่อวินาที

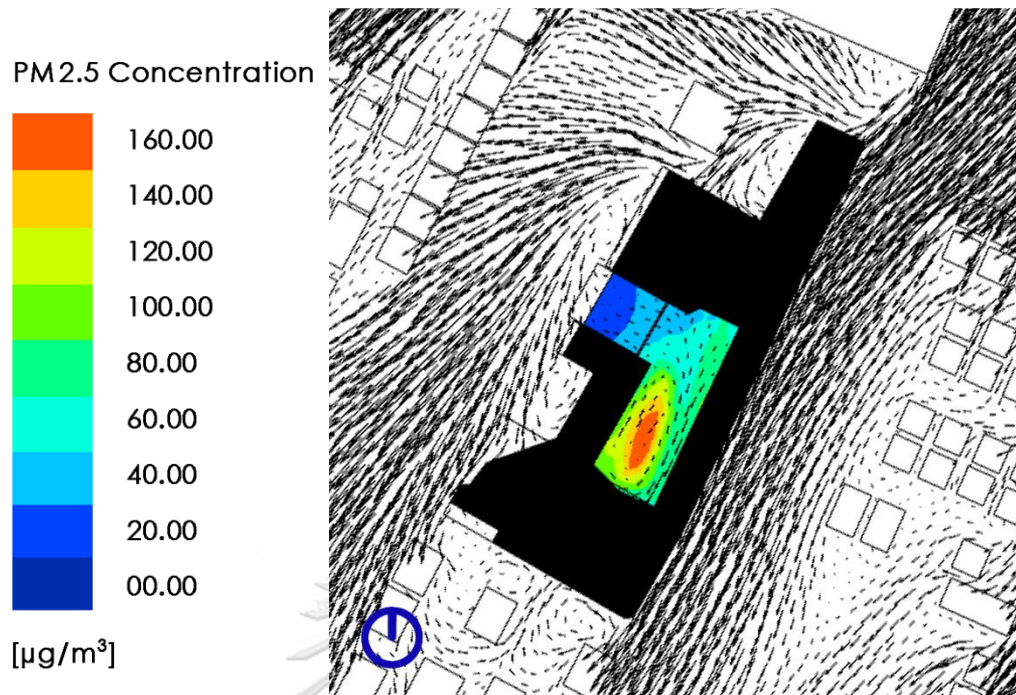
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.2 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 1A.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 41.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.68 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.2 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 1A.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 120.83 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 308.37 วินาที

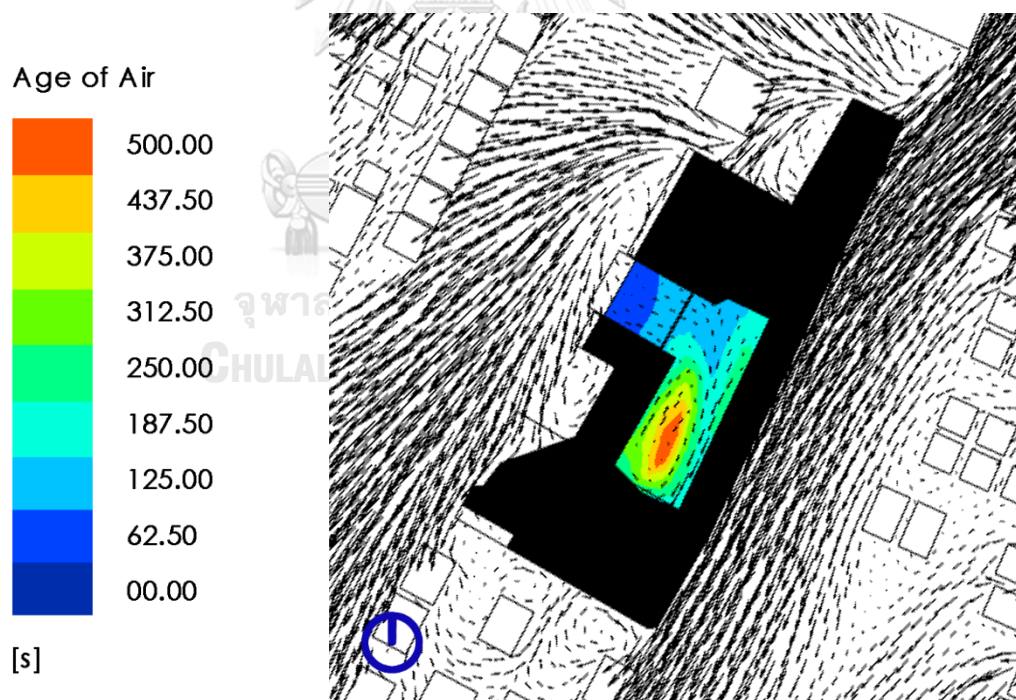
กรณี 1A.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.7 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1A.3



ภาพที่ 4.8 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1A.3



ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1A.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 1A.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ มีเพียงลมบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ อีกทั้งเป็นการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation จึงมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1A.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.75	0.26	m/s
Air Change Rate	7.73			ACH
PM2.5 (In)	0.00	160.27	64.88	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	6.41	2.60	-
Age of Air	5.38	484.46	179.82	s

การวิเคราะห์กรณี 1A.3

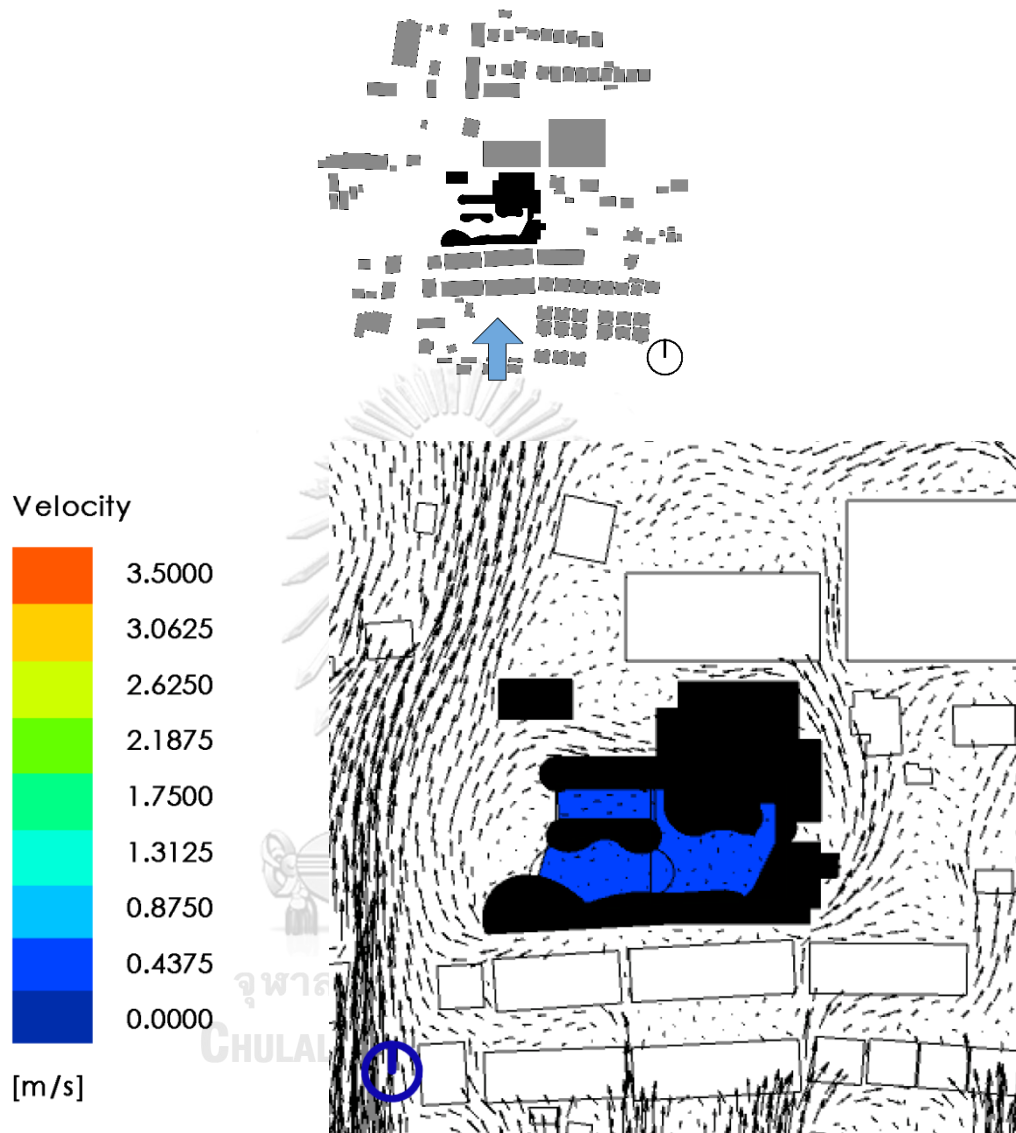
- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.3 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 1A.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.26 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.75 เมตรต่อวินาที

- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.3 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 1A.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 64.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 2.60 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

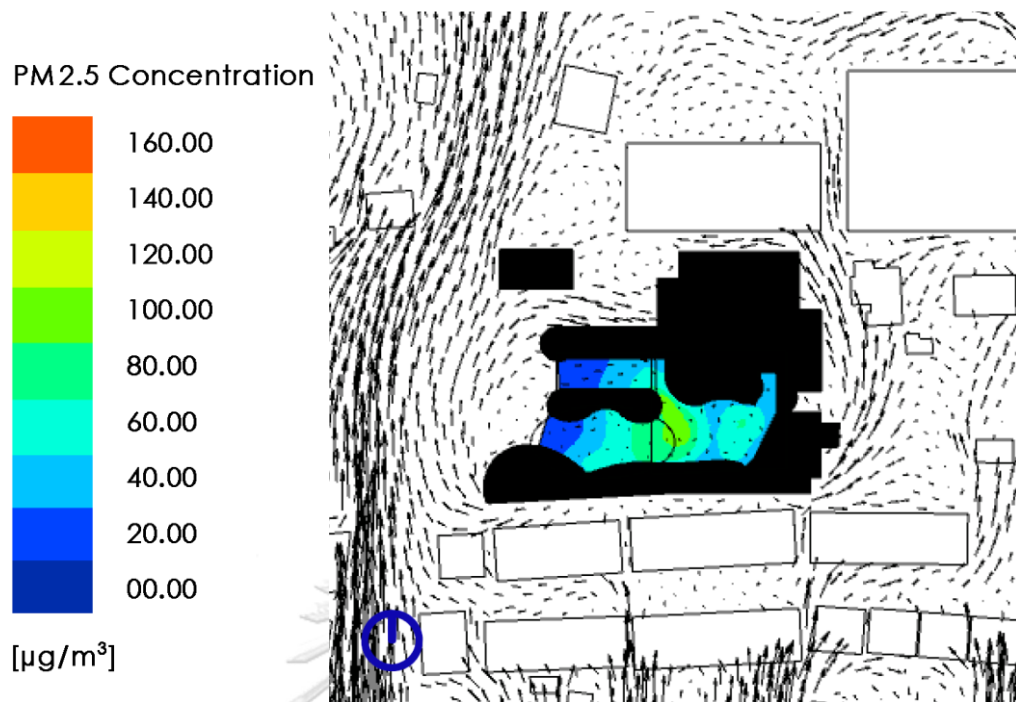
- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.3 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 1A.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 179.82 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 484.46 วินาที

4.1.2 อาคารกรณีศึกษา 1B

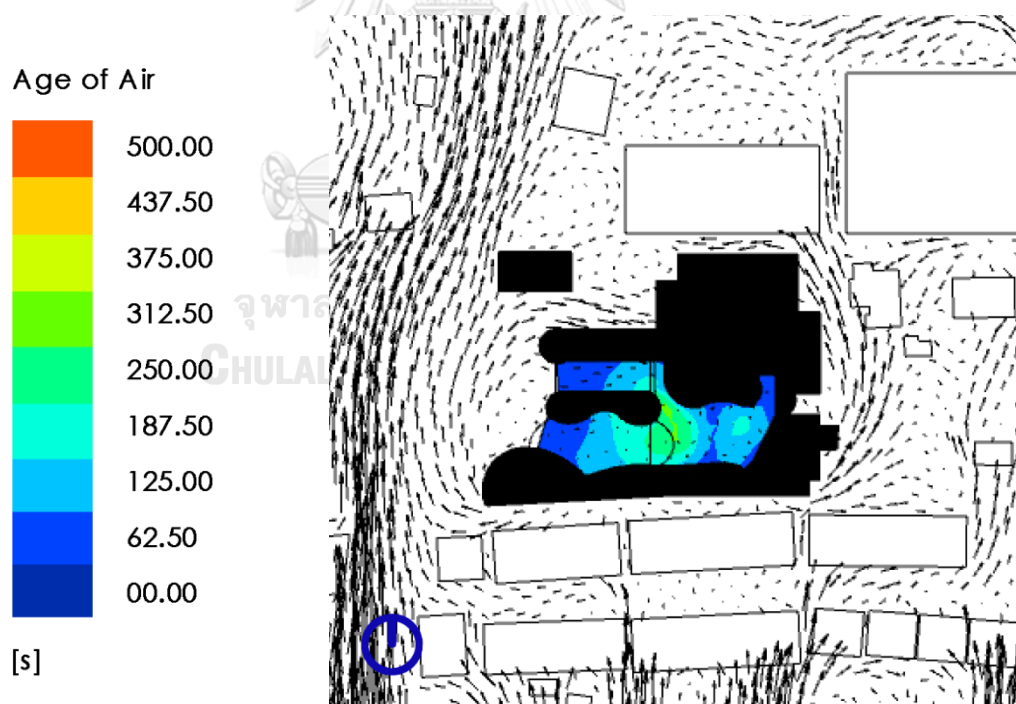
กรณี 1B.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.10 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1B.1



ภาพที่ 4.11 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1B.1



ภาพที่ 4.12 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1B.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 1B.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ ลมจะพัดผ่านช่องเปิดของอาคารไป มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ อีกทั้งเป็นการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation จึงมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1B.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.30	0.14	m/s
Air Change Rate	14.22			ACH
PM2.5 (In)	0.00	93.14	44.64	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	3.73	1.79	-
Age of Air	2.95	259.50	107.87	s

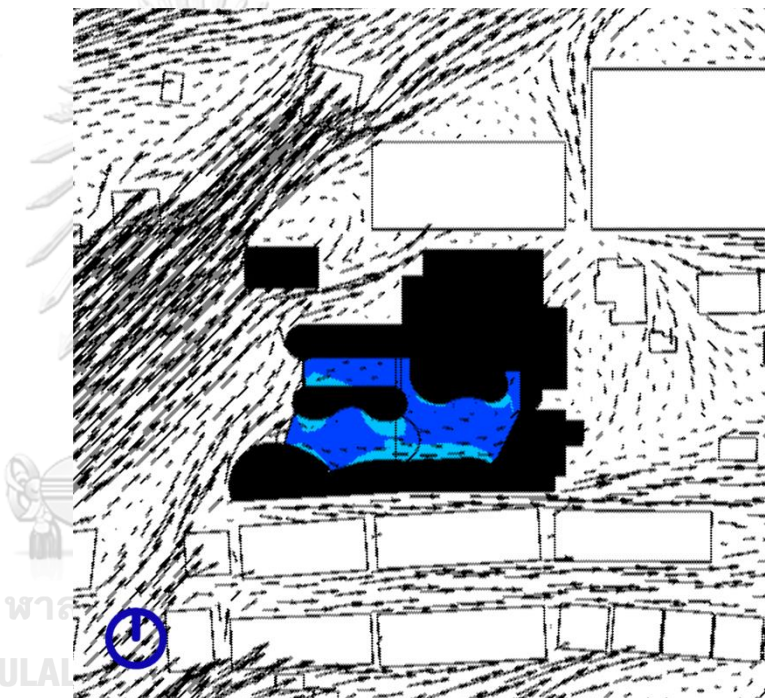
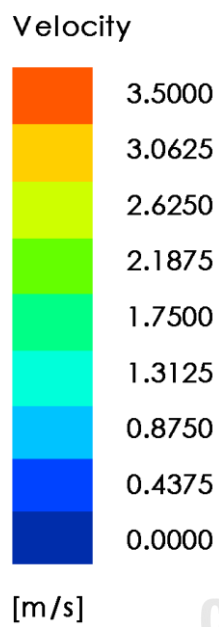
การวิเคราะห์กรณี 1B.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.4 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 1B.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.14 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.30 เมตรต่อวินาที

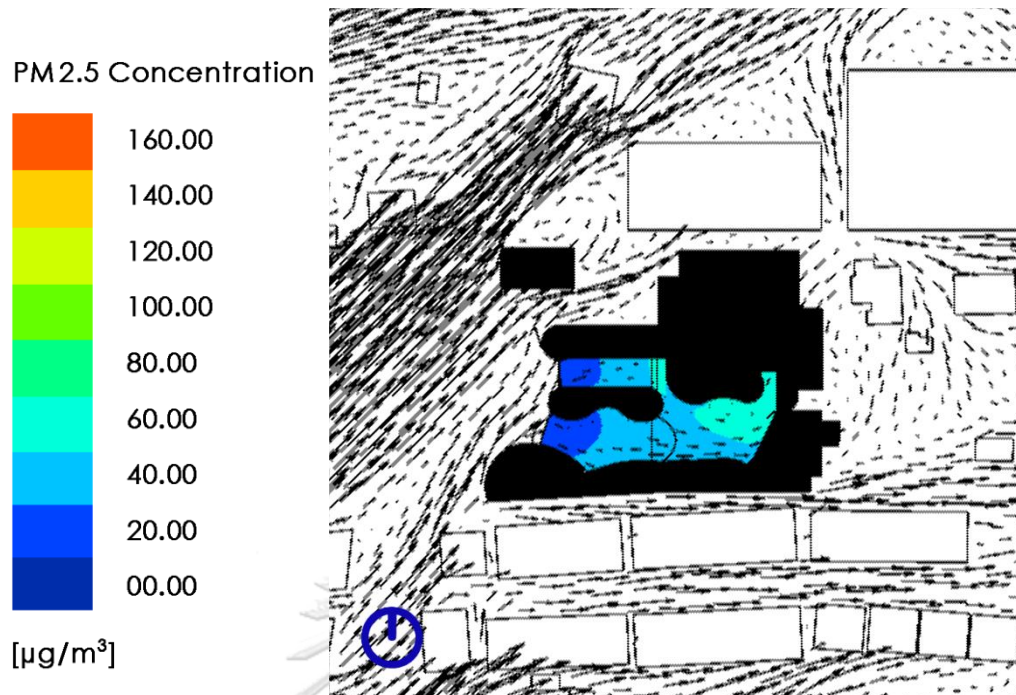
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.4 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 1B.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 44.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.79 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.4 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 1B.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 107.87 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 259.50 วินาที

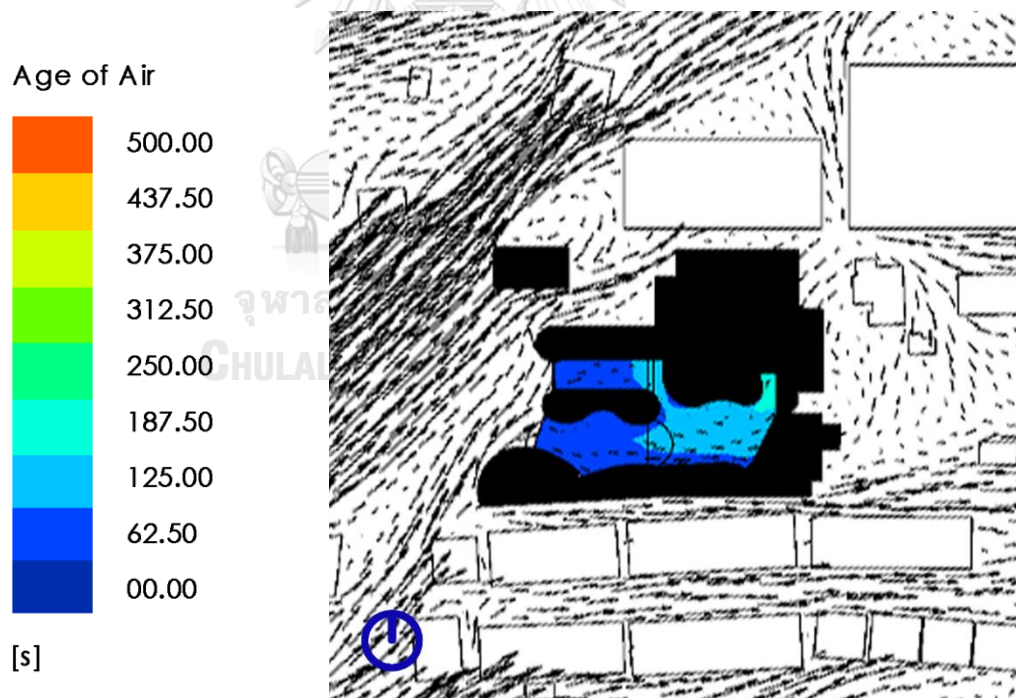
กรณี 1B.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.13 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1B.2



ภาพที่ 4.14 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1B.2



ภาพที่ 4.15 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1B.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 1B.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดใกล้เคียงกับทิศทางของลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง เพียงแต่รูปแบบของผังอาคาร ทำให้เกิดการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation จึงมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำ แม้จะมีทิศทางของช่องเปิดที่สอดคล้องกับทิศทางลม

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1B.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.75	0.37	m/s
Air Change Rate	23.04			ACH
PM2.5 (In)	0.00	59.92	32.50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.40	1.30	-
Age of Air	1.14	150.03	61.40	s

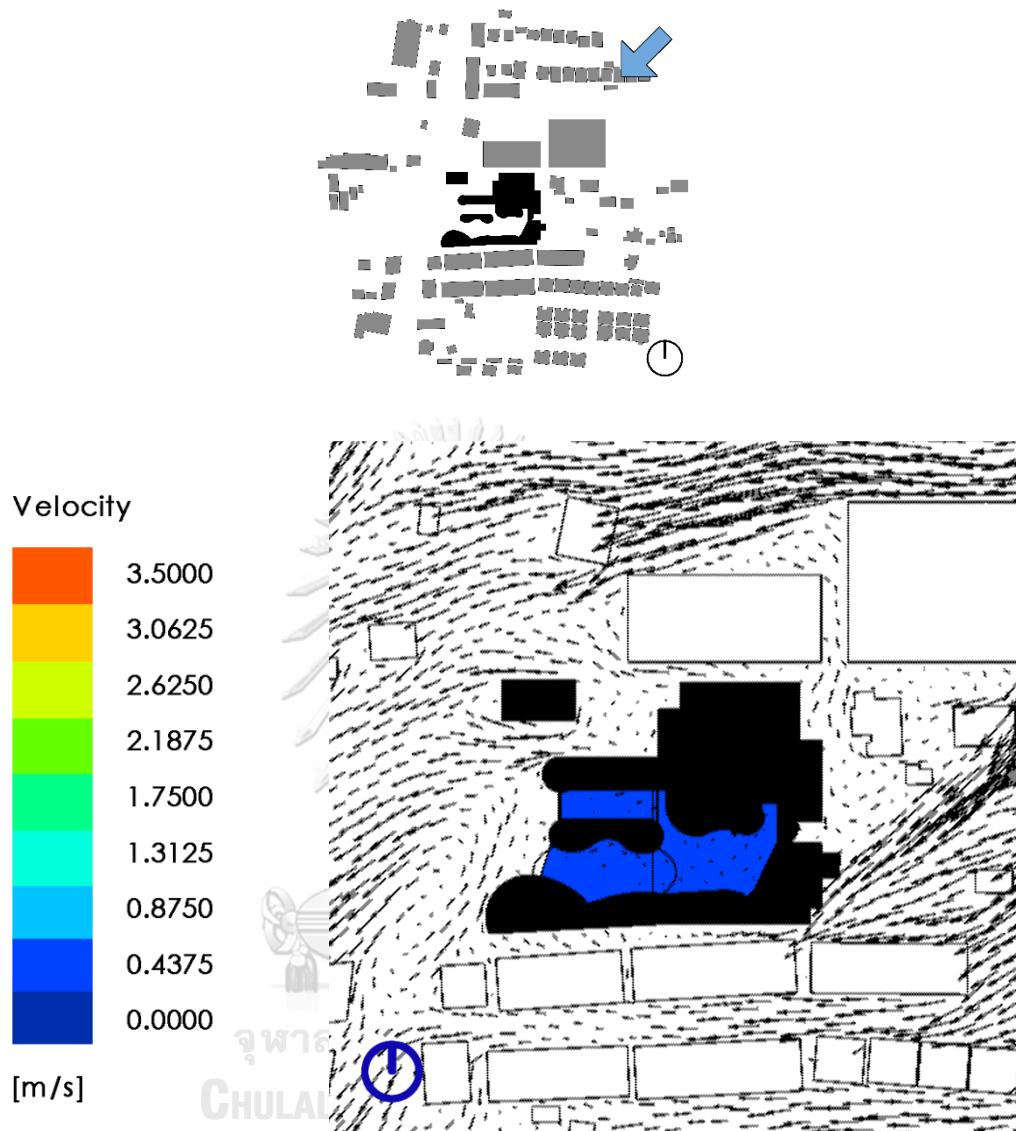
การวิเคราะห์กรณี 1B.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.5 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 1B.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.37 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.75 เมตรต่อวินาที

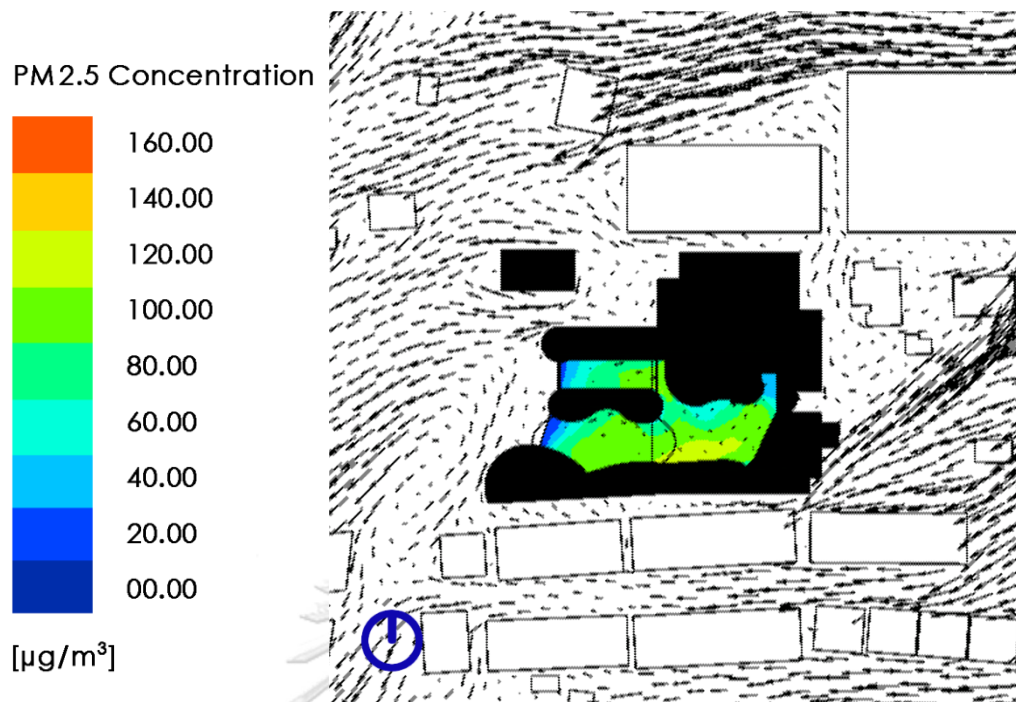
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.5 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 1B.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 32.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.30 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.5 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 1B.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 61.40 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 150.03 วินาที

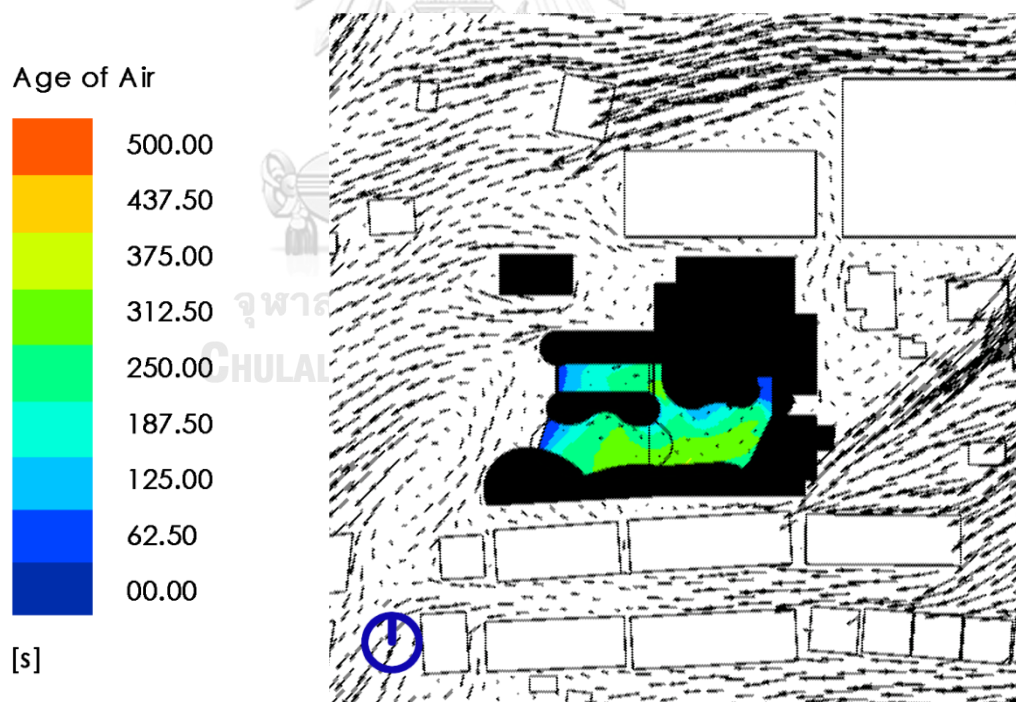
กรณี 1B.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.16 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 1B.3



ภาพที่ 4.17 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 1B.3



ภาพที่ 4.18 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 1B.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 1B.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ มีเพียงลมบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ อีกทั้งเป็นการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation จึงมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 1B.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.39	0.15	m/s
Air Change Rate	8.82			ACH
PM2.5 (In)	0.00	112.82	63.66	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	4.51	2.55	-
Age of Air	5.80	315.49	158.89	s

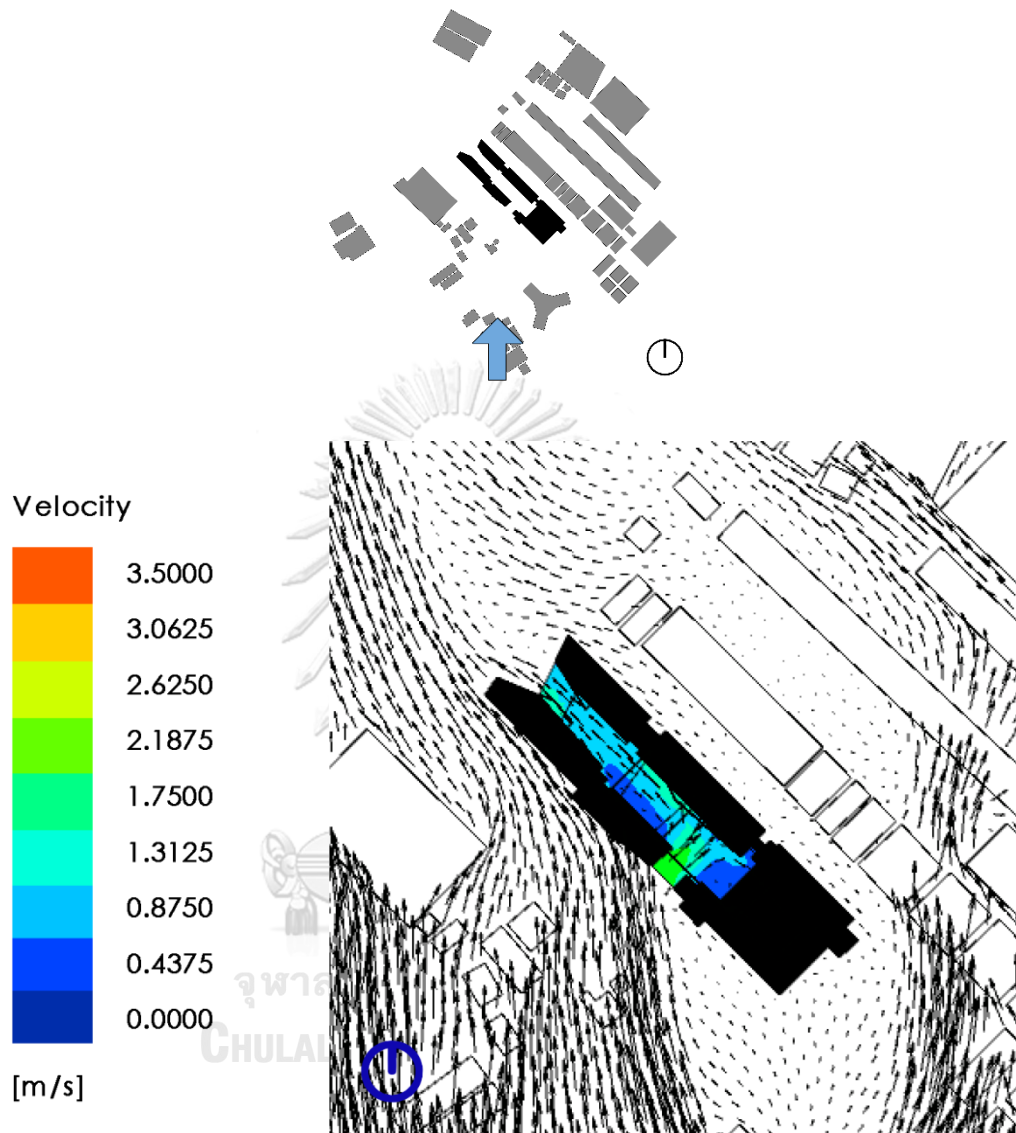
การวิเคราะห์กรณี 1B.3

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.6 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 1B.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.39 เมตรต่อวินาที

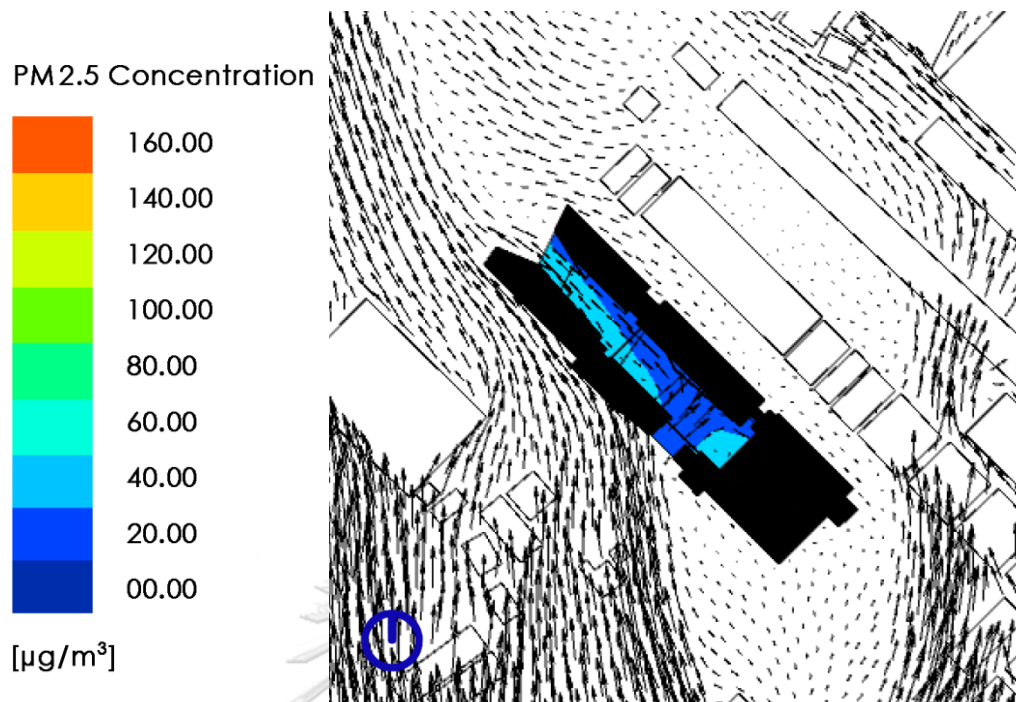
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.6 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 1B.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 63.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 2.55 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.6 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 1B.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 158.89 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 315.49 วินาที

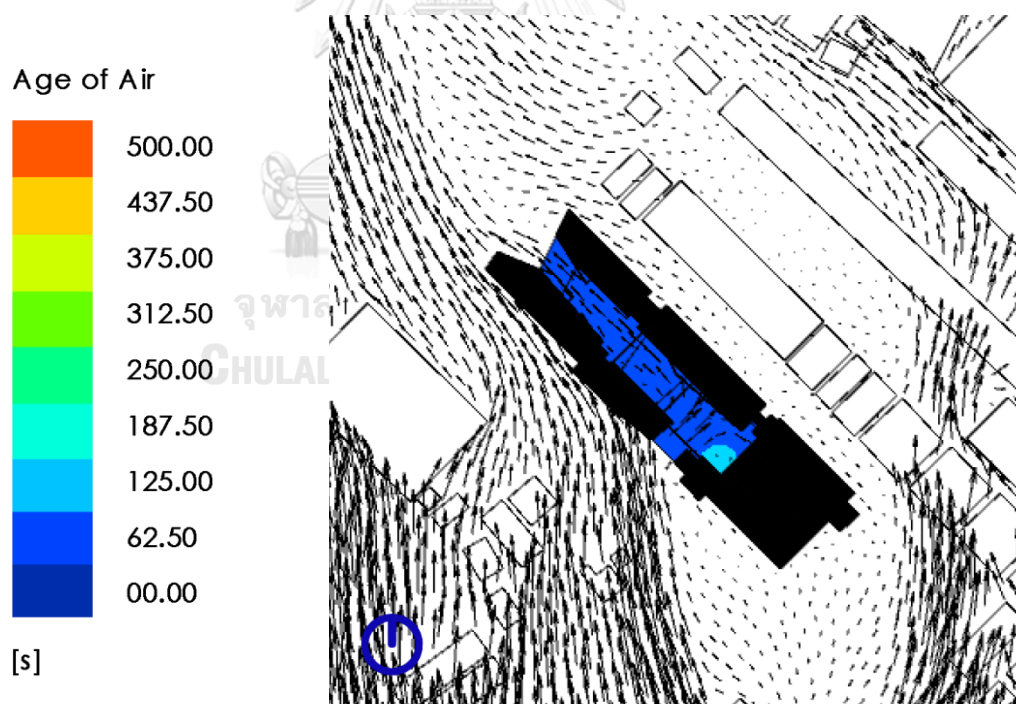
4.1.3 อาคารกรณีศึกษา 2A
กรณี 2A.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.19 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 2A.1



ภาพที่ 4.20 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 2A.1



ภาพที่ 4.21 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 2A.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 2A.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 2 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้า และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ดี แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนเป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2A.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.86	0.78	m/s
Air Change Rate	43.97			ACH
PM2.5 (In)	0.00	43.73	20.28	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.75	0.81	-
Age of Air	0.68	112.12	34.76	s

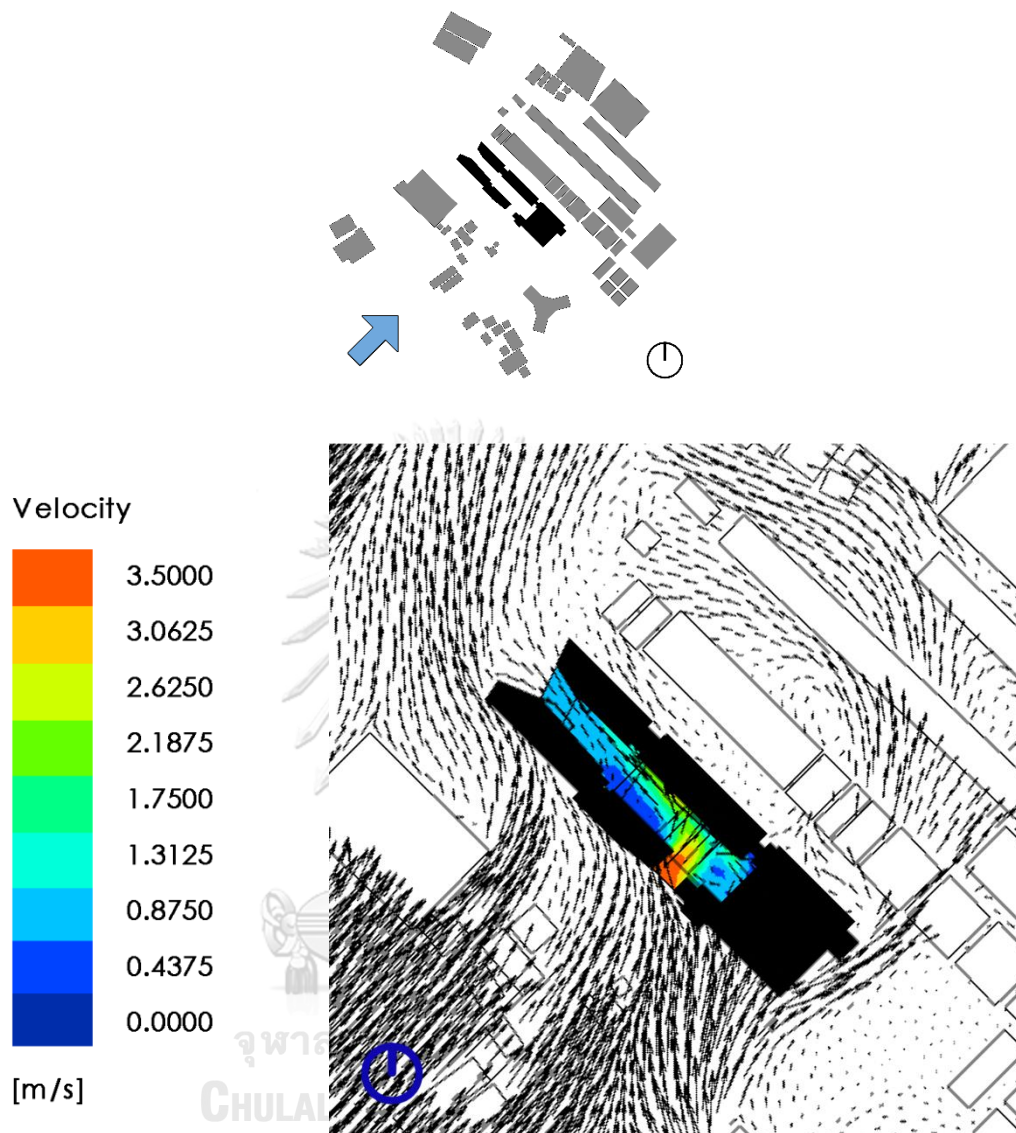
การวิเคราะห์กรณี 2A.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.7 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 2A.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.78 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 1.86 เมตรต่อวินาที

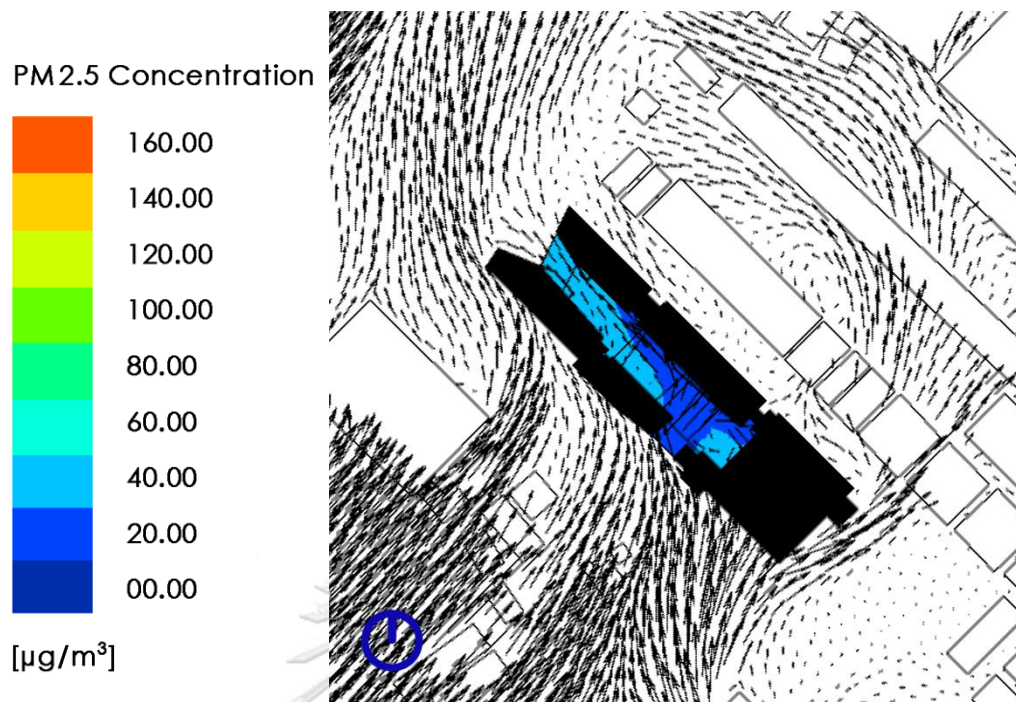
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.7 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 2A.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 20.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.81 ซึ่งมิต้าน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.7 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 2A.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 34.76 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 112.12 วินาที

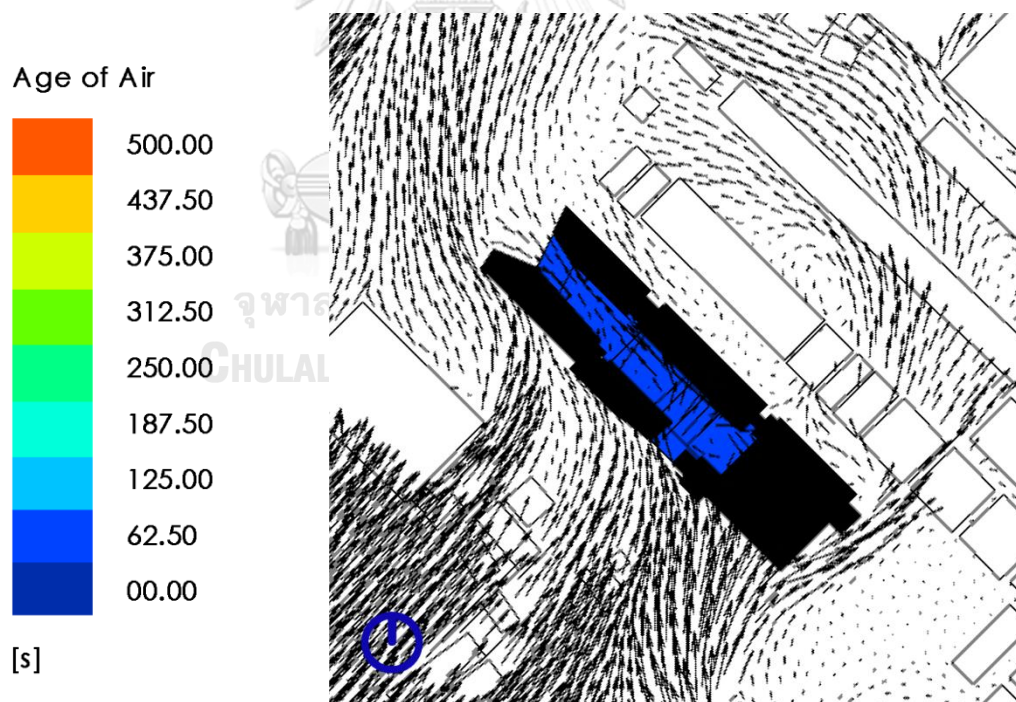
กรณี 2A.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.22 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 2A.2



ภาพที่ 4.23 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 2A.2



ภาพที่ 4.24 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 2A.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 2A.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 2 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ดี แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนเป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2A.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	3.50	1.16	m/s
Air Change Rate	90.55			ACH
PM2.5 (In)	0.00	28.97	17.80	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.16	0.71	-
Age of Air	0.35	43.59	18.59	s

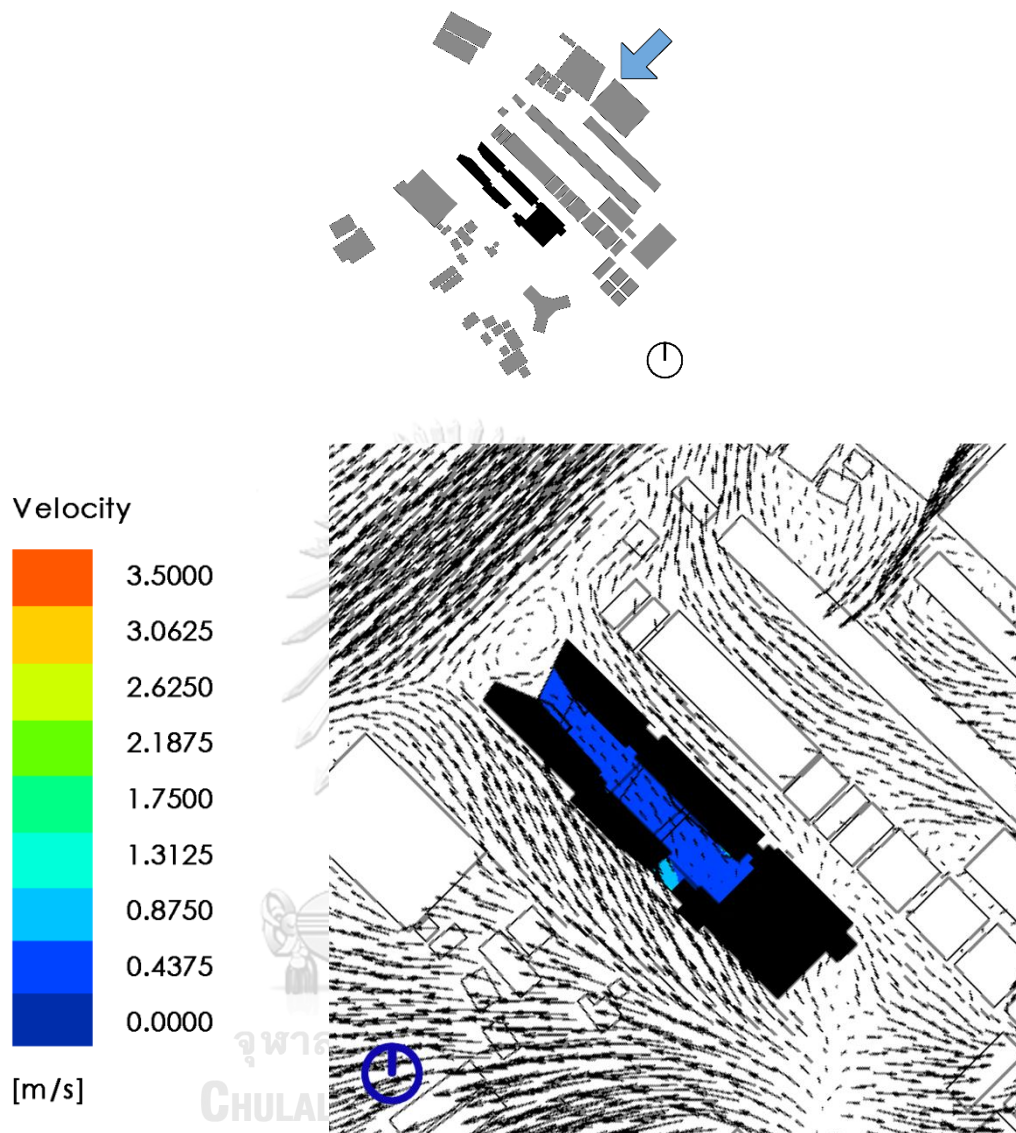
การวิเคราะห์กรณี 2A.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.8 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 2A.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.16 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 3.50 เมตรต่อวินาที

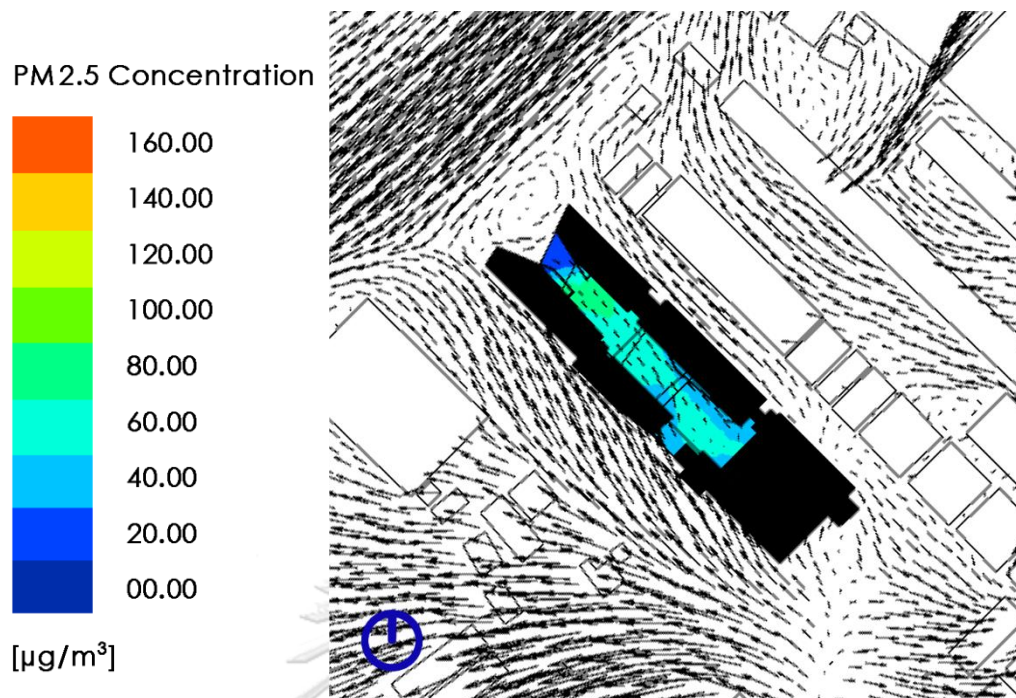
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.8 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 2A.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 17.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.71 ซึ่งมิต้าน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.8 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 2A.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 18.59 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 43.59 วินาที

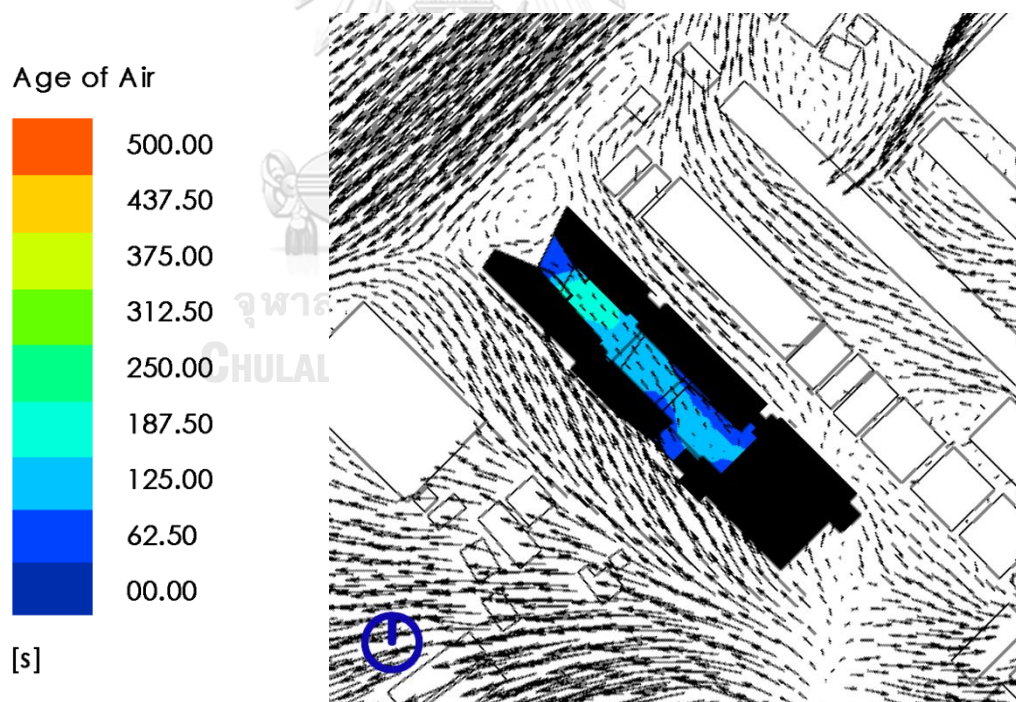
กรณี 2A.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.25 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 2A.3



ภาพที่ 4.26 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 2A.3



ภาพที่ 4.27 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 2A.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 2A.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ มีเพียงลมบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ แต่เนื่องจากการมีด้านเปิด 2 ด้าน ทำให้มีช่องลมเข้า และช่องลมออกที่ต่างด้านกัน จึงช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2A.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.93	0.29	m/s
Air Change Rate	9.65			ACH
PM2.5 (In)	0.00	71.70	41.77	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.87	1.67	-
Age of Air	3.68	172.02	76.80	s

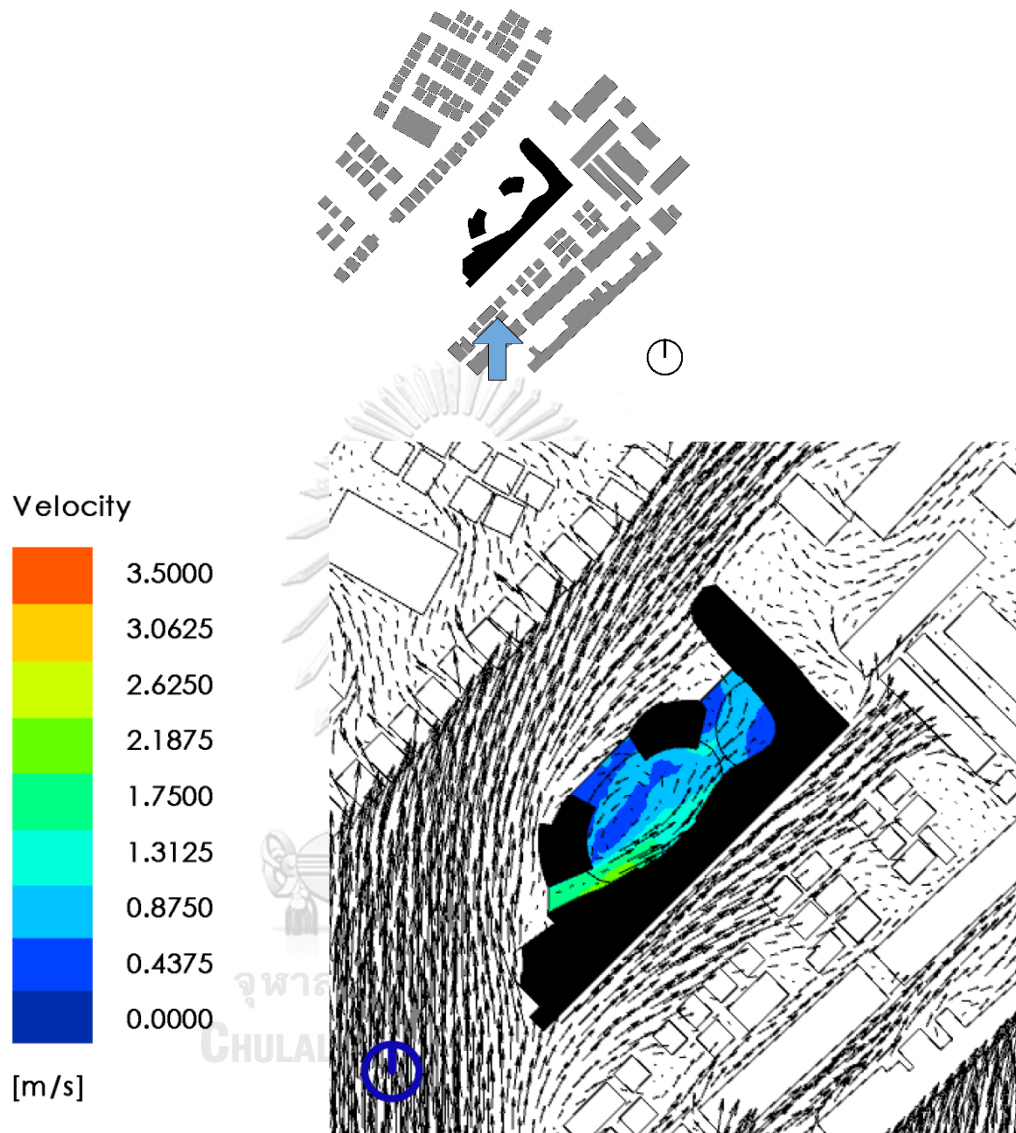
การวิเคราะห์กรณี 2A.3

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.9 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 2A.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.29 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.93 เมตรต่อวินาที

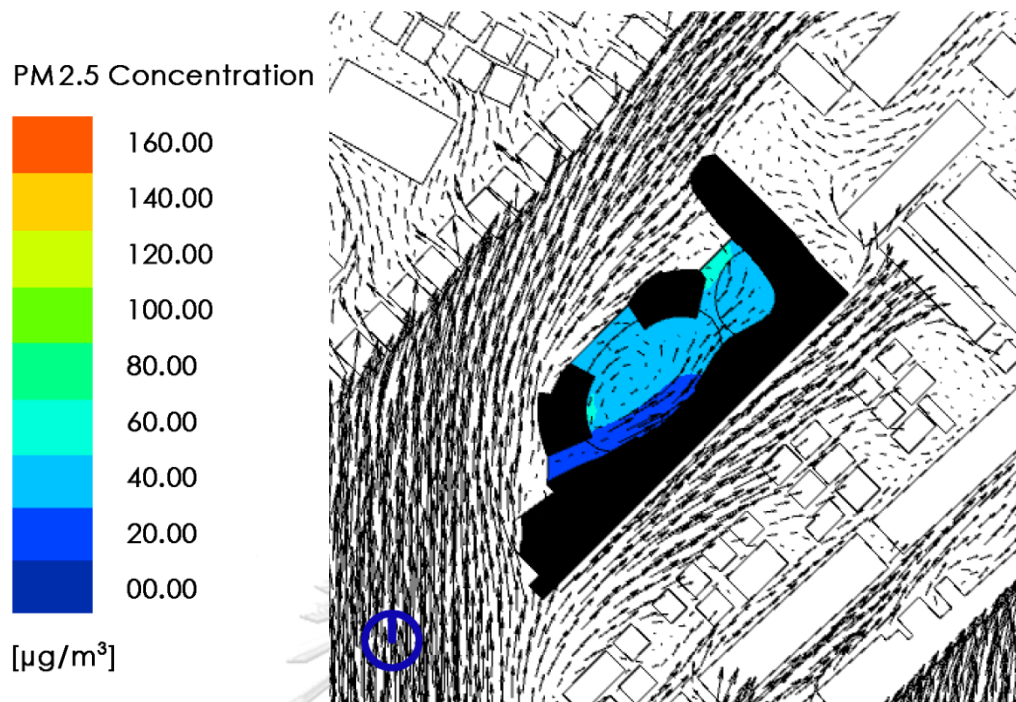
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.9 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 2A.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 41.77 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.67 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.9 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 2A.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 76.80 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 172.02 วินาที

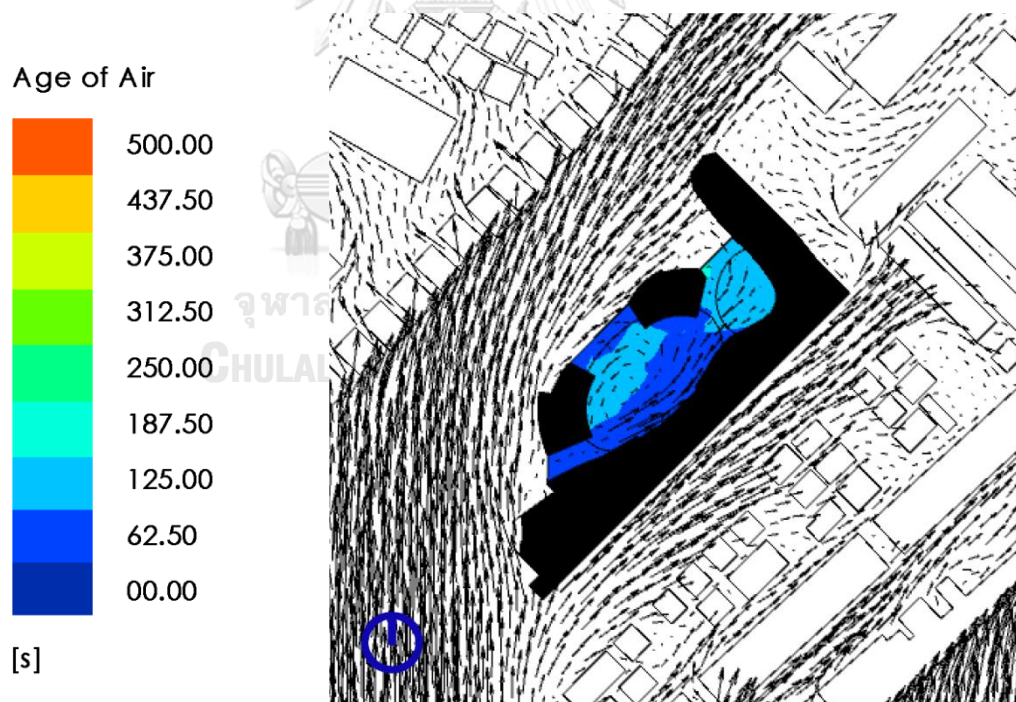
4.1.4 อาคารกรณีศึกษา 2B
กรณี 2B.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.28 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 2B.1



ภาพที่ 4.29 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 2B.1



ภาพที่ 4.30 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 2B.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 2B.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดใกล้เคียงกับทิศทางของลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 2 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้าและช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ดี แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนเป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2B.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.95	0.72	m/s
Air Change Rate	24.13			ACH
PM2.5 (In)	0.00	48.29	27.52	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.93	1.10	-
Age of Air	0.61	131.98	58.63	s

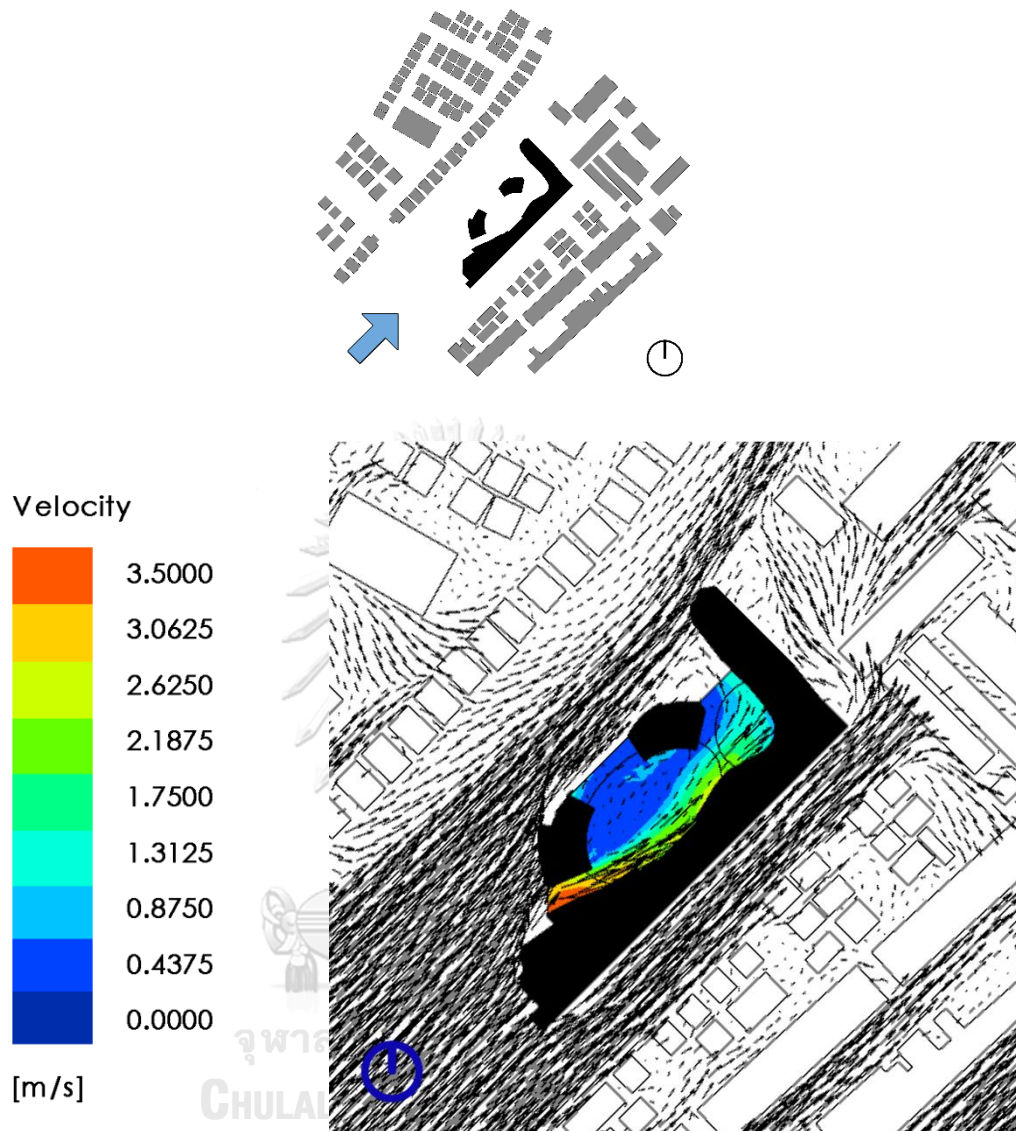
การวิเคราะห์กรณี 2B.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.10 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 2B.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.72 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 1.95 เมตรต่อวินาที

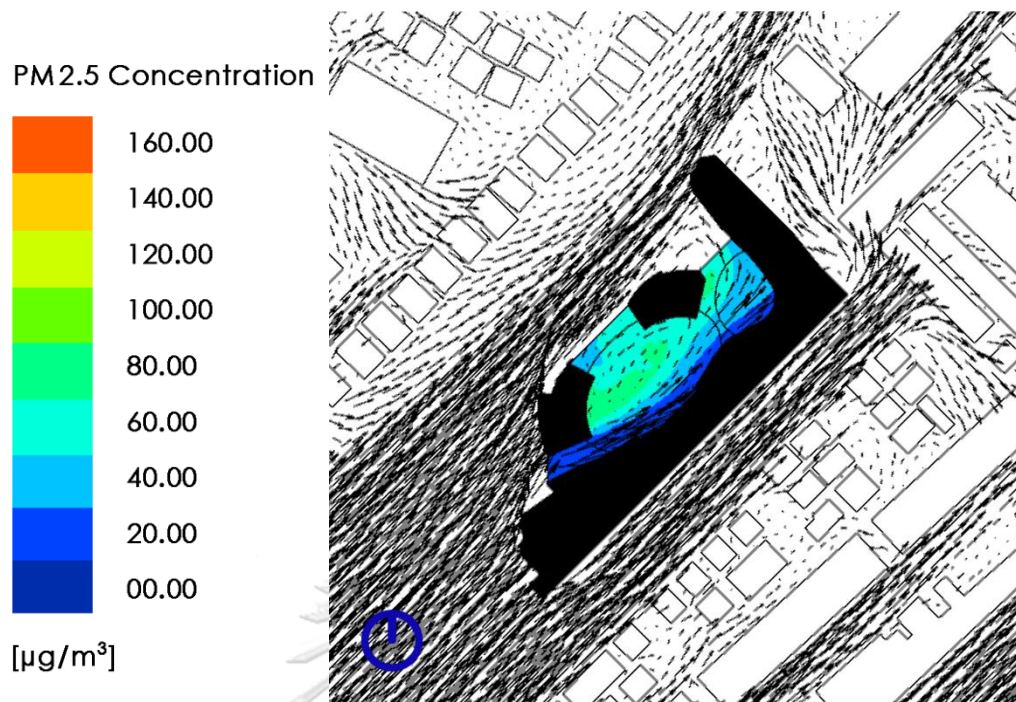
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.10 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 2B.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 27.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.10 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.10 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 2B.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 58.63 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 131.98 วินาที

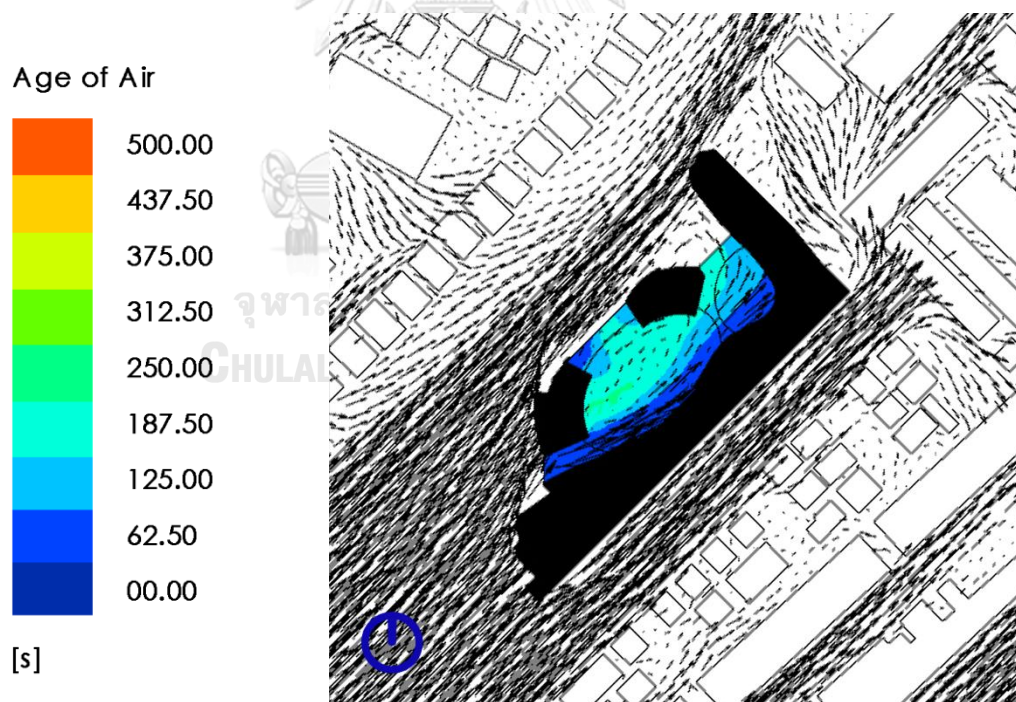
กรณี 2B.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.31 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 2B.2



ภาพที่ 4.32 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 2B.2



ภาพที่ 4.33 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 2B.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 2B.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 2 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ดี แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนเป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2B.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	3.48	1.05	m/s
Air Change Rate	48.44			ACH
PM2.5 (In)	0.00	70.74	36.62	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.83	1.46	-
Age of Air	0.39	196.11	93.85	s

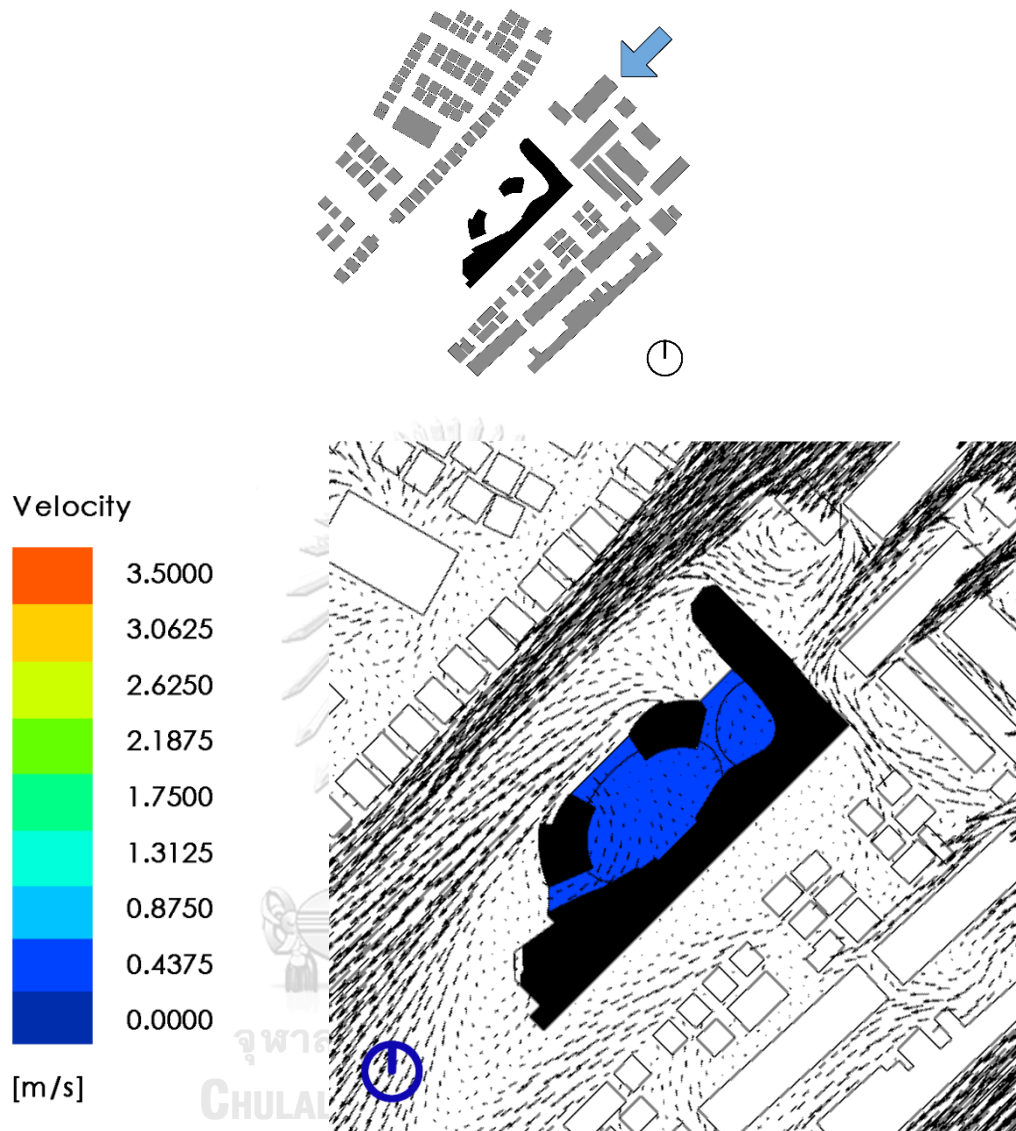
การวิเคราะห์กรณี 2B.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.11 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 2B.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.05 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 3.48 เมตรต่อวินาที

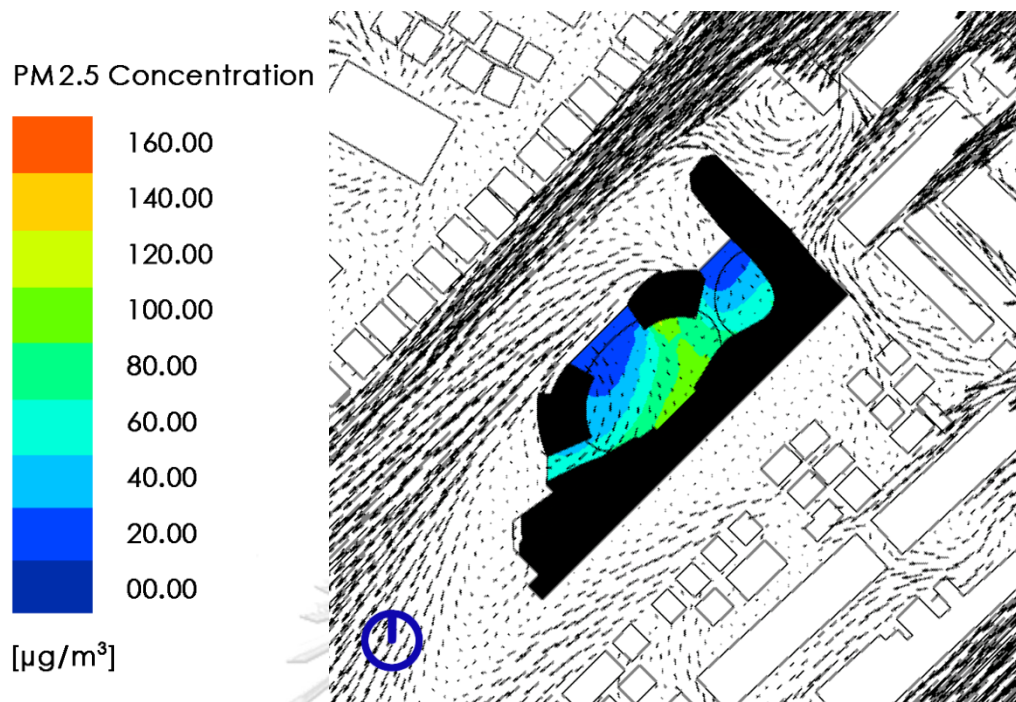
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.11 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 2B.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 36.62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.46 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.11 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 2B.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 93.85 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 196.11 วินาที

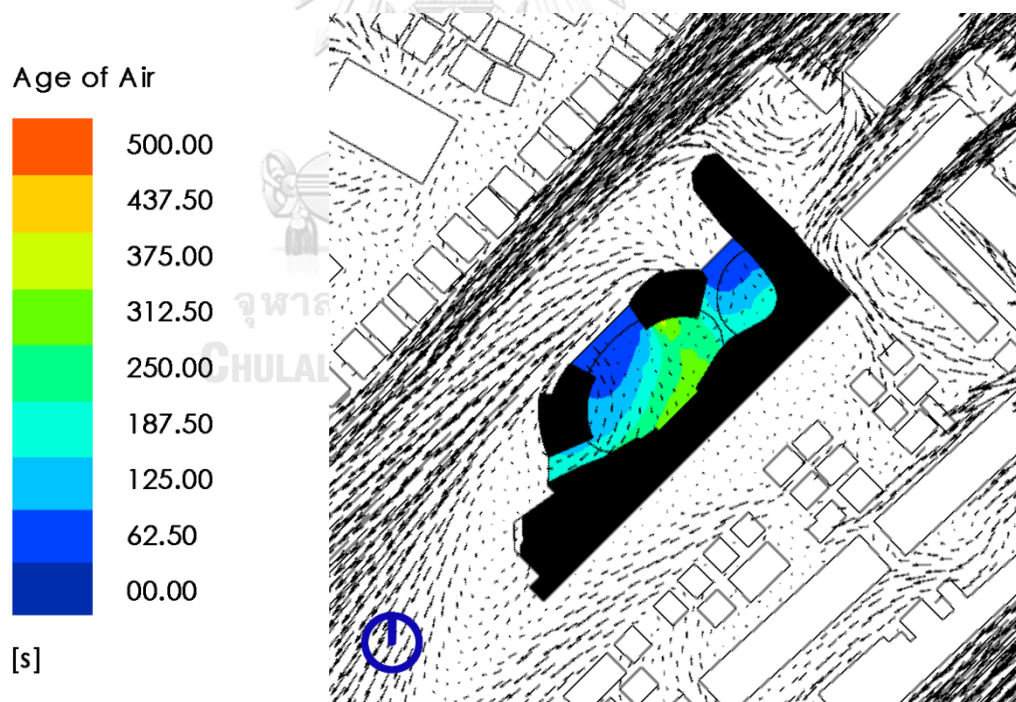
กรณี 2B.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.34 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 2B.3



ภาพที่ 4.35 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 2B.3



ภาพที่ 4.36 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 2B.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 2B.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ มีเพียงลมบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ แต่เนื่องจากการมีด้านเปิด 2 ด้าน ทำให้มีช่องลมเข้า และช่องลมออกที่ต่างด้านกัน จึงช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 2B.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	0.37	0.18	m/s
Air Change Rate	22.25			ACH
PM2.5 (In)	0.00	104.38	46.22	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	4.18	1.85	-
Age of Air	3.90	333.98	139.22	s

การวิเคราะห์กรณี 2B.3

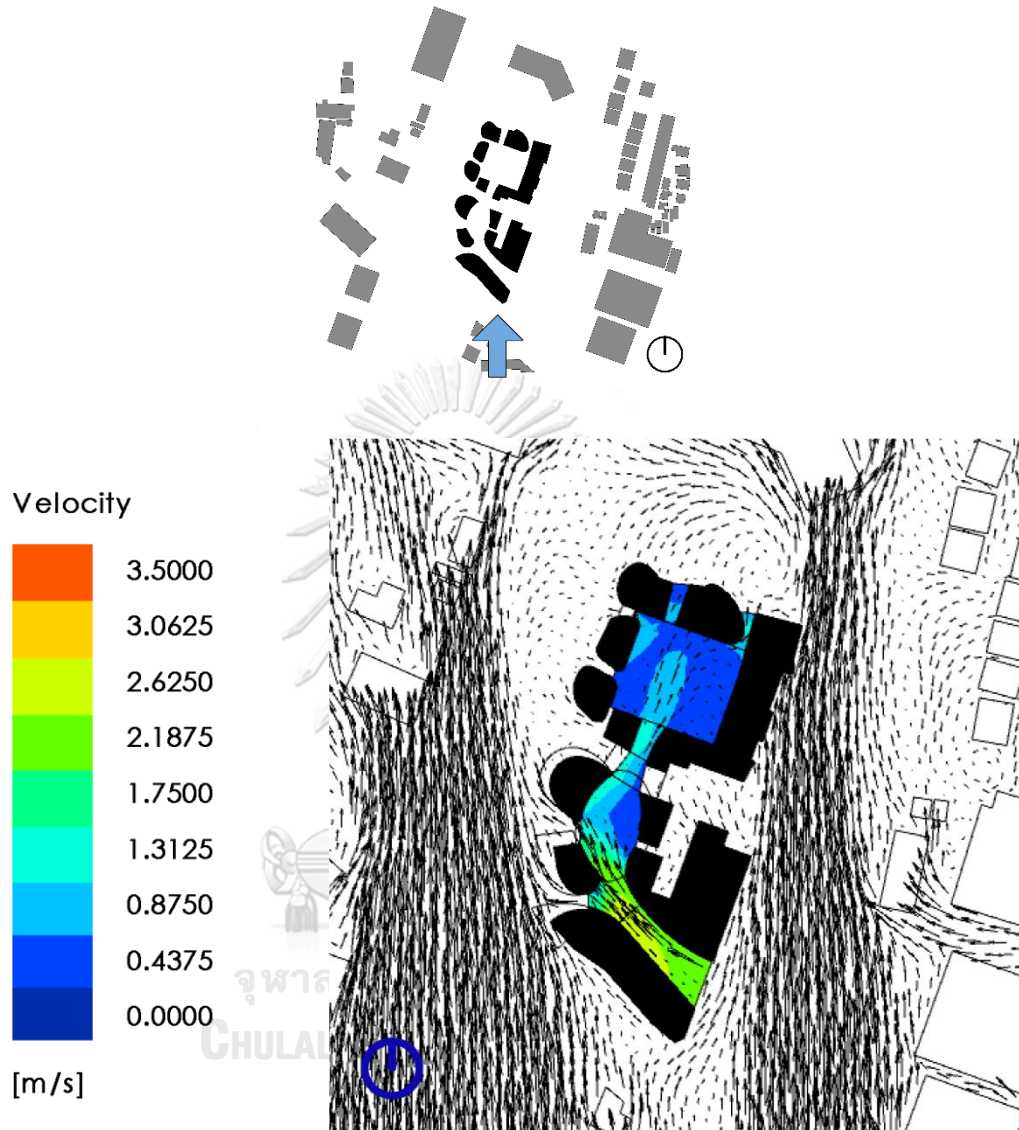
- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.12 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 2B.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.18 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 0.37 เมตรต่อวินาที

- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.12 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 2B.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 46.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.85 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

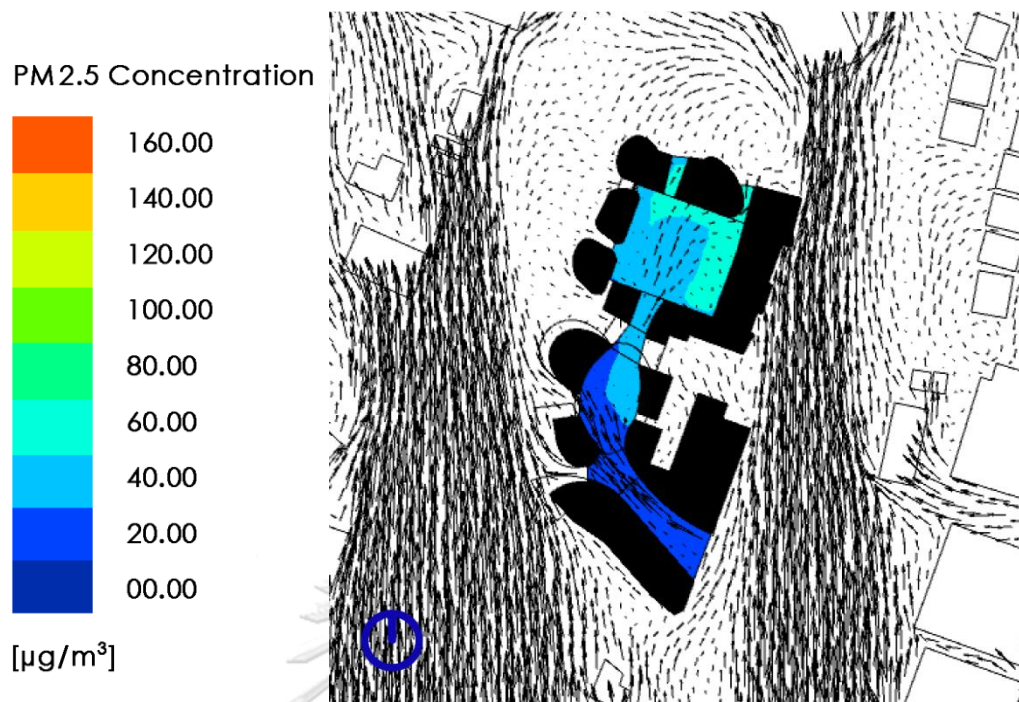
- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.12 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 2B.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 139.22 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 333.98 วินาที

4.1.5 อาคารกรณีศึกษา 3A

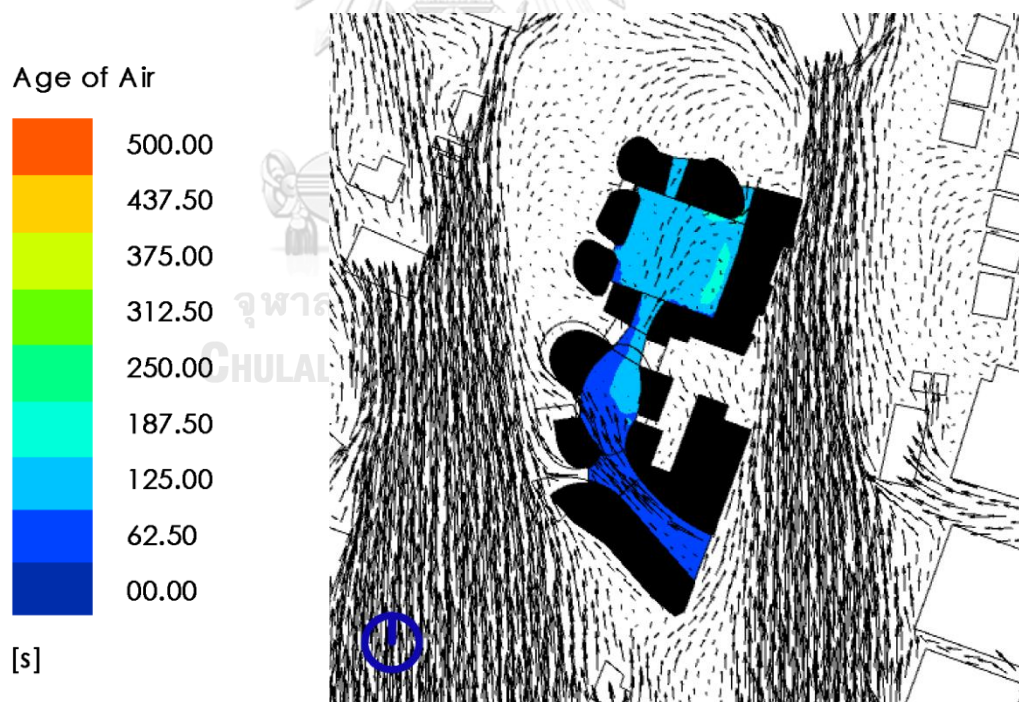
กรณี 3A.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.37 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 3A.1



ภาพที่ 4.38 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3A.1



ภาพที่ 4.39 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3A.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 3A.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ โดยด้านที่บของอาคารขวางทิศทางลม มีเพียงลมบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่งนั้นมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ แต่เนื่องจากการมีด้านเปิด 3 ด้าน ทำให้มีช่องลมเข้าและช่องลมออก ช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศ

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3A.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.61	0.91	m/s
Air Change Rate	43.83			ACH
PM2.5 (In)	0.00	59.44	25.50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.38	1.02	-
Age of Air	0.47	151.34	62.83	s

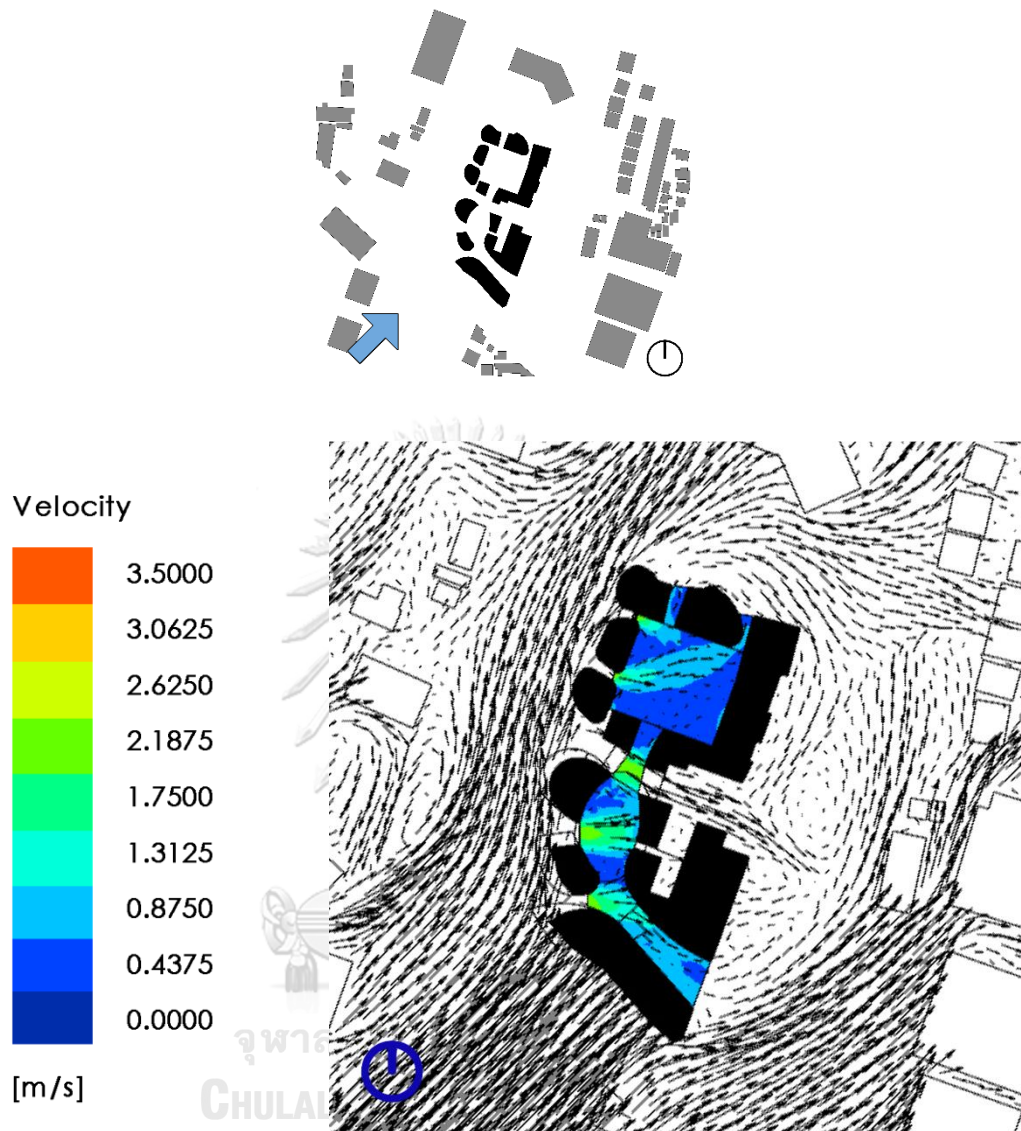
การวิเคราะห์กรณี 3A.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.13 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 3A.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.91 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.61 เมตรต่อวินาที

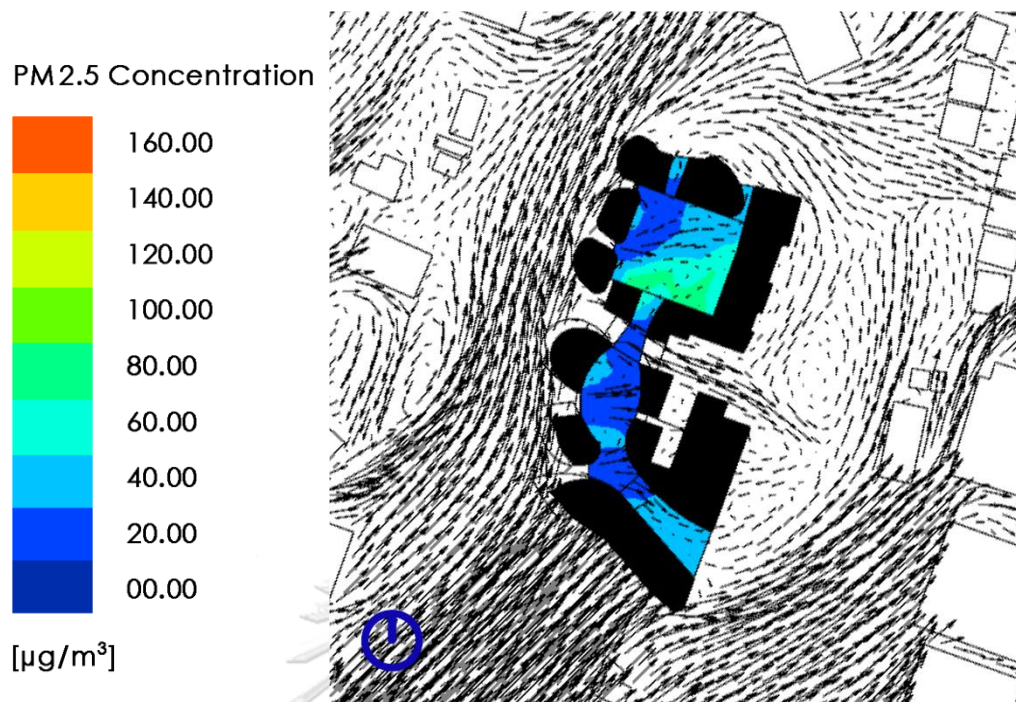
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.13 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 3A.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 25.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.02 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.13 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 3A.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 62.83 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 151.34 วินาที

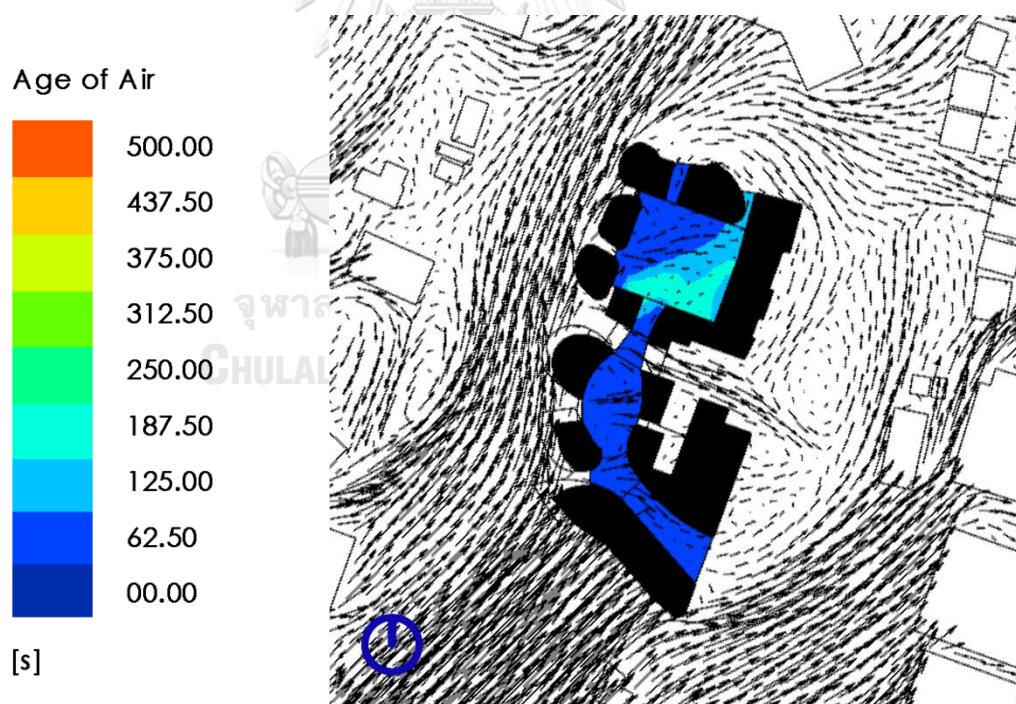
กรณี 3A.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.40 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 3A.2



ภาพที่ 4.41 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3A.2



ภาพที่ 4.42 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3A.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 3A.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 3 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านลานได้ แต่ยังมีพื้นที่ที่เป็นมุมอับและมีลานที่กว้าง จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3A.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.03	0.70	m/s
Air Change Rate	59.83			ACH
PM2.5 (In)	0.00	73.69	22.59	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.95	0.90	-
Age of Air	0.17	188.95	38.34	s

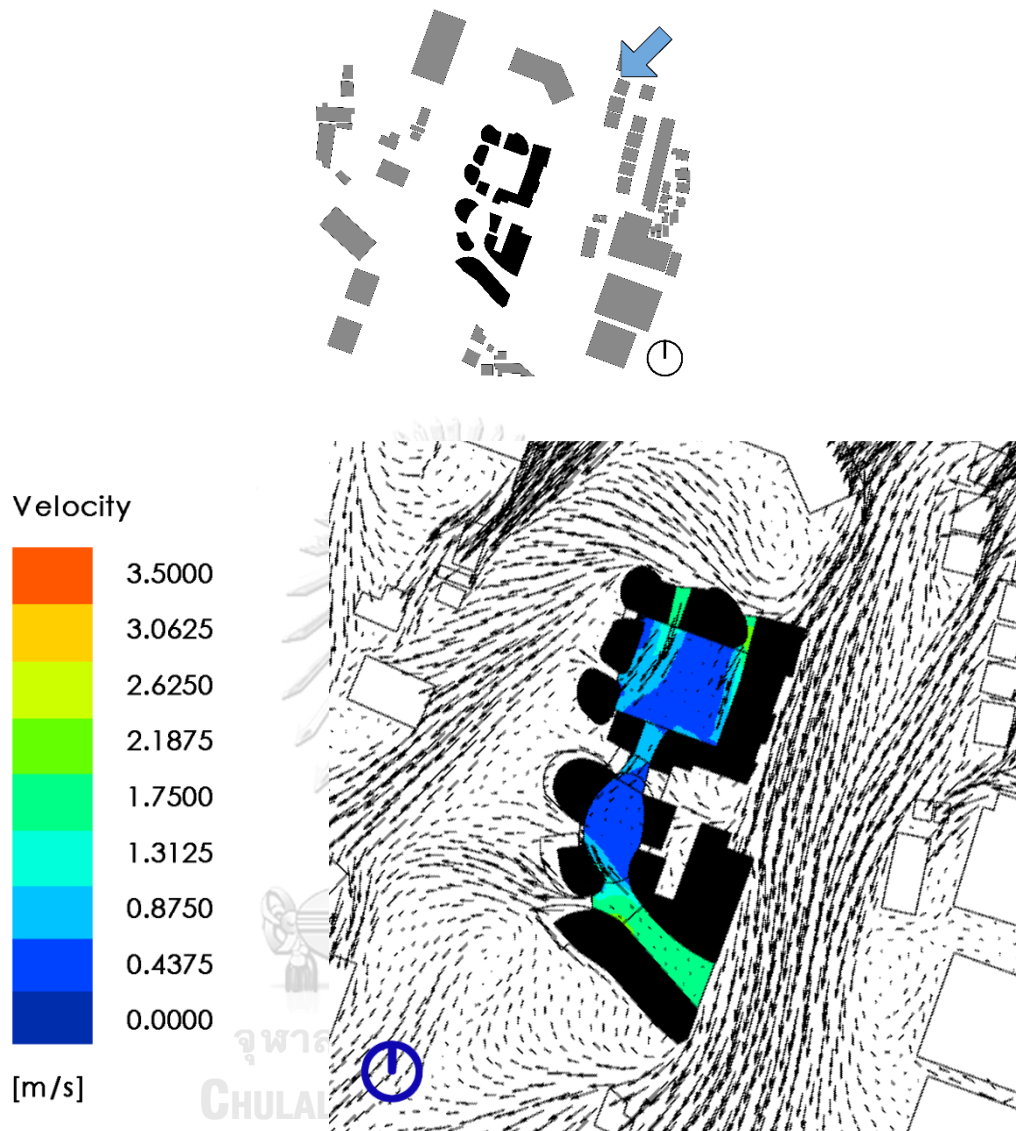
การวิเคราะห์กรณี 3A.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.14 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 3A.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.70 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.03 เมตรต่อวินาที

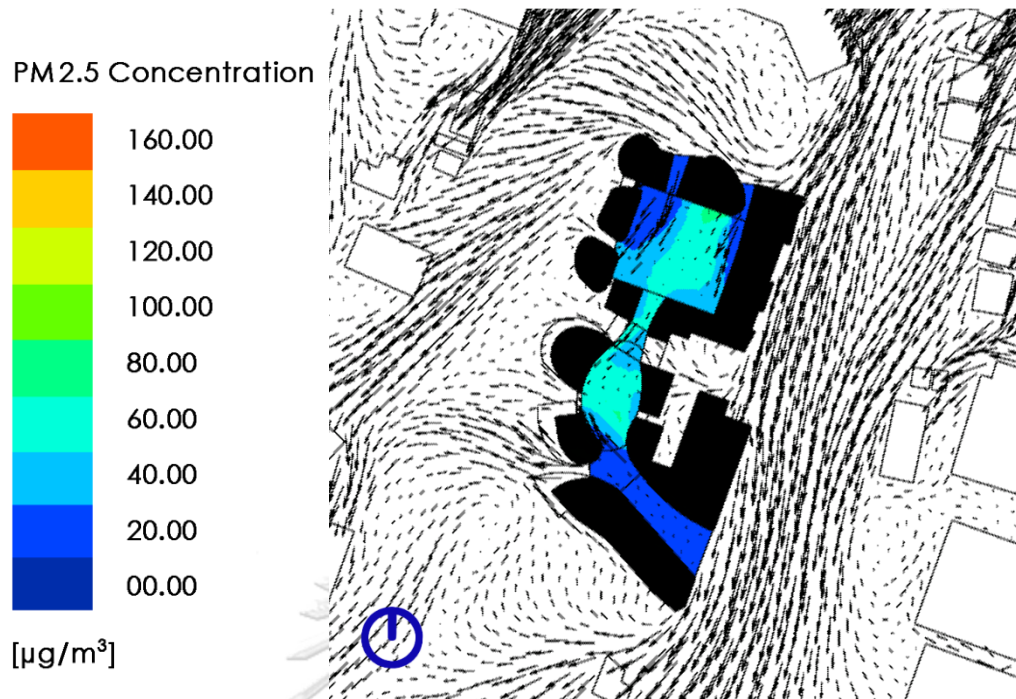
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.14 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 3A.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 22.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.70 ซึ่งมิต้าน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.14 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 3A.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 38.34 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 188.95 วินาที

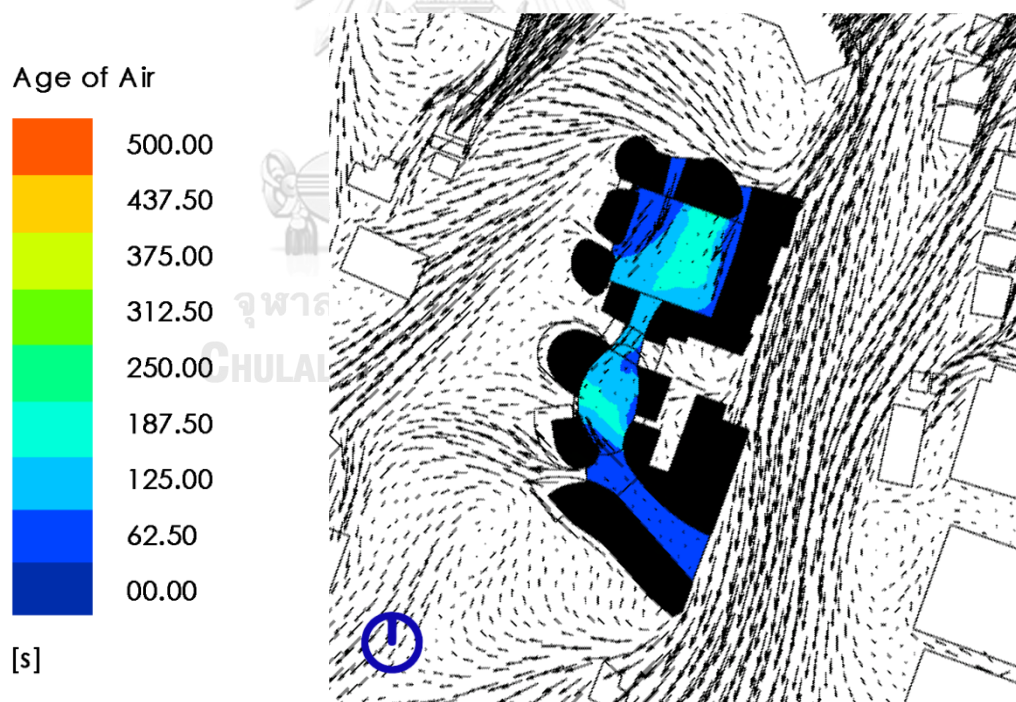
กรณี 3A.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.43 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 3A.3



ภาพที่ 4.44 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3A.3



ภาพที่ 4.45 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3A.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 3A.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 3 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านลานได้ แต่ยังมีพื้นที่ที่เป็นมุมอับและมีลานที่กว้าง จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3A.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.17	0.74	m/s
Air Change Rate	63.16			ACH
PM2.5 (In)	0.00	66.66	24.17	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.67	0.97	-
Age of Air	0.34	193.74	59.93	s

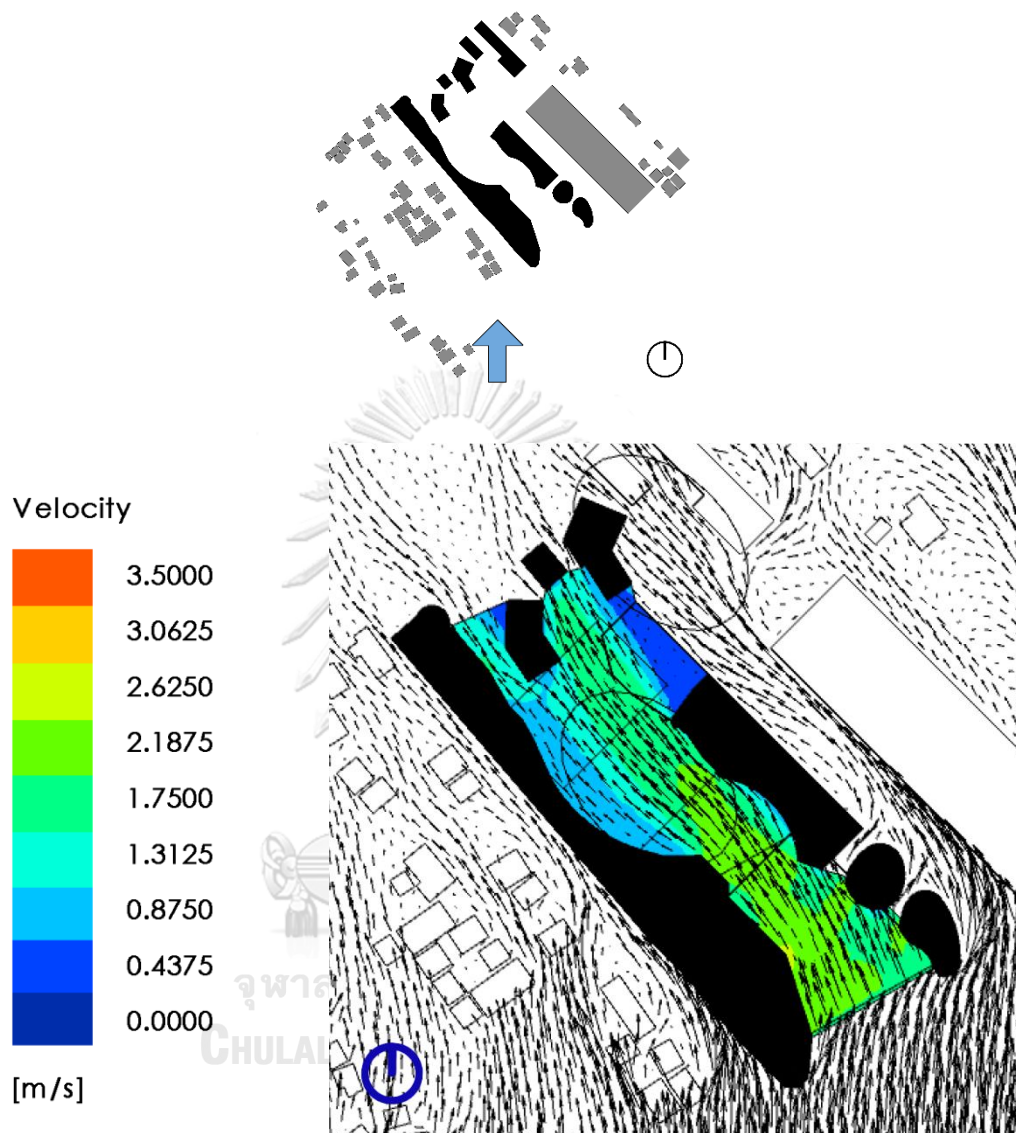
การวิเคราะห์กรณี 3A.3

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.15 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 3A.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.74 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.17 เมตรต่อวินาที

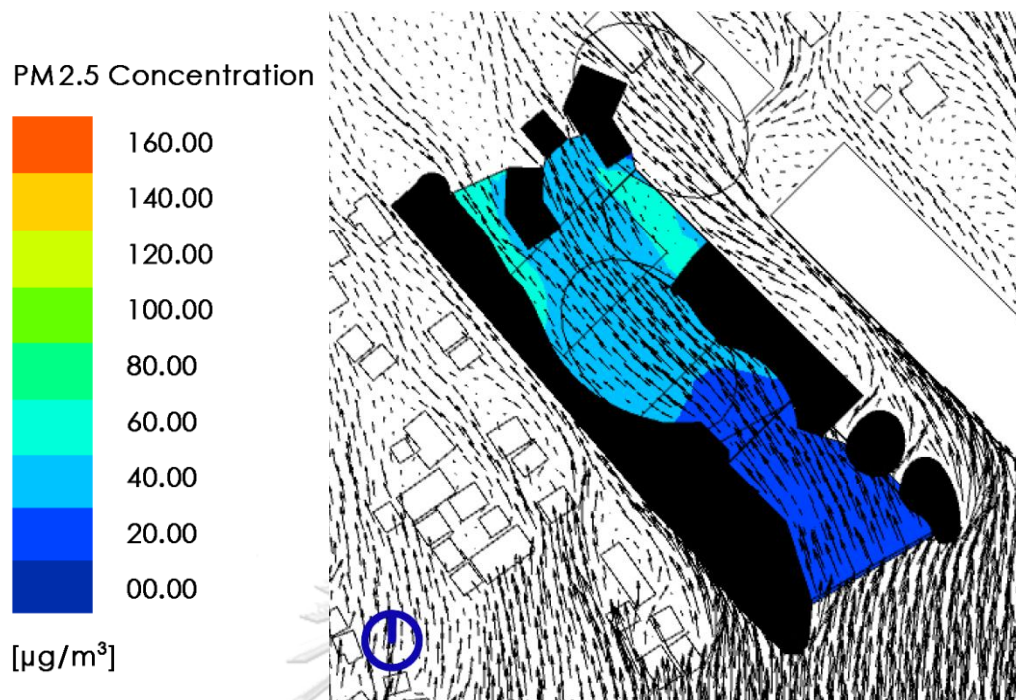
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.15 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 3A.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 24.17 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.97 ซึ่งน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.15 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 3A.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 59.93 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 193.74 วินาที

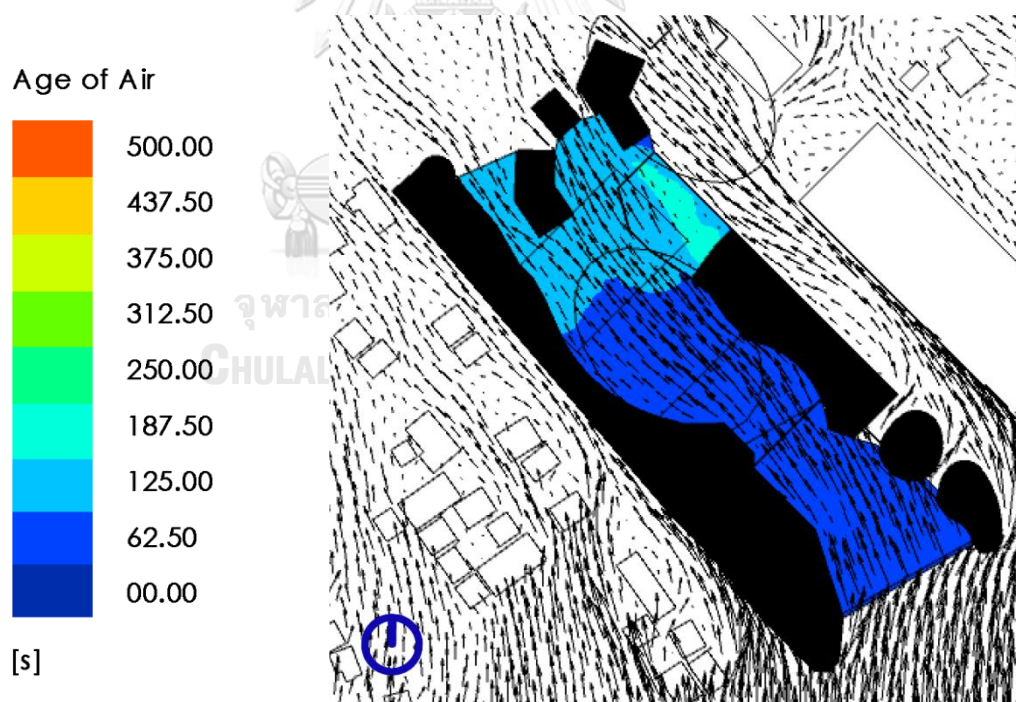
4.1.6 อาคารกรณีศึกษา 3B
กรณี 3B.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.46 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 3B.1



ภาพที่ 4.47 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3B.1



ภาพที่ 4.48 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3B.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 3B.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 3 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้า และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ แต่การมีขนาดของลานที่กว้าง ลมจึงใช้เวลาเคลื่อนที่ในลานกึ่งเปิดโล่งค่อนข้างนาน

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3B.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.31	1.30	m/s
Air Change Rate	36.30			ACH
PM2.5 (In)	0.00	52.13	24.60	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.09	0.98	-
Age of Air	0.28	158.32	52.57	s

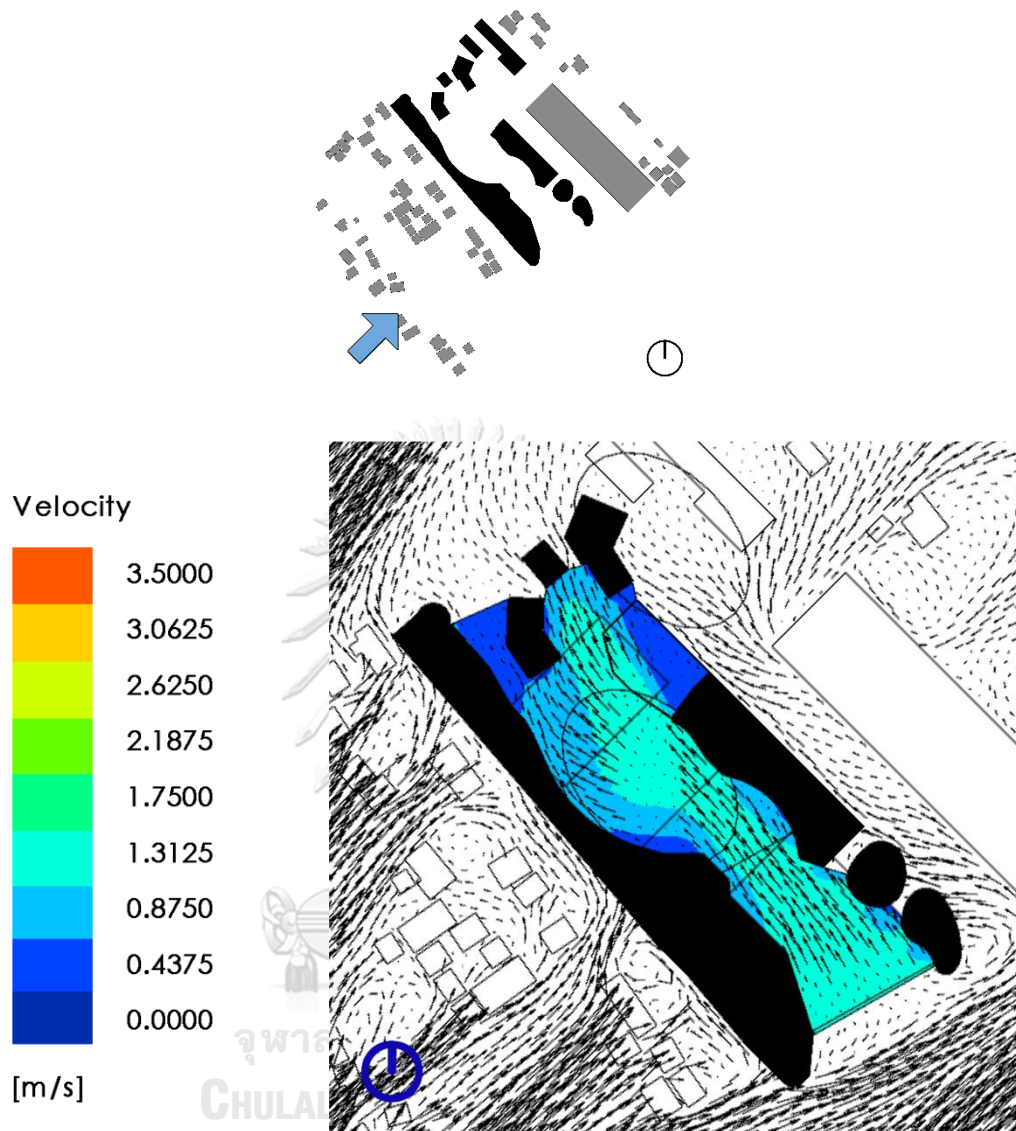
การวิเคราะห์กรณี 3B.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.16 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 3B.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.30 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.31 เมตรต่อวินาที

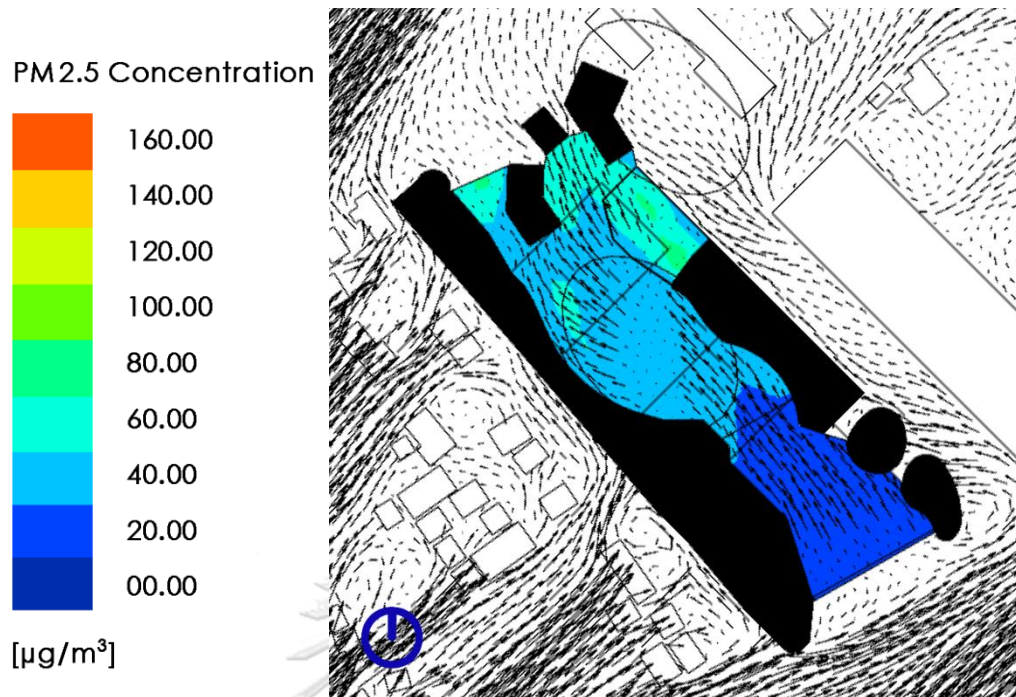
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.16 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 3B.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 24.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.98 ซึ่งมีความน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.16 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 3B.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 52.57 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 158.32 วินาที

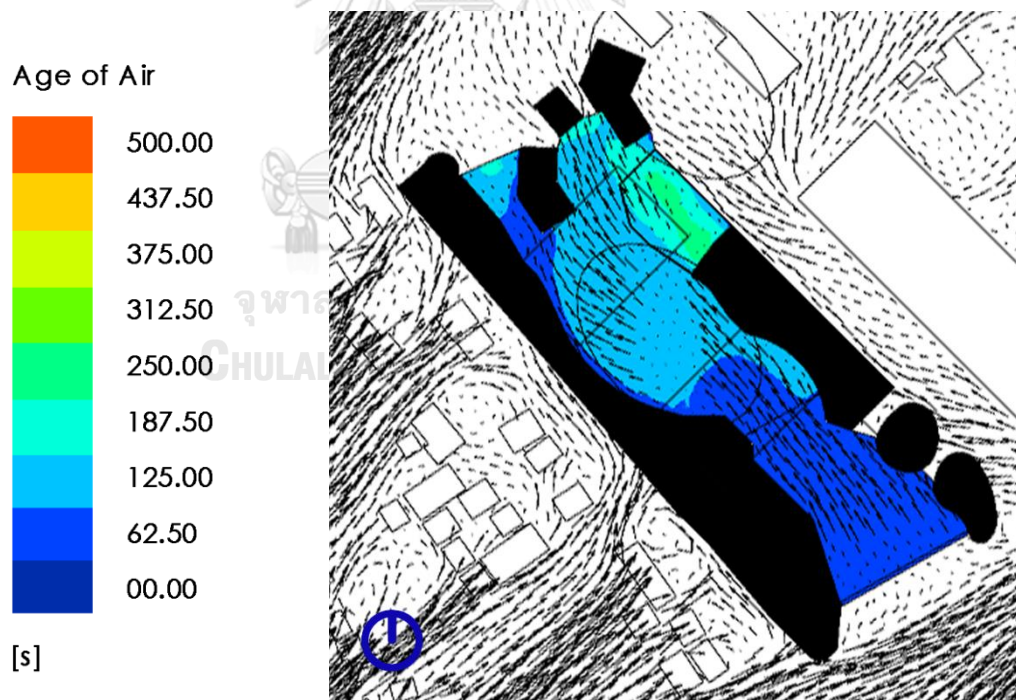
กรณี 3B.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.49 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 3B.2



ภาพที่ 4.50 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3B.2



ภาพที่ 4.51 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3B.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 3B.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ด้วยรูปแบบการวางอาคาร ที่ด้านเปิดของอาคารไม่ได้สอดคล้องกับทิศทางของลมธรรมชาติ โดยด้านทึบของอาคารขวางทิศทางลม มีเพียงลมบางส่วนเท่านั้นที่พัดผ่านเข้ามาในลานของอาคาร ทำให้การระบายอากาศมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ แต่เนื่องจากการมีด้านเปิด 3 ด้าน ทำให้มีช่องลมเข้าและช่องลมออก ช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศ

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3B.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.20	0.78	m/s
Air Change Rate	22.95			ACH
PM2.5 (In)	0.00	69.86	27.84	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.79	1.11	-
Age of Air	0.72	240.18	72.50	s

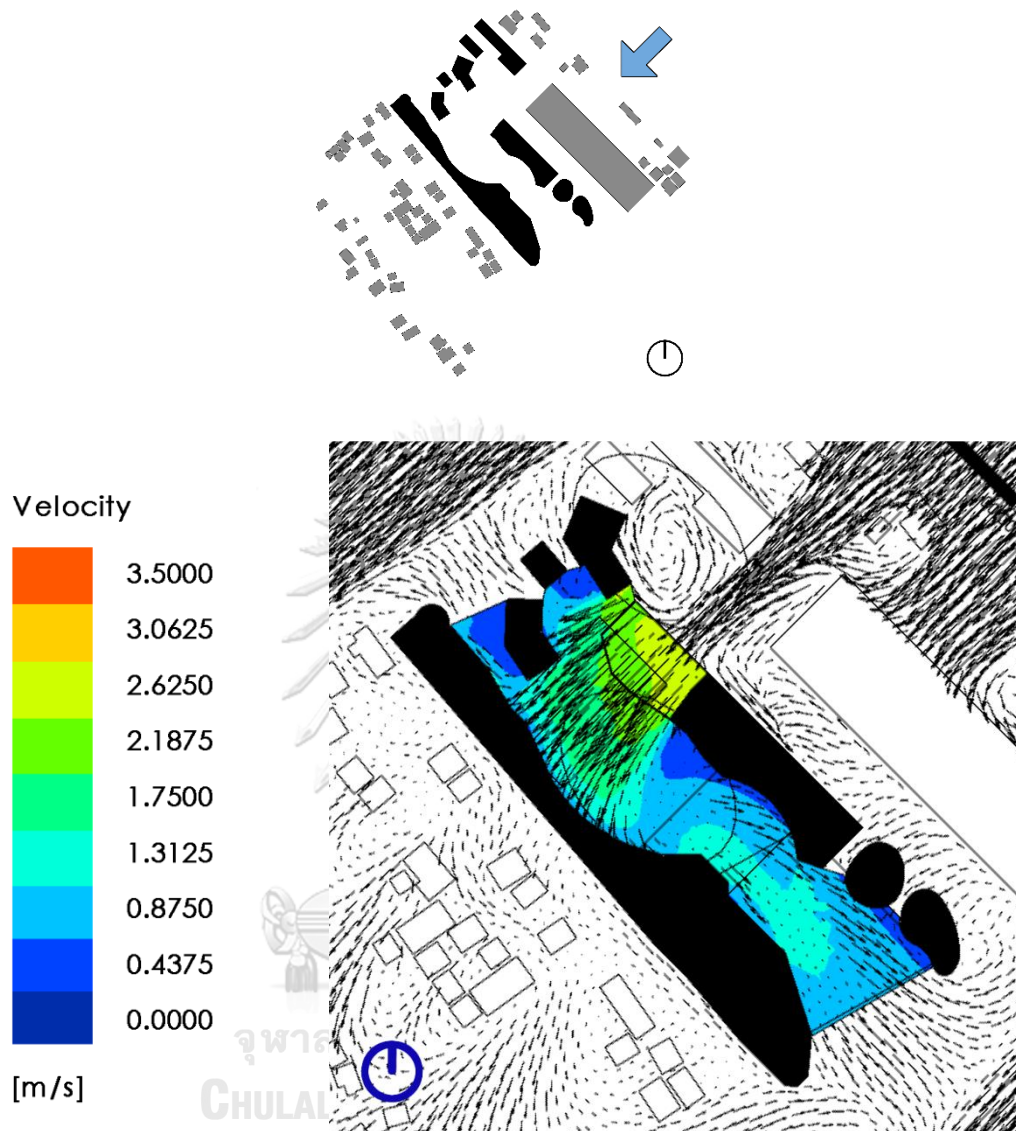
การวิเคราะห์กรณี 3B.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.17 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 3B.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.78 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 1.20 เมตรต่อวินาที

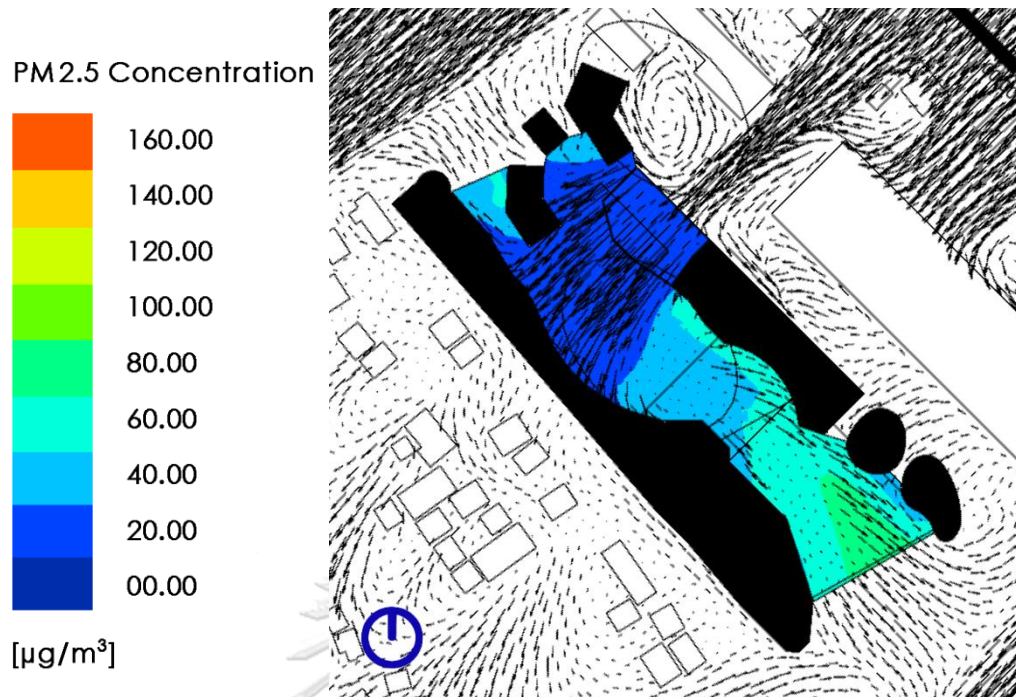
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.17 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 3B.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 27.84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.11 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.17 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 3B.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 72.50 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 240.18 วินาที

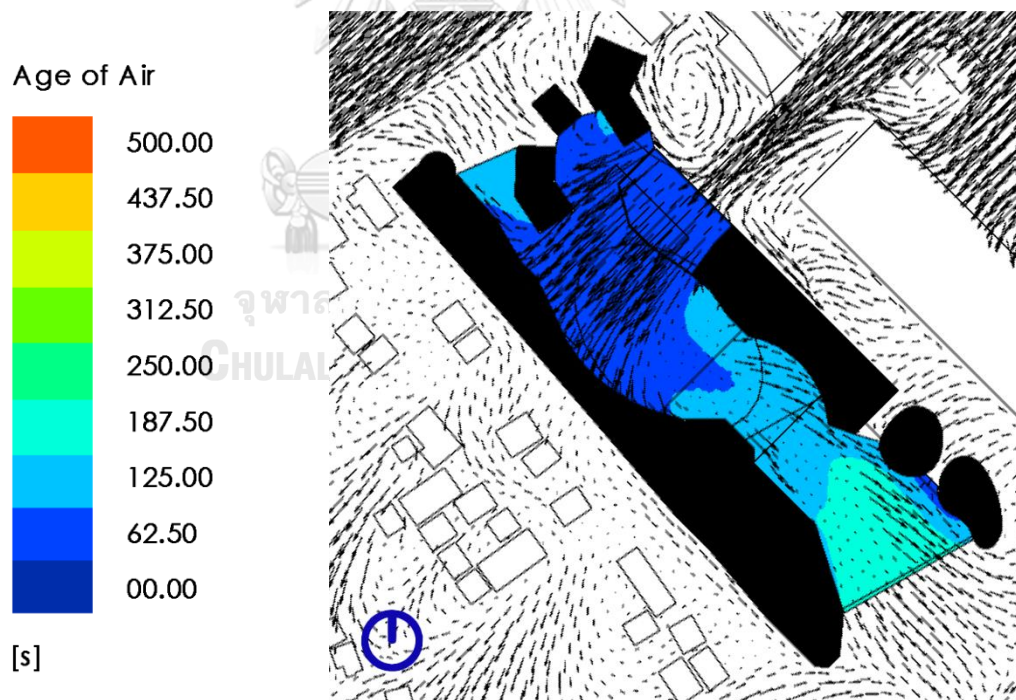
กรณี 3B.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.52 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 3B.3



ภาพที่ 4.53 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 3B.3



ภาพที่ 4.54 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 3B.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 3B.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 3 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านลานได้ แต่ยังมีพื้นที่ที่เป็นมุมอับและมีลานที่กว้าง จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 3B.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.55	1.02	m/s
Air Change Rate	23.46			ACH
PM2.5 (In)	0.00	72.03	28.87	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.88	1.15	-
Age of Air	0.33	185.73	65.93	s

การวิเคราะห์กรณี 3B.3

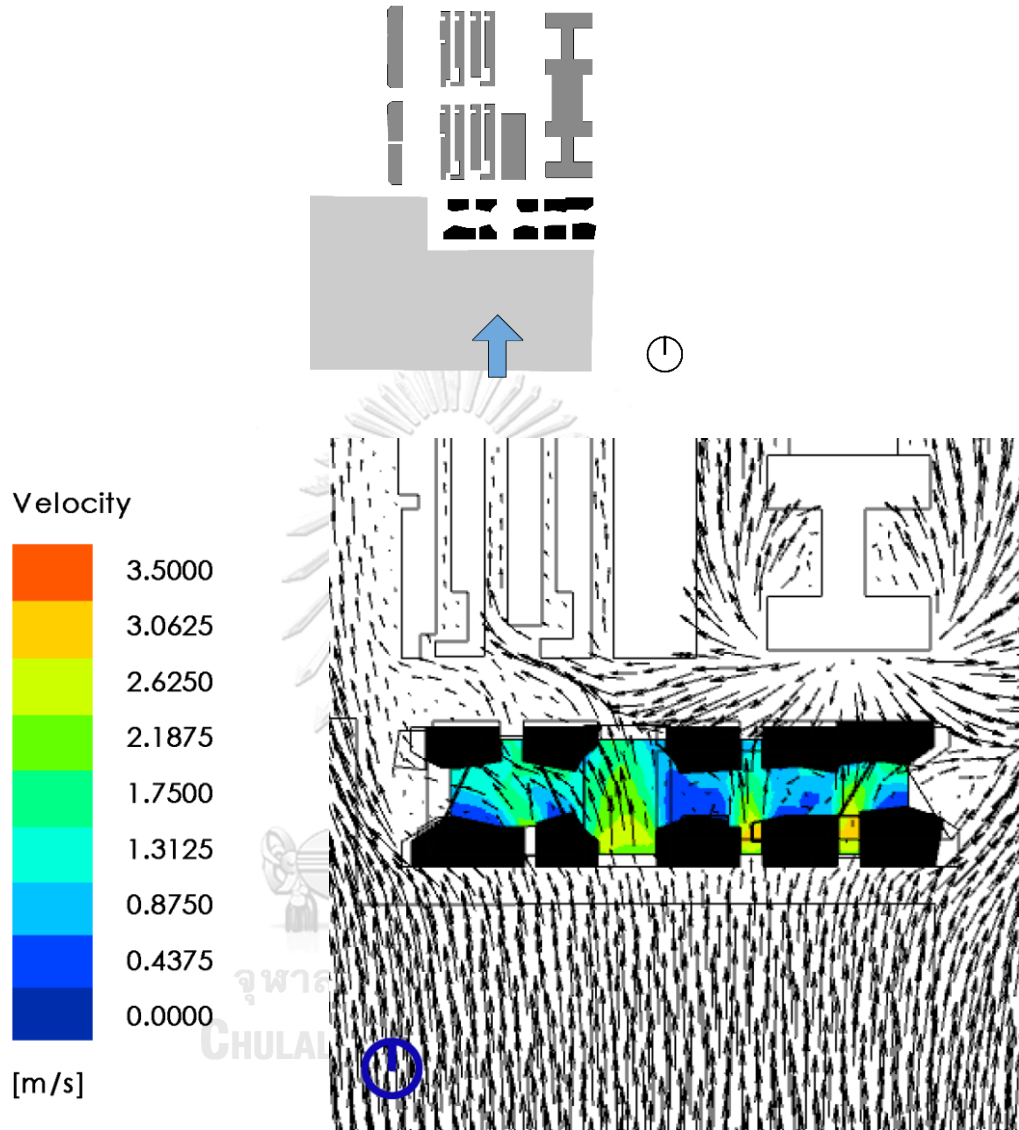
- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.18 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 3B.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.02 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.55 เมตรต่อวินาที

- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.18 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 3B.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 28.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.15 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

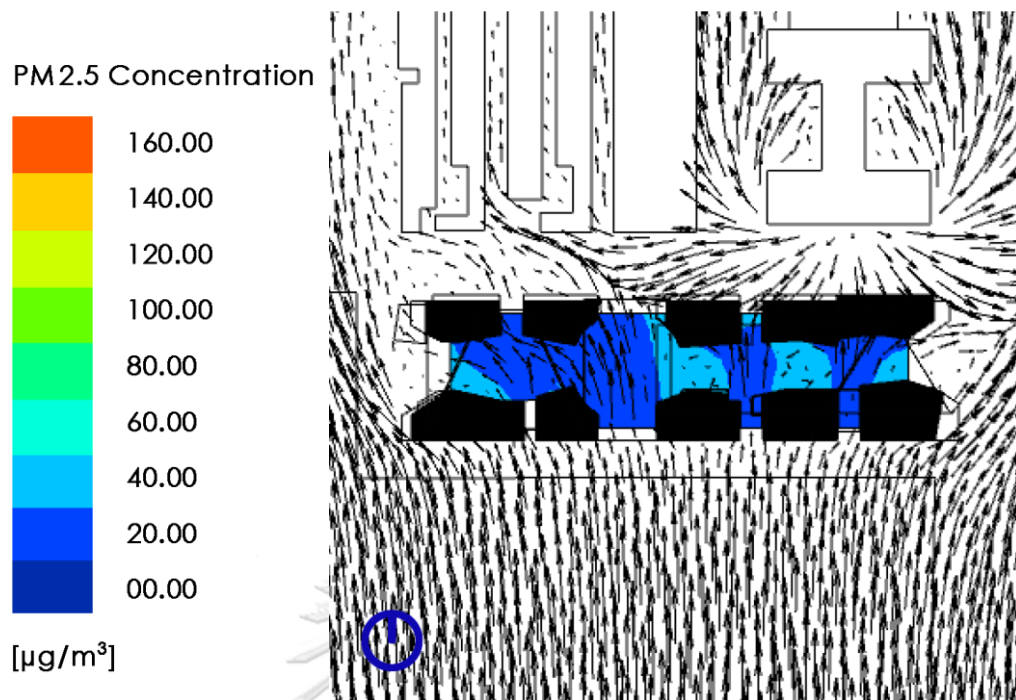
- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.18 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 3B.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 65.93 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 185.73 วินาที

4.1.7 อาคารกรณีศึกษา 4A

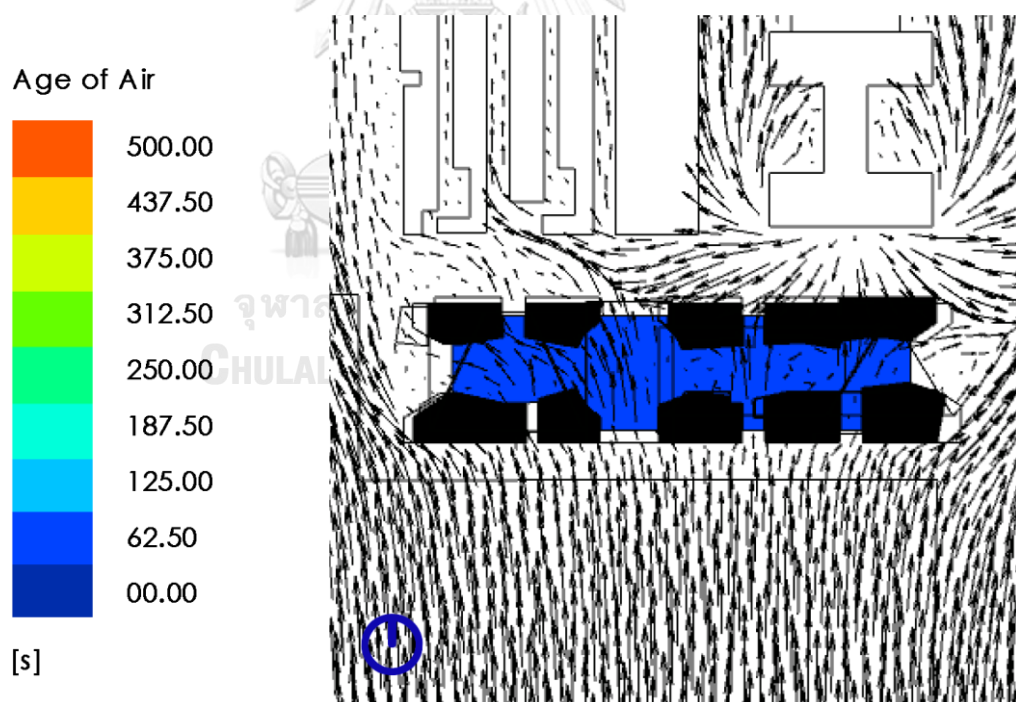
กรณี 4A.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.55 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4A.1



ภาพที่ 4.56 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4A.1



ภาพที่ 4.57 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4A.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 4A.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 4 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ดี แต่ยังมีบางพื้นที่เป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ระหว่างส่วนทิบของลาน

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4A.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.87	1.20	m/s
Air Change Rate	86.29			ACH
PM2.5 (In)	0.00	35.08	15.82	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.40	0.63	-
Age of Air	0.28	56.87	14.66	s

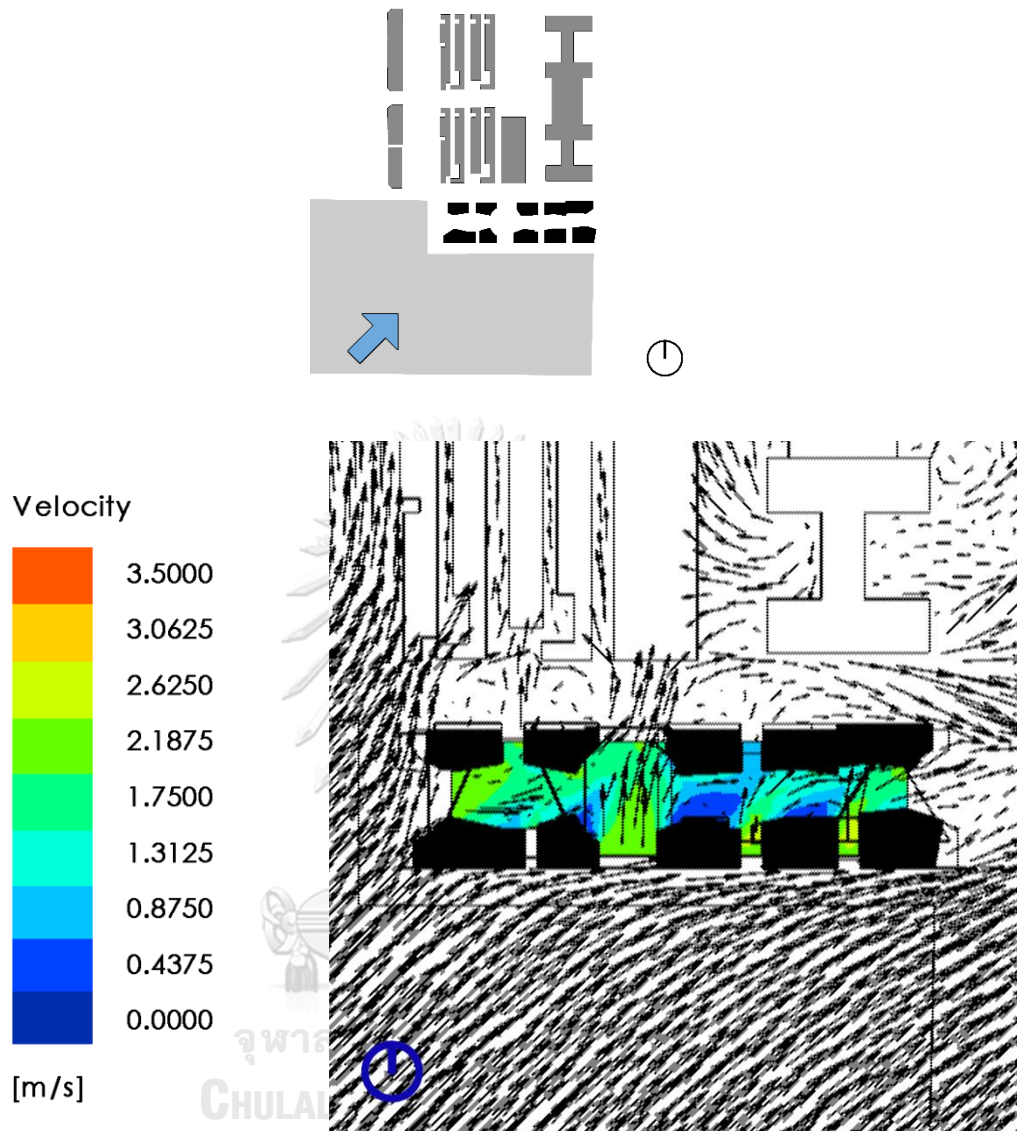
การวิเคราะห์กรณี 4A.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.19 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 4A.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.20 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.87 เมตรต่อวินาที

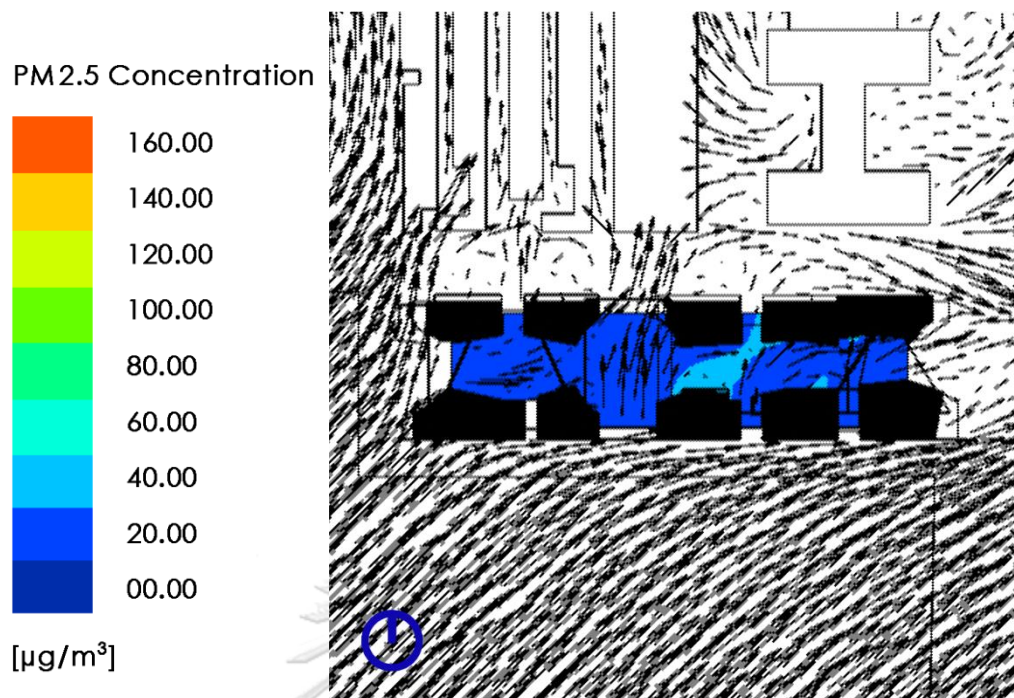
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.19 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 4A.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 15.82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.63 ซึ่งมิต้าน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.19 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 4A.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 14.66 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 56.87 วินาที

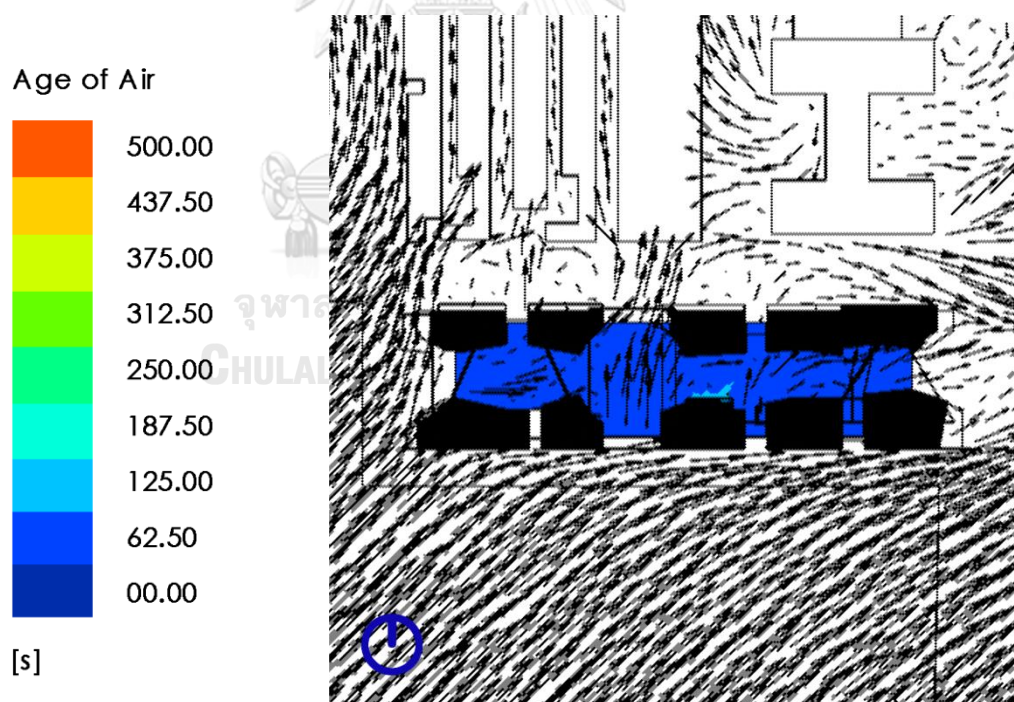
กรณี 4A.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.58 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4A.2



ภาพที่ 4.59 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4A.2



ภาพที่ 4.60 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4A.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 4A.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 4 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้า และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ แต่ยังมีบางพื้นที่เป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ระหว่างส่วนทิบของลาน

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4A.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.45	1.32	m/s
Air Change Rate	123.75			ACH
PM2.5 (In)	0.00	31.47	10.25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.26	0.41	-
Age of Air	0.22	78.23	19.70	s

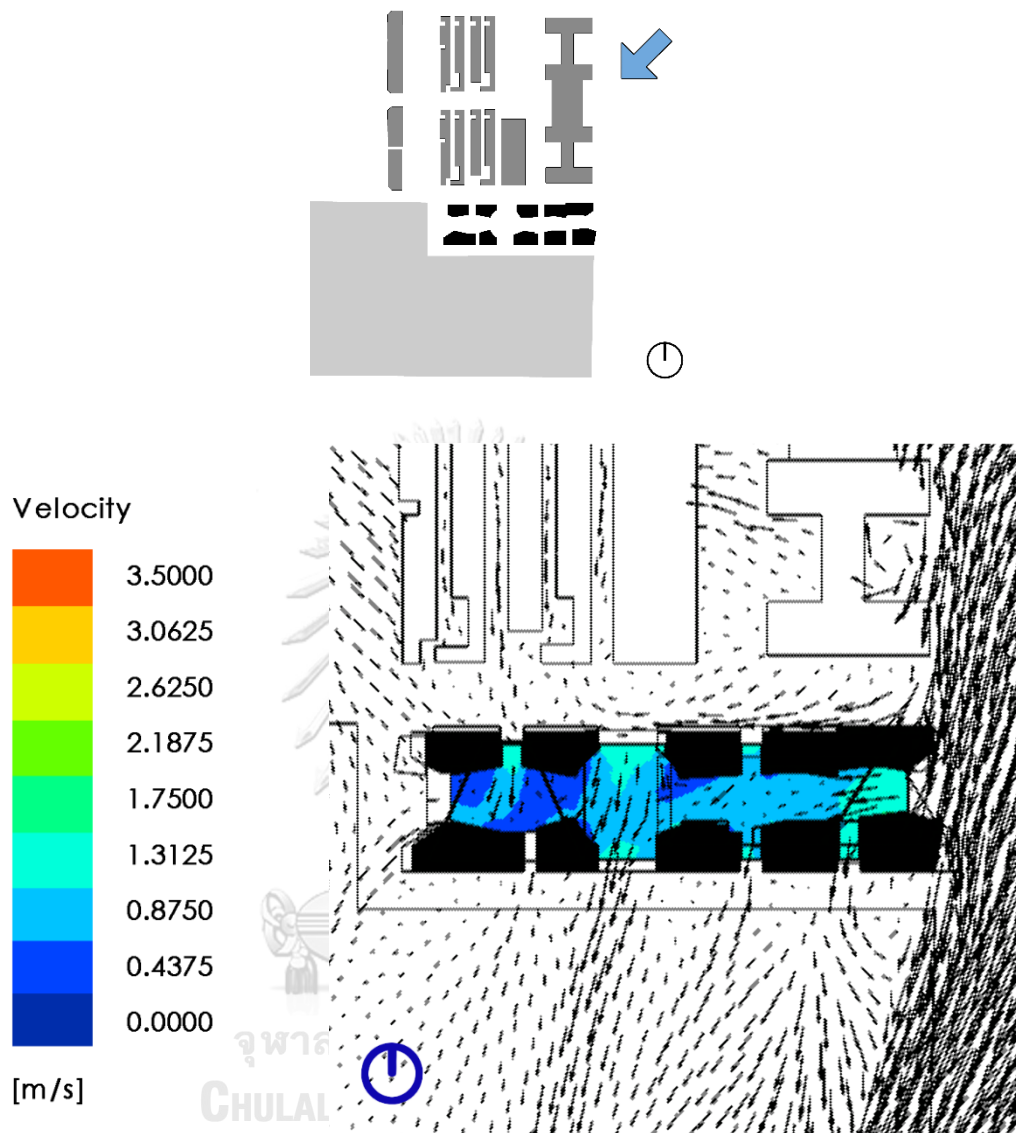
การวิเคราะห์กรณี 4A.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.20 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 4A.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.32 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.45 เมตรต่อวินาที

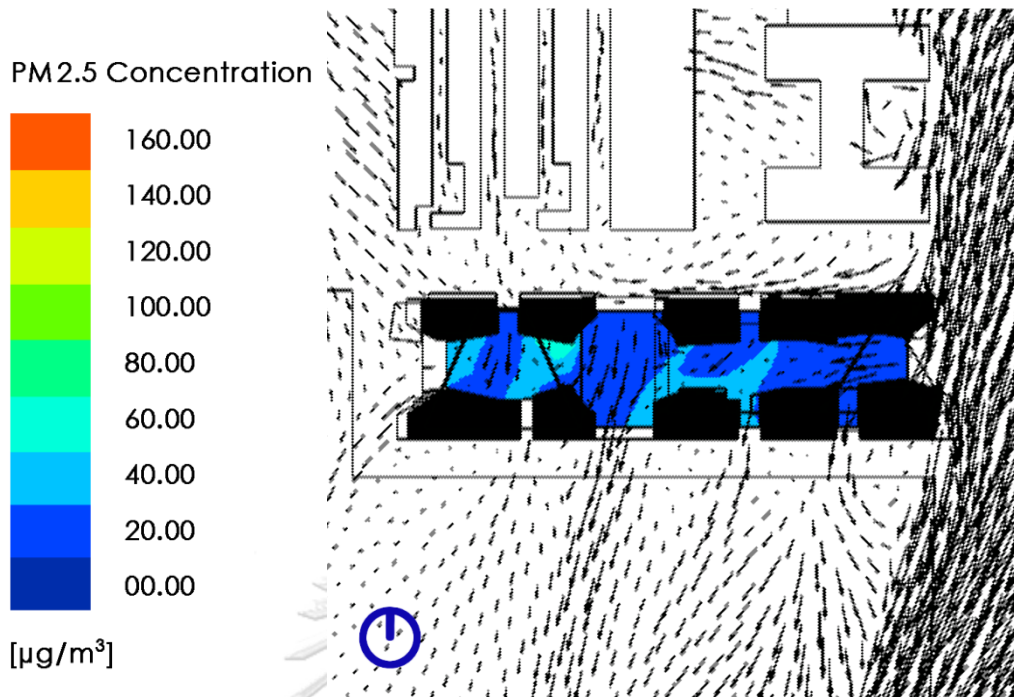
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.20 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 4A.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 10.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.41 ซึ่งมีความน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.20 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 4A.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 19.70 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 78.23 วินาที

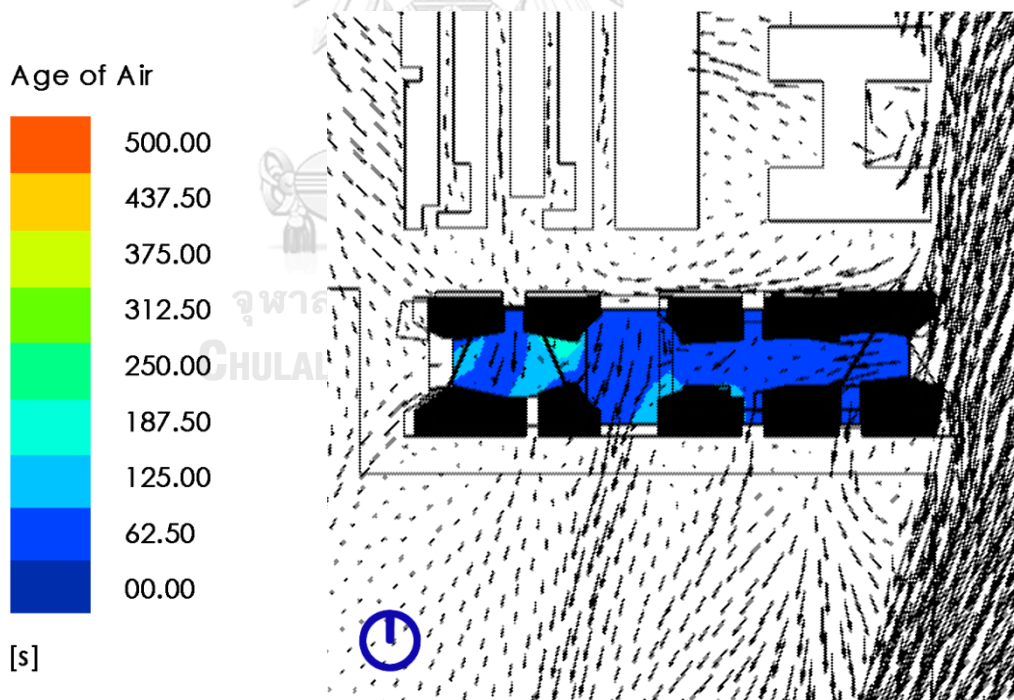
กรณี 4A.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.61 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4A.3



ภาพที่ 4.62 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4A.3



ภาพที่ 4.63 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4A.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 4A.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 4 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้าและช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ แต่ยังมีบางพื้นที่เป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ระหว่างส่วนทึบของลาน

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4A.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.34	0.65	m/s
Air Change Rate	61.09			ACH
PM2.5 (In)	0.00	54.61	14.94	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	2.18	0.60	-
Age of Air	0.36	176.52	38.19	s

การวิเคราะห์กรณี 4A.3

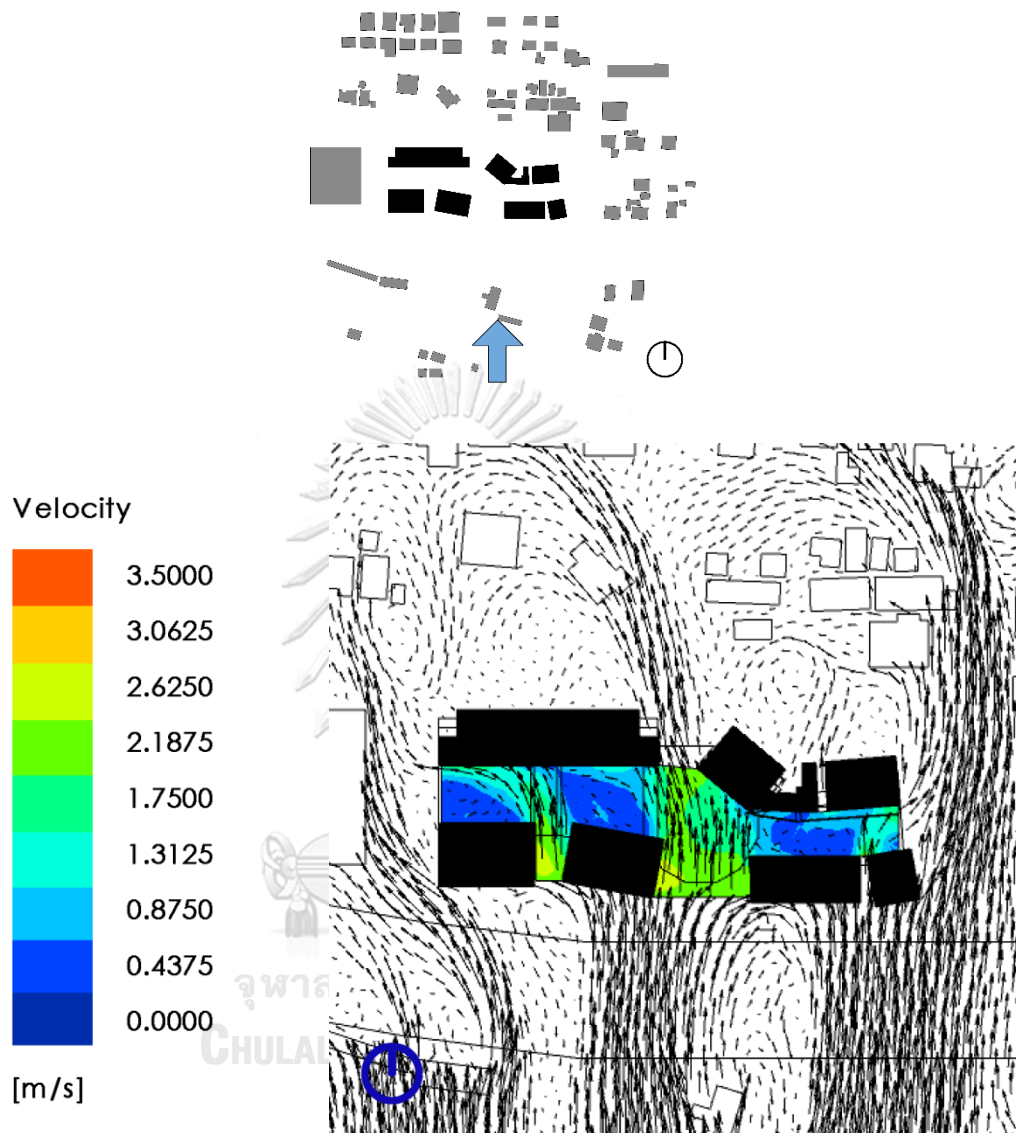
- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.21 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 4A.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.65 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 1.34 เมตรต่อวินาที

- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.21 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 4A.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 14.94 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.60 ซึ่งมีความน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

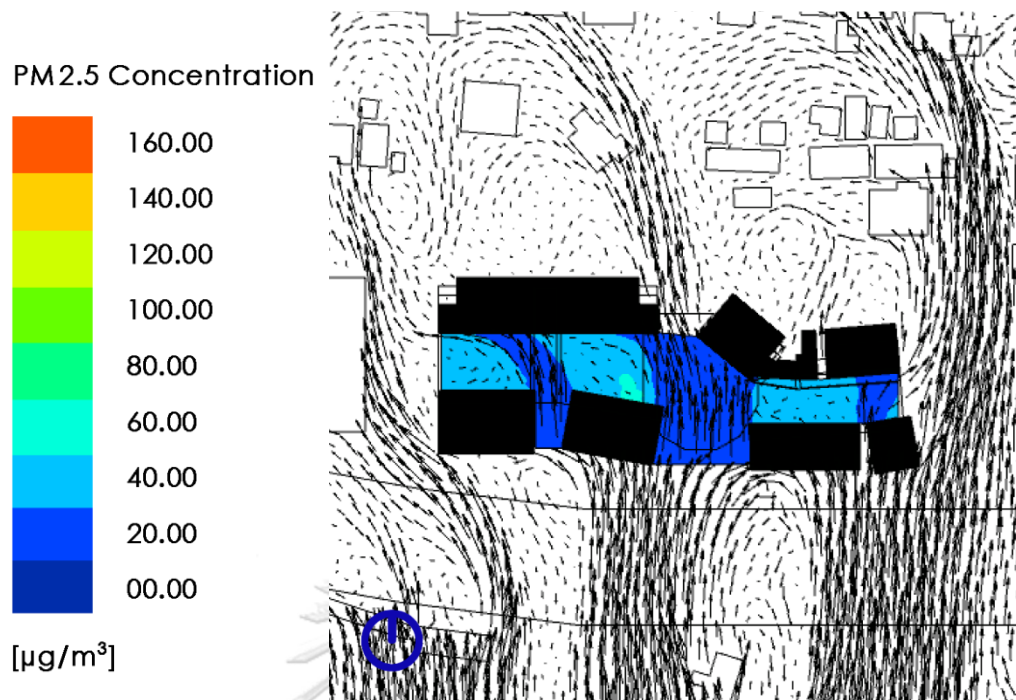
- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.21 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 4A.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 38.19 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 176.52 วินาที

4.1.8 อาคารกรณีศึกษา 4B

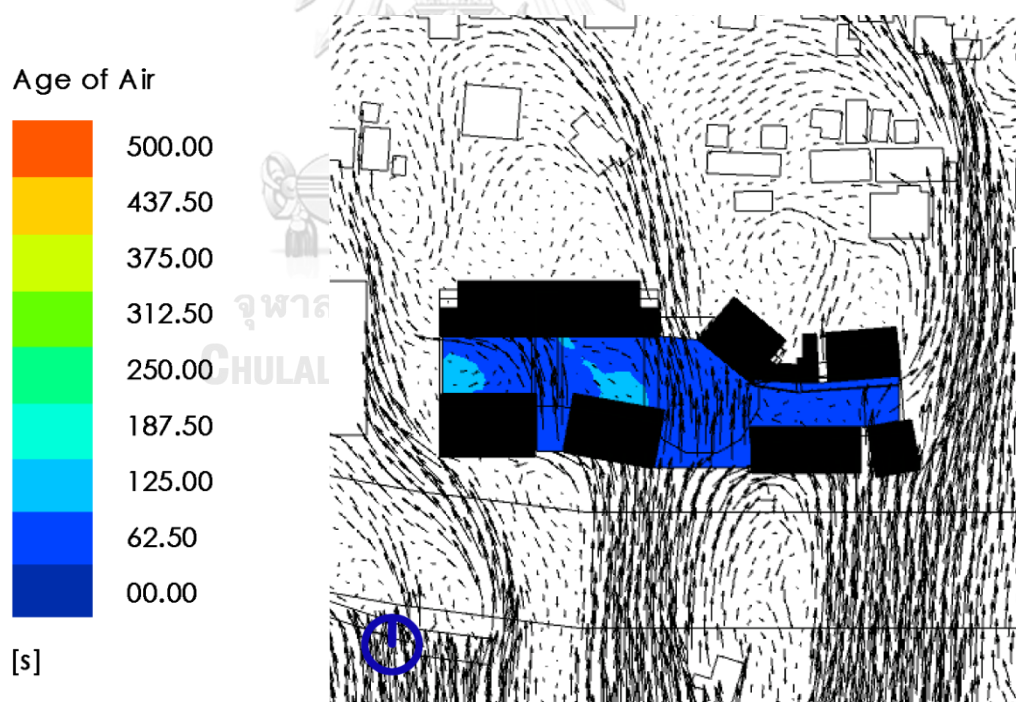
กรณี 4B.1 ลมจากทิศใต้



ภาพที่ 4.64 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4B.1



ภาพที่ 4.65 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4B.1



ภาพที่ 4.66 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4B.1

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 4B.1 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 4 ด้าน ช่องลมเข้าที่ตั้งฉากกับทิศทางลม และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ดี แต่ยังมีบางพื้นที่เป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ระหว่างส่วนทิบของลาน

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4B.1

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	2.34	1.07	m/s
Air Change Rate	86.29			ACH
PM2.5 (In)	0.00	44.73	19.95	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.79	0.80	-
Age of Air	0.30	92.63	27.01	s

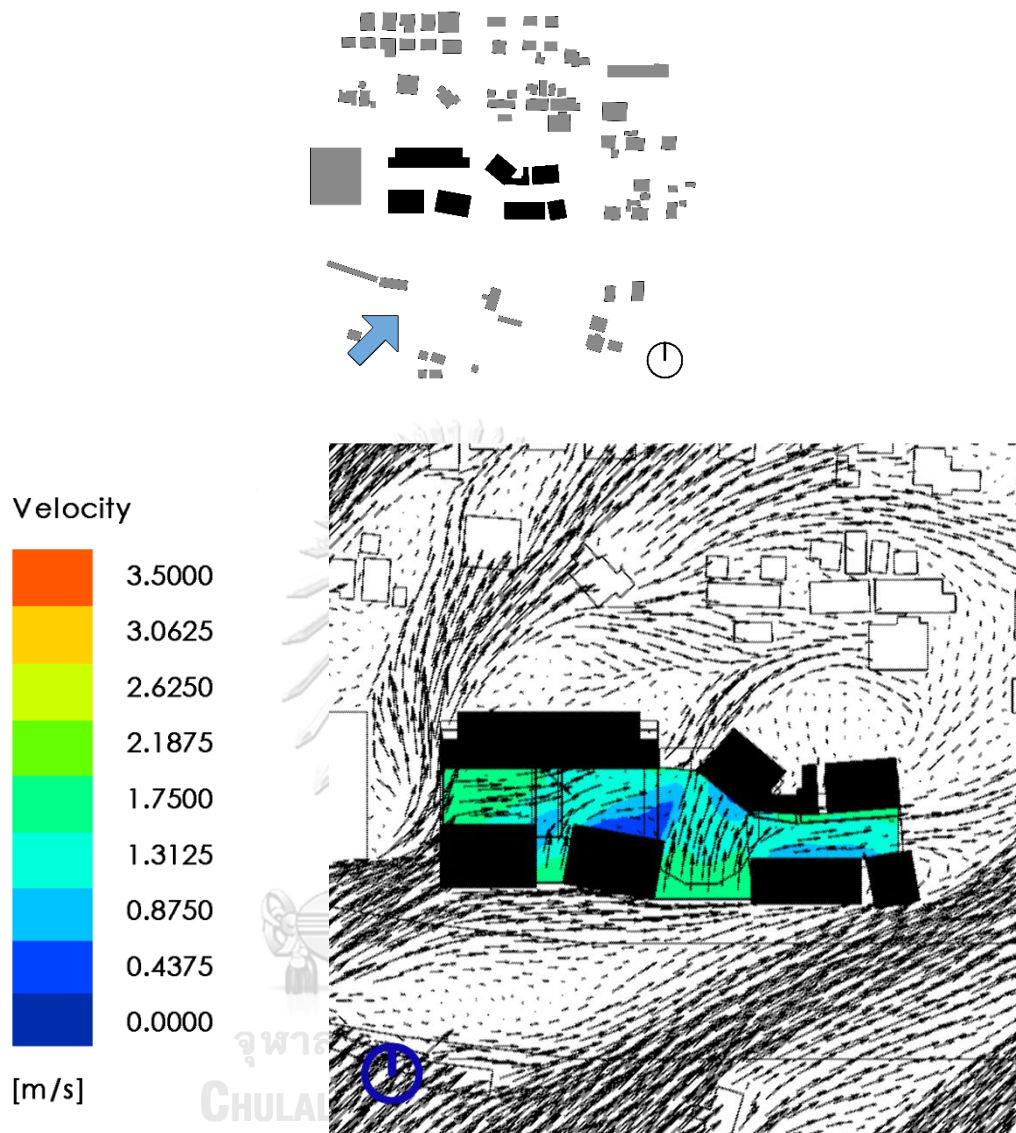
การวิเคราะห์กรณี 4B.1

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.22 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 4B.1 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.07 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 2.34 เมตรต่อวินาที

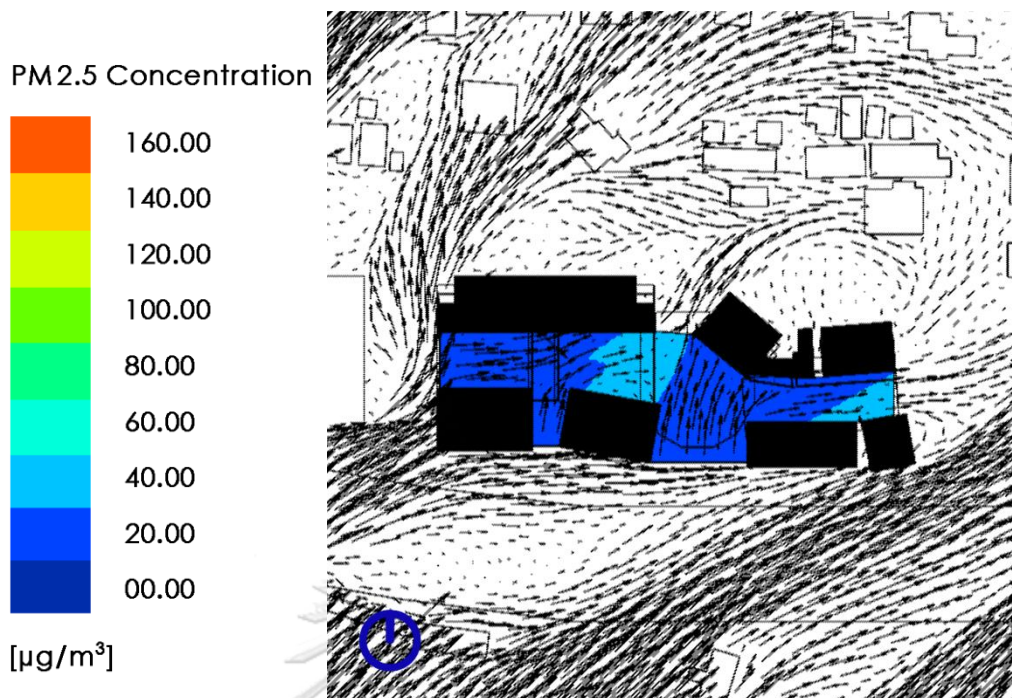
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.22 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 4B.1 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 19.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.80 ซึ่งมีความน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.22 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 4B.1 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 27.01 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 92.63 วินาที

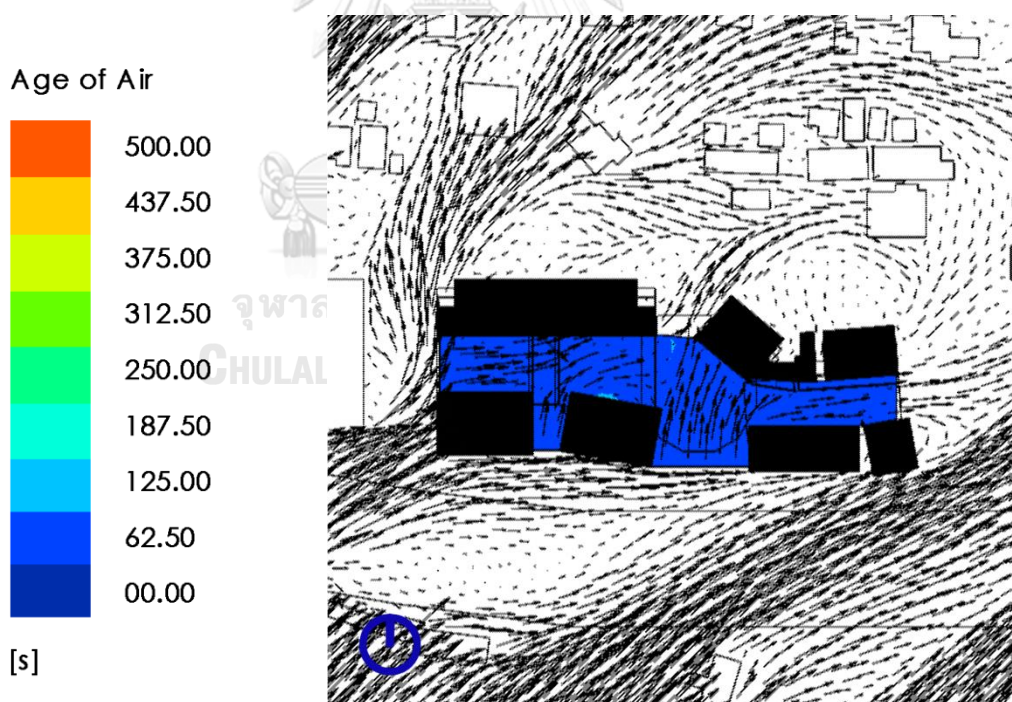
กรณี 4B.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้



ภาพที่ 4.67 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4B.2



ภาพที่ 4.68 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4B.2



ภาพที่ 4.69 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4B.2

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 4B.2 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 4 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้า และช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ แต่ยังมีบางพื้นที่เป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ระหว่างส่วนทึบของลาน

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4B.2

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.68	1.13	m/s
Air Change Rate	91.43			ACH
PM2.5 (In)	0.00	31.33	13.35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	1.25	0.53	-
Age of Air	0.39	72.08	24.35	s

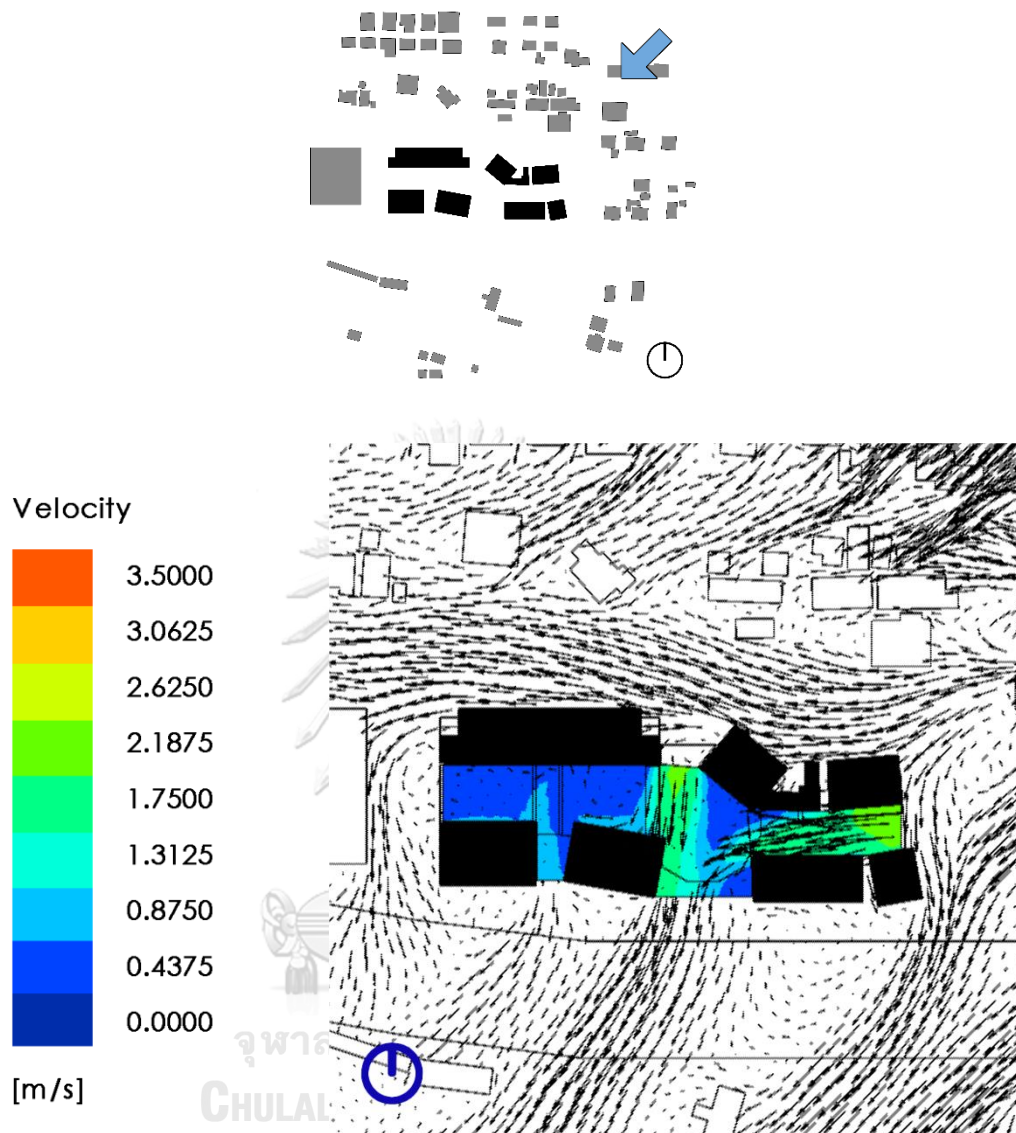
การวิเคราะห์กรณี 4B.2

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.23 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 4B.2 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1.13 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 1.68 เมตรต่อวินาที

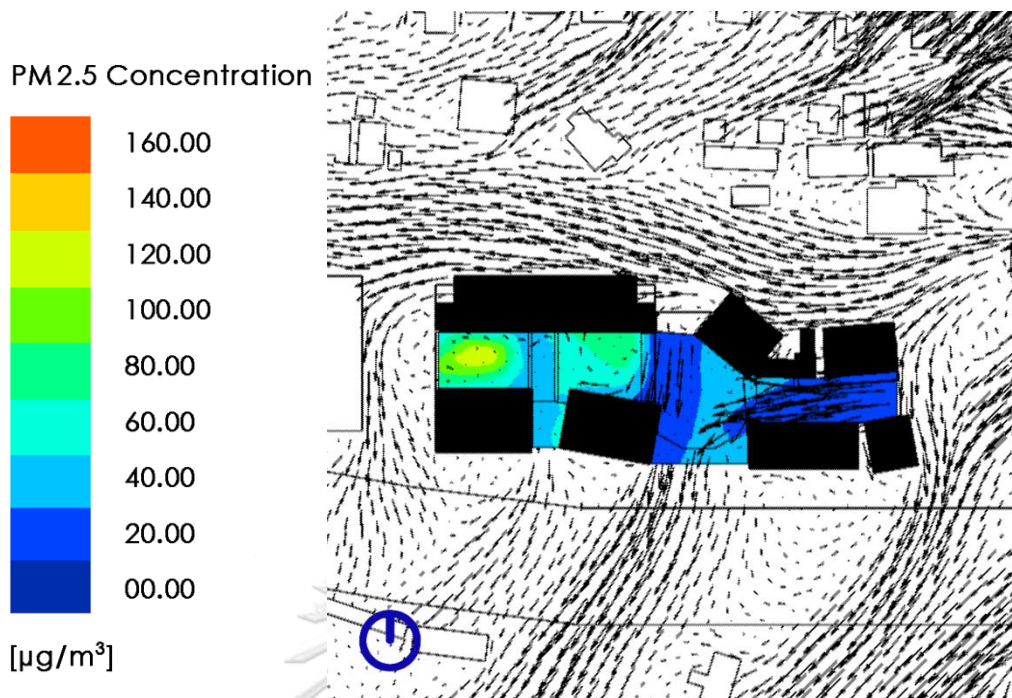
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.23 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 4B.2 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 13.35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 0.53 ซึ่งมีความน้อยกว่า 1 แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้ ไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษ เนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงกว่ามลพิษภายในลานกึ่งเปิดโล่ง

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.23 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 4B.2 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 24.35 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 72.08 วินาที

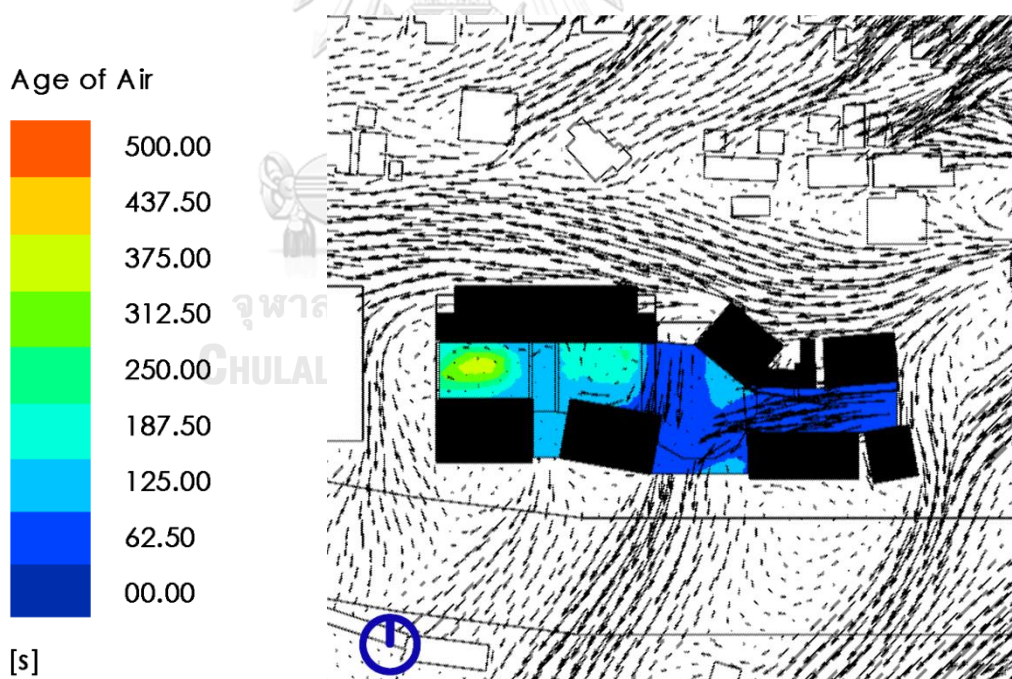
กรณี 4B.3 ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.70 ผลการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศ และระดับความเร็วลม กรณี 4B.3



ภาพที่ 4.71 ผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 กรณี 4B.3



ภาพที่ 4.72 ผลการจำลองอายุของอากาศ กรณี 4B.3

รูปแบบการไหลของอากาศ

กรณี 4B.3 เป็นอาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน มีลมธรรมชาติจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การวางอาคารมีด้านเปิดที่สอดคล้องกับลมธรรมชาติ ลมสามารถพัดเข้ามาภายในลานกึ่งเปิดโล่งได้ ทำให้เกิดการระบายอากาศภายในลานกึ่งเปิดโล่ง และจากการเปิดช่องโล่ง 4 ด้าน ทำให้มีทั้งช่องลมเข้าและช่องลมออก ส่งผลให้อากาศสามารถระบายผ่านพื้นที่ลานได้ แต่ยังมีบางพื้นที่เป็นมุมอับ จึงเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ระหว่างส่วนทึบของลาน

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าตัวแปรจากผลการจำลองของอาคารกรณี 4B.3

Parameter	Value			Unit
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	
Velocity	0.00	1.94	0.81	m/s
Air Change Rate	51.45			ACH
PM2.5 (In)	0.00	113.63	31.29	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 มาตรฐาน (Out)	25			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
I/O Ratio	0.00	4.55	1.25	-
Age of Air	0.50	344.14	78.55	s

การวิเคราะห์กรณี 4B.3

- ความเร็วลม (Velocity) จากตารางที่ 4.24 ในส่วนของค่าความเร็วลม อาคารในกรณี 4B.3 มีความเร็วลมเฉลี่ยภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 0.81 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุดในบริเวณช่องลมเข้าเท่ากับ 1.94 เมตรต่อวินาที

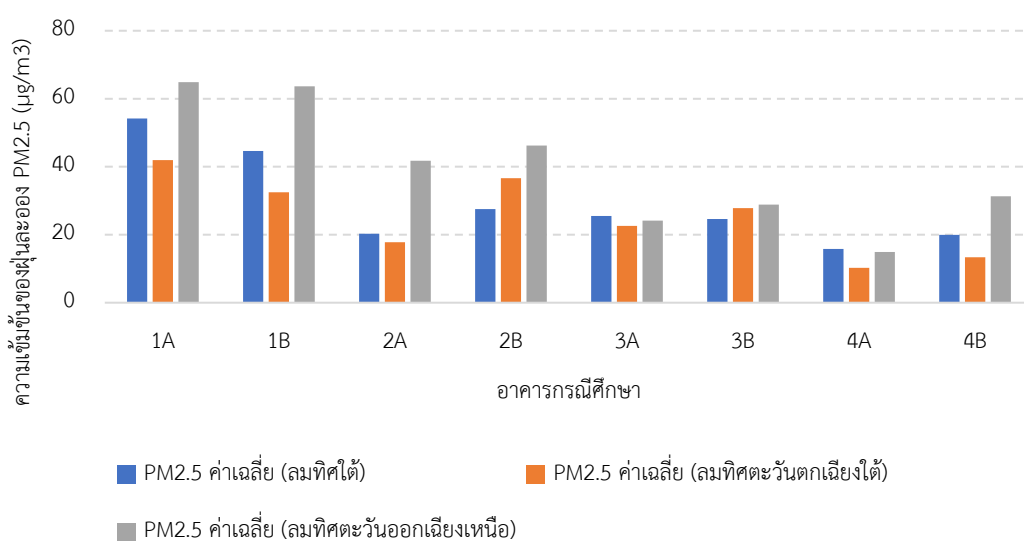
- อัตราส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองภายในต่อภายนอก (I/O Ratio) จากตารางที่ 4.24 ในส่วนของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 อาคารในกรณี 4B.3 มีค่าฝุ่นละอองเฉลี่ยรวมภายในลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 31.29 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อคำนวณเป็น I/O Ratio จะมีค่าเท่ากับ 1.25 ซึ่งมีความมากกว่า 1 เป็นระดับที่เกินกว่ามาตรฐาน แสดงถึงลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารในกรณีนี้เป็นแหล่งสะสมของมลพิษเนื่องจากมลพิษภายในมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก

- อายุของอากาศ (Age of Air) จากตารางที่ 4.24 ในส่วนของอายุของอากาศ อาคารในกรณี 4B.3 มีค่าอายุเฉลี่ยของอากาศอยู่ที่ 78.55 วินาที และมีบริเวณที่เกิดลมหมุนวนที่ส่งผลให้อายุของอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 344.14 วินาที

4.2 การวิเคราะห์ผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD

4.2.1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CFD จะมุ่งเน้นที่ประเด็นของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศเป็นหลัก จึงพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 เนื่องจากเป็นตัวแปรที่บ่งบอกคุณภาพอากาศได้โดยตรง โดยข้อมูลความเข้มข้นจะเก็บข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของทุกจุด (Node) ในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง แล้วนำมาเปรียบเทียบระหว่างอาคารกรณีศึกษาในแต่ละกรณีเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกายภาพของอาคารที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศ



ภาพที่ 4.73 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

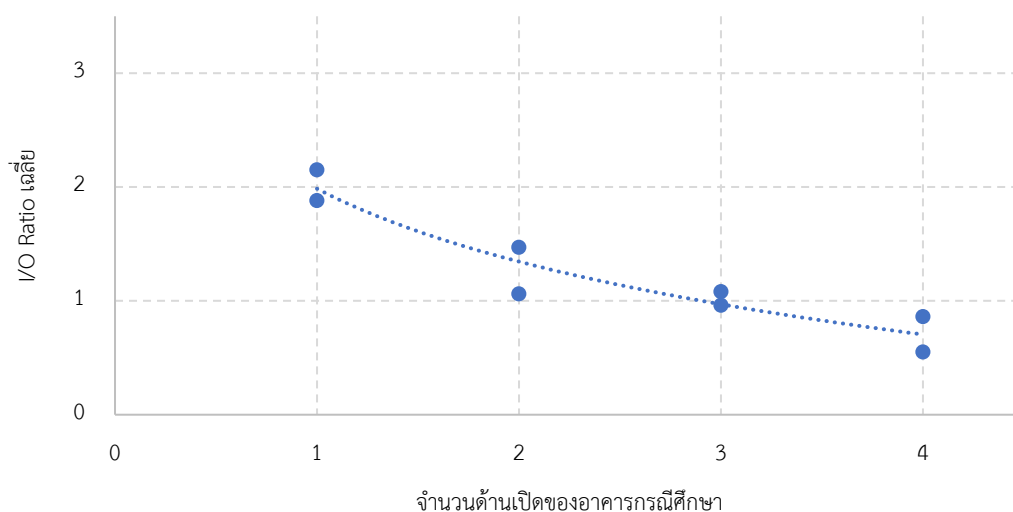
สำหรับการจำลองนี้ ใช้ค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในบรรยากาศเป็นค่ามาตรฐานเฉลี่ยต่อปี อยู่ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2553, 2553) และทำการจำลองอาคารกรณีศึกษา 1 อาคารเป็น 3 กรณีตามทิศทางของลมธรรมชาติในแต่ละฤดู แบ่งเป็นลมจากทิศใต้ ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ และลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.73 จะสังเกตได้ว่า อาคารกรณีศึกษาที่มีด้านเปิดน้อยที่สุดคือ 1 ด้าน จะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 สูงที่สุด ส่วนกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 2 และ 3 ด้าน จะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ที่ใกล้เคียงกัน และสุดท้ายคืออาคารกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 4 ด้าน หรือมีด้านเปิดของอาคารมากที่สุด จะมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละออง PM2.5 และค่า I/O Ratio เฉลี่ย

อาคารกรณีศึกษา	PM2.5 เฉลี่ย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 มาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	I/O Ratio เฉลี่ย
1A	53.67	25 (ค่ามาตรฐานเฉลี่ยต่อปี) (ประกาศคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2553, 2553)	2.15
1B	46.93		1.88
2A	26.61		1.06
2B	36.79		1.47
3A	24.09		0.96
3B	27.10		1.08
4A	13.67		0.55
4B	21.53		0.86

ในส่วนถัดมา เมื่อนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มาเฉลี่ยให้ได้ค่าตัวแทนของฝุ่นละอองสำหรับแต่ละอาคาร เพื่อคำนวณหาค่า I/O Ratio เฉลี่ย ตามตารางที่ 4.25 จะเห็นได้ว่ากรณีศึกษาที่สามารถลดปัญหามลพิษในอากาศจากการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ จะเป็นอาคารที่มีด้านเปิดหรือช่องโหว่ที่มาก ทำให้ลมธรรมชาติสามารถไหลผ่าน มีอากาศถ่ายเทได้ดี ความสัมพันธ์โดยรวมแสดงภาพที่ 4.74 อาคารกรณีศึกษา 4A ที่มีด้านเปิด 4 ด้าน จะมีค่า I/O Ratio เฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 0.55 สู่ถึงระดับของมลพิษเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ลำดับถัดมาคืออาคาร 4B ที่มีค่า I/O Ratio เฉลี่ยอยู่ที่ 0.86 ซึ่งทั้ง 2 อาคารนี้เป็นอาคารที่มีด้านเปิดให้อากาศไหลผ่านได้ทั้ง 4 ด้าน ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบที่รองรับกับลมธรรมชาติที่ไหลเข้ามาจากทุกทิศทาง ที่มีผลกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ นอกจากนี้พื้นที่ลานของอาคารยังไม่เป็นแหล่งสะสมของมลพิษด้วยเช่นกัน

กรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 2 และ 3 ด้าน จะมีค่า I/O Ratio ที่ใกล้เคียงกันโดยกรณีด้านเปิด 2 ด้าน คืออาคาร 2A และ 2B จะมีค่า I/O Ratio เฉลี่ยอยู่ที่ 1.06 และ 1.47 ตามลำดับ ส่วนในกรณีด้านเปิด 3 ด้าน คืออาคาร 3A และ 3B จะมีค่า I/O Ratio เฉลี่ยอยู่ที่ 0.96 และ 1.08 ตามลำดับ ซึ่งในกรณีที่ค่า I/O Ratio ใกล้เคียงกันเกิดจากปัจจัยเรื่องทิศทางการวางอาคาร ที่สังเกตได้จากภาพที่ 4.19 ถึง 4.54 ซึ่งจะมีบางกรณีที่มีด้านทึบของอาคารกรณีศึกษาวางทิศทางการไหลของลม ทำให้เกิดการระบายอากาศในลานถึงเปิดโล่งได้ไม่เต็มที่



ภาพที่ 4.74 ความสัมพันธ์ของจำนวนด้านเปิดของอาคารกับค่า I/O Ratio เฉลี่ย

ส่วนในกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 1 ด้าน คืออาคาร 1A และ 1B มีค่า I/O Ratio เฉลี่ยอยู่ที่ 2.15 และ 1.88 นั่นคือการที่มีมลพิษสะสมอยู่ในลานกึ่งเปิดโล่งมากกว่าสภาพแวดล้อมโดยรอบ เนื่องจากมีการระบายอากาศที่น้อย ลมธรรมชาติไม่สามารถพัดผ่านลานกึ่งเปิดโล่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอาคาร 1A ที่มีมลพิษสะสมสูงสุด เนื่องจากด้านที่เปิดให้อากาศไหลผ่านได้นั้น ไม่สอดคล้องกับทิศทางลมประจำ อีกทั้งยังมีพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่งที่กว้างกว่าอาคาร 1B เป็นเหตุให้ระยะเวลาการสะสมของมลพิษนานขึ้น และระดับมลพิษสูงมากขึ้น

4.2.2 วิเคราะห์ค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศ

การจำลองอายุของอากาศ เป็นการศึกษาคูณภาพอากาศในรูปแบบหนึ่ง เนื่องจากอากาศที่ไหลเวียนอยู่ในพื้นที่ใช้งานเดิมในระยะที่นาน จะยังมีความเป็นมลพิษที่สูงและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งานอาคารได้ ซึ่งอายุของอากาศ จะสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนอากาศ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CFD จะเห็นได้ว่าอาคารกรณีศึกษาที่มีจำนวนด้านที่เปิดรับลมธรรมชาติที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้มีค่าอายุของอากาศที่แตกต่างกันออกไป โดยมีข้อสังเกตของแต่ละกรณีดังนี้

- อาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน

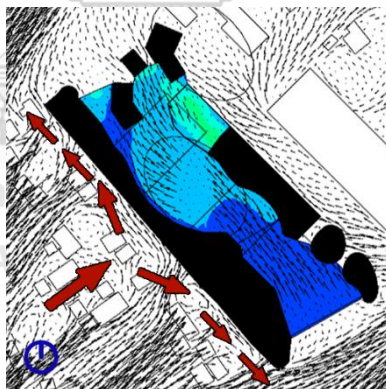
ค่าอายุของอากาศของอาคารกลุ่มนี้ จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น เนื่องจากการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation อีกทั้งทิศทางการวางอาคารที่ไม่สอดคล้องกับทิศทางลม ทำให้อากาศไหลเวียนได้น้อย ส่งผลให้อายุของอากาศในพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งนั้นสูงขึ้น

- อาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน

ค่าอายุของอากาศของอาคารกลุ่มนี้จะแตกต่างกันมาก เนื่องจากทิศทางของการวางอาคารที่สอดคล้องกับทิศทางลมธรรมชาติ ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศได้ดี อายุของอากาศจะลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การมีขนาดของพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งที่กว้าง เป็นผลให้อากาศเคลื่อนตัวในลานนานขึ้น ในกรณีอาคาร 2A ที่มีพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1,210 ตารางเมตร มีค่าอายุของอากาศอยู่ที่ 34.76, 18.59 และ 76.80 วินาที สำหรับลมจาก 3 ทิศทาง และอาคาร 2B ที่มีพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 2,274 ตารางเมตร ซึ่งพื้นที่มากกว่าอาคาร 2A จะมีค่าอายุของอากาศอยู่ที่ 58.63, 93.85 และ 139.22 วินาที สำหรับลมจาก 3 ทิศทาง แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มอายุของอากาศโดยรวมที่มากกว่าอาคาร 2A ด้วยเช่นกัน

- อาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน

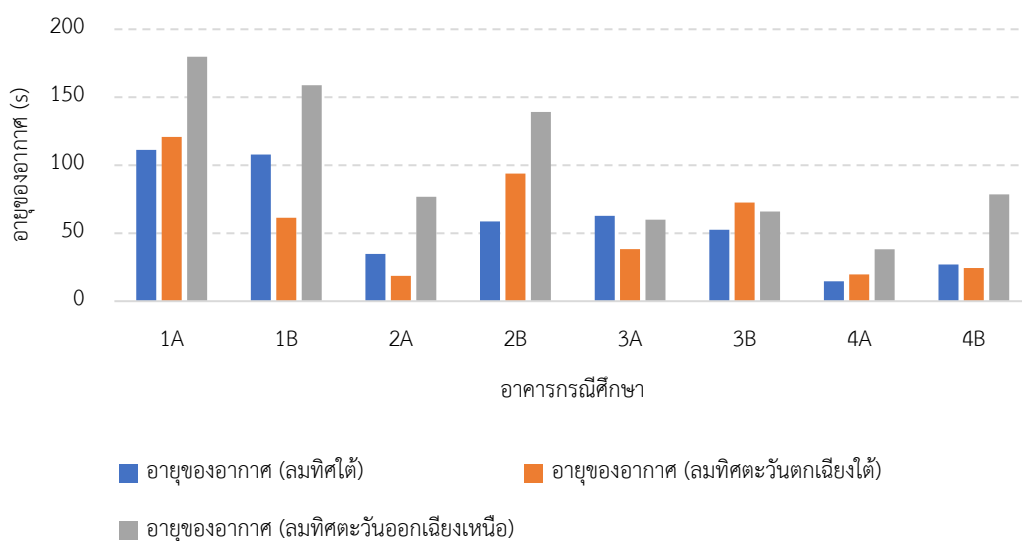
ค่าอายุของอากาศของอาคารกลุ่มนี้ จะมีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากด้วยลักษณะของอาคารที่มีช่องโล่งมากกว่า 2 กรณีก่อนหน้า ทำให้สามารถรองรับลมธรรมชาติได้จากหลายทิศทาง แต่ยังคงมีค่าอายุของอากาศในบางกรณี อย่างเช่นอาคาร 3B.2 ลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ที่มีค่าอายุของอากาศสูงที่สุดในกลุ่มด้านเปิด 3 ด้าน เท่ากับ 72.50 วินาที เนื่องจากด้านทึบของอาคารที่ขวางทางลมธรรมชาติ แสดงในภาพที่ 4.75 ทำให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศของกรณีนี้ลดต่ำลง



ภาพที่ 4.75 อาคาร 3B.2 ที่มีด้านทึบของอาคารขวางทางลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้

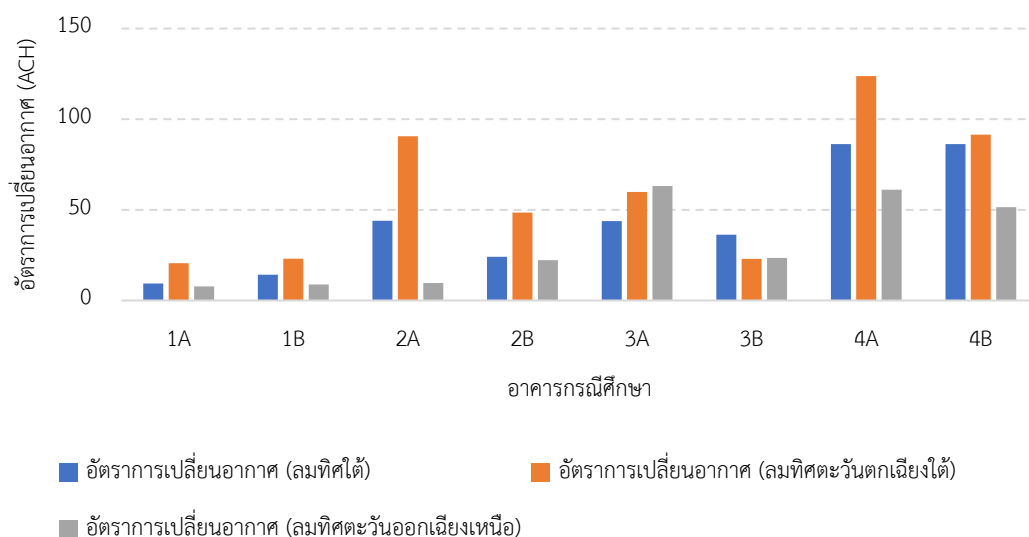
- อาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน

ค่าอายุของอากาศของอาคารกลุ่มนี้จะใกล้เคียงกัน และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ที่มีจำนวนด้านเปิดของอาคารน้อยกว่า เนื่องจากอาคารมีช่องโล่งระหว่างอาคารที่มาก สามารถรองรับลมธรรมชาติได้จากทุกทิศทาง ทำให้อากาศเคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งในอัตราที่สูง เกิดการระบายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่าอายุของอากาศลดต่ำลง



ภาพที่ 4.76 ค่าอายุของอากาศ ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

ค่าอายุของอากาศนั้น สัมพันธ์แบบผกผันกับอัตราการเปลี่ยนอากาศ เมื่อสังเกตจากภาพที่ 4.76 และ ภาพที่ 4.77 เมื่อค่าอายุของอากาศลดลง จะสื่อถึงอัตราการเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น

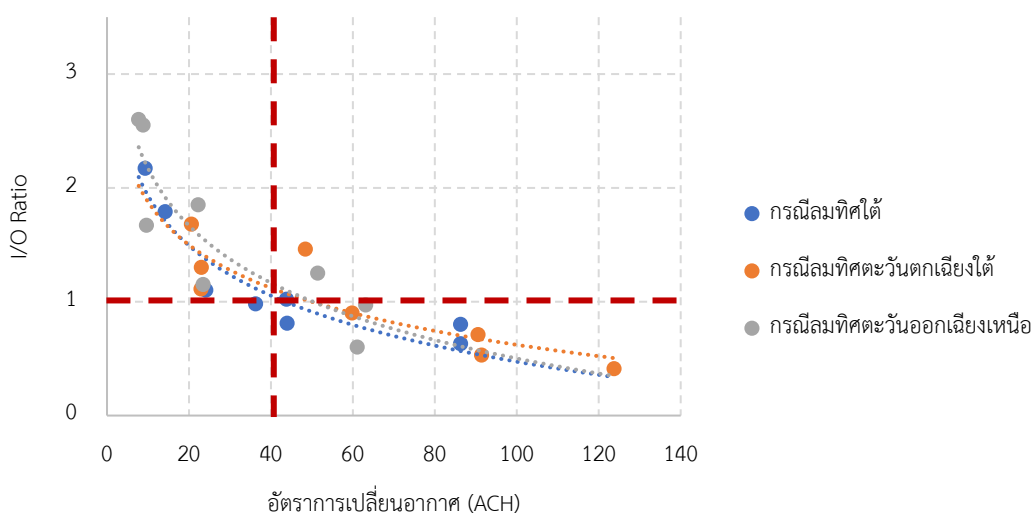


ภาพที่ 4.77 อัตราการเปลี่ยนอากาศ ของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

จากผลการวิเคราะห์พบว่า อาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้านจะมีค่าอายุของอากาศโดยรวมสูงที่สุด และอัตราการเปลี่ยนอากาศโดยรวมต่ำที่สุด ลำดับถัดขึ้นมาคืออาคารที่มีด้านเปิด 2 และ 3 ด้าน ตามลำดับ ที่มีค่าอายุของอากาศโดยรวมลดลงและอัตราการเปลี่ยนอากาศสูงขึ้น และอาคารที่มีด้าน

เปิด 4 ด้าน จะมีค่าอายุของอากาศโดยรวมต่ำที่สุดและอัตราการเปลี่ยนอากาศที่สูงที่สุด ดังที่แสดงในภาพที่ 4.76 และ ภาพที่ 4.77

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนอากาศ กับตัวแปรที่ใช้ในการบ่งบอกคุณภาพอากาศอย่าง I/O Ratio แสดงในภาพที่ 4.78 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มโดยรวมของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะลดลง เมื่ออัตราการเปลี่ยนอากาศเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4.78 ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนอากาศกับ I/O Ratio

เมื่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} สูง ทำให้ค่า I/O Ratio สูงขึ้นด้วย เกิดจากการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ดังเช่นในกรณี 1A.3 มีค่า I/O Ratio สูงสุดที่ 2.60 จะมีอัตราการเปลี่ยนอากาศต่ำสุดที่ 7.73 ACH และในทางกลับกัน ในกรณี 4A.2 ที่มีค่า I/O Ratio ต่ำสุดเท่ากับ 0.41 จะมีอัตราการเปลี่ยนอากาศที่ 123.75 ACH ซึ่งเป็นค่าสูงสุด โดยจากภาพรวมของกรณีศึกษาพบว่า I/O Ratio ที่ดี (มีค่าต่ำกว่า 1) จะเกิดขึ้นเมื่อมีอัตราการเปลี่ยนอากาศตั้งแต่ 40 ACH ขึ้นไป

จากภาพที่ 4.78 แสดงถึงการลดลงของมลพิษ เมื่ออัตราการเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการเปลี่ยนอากาศนั้นเกิดจากการมีอัตราการไหลของอากาศโดยเฉพาะที่เกิดจากการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่สูง ซึ่งจะสอดคล้องกับภาพที่ 2.7 ที่ระดับของมลพิษจะลดต่ำลงเมื่อมีอัตราการไหลที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติสามารถลดปัญหามลพิษในอากาศได้

ทั้งความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่สูงในพื้นที่ และอายุของอากาศที่สะสมอยู่นานนั้น เมื่อสังเกตถึงตำแหน่งที่เกิดการสะสมของมลพิษในแต่ละกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่าเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ทั้งหมดนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของอากาศผ่านสภาพแวดล้อมโดยรอบ และเข้า

มายังพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง โดยพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของมลพิษในระดับที่สูงนั้น จะอยู่ในตำแหน่งที่เกิดลมหมุนวนขึ้นในพื้นที่ลาน ดังนั้น รูปแบบการไหลหรือการเคลื่อนตัวของอากาศ จึงเป็นปัจจัยถัดไปที่นำมาพิจารณาถึงความเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้น

4.2.3 วิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ

การจำลองการเคลื่อนไหวของของไหลด้วยโปรแกรม CFD แสดงให้เห็นถึงการไหลของลมธรรมชาติผ่านตัวอาคารและผ่านลานกึ่งเปิดโล่ง โดยที่แต่ละกรณีศึกษา ที่มีขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่งที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของลม แตกต่างกันไป รวมถึงสัดส่วนของการเกิดลมหมุนวนในพื้นที่ลาน อันนำมาซึ่งการสะสมของมลพิษในอากาศและค่าอายุของอากาศที่สูงขึ้น ซึ่งแต่ละอาคารกรณีศึกษาจะมีสัดส่วนของการเกิดลมหมุนวนในพื้นที่เฉลี่ย แสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงสัดส่วนการเกิดลมหมุนวนเฉลี่ยในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารกรณีศึกษา

จำนวนด้านเปิด	อาคารกรณีศึกษา	ขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่ง (m ²)	สัดส่วนพื้นที่ลมหมุนวน
1	1A	2,500	68.8 %
	1B	1,280	65.2 %
2	2A	1,210	45.3 %
	2B	2,274	48.4 %
3	3A	2,645	45.5 %
	3B	7,860	47.6 %
4	4A	2,347	35.1 %
	4B	3,529	38.3 %

เมื่อพิจารณาอาคารกรณีศึกษาโดยแยกเป็นกลุ่มตามด้านเปิดที่ให้ลมธรรมชาติไหลผ่านอาคารที่มีจำนวนด้านเปิดเท่ากันแล้วมีขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่งที่มากกว่า จะทำให้เกิดลมหมุนวนหรืออากาศที่สะสมในพื้นที่เดิมได้มากขึ้นเช่นกัน โดยจะสามารถแปรผลแยกตามกลุ่มอาคารได้ดังนี้

- อาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน

อาคารในกลุ่มนี้จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนในพื้นที่สูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น และขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร 1A เท่ากับ 2,500 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 68.8% และค่า I/O Ratio 2.15 ซึ่งมากกว่าอาคาร 1B ที่มีขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1,280 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 65.2% และค่า I/O Ratio 1.88

- อาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน

อาคารในกลุ่มนี้จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนในพื้นที่ใกล้เคียงกับอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน โดยขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร 2A เท่ากับ 2,274 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 48.4% และค่า I/O Ratio 1.47 ซึ่งมากกว่าอาคาร 2B ที่มีขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 1,210 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 45.3% และค่า I/O Ratio 1.06

- อาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน

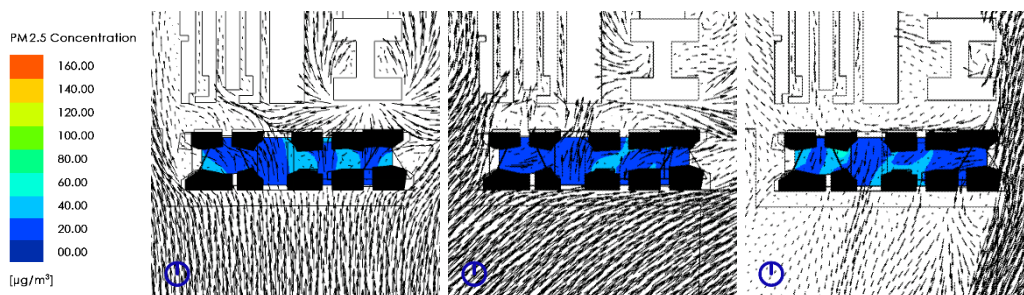
อาคารในกลุ่มนี้จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนในพื้นที่ใกล้เคียงกับอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน โดยขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร 3A เท่ากับ 2,645 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 45.5% และค่า I/O Ratio 0.96 ซึ่งน้อยกว่าอาคาร 3B ที่มีขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 7,860 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 47.6% และค่า I/O Ratio 1.08

- อาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน

อาคารในกลุ่มนี้จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนในพื้นที่ใกล้เคียงกับอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน โดยขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร 4A เท่ากับ 2,347 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 35.1% และค่า I/O Ratio 0.55 ซึ่งน้อยกว่าอาคาร 4B ที่มีขนาดพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเท่ากับ 3,529 ตารางเมตร จะมีสัดส่วนของลมหมุนวนอยู่ที่ 38.3% และค่า I/O Ratio 0.86

จะเห็นว่าขนาดของพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมของมลพิษที่สูงขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพอากาศที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร แต่จะเปรียบเทียบกันได้ต่อเมื่ออาคารนั้นมีปัจจัยอื่นที่คล้ายคลึงกัน เช่นในงานวิจัยนี้ที่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอาคารกรณีศึกษาที่มีจำนวนด้านเปิดให้อากาศไหลผ่านเท่ากัน จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ และยังมิข้อสังเกตจากสัดส่วนพื้นที่ในการเกิดลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่ง คือกรณีศึกษาที่มีความเข้มข้นของมลพิษต่ำที่สุด และสูงที่สุด

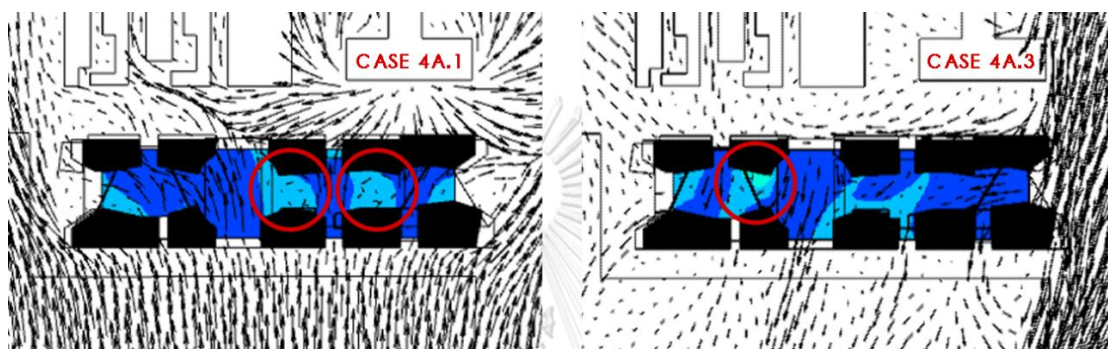
- กรณีความเข้มข้นของมลพิษต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.79 รูปแบบการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่มีการสะสมของมลพิษต่ำที่สุด - กรณี

4A.1(ซ้าย) กรณี 4A.2 (กลาง) และกรณี 4A.3(ขวา)

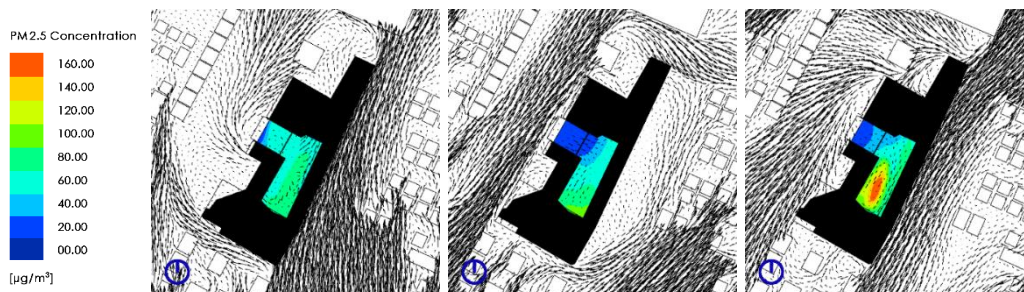
จากภาพที่ 4.79 เป็นภาพจากการจำลองอาคารกรณีศึกษา 4A ทั้ง 3 กรณี คืออาคารที่มีด้านเปิดให้ลมธรรมชาติผ่านได้ทั้ง 4 ด้านของอาคาร จะสังเกตได้ว่าการมีด้านเปิดหรือมีช่องโหว่ที่มาก ทำให้ลมธรรมชาติผ่านพื้นที่ลานของอาคารได้มาก โดยเฉพาะกรณี 4A.2 ที่ลมธรรมชาติพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งทำมุม 45 องศา กับแนวการวางอาคาร ส่งผลให้ไม่เกิดลมหมุนวนที่อยู่ระหว่างส่วนที่บของอาคารอย่างในกรณี 4A.1 และ 4A.3 ดังที่แสดงในภาพที่ 4.80 ซึ่งจุดที่เกิดลมหมุนวนนี้เองเป็นพื้นที่ที่อาจเกิดการสะสมของมลพิษที่มากขึ้นได้



ภาพที่ 4.80 ตำแหน่งลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่งของกรณี 4A.1 และ กรณี 4A.3

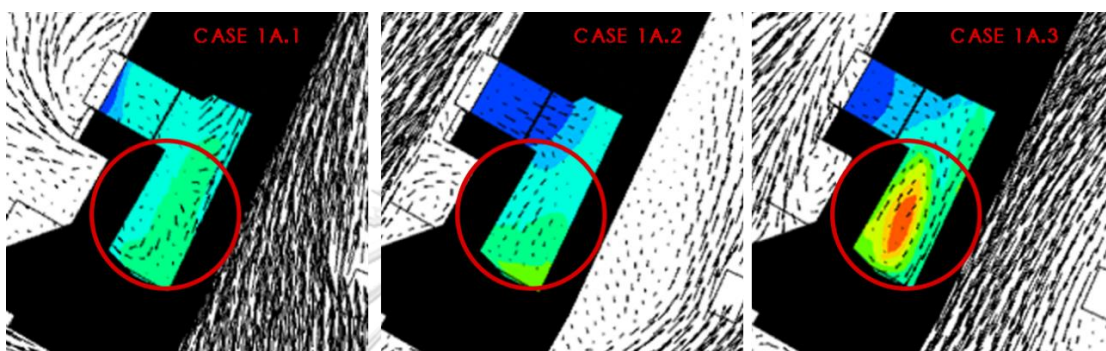
ในกรณี 4A.1 เป็นการที่ส่วนที่บของอาคารตั้งฉากกับทิศทางลมที่พัดเข้ามาหาอาคาร จึงทำให้เกิดความกดอากาศที่ลดลงบริเวณด้านตรงข้ามกับส่วนที่ลมปะทะกับอาคาร และเกิดลมหมุนวนขึ้นในบริเวณนี้ ตามหลักการในภาพที่ 2.4 และเนื่องจากระยะห่างของอาคารที่อยู่ถัดออกไปด้านเหนือ มีระยะห่างไม่มากนัก จึงทำให้อากาศไหลผ่านพื้นที่โล่งส่วนนี้ออกไป ทำให้พื้นที่ระหว่างในส่วนนี้เกิดเป็นส่วนอับอากาศ หรือมีการระบายอากาศที่น้อย

- กรณีความเข้มข้นของมลพิษสูงที่สุด



ภาพที่ 4.81 รูปแบบการไหลของอากาศของอาคารกรณีศึกษาที่มีการสะสมของมลพิษสูงที่สุด - กรณี 1A.1(ซ้าย) กรณี 1A.2 (กลาง) และกรณี 1A.3(ขวา)

จากภาพที่ 4.81 เป็นภาพจากการจำลองอาคารกรณีศึกษา 1A ทั้ง 3 กรณี คืออาคารที่มีด้านเปิดให้ลมธรรมชาติผ่านได้ทั้ง 1 ด้านของอาคาร จะสังเกตได้ว่าการมีด้านเปิดหรือมีช่องโล่งที่น้อย ทำให้ลมธรรมชาติผ่านพื้นที่ลานของอาคารได้น้อยเช่นกัน ซึ่งการวางอาคารนั้นมีด้านเปิดที่ไม่สอดคล้องกับทิศทางลมทั้ง 3 กรณี ส่งผลให้เกิดลมหมุนวนที่อยู่ภายในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร ดังที่แสดงในภาพที่ 4.82 ซึ่งพื้นที่ที่เกิดลมหมุนวนนี้เอง เป็นส่วนที่บ่งบอกว่าการเปิดช่องโล่งของอาคาร ส่งผลต่อคุณภาพอากาศโดยตรงในลานกึ่งเปิดโล่ง

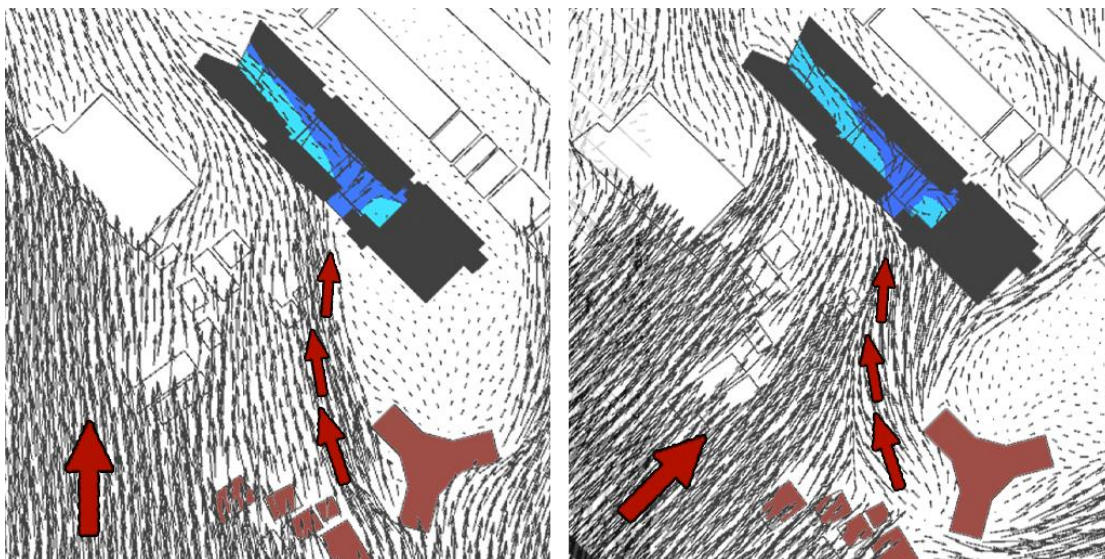


ภาพที่ 4.82 ตำแหน่งลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่ง กรณี 1A.1 กรณี 1A.2 และ กรณี 1A.3

ทั้งในกรณีที่มีความเข้มข้นของมลพิษต่ำที่สุด และสูงที่สุด จะสังเกตได้ว่ารูปแบบการไหลของอากาศในลานกึ่งเปิดโล่งแตกต่างกันอย่างชัดเจนอย่างในกรณีที่อาคารกรณีศึกษามีด้านเปิดทั้ง 4 ด้าน จะทำให้อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกไม่ว่าจะเป็นลมธรรมชาติจากทิศทางไหนก็ตาม แต่กรณีที่อาคารกรณีศึกษามีด้านเปิดน้อยเช่น 1 ด้าน จะมีรูปแบบการไหลของลมธรรมชาติที่ต่างกันมาก เมื่อลมธรรมชาติเปลี่ยนทิศทางไป ทำให้ต้องคำนึงถึงทิศทางวางอาคารเป็นอย่างดี เพื่อการรักษา ระดับของคุณภาพอากาศ

อย่างไรก็ตาม ด้านเปิดของอาคารที่สอดคล้องกับทิศทางลมธรรมชาติ ไม่ได้เป็นปัจจัยที่กำหนดเสมอไปว่าจะทำให้อาคารนั้นมีคุณภาพอากาศที่ดี แต่ยังคงมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อทิศทางและความเร็วลม เมื่อความเร็วของลมเปลี่ยนไป จะส่งผลให้ปริมาณของมลพิษในพื้นที่เปลี่ยนไปเช่นกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลคืออาคารโดยรอบ (Surrounding) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับทิศทางและความเร็วลมในบางกรณี ซึ่งอาคารโดยรอบนั้นเป็นได้ทั้งผลดีและผลเสียที่เกิดขึ้นกับอาคารที่พิจารณา

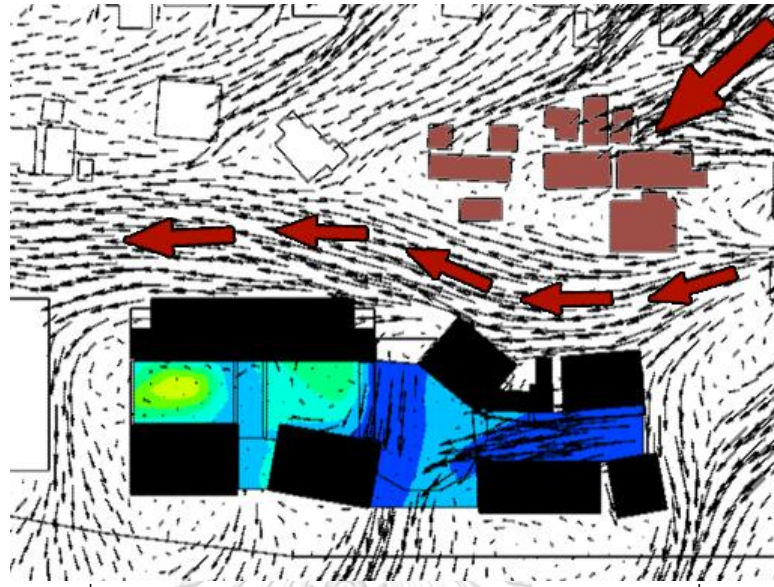
- กรณีที่อาคารโดยรอบส่งผลดีต่อกรณีศึกษา



ภาพที่ 4.83 กรณี 2A.1 (ซ้าย) และ กรณี 2A.2 (ขวา) อาคารโดยรอบทำให้ทิศทางลมเปลี่ยนไป

ในกรณีที่อาคารโดยรอบส่งผลดีต่ออาคารกรณีศึกษา ดังเช่นในภาพที่ 4.83 ที่เป็นกรณี 2A.1 และ 2A.2 ซึ่งมีลมธรรมชาติจากทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตามลำดับ จะมีอาคารโดยรอบอยู่ทางทิศใต้ของอาคารกรณีศึกษา และมีลักษณะเป็นช่องที่ให้ลมผ่านได้ ส่งผลให้ลมธรรมชาติมีทิศทางที่ชัดเจนมากขึ้น และมีทิศทางที่สอดคล้องไปกับตำแหน่งของช่องเปิดของอาคารพอดี รวมถึงมีความเร็วลมที่สูงขึ้น จึงทำให้คุณภาพอากาศของกรณีศึกษาทั้ง 2 กรณีนี้มีคุณภาพที่ดี โดยชี้วัดจากค่า I/O Ratio ที่มีค่า 0.81 และ 0.71 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 2 ด้าน และ 3 ด้านในกรณีอื่น ๆ ที่มีค่า I/O Ratio ไม่ต่ำกว่า 0.90 อีกทั้งกรณี 2A.2 มีอัตราการเปลี่ยนอากาศสูงที่สุดอยู่ที่ 90.55 ACH เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 2 ด้าน และ 3 ด้านในกรณีอื่น ๆ ที่มีอัตราการเปลี่ยนอากาศไม่เกิน 63.16 ACH

- กรณีที่อาคารโดยรอบส่งผลเสียต่ออาคารกรณีศึกษา



ภาพที่ 4.84 กรณี 4B.3 อาคารโดยรอบส่งผลให้ทิศทางลมเปลี่ยนไป

ในกรณีที่อาคารโดยรอบส่งผลเสียต่ออาคารกรณีศึกษา ดังเช่นในภาพที่ 4.84 ที่เป็นกรณี 4B.3 ซึ่งมีลมธรรมชาติจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีอาคารรอบข้างที่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอาคารกรณีศึกษา ส่งผลให้ลมธรรมชาติไม่สามารถพัดมาถึงอาคารได้แบบเต็มประสิทธิภาพ คือการมีทิศทางลมที่เปลี่ยนไป และมีความเร็วลมที่ลดลง ด้วยเหตุนี้เอง จึงทำให้คุณภาพอากาศลดต่ำลง โดยชี้วัดจากค่า I/O Ratio ที่มีค่า 1.25 ซึ่งถือว่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 4 ด้านในกรณีอื่น ๆ ที่มีค่า I/O Ratio ไม่เกิน 0.80 อีกทั้งยังมีอัตราการเปลี่ยนอากาศที่ต่ำที่สุดที่ 51.45 ACH เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่มีด้านเปิด 4 ด้านในกรณีอื่น ๆ ที่มีอัตราการเปลี่ยนอากาศไม่ต่ำกว่า 61.09 ACH

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

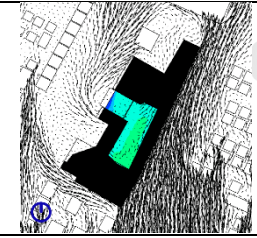
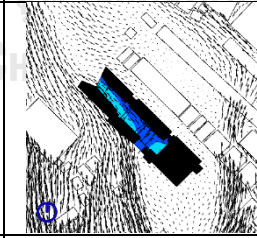
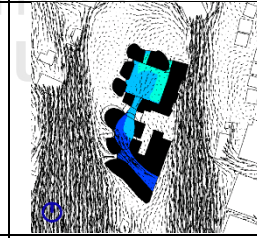
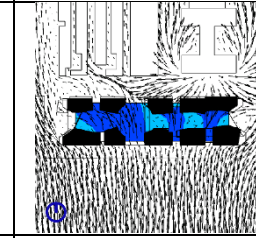

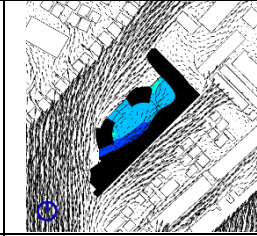
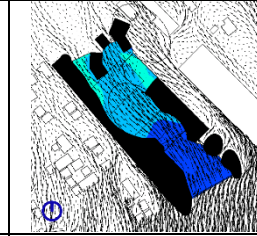
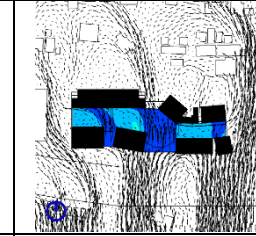
จากผลการวิเคราะห์ผลการจำลองกรณีศึกษาศูนย์การค้าชุมชนทั้งหมด โดยเน้นที่กายภาพของอาคาร คือ ความพรุนหรือจำนวนด้านเปิดของอาคาร และพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนไปของตัวแปรที่ใช้ในการชี้วัดคุณภาพอากาศ สามารถนำมาสรุปผล และอภิปรายเกี่ยวกับปัจจัยทางกายภาพเพิ่มเติมที่พบในงานวิจัย ซึ่งนอกเหนือจากตัวแปรที่กำหนดไว้ข้างต้น นำไปสู่การเสนอแนวทางการออกแบบ เพื่อคุณภาพอากาศที่ดีของอาคาร โดยสามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1 การประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในศูนย์การค้าชุมชน

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม CFD โดยการมีอาคารกรณีศึกษาที่เป็นศูนย์การค้าชุมชนกลุ่มตัวอย่าง 8 อาคาร ที่มีจำนวนด้านเปิดของอาคารเพื่อรับลมธรรมชาติแตกต่างกัน ซึ่งจะแบ่งกลุ่มเป็นอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน, 2 ด้าน, 3 ด้าน และ 4 ด้าน กลุ่มละ 2 อาคาร แสดงในตารางที่ 5.1

สำหรับทุกอาคารกรณีศึกษา จะมีการแยกการจำลองออกเป็น 3 กรณีต่อ 1 อาคาร เป็นการจำลองด้วยลมธรรมชาติที่เป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร ซึ่งพัฒมาจาก 3 ทิศทาง คือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

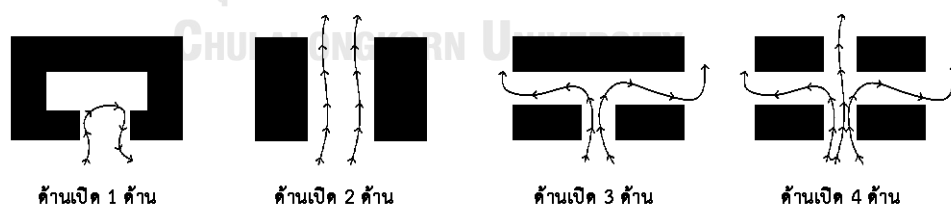
ตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 8 อาคาร

กลุ่มด้านเปิด 1 ด้าน	กลุ่มด้านเปิด 2 ด้าน	กลุ่มด้านเปิด 3 ด้าน	กลุ่มด้านเปิด 4 ด้าน
			
1A	2A	3A	4A
			
1B	2B	3B	4B

จำนวนด้านเปิดของอาคารทำให้เกิดคุณภาพอากาศที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ต่างกัน การจำลองด้วยโปรแกรม CFD สามารถสรุปได้ว่า อาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน จะทำให้ลมธรรมชาติสามารถพัดผ่านพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งได้มากที่สุด เนื่องจากมีช่องลมเข้า และช่องลมออกทุกทิศทางของอาคาร รองรับกับทิศทางลมตามฤดูกาล ส่งผลให้มีคุณภาพอากาศดีที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ลำดับรองลงมาคืออาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน และ ด้านเปิด 3 ด้าน ที่จะมีคุณภาพอากาศในระดับที่ใกล้เคียงกัน และอาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน จะมีคุณภาพอากาศที่ต่ำที่สุด ในการพิจารณาค่า I/O Ratio ของอาคารกรณีศึกษาทุกกรณี จะอยู่ในช่วง 0.41 ถึง 2.60 ซึ่งอาคารที่มีค่า I/O Ratio มากกว่า 1 เป็นกรณีที่ยากของอาคารทำให้เกิดการสะสมของมลพิษในลานกึ่งเปิดโล่ง เป็นที่มาของคุณภาพอากาศที่ลดต่ำลง โดยสามารถสรุปปัจจัยในการออกแบบอาคาร ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศได้ดังนี้

5.1.1 จำนวนด้านเปิดของอาคารที่ไม่มากพอ

เนื่องจากการไหลของลมธรรมชาติผ่านลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน จำเป็นต้องมีทั้งทางลมเข้าและทางลมออก เพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ และเจือจางความเข้มข้นของมลพิษ อีกทั้งลมธรรมชาติมีการเปลี่ยนทิศทางไปตามฤดูกาล ทำให้การออกแบบด้านเปิดของอาคารควรคำนึงให้รองรับปัจจัยนี้ด้วยเช่นกัน ดังนั้น ผังอาคารที่มีด้านเปิดน้อยจึงนับว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการสะสมของมลพิษสูงขึ้น เนื่องจากอากาศไม่สามารถผ่านพื้นที่ลานของอาคารได้ แสดงในภาพที่ 5.1 ส่งผลถึงคุณภาพอากาศที่ต่ำลง



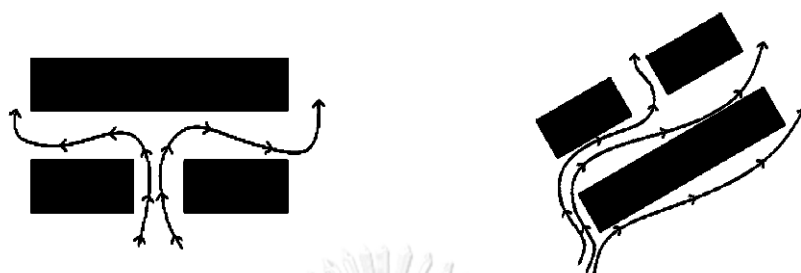
ภาพที่ 5.1 อาคารที่มีด้านเปิดน้อย จะทำให้อากาศไม่สามารถไหลผ่านลานกึ่งเปิดโล่งได้

5.1.2 การวางแผนของอาคาร

แนวของอาคารที่สัมพันธ์กับทิศทางและแนวการเคลื่อนที่ของลมธรรมชาติ โดยสามารถแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนที่ส่งผลต่อการไหลของลมและคุณภาพอากาศ ทั้ง 2 ส่วน ประกอบไปด้วย

- ส่วนช่องโล่งของอาคาร เป็นส่วนที่ควรจะมีการเปิดช่องระหว่างของอาคารที่เปิดรับลม ให้มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม หรือใกล้เคียงกับการตั้งฉากมากที่สุด เพื่อให้ลมธรรมชาติสามารถพัดผ่าน

ได้มาก และช่วยเจือจางมลพิษในลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน ในทางกลับกัน หากระนาบช่องเปิดของอาคารทำมุมกับทิศทางลมมากขึ้น จะทำให้ความเร็วลมลดลง และการระบายอากาศประสิทธิภาพลดลงเช่นกัน แสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ช่องโล่งของอาคารแบบตั้งฉากกับทิศทางลม (ซ้าย) และทำมุมกับทิศทางลม (ขวา)

- ส่วนทึบของอาคาร เป็นส่วนที่ขวางการไหลของอากาศ เมื่อส่วนทึบของอาคารวางทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม จะทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศที่บริเวณผิวของอาคารด้านที่ปะทะกับลมมากขึ้น และดันให้กระแสลมไหลออกจากตัวอาคาร และพื้นที่ลานกึ่งเปิดโล่งที่อยู่ด้านหลังส่วนทึบของอาคาร จะมีลมที่ไหลผ่านน้อยลง ส่งผลให้เกิดลมหมุนวน และการสะสมของมลพิษที่สูงมากขึ้น แสดงในภาพที่ 5.3 นำมาซึ่งปัญหาคุณภาพอากาศในอาคาร ดังนั้น ส่วนทึบของอาคารควรจะวางในรูปแบบที่ทำมุมกับทิศทางลมเพื่อให้ลมสามารถไหลผ่านอาคารได้มากขึ้น



ภาพที่ 5.3 ส่วนทึบของอาคารที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (ซ้าย) และทำมุมกับทิศทางลม (ขวา)

5.1.3 ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่ง

ในกรณีที่ลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารกรณีศึกษามีขนาดที่กว้าง มีโอกาสที่จะทำให้เกิดลมหมุนวนในลานได้มากขึ้น ดังภาพที่ 5.4 อีกทั้งมวลอากาศเดิมที่ยังอยู่ในลาน จะเคลื่อนตัวออกไปจากพื้นที่เดิมช้าลง ด้วยเหตุผลเหล่านี้เอง มลพิษที่ปะปนอยู่ในอากาศ จะสะสมอยู่ในพื้นที่เดิมเป็นเวลานานกว่าปกติ จนส่งผลให้คุณภาพอากาศเป็นพิษมากขึ้น



ภาพที่ 5.4 ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งที่กว้าง จะทำให้มีโอกาสเกิดลมหมุนวนมากขึ้น

5.1.4 อาคารโดยรอบ

อาคารแวดล้อมที่ต่างกันอย่างออกไปตามที่ตั้งของแต่ละอาคารกรณีศึกษา มีทั้งข้อดีและข้อเสียเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ ข้อดีคืออาคารรอบข้างสามารถเปลี่ยนทิศทางของลม ให้ลมธรรมชาติสามารถพัดเข้าหาช่องเปิดรับลมของอาคารได้ แต่ด้วยเหตุผลเดียวกันนี้เอง อาคารรอบข้างสามารถที่จะขวางทิศทางลมเดิม ทำให้ลมไม่สามารถพัดเข้ามายังพื้นที่ลานของอาคารได้ แสดงในภาพที่ 5.5 ซึ่งอาจทำให้ไม่มีการระบายอากาศเพื่อมาเจือจางมลพิษในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร



ภาพที่ 5.5 อาคารโดยรอบที่ส่งผลกับกระแสลมที่พัดเข้าหาอาคาร

เมื่อเทียบกับผลการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้าที่เป็นการศึกษาสภาพอากาศของศูนย์การค้าชุมชน และเกี่ยวข้องกับผลกระทบอากาศด้วยวิธีธรรมชาติจะพบว่า ปัจจัยมีความคล้ายคลึงกัน แสดงในตารางที่ 5.2 แต่ยังคงมีปัจจัยที่ไม่พบความสอดคล้องกัน คือ ในเรื่องที่ตั้งของอาคาร เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจากกรณีศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในกรุงเทพมหานครเท่านั้น ทำให้ทุกอาคารมีภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน รวมถึงความเร็วและทิศทางลมในการจำลองเท่ากันในทุกกรณีศึกษา

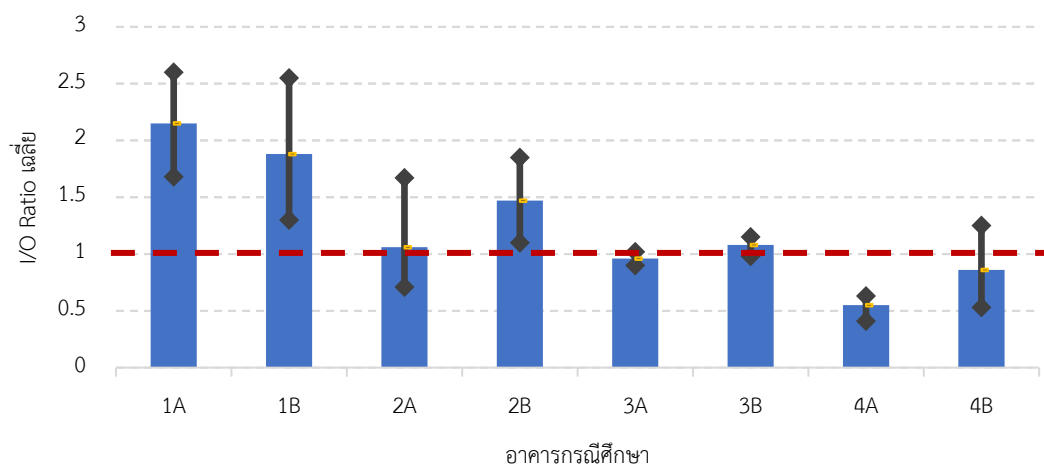
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ	Tantasavasdi, C. & Inprom, N. (2020)	ปัจจัยจากผลการศึกษา (2565)
ที่ตั้งของอาคาร	ตำแหน่งช่องโถงสอดคล้องกับกระแสลม	-
รูปทรงของอาคาร	รูปร่างของผิวอาคาร	ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่ง
การวางแนวของอาคาร	การกระจายของช่องเปิด	การวางแนวของอาคาร
องค์ประกอบภายนอก	-	อาคารโดยรอบ
ทางเข้าและทางออกของอากาศ	ตำแหน่งช่องโถงสอดคล้องกับกระแสลม อัตราส่วนพื้นที่ช่องโถงต่อผนังที่บ ช่องเปิดที่ทำให้เกิด Cross Ventilation	จำนวนด้านเปิดของอาคารที่ไม่มากพอ

ปัจจัยที่พบในงานวิจัยนี้ทั้ง 4 ประเด็นที่ประกอบด้วย จำนวนด้านเปิดของอาคารที่ไม่มากพอ การวางแนวของอาคาร ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่ง และอาคารโดยรอบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศได้ชัดเจนที่สุดเป็นปัจจัยด้านความพรุน คือ จำนวนด้านเปิดของอาคาร เนื่องจากจำนวนด้านเปิดที่มาก ทำให้ลมผ่านอาคารได้ดี และสอดคล้องกับลมจากทุกทิศทาง

5.2 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5

จากผลการจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM2.5 มาคำนวณค่า I/O Ratio เฉลี่ย จะทราบถึงคุณภาพอากาศตลอดปีของอาคารนั้น ๆ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพอากาศแต่ละกรณีศึกษา



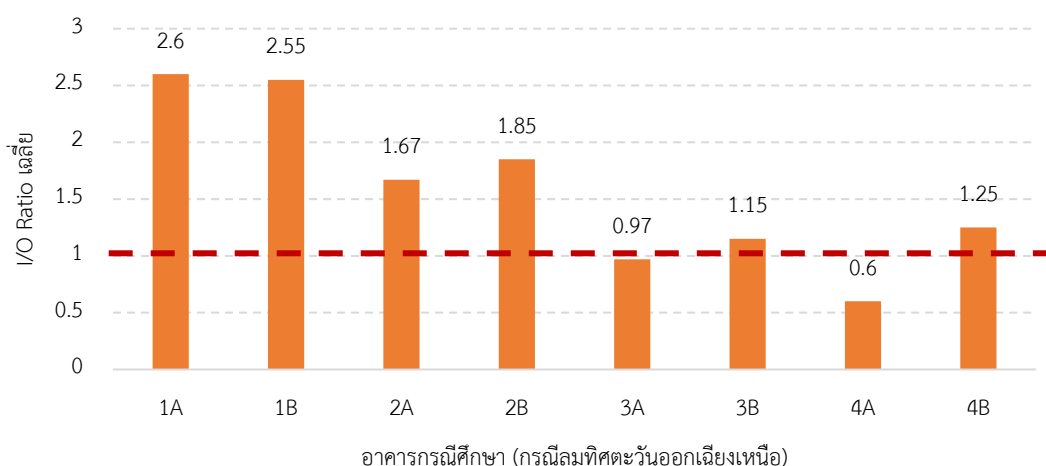
ภาพที่ 5.6 เปรียบเทียบค่า I/O Ratio เฉลี่ยของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

จากภาพที่ 5.6 อาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน ทั้งอาคาร 4A และ 4B รวมถึงอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน คืออาคาร 3A จะมีค่า I/O Ratio เฉลี่ยตลอดทั้งปีต่ำกว่า 1 สืบเนื่องจากระดับของมลพิษที่ไม่เกินมาตรฐานเฉลี่ยต่อปี เนื่องจากการออกแบบอาคารในลักษณะที่มีด้านเปิดรับลมมาก เกิดการระบายอากาศในลานได้ดี ไม่สะสมของมลพิษ และไม่ส่งผลให้ระดับของคุณภาพอากาศลดต่ำลง

สำหรับอาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน ทั้งอาคาร 2A และ 2B รวมถึงอาคารที่มีด้านเปิด 3 ด้าน คืออาคาร 3B จะมีค่า I/O Ratio ที่ใกล้เคียงกับ 1 นั่นคือการออกแบบด้านเปิดของอาคาร ไม่สอดคล้องกับทิศทางลมในบางฤดู ทำให้ไม่สามารถระบายอากาศมากพอ จนเกิดการสะสมของมลพิษที่เกินกว่ามาตรฐานเฉลี่ยต่อปี ในบางฤดูกาล และทำให้ระดับของคุณภาพอากาศลดต่ำลง

ส่วนอาคารที่มีด้านเปิดเพียง 1 ด้าน จะมีค่า I/O Ratio อยู่ในช่วง 1.88 ถึง 2.15 ซึ่งหมายถึงการออกแบบอาคารที่ไม่สอดคล้องกับการไหลของลมธรรมชาติ เนื่องจากการที่อาคารมีด้านเปิดเพียงด้านเดียวทำให้เกิดการระบายอากาศแบบ Single Sided Ventilation ซึ่งประสิทธิภาพการระบายอากาศไม่สูงเท่ากับ Cross Ventilation จึงเป็นผลให้ระดับของมลพิษที่สะสมในลานกึ่งเปิดโล่งสูงเกินกว่ามาตรฐานเฉลี่ยต่อปี สืบเนื่องจากระดับของคุณภาพอากาศที่ต่ำกว่ากรณีศึกษาอื่น

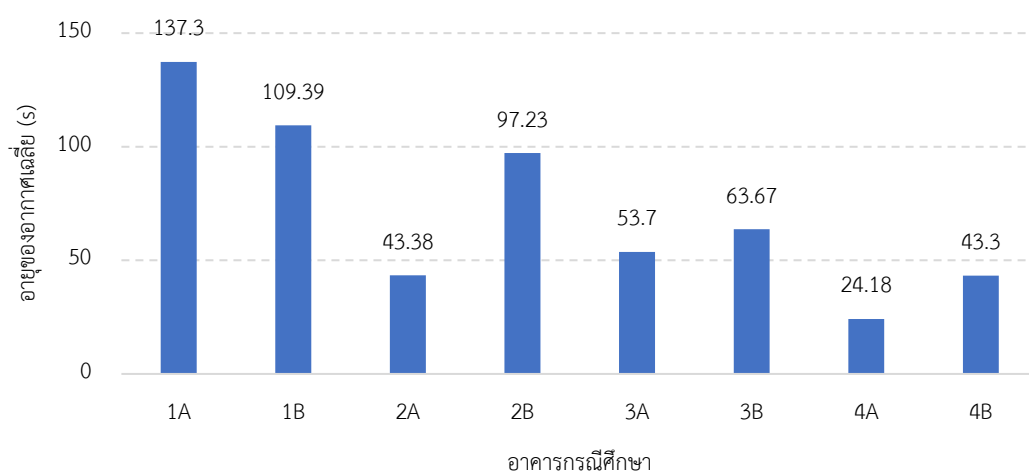
ในกรณีที่ความเร็วลมต่ำที่สุดคือในช่วงฤดูหนาว ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความเร็วลม 2.18 เมตรต่อวินาที จะส่งผลให้ความสามารถในการระบายอากาศเพื่อการเจือจางมลพิษนั้นลดต่ำลง สังเกตได้จากระดับของ I/O Ratio ที่สูงขึ้นในทุกกรณี ตามภาพที่ 5.7 เมื่อเทียบกับ I/O Ratio เฉลี่ยในภาพที่ 5.6 แต่ยังคงมีแนวโน้มในภาพรวมไปในทิศทางเดียวกัน ว่าอาคารที่มีด้านเปิดที่มาก ยังคงมีความสามารถในการเจือจางมลพิษได้มากกว่าอาคารที่มีด้านเปิดน้อย



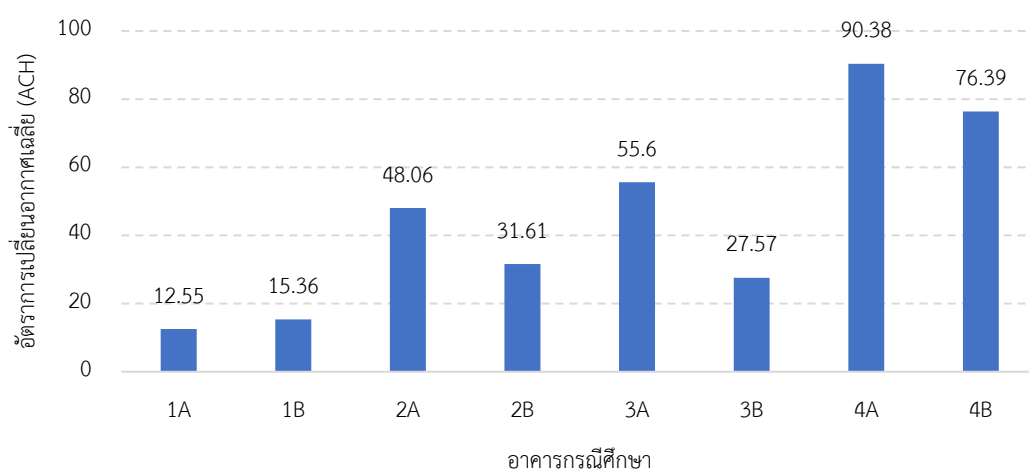
ภาพที่ 5.7 เปรียบเทียบค่า I/O Ratio ของแต่ละอาคารกรณีศึกษาในกรณีที่ความเร็วลมต่ำที่สุด

5.3 สรุปผลจากการวิเคราะห์ค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศ

จากการจำลองค่าอายุของอากาศและอัตราการเปลี่ยนอากาศมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละอาคาร ให้ทราบถึงค่าตัวแปรที่จะเกิดขึ้นตลอดทั้งปีของอาคารนั้น ๆ เนื่องจากการเฉลี่ยจากการจำลองทิศทางลม 3 กรณี ซึ่งเป็นทิศทางลมตลอดทั้งปีของกรุงเทพมหานคร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศและคุณภาพอากาศของแต่ละอาคารกรณีศึกษา



ภาพที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าอายุของอากาศเฉลี่ยของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

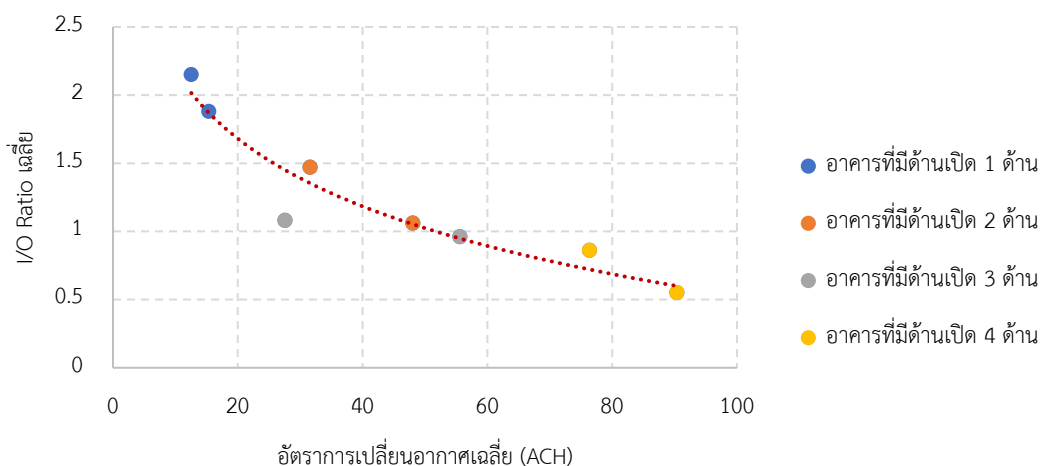


ภาพที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยของแต่ละอาคารกรณีศึกษา

จากภาพที่ 5.8 และ ภาพที่ 5.9 สรุปได้ว่าค่าอายุของอากาศ และอัตราการเปลี่ยนอากาศสัมพันธ์กันแบบผกผัน เมื่อค่าอายุของอากาศลดต่ำลง อัตราการเปลี่ยนอากาศจะสูงขึ้น สู่ถึงการ

ระบายอากาศที่มากขึ้นในอาคารนั้น ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกว่าคุณภาพอากาศของอาคารที่มีค่าอายุของอากาศเฉลี่ยน้อย และอัตราการเปลี่ยนอากาศที่สูงนั้น จะมีคุณภาพอากาศที่ดี

อาคารที่มีด้านเปิด 4 ด้าน จะมีค่าอายุของอากาศเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด และมีอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยที่สูงที่สุด ลำดับรองลงมาคือ อาคารที่มีด้านเปิด 2 ด้าน และ 3 ด้าน ที่มีค่าอายุของอากาศเฉลี่ย และอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน และลำดับสุดท้ายคืออาคารที่มีด้านเปิด 1 ด้าน ที่มีค่าอายุของอากาศเฉลี่ยสูงที่สุด และมีอัตราการเปลี่ยนอากาศที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย กับ I/O Ratio เฉลี่ย

ในภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่วัดด้วย I/O Ratio เฉลี่ย เทียบกับอัตราการเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ I/O Ratio ลดลง หรือความเข้มข้นของมลพิษลดลง จะเป็นการเพิ่มขึ้นของอัตราการเปลี่ยนอากาศ ซึ่งสอดคล้องกันกับภาพที่ 2.7 ในแง่ที่เกิดการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ จะเจือจางมลพิษ ช่วยให้คุณภาพอากาศดีขึ้นนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเร็วลมเพื่อศึกษาสถานะน่าสบายในลานกึ่งเปิดโล่งของศูนย์การค้าชุมชน ในตารางที่ 5.3 จะพบแนวโน้มโดยรวมว่าอาคารที่มีด้านเปิดตั้งแต่ 2 ด้านขึ้นไป จะมีความเร็วลมที่มาก และมีการกระจายอากาศในลานที่ดี เกิดสถานะน่าสบาย ซึ่งสอดคล้องกับผลสรุปในงานวิจัยนี้ว่าการที่อาคารมีความพรุน หรือมีจำนวนด้านเปิดที่มาก จะมีความสามารถในการเจือจางมลพิษในลานกึ่งเปิดโล่งได้มาก เนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเร็วมวลที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของมลพิษลดลงได้ นำมาซึ่งคุณภาพอากาศที่ดีในพื้นที่

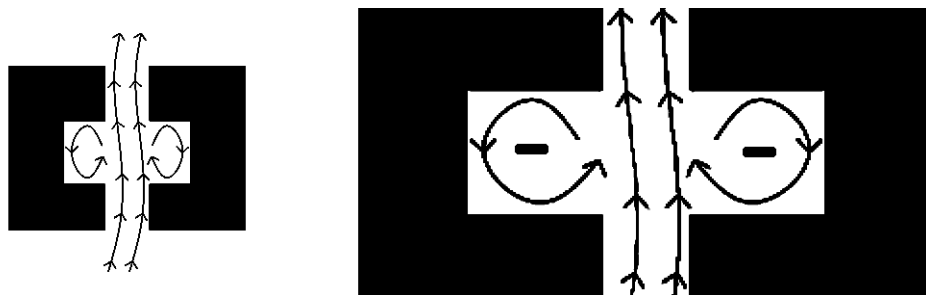
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการวิจัยและเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับศูนย์การค้าชุมชน

ที่มา	จำนวนด้านเปิดของอาคาร	ระดับของการกระจายอากาศ (2019) และอัตราการเปลี่ยนอากาศ (2565)
Atthakorn, S. (2019)	ด้านเปิด 1 ด้าน	การกระจายอากาศ - ต่ำ (ระดับคะแนน = 1)
	ด้านเปิด 2 ด้าน	การกระจายอากาศ - ปานกลาง (ระดับคะแนน = 2)
	ด้านเปิด 3 ด้าน	การกระจายอากาศ - ปานกลาง-สูง (ระดับคะแนน = 2-3)
	ด้านเปิด 4 ด้าน	การกระจายอากาศ - สูง (ระดับคะแนน = 3)
ผลการศึกษา (2565)	ด้านเปิด 1 ด้าน	อัตราการเปลี่ยนอากาศ - ต่ำ (12.55 - 15.36 ACH)
	ด้านเปิด 2 ด้าน	อัตราการเปลี่ยนอากาศ - ปานกลาง (31.61 - 48.06 ACH)
	ด้านเปิด 3 ด้าน	อัตราการเปลี่ยนอากาศ - ปานกลาง (27.57 - 55.60 ACH)
	ด้านเปิด 4 ด้าน	อัตราการเปลี่ยนอากาศ - สูง (76.39 - 90.38 ACH)

5.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศ

5.4.1 การเกิดลมหมุนวน

การไหลของอากาศที่ผ่านเข้ามาในลานกึ่งเปิดโล่ง แต่ละอาคารกรณีศึกษาจะเกิดลมหมุนวนขึ้น ซึ่งในตำแหน่งนั้นจะเป็นตำแหน่งที่เกิดมลพิษสูงสุดของอาคาร การที่เกิดลมหมุนวนนั้นเป็นผลมาจากช่องโหว่ของอาคารที่ไม่สอดคล้องกันกับทิศทางลมโดยตรง เกิดความกดอากาศที่เป็นลบในบางส่วนของลาน และเกิดลมหมุนวนขึ้น โดยขนาดของลานที่ใหญ่มากขึ้น จะทำให้มีโอกาสในการเกิดลมหมุนวนมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 5.11 นำมาซึ่งการสะสมของมลพิษที่มากขึ้นตามมา



ภาพที่ 5.11 การเกิดลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่ง จากความกดอากาศที่เป็นลบ

5.4.2 การวางแนวอาคาร

การวางทิศทางของอาคาร ควรที่จะต้องสัมพันธ์กับทิศทางของลมธรรมชาติ เพื่อให้เกิดการระบายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะทิศทางของด้านเปิดของอาคาร ควรที่จะออกแบบให้สอดคล้องกับทิศทางของลม หรือตั้งฉากกับทิศทางลมประจำมากที่สุด ตามภาพที่ 5.12 จะทำให้ลมธรรมชาติสามารถพัดผ่านลานกึ่งเปิดโล่งของอาคารได้มากขึ้น นำมาซึ่งการระบายอากาศที่ช่วยเจือจางมลพิษในลานกึ่งเปิดโล่ง และทำให้คุณภาพอากาศของอาคารดีขึ้น นอกจากนี้ส่วนที่บของอาคาร ควรที่จะทำมุมกับทิศทางลม หรือหลีกเลี่ยงการตั้งฉากกับทิศทางลม เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศมากนัก และช่วยให้ลมธรรมชาติสามารถไหลผ่านอาคารได้ง่ายมากขึ้น



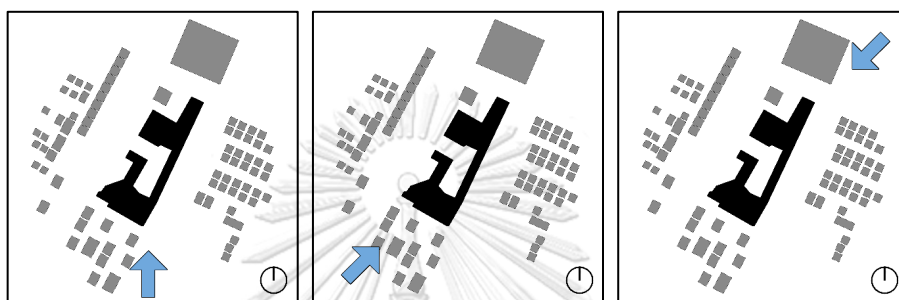
ภาพที่ 5.12 การวางแนวอาคารให้สอดคล้องกับทิศทางลม

5.4.3 อาคารโดยรอบ

สภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอาคารโดยรอบ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างหนึ่ง แต่ไม่ได้ส่งผลกับทุกกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งอาคารที่ได้รับผลจากอาคารโดยรอบจะมีทั้งข้อดีคือ การที่เกิดช่องลมระหว่างอาคารแวดล้อม ทำให้ความเร็วลมก่อนมาถึงอาคารกรณีศึกษาสูงขึ้น ช่วยในการพัดเพื่อเจือจางมลพิษได้มากขึ้น และในทางกลับกัน อาคารโดยรอบสามารถขวางทิศทางลม ทำให้ลมธรรมชาติไม่สามารถพัดมาถึงอาคารกรณีศึกษาได้เต็มประสิทธิภาพ

5.5 แนวทางการประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

จากปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศกับศูนย์การค้าชุมชนนำไปสู่การพิจารณาถึงองค์ประกอบของอาคารที่สามารถปรับปรุงได้ เพื่อให้อาคารระบายอากาศได้มากขึ้น นำมาซึ่งการมีคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น โดยอาคารที่เสนอเป็นแนวทางปรับปรุง เป็นอาคารที่มีระดับของคุณภาพอากาศต่ำที่สุด หรือมีระดับของมลพิษสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น คือ อาคาร 1A ในภาพที่ 5.13 โดยการเสนอแนวทางปรับปรุงนี้ จะเน้นที่ประเด็นของคุณภาพอากาศและการไหลของลมเท่านั้น

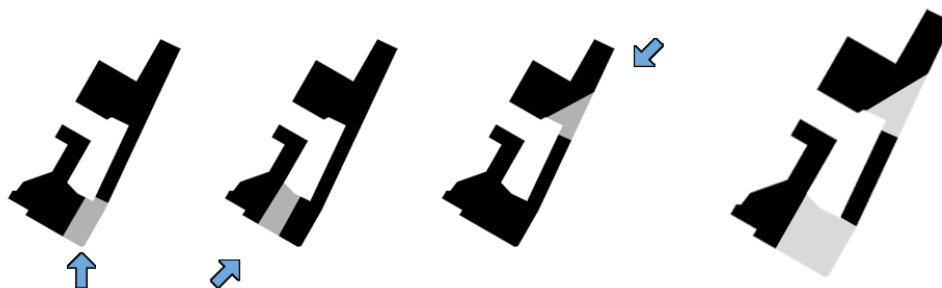


ภาพที่ 5.13 อาคารกรณีศึกษา 1A และทิศทางของลมธรรมชาติทั้ง 3 ทิศทาง

5.5.1 การเพิ่มจำนวนด้านเปิดให้กับอาคาร

ด้านเปิดของอาคารควรมีความสอดคล้องกับทิศทางลมประจำ ซึ่งในที่นี้จะมีลมจากทิศใต้ ลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ และลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอาคารไม่จำเป็นจะต้องมีช่องเปิดครบทั้ง 4 ด้านของอาคาร แต่คำนึงถึงทิศทางของลมประจำที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละที่ตั้ง ตามภาพที่ 5.14

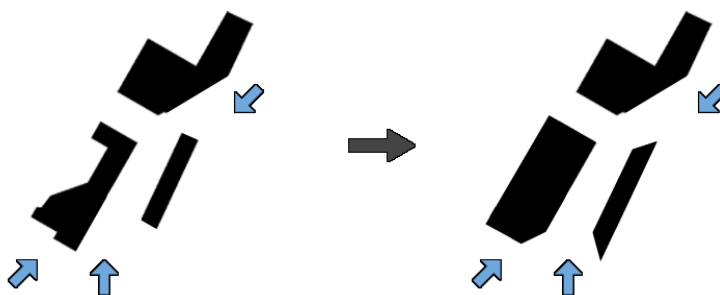
โดยจุดสังเกตของทิศทางลมในงานวิจัยนี้ คือ ลมจากทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นทิศทางที่มีความใกล้เคียงกัน และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังนั้น อาคารกรณีศึกษานี้ สามารถปรับปรุงให้มีด้านเปิดเพียง 2 ถึง 3 ด้าน ก็เพียงพอต่อการเป็นช่องลมเข้าและช่องลมออก ให้กับลมธรรมชาติที่พัดผ่านเข้ามาในลานกึ่งเปิดโล่งได้



ภาพที่ 5.14 การปรับปรุงอาคารให้มีด้านเปิดที่สอดคล้องกับทิศทางลมประจำ

5.5.2 การวางแผนของอาคาร

แนวการวางของอาคารกรณีศึกษาเดิม เป็นการวางอาคารที่ทำมุมกับทิศทางลมจากทุกทิศอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้น การวางอาคารจึงไม่ส่งผลมากต่อการไหลของลมธรรมชาติผ่านตัวอาคาร แต่สิ่งที่ควรควบคุมคือระนาบของช่องโถงที่เปิดรับลม ควรที่จะให้มีทิศทางที่ใกล้เคียงหรือตั้งฉากกับทิศทางลมตามภาพที่ 5.15 เพื่อให้ลมสามารถเคลื่อนตัวเข้ามาในลานกึ่งเปิดโล่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 5.15 การปรับปรุงอาคารเรื่องแนวการวางอาคารทั้งส่วนที่บิและส่วนโถง

5.5.3 ขนาดของลานกึ่งเปิดโล่ง

การสะสมของมลพิษที่เป็นลมหมุนวนในลานกึ่งเปิดโล่ง จะเกิดขึ้นต่อเมื่อขนาดของช่องโถงหรือด้านที่เปิดของอาคารมีขนาดไม่สอดคล้องกับความกว้างของลาน จะทำให้เกิดจุดอับอากาศขึ้นและนำมาซึ่งการเกิดลมวนขึ้นในบริเวณนั้น ดังนั้นการปรับปรุงอาคาร จึงควรปรับขนาดของลาน และขนาดของช่องโถงให้สอดคล้องกัน และเกิดส่วนที่เป็นส่วนอับอากาศน้อยที่สุด แสดงในภาพที่ 5.16

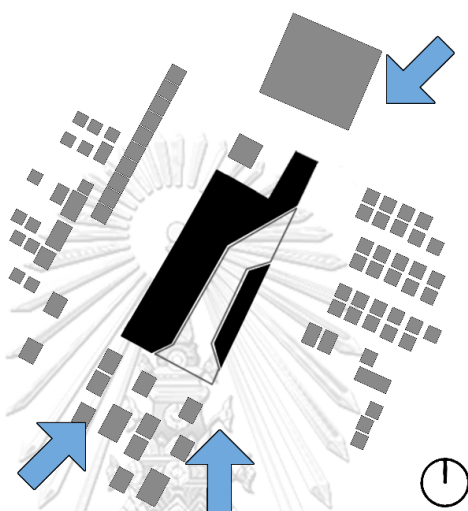
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Ct



ภาพที่ 5.16 การปรับปรุงอาคารให้มีขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งที่สอดคล้องกับขนาดของช่องโถง

5.5.4 อาคารโดยรอบ

จากอาคารกรณีศึกษาที่นำมาเสนอแนวทางปรับปรุงอาคาร จะมีอาคารโดยรอบที่เกี่ยวข้องกับทิศทางลม เป็นอาคารขนาดเล็กเมื่อเทียบกับสัดส่วนของอาคารกรณีศึกษา อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคาร แสดงในภาพที่ 5.17 ดังนั้น ตำแหน่งของช่องโหว่ที่เปิดรับลม ควรมีการคำนึงถึงช่องที่ลมจะพัดผ่านเข้ามา และไม่ให้เกิดการขวางทางลมจนส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศของอาคาร



ภาพที่ 5.17 การปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องกับอาคารโดยรอบ

แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคาร เป็นการประเมินจากปัจจัยเบื้องต้นที่พบในงานวิจัยนี้ว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการไหลของลม และส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นในลานกึ่งเปิดโล่งของอาคาร โดยนำเสนอแนวทางเพื่อให้สามารถรองรับลมประจำที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาลตลอดทั้งปี โดยจะมี 3 ทิศทาง คือ ลมทิศใต้ ลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ และลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือ อาคารที่ปรับปรุงจะมีด้านเปิดสอดคล้องกับทิศทางลม และมีขนาดของลานกึ่งเปิดโล่งที่พอเหมาะสำหรับลมธรรมชาติ เพื่อไม่ให้เกิดลมหมุนวน และไม่สะสมของมลพิษ

การออกแบบศูนย์การค้าชุมชน ควรคำนึงถึงความพริ้วหรือช่องโหว่ของอาคาร เพื่อให้รองรับกับลมธรรมชาติที่จะเปลี่ยนทิศทางไปตามแต่ละฤดู แต่อาคารประเภทนี้เอง ไม่ควรมีวิธีที่ตายตัวสำหรับการออกแบบ เนื่องจากศูนย์การค้าชุมชนจะมีที่ตั้งบริเวณรอยต่อของเมือง ทำให้เป็นอาคารที่ต้องสัมพันธ์กับบริบทเมืองเป็นอย่างมาก มีสภาพแวดล้อม อาคารโดยรอบ หรือบริบทอื่น ๆ แตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยในการออกแบบร่วมกัน เพื่อให้อาคารมีการระบายอากาศที่ดี นำมาซึ่งคุณภาพอากาศที่ดีเช่นกัน

5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 การศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นการอ้างอิงค่าความเร็วลมเฉลี่ยย้อนหลังของ กรุงเทพมหานคร และค่ามาตรฐานของฝุ่นละออง PM2.5 เพื่อใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อม แต่สภาพแวดล้อมมีองค์ประกอบหลากหลาย และเป็นปัจจัยที่ไม่คงที่ มีการแปรเปลี่ยนไปตามแต่ละปี

5.6.2 การศึกษาโดยการจำลองในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลนั้น ข้อมูลที่ได้มาจากการจำลองจะเป็นข้อมูลที่เกิดจากการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งอาจได้ค่าตัวแปรที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริง หรือแตกต่างจากความเป็นจริงได้ทั้งสิ้น ขึ้นกับการกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม คอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงควรมีการวัดและเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่าง ๆ กับข้อมูลจากสถานที่จริง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำในการคาดการณ์แนวโน้มของคุณภาพอากาศมากที่สุด

5.6.3 การศึกษานี้เป็นการศึกษาศูนย์การค้าชุมชนจากกลุ่มตัวอย่าง ผลที่ได้จากการวิจัยจึงเป็นปัจจัยบางส่วนที่เกิดขึ้นกับอาคารที่ยกมาเท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมถึงศูนย์การค้าชุมชนทั้งหมด ซึ่งอาจมีข้อสังเกตที่แตกต่างออกไป และการวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาถึงรายละเอียดของอาคาร เช่น สัดส่วนของช่องโถง หรือความลึกของอาคารที่จะส่งผลต่อคุณภาพอากาศเช่นกัน

5.6.4 การเสนอแนวทางปรับปรุงอาคาร เป็นการพิจารณาเฉพาะกายภาพของอาคารที่มีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศเท่านั้น ไม่ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งานจริงมากเท่ากับประเด็นด้านคุณภาพอากาศ ซึ่งการนำไปปรับใช้จริงในการออกแบบของสถาปนิกหรือผู้ออกแบบ มีประเด็นเพิ่มเติมที่นอกเหนือออกไป เช่น ความคุ้มทุนของพื้นที่ขาย และความสะดวกสบายในการใช้งานอาคารที่ควรพิจารณาในการออกแบบ

5.6.5 ในงานวิจัยนี้ เป็นการกำหนดสภาพแวดล้อมให้มีเพียงปัจจัยที่ควบคุมได้เท่านั้น โดยมลพิษเป็นค่ามาตรฐานเฉลี่ยต่อปีที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ในบริบทความเป็นจริง สภาพแวดล้อมจะมีปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษได้อีกมากมาย เช่น คิวพิษจากยานพาหนะ หรือมลพิษจากคร่าวเรือรอบข้าง อีกทั้งฝุ่นละออง PM2.5 มีประเด็นเรื่องระยะเวลาในการสะสมอยู่ในอากาศภายนอกระหว่างสภาพแวดล้อม เช่น ต้นไม้ หรือชอกกุ่มของอาคารรอบข้าง ที่ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2563). ข้อมูลสภาพอากาศ. Retrieved 10 มกราคม 2565, from http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/climate/climate_past.asp
- กระทรวงสาธารณสุข. (2558). กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก. In แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง จากมลพิษทางอากาศ.
- กำพล อนันตพรพาณิชย์. (2553). พัฒนาการคอมมูนิตี้ มอลล์ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- กิตติคุณ ยกทรัพย์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชลที ศ อุนฤกษ์กุล. (2562). *Air Pollution*. Retrieved 1 พฤศจิกายน 2564, from <http://doh.hpc.go.th/data/air/airPollution.pdf>
- ณัฐชานันท์ ศิริประเสริฐ. (2558). ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อคุณภาพของพื้นที่เปิดโล่งกึ่งสาธารณะในศูนย์การค้าชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพร ชีวาเกียรติยิ่งยง. (2557). รูปแบบและการบริหารลานกิจกรรมของโครงการคอมมูนิตี้มอลล์ในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ทรัพย์มณี ชัยแสนสุข. (2548). การลดปริมาณมลพิษทางอากาศด้วยการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติสำหรับอาคารจอดรถชั้นใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บุษกร ภูแส. (2564). อานิสงส์'พิษโควิด-ภาชีที่ดิน' ดันคอมมูนิตี้มอลล์บูมรอบ 6 ปี. Retrieved 10 กันยายน 2564, from <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/932230>
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศโดยทั่วไป พ.ศ. 2553. (2553, 24 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 127 ตอนพิเศษ 37 ง. หน้า 61.
- วิวัฒน์ รุ่งเรืองผล. (2559). จัดผังคอมมูนิตี้มอลล์อย่างไรให้ประสบความสำเร็จ. Retrieved 8 ตุลาคม 2564, from <https://marketeer.co.th/2016/05/the-urban-land-institute/>

- สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. (2551). การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคาร. Retrieved 1 พฤศจิกายน 2564, from https://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-14/14%20-%2009.pdf
- Allard, F. (1998). *Natural Ventilation in Buildings a Design Handbook*. James & James (Science Publishers) Ltd.
- ASHRAE. (2010). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Retrieved 1 November 2021, from http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2016/04/ASHRAE-62_1-2010.pdf
- Atthakorn, S. (2019, 26 April). *Airflow Patterns of Semi-open Shopping Malls in Bangkok* RSU International Research Conference 2019,
- Bhatia, A. (2014). Natural Ventilation Principles and Practices. In *HVAC - Natural Ventilation Principles*.
- Chakrabarty, R. K., Beeler, P., Liu, P., Goswami, S., Harvey, R. D., Pervez, S., van Donkelaar, A., & Martin, R. V. (2021). Ambient PM_{2.5} exposure and rapid spread of COVID-19 in the United States. *Science of The Total Environment*, 760, 143391.
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45(2), 275-288.
- Hang, J., Sandberg, M., & Li, Y. (2009). Age of air and air exchange efficiency in idealized city models. *Building and Environment*, 44(8), 1714-1723.
- Hänninen, O., & Asikainen, A. (2013). *Efficient reduction of indoor exposures. Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls*.
- Padilla-Marcos, M., & Meiss, A. (2018). Assessment for the Age-Of-The-Air and Ventilation Efficiency in Confined Outdoor Spaces through Computational Fluid Dynamics Techniques. *Energies*, 11.
- Peng, Z., & Jimenez, J. (2020). *Exhaled CO₂ as COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities*.
- Tantasavasdi, C., & Inprom, N. (2020). Impact of design features on natural ventilation of open-air malls in Thailand. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16.

The Urban Land Institute (ULI). (2006). *Shopping Center Development Handbook* [ULI]. Washington D.C.

Thomas, B., Alahmad, B., Maesano, C., & Bind, M.-A. (2021). The impact of outdoor air pollution on COVID-19: a review of evidence from in vitro , animal, and human studies. *European Respiratory Review*, 30, 200242.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษในอากาศ

กรอบแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องมลพิษ (Air Pollution)

Air Pollution คือสารที่อยู่ในบรรยากาศในเงื่อนไขที่เหมาะสม อาจเป็นอันตรายต่อคน สัตว์ พืช และสิ่งมีชีวิตเล็ก รวมถึงสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ทรัพยากรสิน อาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือกระบวนการใช้ประโยชน์หรือก่อความรำคาญ กรอบแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องมลพิษในอากาศประกอบด้วย 3 ประเด็น คือ แหล่งผลิตมลพิษ (Source) สภาพของบรรยากาศ (State of Atmosphere) ที่จะเป็นตัวส่งเสริมให้มลพิษกระจายตัวหรือเปลี่ยนแปลง หรือถูกกำจัด และประเด็นสุดท้าย คือ เมื่อมลพิษทางอากาศจมลงใกล้พื้นผิวโลกก็จะส่งผลกระทบต่อทั้งสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (ชลทิศ อุไรฤกษ์กุล, 2562)

ผลจากความเร็วลมในการเจือจาง หรือเคลื่อนย้าย มลพิษในอากาศ

ความเร็วของกระแสลมสามารถเจือจาง หรือเคลื่อนมลพิษออกไปจากพื้นที่ ถ้ากระแสหมุนวน (Eddy) เล็กกว่ากลุ่มของมลพิษ จะทำให้เกิดการเจือจางมลพิษในบริเวณนั้น แต่ในทางกลับกัน หากกระแสหมุนวนใหญ่กว่ามลพิษ จะทำให้มลพิษเคลื่อนที่ผ่านออกไป ซึ่งการเจือจางมลพิษนั้น จะเป็นไปตามทิศทางของลมประจำ

การกระจายของมลพิษในอากาศ

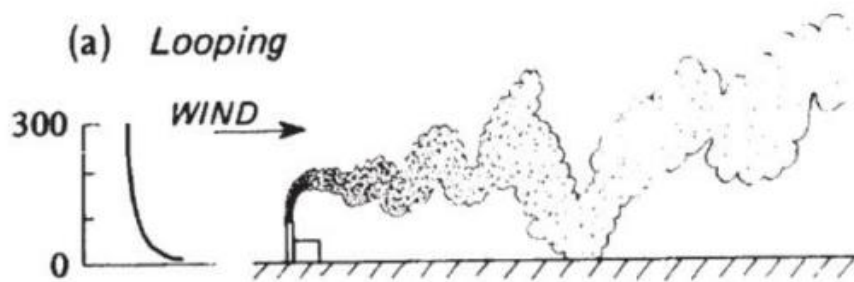
การกระจายของมลพิษ รูปแบบพื้นฐานและเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ มลพิษที่ปล่อยจากปล่อง โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายของมลพิษได้แก่

1. ผลรวมของความสูงของปล่อง (H_s) กับความสูงของลำมลพิษที่ออกไปจากปล่อง (h) ถ้าผลรวมของความสูงของทั้ง 2 ตัวแปรข้างต้นมีมาก จะทำให้ลำของมลพิษในทางนอน (Plume) กระจายไปได้ไกลกว่าปล่องที่สั้นหรือเตี้ยกว่า
2. การออกแบบของปล่องและเตาเผา ได้แก่ รัศมีของปล่อง อุณหภูมิของการเผา และความเร็วของมลพิษที่ออกจากปล่อง
3. ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่
 - 3.1 ความเร็วลม หากมีความเร็วลมที่สูง จะสามารถพามลพิษไปในทางราบได้ไกล และเจือจางมลพิษได้มากขึ้น

3.2 อัตราการลดของอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ด้านบน โดยปกติแล้วอุณหภูมิของบรรยากาศที่ใกล้ผิวโลกจะร้อนกว่าอุณหภูมิที่อยู่สูงขึ้นไป ถ้าหากอัตราการลดลงของอุณหภูมิมามีค่าที่สูง จะส่งผลให้มลพิษเคลื่อนที่ขึ้นทางแนวตั้งได้มากขึ้น

รูปแบบการกระจายของมลพิษในอากาศ

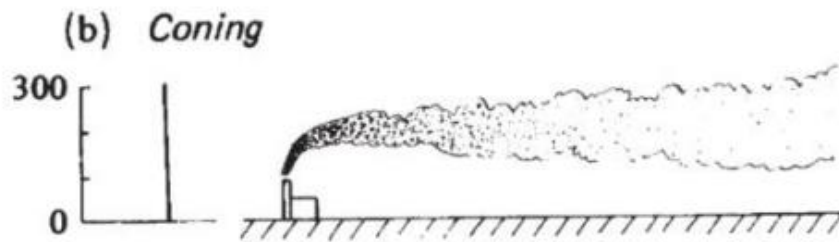
1. แบบลูป (Looping) เป็นการกระจายของกลุ่มควัน (Plume) ในเวลากลางวันที่แดดจัดและมีลมแรง นอกจากนี้บรรยากาศจะไม่เสถียร จึงส่งผลให้เกิดกระแสลมหมุนวนค่อนข้างแรง และมีขนาดมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มควัน ดังนั้นจึงเกิดการจัดการมลพิษแบบเคลื่อนย้ายมากกว่าแบบเจือจาง กระแสลมจะพัดกลุ่มควันให้ขึ้น-ลง จนบางช่วงที่กลุ่มควันมลพิษจะแตะที่พื้นดินด้านล่าง



ภาพที่ ก.1 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบลูป (Looping)

ที่มา: Boundary Layer Climate, 1987 อ้างถึงใน ชลทิศ อุโนฤกษ์กุล, 2562

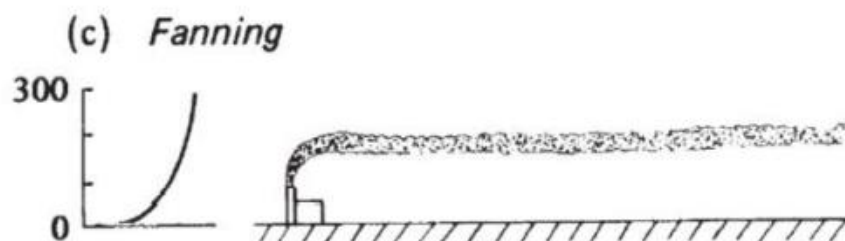
2. แบบโคน (Coning) เกิดขึ้นได้ในทุกฤดูกาล ในวันที่ลมแรง มีเมฆมาก บรรยากาศค่อนข้างเสถียร ทำให้กระแสลมหมุนวนเกิดขึ้นเล็กน้อย เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดของกลุ่มควัน ทำให้มลพิษถูกเจือจางมากกว่าการเคลื่อนตัวออกไปตามกระแสลม และการเคลื่อนที่ของลมและมลพิษจะค่อนข้างคงที่ จึงทำให้สามารถสังเกตลักษณะของกลุ่มควันเป็นรูปโคน ความเข้มข้นของมลพิษจะถูกเจือจางตามเวลาและระยะทางที่ห่างออกไป



ภาพที่ ก.2 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบโคน (Coning)

ที่มา: Boundary Layer Climate, 1987 อ้างถึงใน ชลทิศ อุโนฤกษ์กุล, 2562

3. แบบพัด (Fanning) เกิดในวันที่อากาศแจ่มใสในเวลากลางคืนที่บรรยากาศเหนือพื้นดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านบน เกิดอุณหภูมิผกผัน (Inversion) บรรยากาศจะมีความเสถียรสูง ทำให้อากาศไม่สามารถลอยขึ้นสู่ด้านบนได้ เนื่องจากกระแสลมหมุนวนต่ำ ทำให้เกิดการพากลุ่มควันในลักษณะเคลื่อนย้ายมากกว่าการเจือจาง ความเข้มข้นของมลพิษที่ออกมาจากปากปล่องควันที่ลมพัดไปนั้น จะมีความเข้มข้นไม่ต่างกันมากกับจุดเริ่มต้น และถ้าหากความสูงของปล่องควันมีมากพอ กลุ่มควันจะไม่ตกลงสู่พื้นดิน แต่ถ้าหากจุดปล่องควันพิษอยู่ต่ำ อาจทำให้เกิดอันตรายได้มาก เนื่องจากความเข้มข้นของมลพิษค่อนข้างสูง

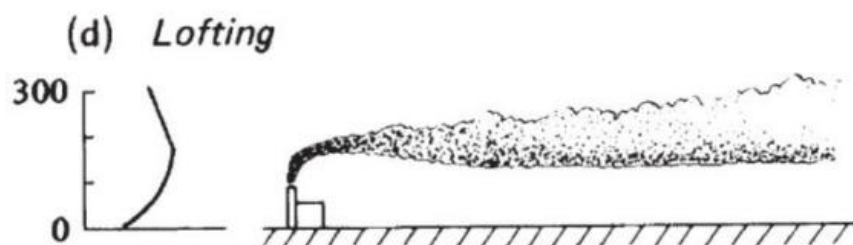


ภาพที่ ก.3 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบพัด (Fanning)

ที่มา: Boundary Layer Climate, 1987 อ้างถึงใน ชลทิศ อุโนฤกษ์กุล, 2562

4. แบบกระจายขึ้นด้านบน (Lofting) จะเกิดขึ้นในช่วงที่ดวงอาทิตย์เริ่มตก พื้นดินเริ่มเย็นทำให้บรรยากาศเหนือพื้นดินมีภาวะอุณหภูมิผกผัน จึงส่งผลให้ด้านล่างของลำกลุ่มควัน จะเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างไม่ได้ เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า แต่บริเวณด้านบนของลำกลุ่มควัน ไม่เกิดอุณหภูมิผกผัน ทำให้ด้านบนของไอเสียเกิดการกระจายตัวของมลพิษขึ้นไปด้านบนเรื่อย ๆ ความเข้มข้นของไอเสียจะลดลงเนื่องจากการกระจายตัว โดยจะลดลงไปตามระยะทางที่ไกลออกมาจาก

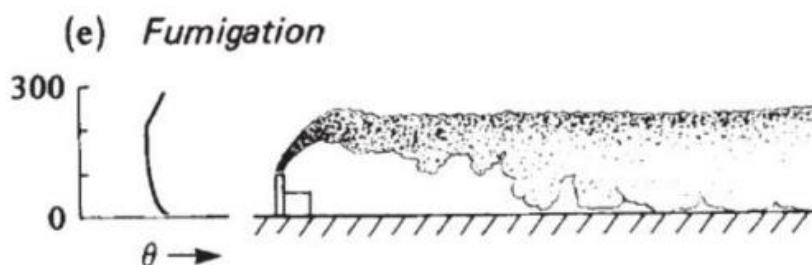
จุดปล่อยควันพิษ สถานะนี้จะเกิดขึ้นชั่วคราวเท่านั้น เพราะเมื่อผ่านเข้าสู่ช่วงหัวค่ำที่อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนอีกรอบ จะทำให้เกิดผลแบบพัดแทน



ภาพที่ ก.4 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบกระจายขึ้นด้านบน (Lofting)

ที่มา: Boundary Layer Climate, 1987 อ้างถึงใน ชลทิศ อุโนฤกษ์กุล, 2562

5. แบบรมควัน (Fumigation) เป็นสถานการณ์ที่ตรงกันข้ามกับแบบกระจายขึ้นด้านบน โดยมากเกิดขึ้นในชนบท ในช่วงเวลากลางคืนและก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น อุณหภูมิของบรรยากาศด้านล่างจะต่ำกว่าด้านบน (เกิดอุณหภูมิผกผัน) แต่หลังจากที่ดวงอาทิตย์ขึ้นนั้น บรรยากาศที่ติดพื้นดินจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และลดความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิผกผัน แต่ส่วนที่อยู่เหนือกว่าลำกลุ่มควัน จะยังเกิดอุณหภูมิผกผันอยู่ ทำให้กลุ่มควันไม่กระจายตัวขึ้นด้านบน แต่กลับกัน บรรยากาศด้านล่างที่ร้อนกว่าด้านบน ทำให้บรรยากาศไม่เสถียร กลุ่มควันจึงกระจายตัวแบบรมควันที่ด้านล่างของลำจนตกลงมาสู่พื้นดิน ซึ่งรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นได้ประมาณ 30 นาที เพราะเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นเต็มที่แล้ว ชั้นของอุณหภูมิผกผันจะหมดไป จะทำให้เกิดการพากลุ่มมลพิษออกไปได้ไกล และกระจายตัวออกได้มาก ทำให้ความเข้มข้นลดลงจากแหล่งกำเนิดได้



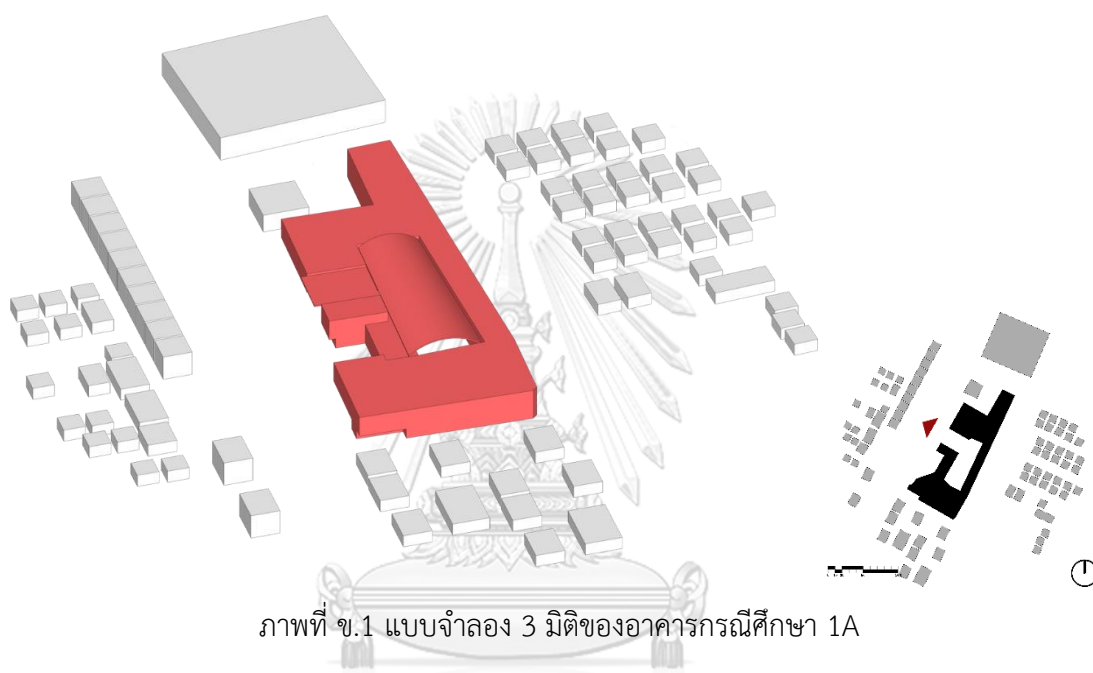
ภาพที่ ก.5 การกระจายของมลพิษในอากาศรูปแบบรมควัน (Fumigation)

ที่มา: Boundary Layer Climate, 1987 อ้างถึงใน ชลทิศ อุโนฤกษ์กุล, 2562

ภาคผนวก ข

ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารศูนย์การค้าชุมชน กรณีศึกษา

อาคารศูนย์การค้าชุมชน ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่นำมาเป็นกรณีศึกษา
อาคารกรณีศึกษา 1A

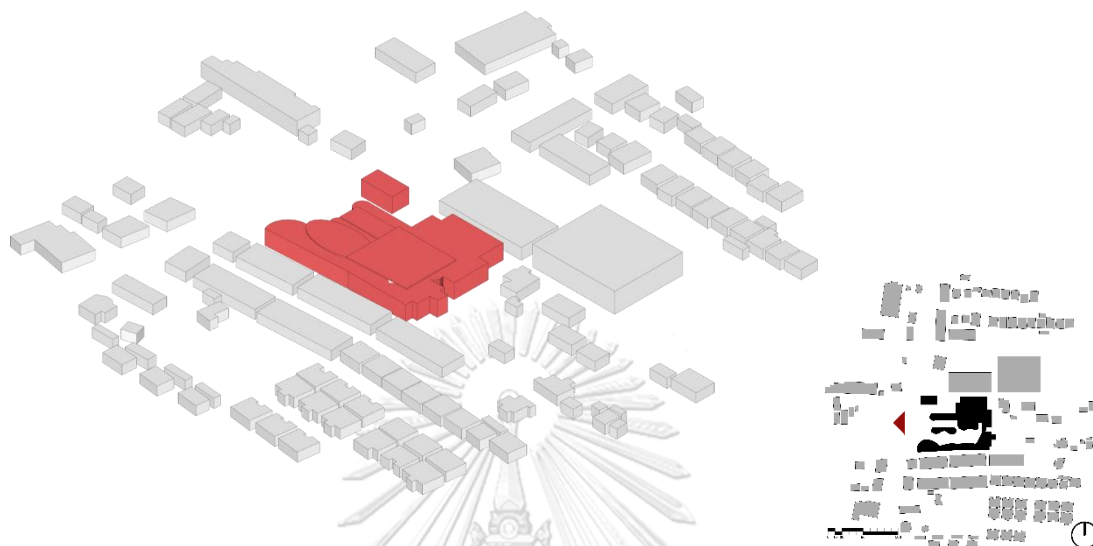


ภาพที่ ข.1 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 1A

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 1A

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบตัวโอ (O-Shape)	-
จำนวนชั้น	3	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	1	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	2,500	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโถง)	290.48	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	7,603.75	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	4	%

อาคารกรณีศึกษา 1B

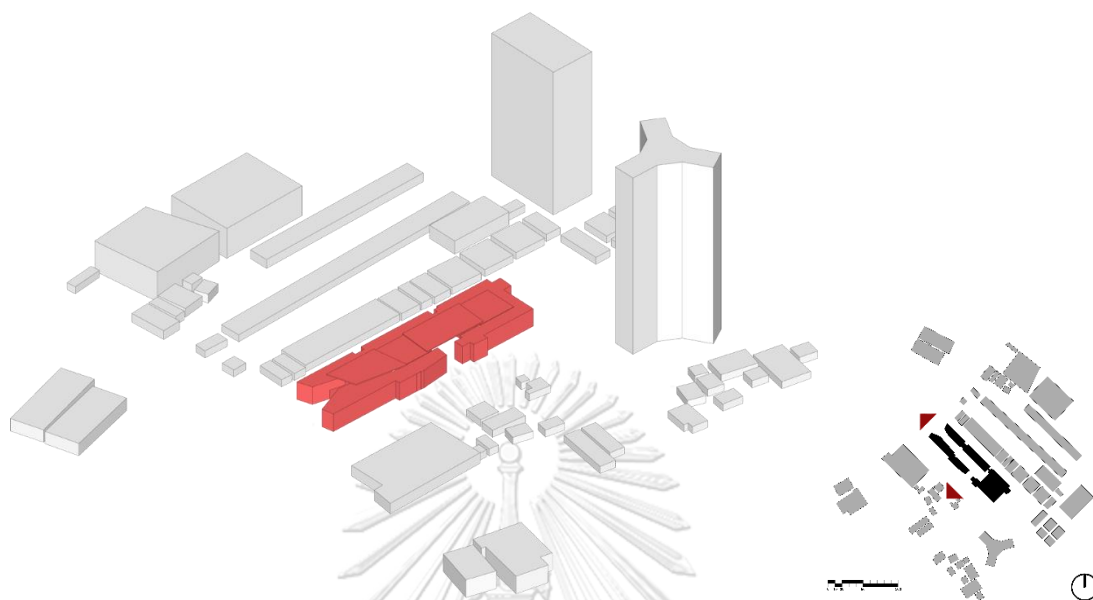


ภาพที่ ข.2 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 1B

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 1B

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบตัวโอ (O-Shape)	-
จำนวนชั้น	2	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	1	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	1,280	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโถง)	174.38	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	3,445.13	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	5	%

อาคารกรณีศึกษา 2A

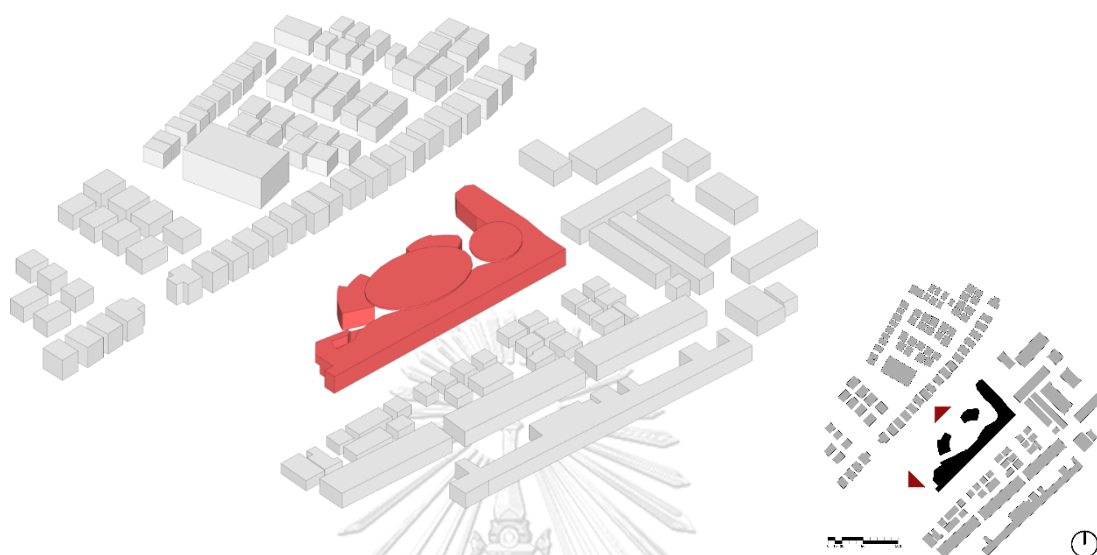


ภาพที่ ข.3 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 2A

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 2A

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบตัวยู (U-Shape)	-
จำนวนชั้น	2	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	2	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	1,210	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโถง)	198.87	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	3,049.50	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	7	%

อาคารกรณีศึกษา 2B

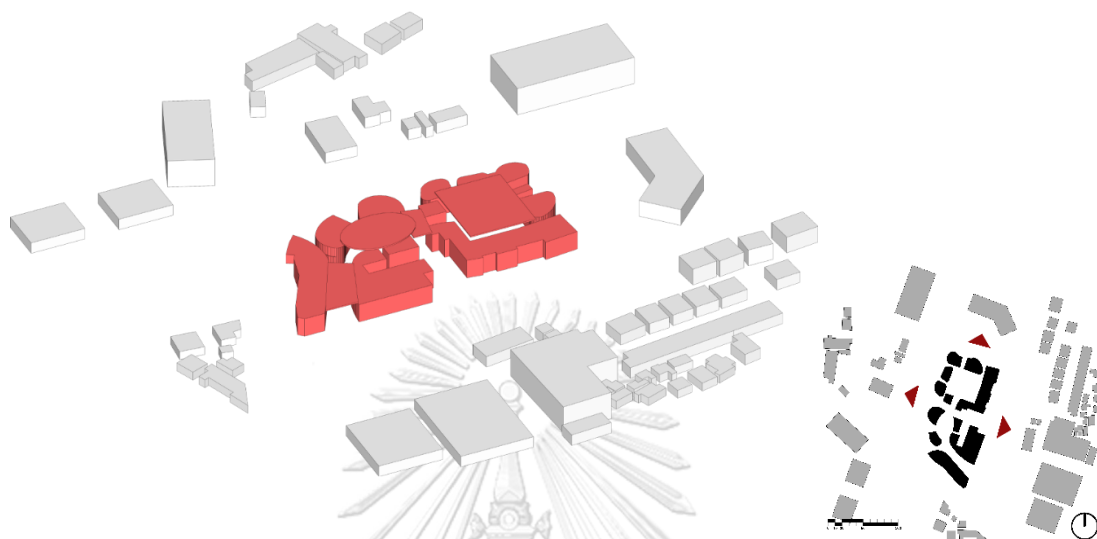


ภาพที่ ข.4 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 2B

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 2B

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบตัวโอ (O-Shape)	-
จำนวนชั้น	2	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	2	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	2,274	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโล่ง)	547.52	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	5,312.03	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	10	%

อาคารกรณีศึกษา 3A

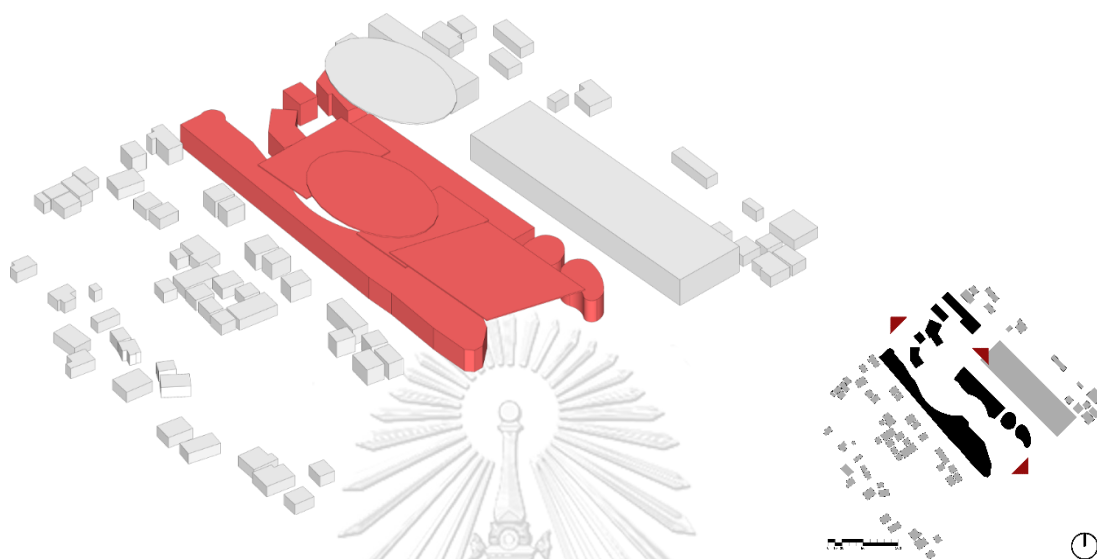


ภาพที่ ข.5 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 3A

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 3A

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบกลุ่มอาคาร (Cluster)	-
จำนวนชั้น	2	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	3	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	2,645	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโล่ง)	694.77	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	5,541.94	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	13	%

อาคารกรณีศึกษา 3B

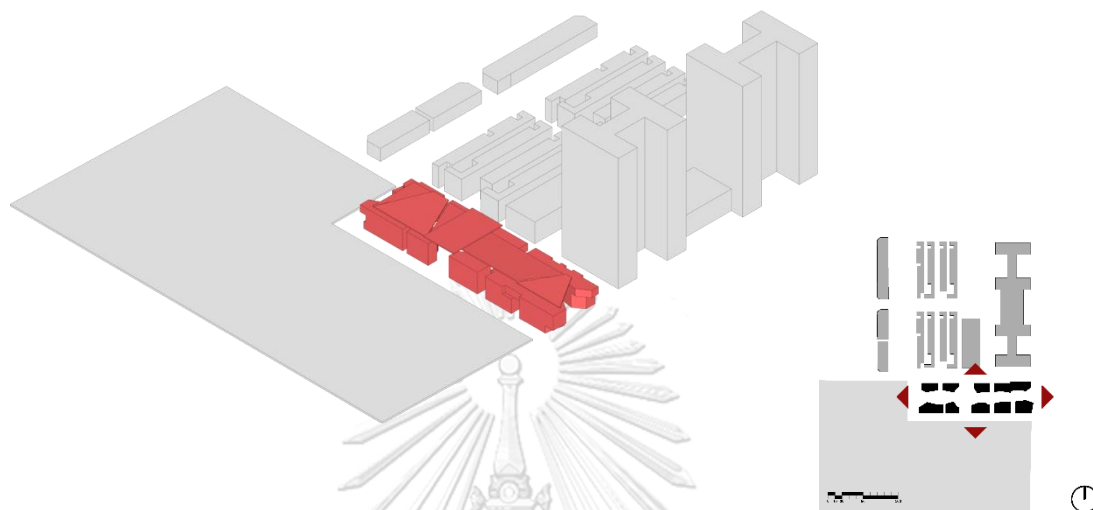


ภาพที่ ข.6 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 3B

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 3B

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบตัวโอ (O-Shape)	-
จำนวนชั้น	2	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	3	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	7,860	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโล่ง)	1,438.93	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	10,242.41	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	14	%

อาคารกรณีศึกษา 4A

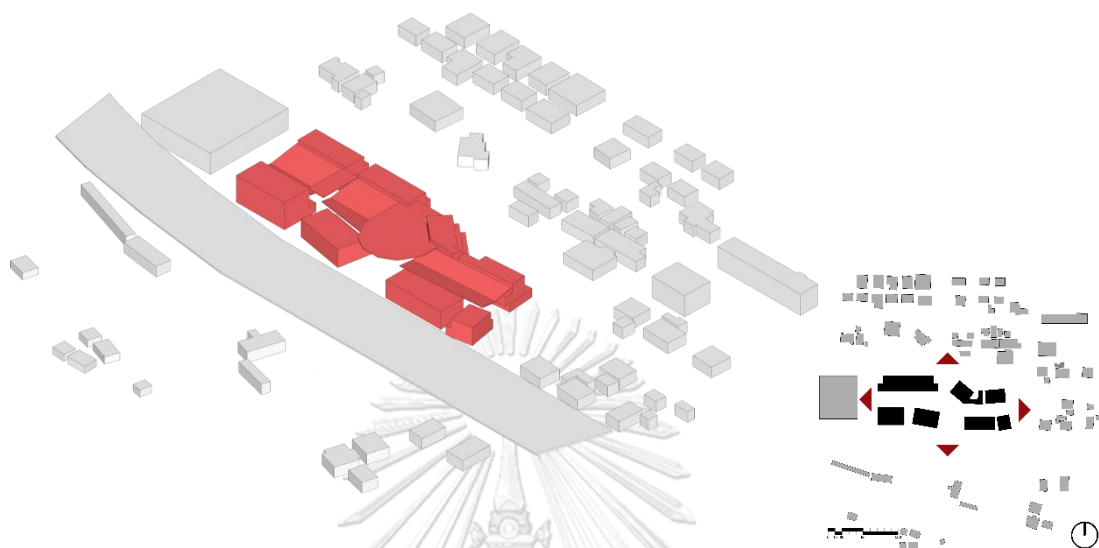


ภาพที่ ข.7 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 4A

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 4A

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบกลุ่มอาคาร (Cluster)	-
จำนวนชั้น	3	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	4	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	2,347	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโล่ง)	1,249.89	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	6,955.48	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	18	%

อาคารกรณีศึกษา 4B



ภาพที่ ข.8 แบบจำลอง 3 มิติของอาคารกรณีศึกษา 4B

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา 4B

ข้อมูล	รายละเอียด	หน่วย
รูปแบบการวางผังอาคาร	รูปแบบกลุ่มอาคาร (Cluster)	-
จำนวนชั้น	3	ชั้น
จำนวนด้านเปิด	4	ด้าน
ขนาดพื้นที่ของลานกึ่งเปิดโล่ง	3,529	ตารางเมตร
พื้นที่ช่องเปิด (ช่องโล่ง)	987.39	ตารางเมตร
พื้นที่ผนังทึบ (รอบนอก)	5,034.48	ตารางเมตร
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังทึบ	20	%

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พลกฤต วิศิษฐ์ศาสตร์กุล
วัน เดือน ปี เกิด	15 มิถุนายน 2541
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	191 ซ.จรัญสนิทวงศ์ 46 ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY