



การศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมฝนที่ถูกลมพัดเพื่อออกแบบเปลือกอาคาร

โดย

นายจิรวัดน์ ศักดิ์ชลาธร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมฝนที่ถูกลมพัดเพื่อออกแบบเปลือกอาคาร

โดย

นายจิรวัดน์ ศักดิ์ชลาธร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

THE NUMERICAL STUDY OF WIND-DRIVEN RAIN FOR FACADE
DESIGN

BY

MR. JIRAWAT SAKCHALATHORN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE
ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายจิรวัดน์ ศักดิ์ชลาธร

เรื่อง

การศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมฝนที่ถูกลมพัด เพื่อออกแบบเปลือกอาคาร
ได้รับการตรวจสอบ และอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



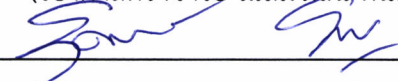
(พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง)

กรรมการ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์




(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสต์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุตาภรณ์ สุตประเสริฐ)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสต์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมฝนที่ถูกลมพัดเพื่อ ออกแบบเปลือกอาคาร
ชื่อผู้เขียน	นาย จิรวัดน์ ศักดิ์ชลาร
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ต้นตสวัสดิ์
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

ฝนที่ถูกลมพัด เป็นหนึ่งในปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่สำคัญในการออกแบบอาคาร โดยเฉพาะในเขตอากาศร้อนชื้น งานศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาตัวแปรในการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น เพื่อป้องกันฝน และสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศได้ในเวลาที่ฝนตก เพื่อประยุกต์ใช้กับอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ศึกษาทั้งสิ้น 4 ตัวแปร ได้แก่ ระยะติดตั้ง รูปทรงของครีบบองศาการเอียง และระยะยื่นของครีบบองศาการเอียง ทั้งหมด 14 กรณี โดยศึกษาทีละตัวแปรและเลือกกรณีที่ดีและแย่ที่สุดมาศึกษาตัวแปรอื่นต่อจนครบ ผลการศึกษาพบว่าในระดับบนของอาคาร หากติดตั้งเปลือกอาคารที่มีระยะห่างจากขอบหน้าต่างถึงกึ่งกลางครีบบองศาการเอียง 60 องศา หรือถ้าติดตั้งที่ระยะ 0.30 เมตร ต้องใช้ร่วมกับครีบบองศาการเอียง 30 องศา ส่วนในระดับกลางและล่างของอาคาร ต้องใช้เปลือกอาคารที่ระยะ 0.30 เมตร ร่วมกับครีบบองศาการเอียง 60 องศา แต่ต้องคำนึงถึงการหันช่องเปิดระหว่างครีบบองศาการเอียงไม่ให้เข้าหาทิศทางการไหลของลม จึงจะได้รับอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารสูงที่สุด และป้องกันฝนได้ทั้งหมด แนวทางการออกแบบจากงานวิจัยได้มีการนำไปทดสอบประยุกต์กับอาคารจริง 2 กรณีศึกษา พบว่าสามารถป้องกันฝนได้ทั้งอาคารและให้อัตราการระบายอากาศที่สูง

คำสำคัญ: ฝนที่ถูกลมพัด, เปลือกอาคารสองชั้น, การระบายอากาศ, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Thesis Title	THE NUMERICAL STUDY OF WIND-DRIVEN RAIN FOR FACADE DESIGN
Author	Mr. Jirawat Sakchalathorn
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Chalermwat Tantasavasdi
Academic Years	2016

ABSTRACT

Wind-Driven Rain (WDR) is one of the most problems that designers must concern, especially in tropical climate. The objective of this study is to examine the efficiency of double-skin façade design's parameters with rain protection, which allow high rate of ventilation during rain, in high-rise residential buildings. Numerical method, Computer Fluid Dynamic (CFD), is used as a tool to investigate 4 parameters of façade design including distance of installation, pattern, degree and length of blades, divided into 14 cases from the cases that give best and worst result. The simulation results show that at higher level of a building, horizontal blades with 60-degree inclination must be installed if distance to the façade is 1.00 m., or horizontal blades with 30-degree inclination must be installed if the distance to the façade is 0.30 m. At middle and lower levels of a building, vertical blades with 30-degree inclination must be installed if the distance to façade is 0.30 m., but they must be aligned against the direction of the prevailing wind, these will result in highest volumetric flow rate and total rain protection. Design guidelines from the study are tested on 2 actual building conditions, the results confirm that the solution from the guidelines totally protect rain and give high volumetric flow rate to buildings.

Keywords: Wind-Driven Rain, Double-skin facade, Ventilation, CFD Simulation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบคุณ รศ.เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ เป็นผู้คอยแนะนำแนวทางในการวิจัย และจุดประเด็นให้เห็นถึงจุดที่น่าสนใจนำไปสู่ การค้นคว้าหาคำตอบในการดำเนินการวิจัย และขัดเกลาสิ่งที่ได้รับจากงานวิจัยให้ชัดเจนมากขึ้น ขอขอบคุณ รศ.ดร. สุดาภรณ์ สุตประเสริฐ ที่เป็นผู้จุดแนวความคิดในการศึกษาปัจจัยด้านฝนด้วย แบบจำลองของไหลให้มีความเป็นไปได้ และช่วยชี้แนะแนวทางในการหาข้อมูล และขั้นตอนใน การศึกษาด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และขอขอบคุณ พันเอก รศ.ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง ที่คอยให้ความรู้ด้านในด้านทฤษฎี สมการ และการตั้งค่าแบบจำลองต่าง ๆ รวมถึงช่วย ตรวจสอบความถูกต้อง และการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง สิ่งที่ได้รับจากอาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน นอกจากความรู้ในด้านการศึกษาของไหลด้วยแบบจำลอง ความรู้ทางด้านวิชาการ และด้านการทำวิจัย ผู้วิจัยยังได้เปิดมุมมองใหม่ทั้งในด้านการศึกษาปัจจัย ด้านฝนกับงานสถาปัตยกรรม และด้านศักยภาพของการใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิง คำนวณ ซึ่งนำไปเป็นความรู้ และแรงบันดาลใจในการใช้ศึกษาของไหลด้วยแบบจำลองต่อไปในอนาคต และยังเป็นแรงบันดาลใจในการทำงาน

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์กลุ่มสาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำปรึกษา และการ สอนที่เปิดมุมมองด้านต่าง ๆ จนนำมาซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และบุคลากรทุก ท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านเอกสาร การติดต่อคณาจารย์ และอื่น ๆ ให้เป็นไปอย่างราบรื่น ตลอดมา และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์กลุ่มสาขาอื่น ๆ เพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้อง คณะสถาปัตยกรรม ศาสตร์ และการผังเมือง และครอบครัว ที่คอยให้คำแนะนำ คำติชม และเปิดมุมมองในด้านต่าง ๆ ที่ เกี่ยวข้อง รวมถึงช่วยตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหา และสนับสนุนด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

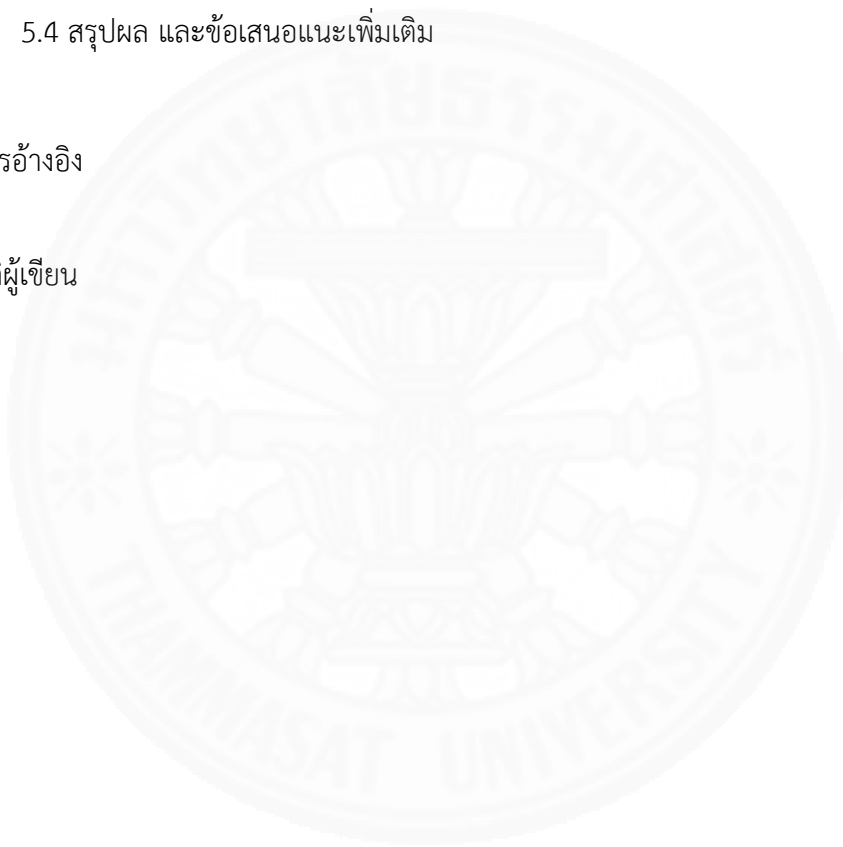
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ตัวแปรในการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ลักษณะปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับฝนที่ถูกลมพัด	5
2.2 การศึกษาฝนที่ถูกลมพัดด้วย โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	10

2.2.1	แนวทางในการศึกษาเชิงตัวเลข	10
2.2.2	สมการในการวิเคราะห์แบบจำลองพลศาสตร์ของไหล	12
2.2.2.1	Governing equation of fluid dynamic	12
2.2.2.2	Renolds-Averaged Navier-Stokes (RANS)	13
2.2.2.3	Turbulance model	13
	(1) Standard $k-\epsilon$	13
	(2) Realizable $k-\epsilon$	14
2.2.2.4	Discrete phase model (DPM)	15
2.2.2.5	Eulerian multiphase	16
2.3	การออกแบบอาคาร และเปลือกอาคาร เพื่อการป้องกันฝน	17
บทที่ 3	วิธีการวิจัย	28
3.1	ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	28
3.2	วิธีศึกษา และขั้นตอนการทดลอง	30
3.2.1	การศึกษาเปรียบเทียบ (validation)	30
3.2.2	การวิจัยผลกระทบจากลม และฝนผ่านรูปแบบเปลือกอาคารสองชั้น	32
3.3	การสรุปผล และอภิปรายผล	37
บทที่ 4	ผลการวิจัย และอภิปรายผล	38
4.1	ผลการจำลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า (validation)	38
4.2	ผลการจำลองตัวแปรที่ทำการศึกษา (application)	41
4.2.1	ระยะห่างของการติดตั้งเปลือกอาคาร	42
4.2.1.1	กรณีที่ 1 ไม่ได้ติดตั้ง	42
4.2.1.2	กรณีที่ 2-4 ติดตั้งที่ระยะ 1.00 0.50 และ 0.30 เมตร	46
4.2.1.3	สรุปผลตัวแปรระยะห่างของการติดตั้งเปลือกอาคาร กรณีที่ 1-4	54

4.2.2 รูปแบบของครีบ	55
4.2.2.1 กรณีที่ 5 และ 6 รูปทรงครีบเฉียง และแนวนอน (ระยะห่างของการติดตั้ง 1.00 เมตร)	56
4.2.2.2 กรณีที่ 7 และ 8 รูปทรงครีบเฉียง และแนวนอน (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)	61
4.2.2.3 สรุปผลตัวแปรรูปแบบของครีบ กรณีที่ 5-8	67
4.2.3 องศาการเอียงของครีบ	69
4.2.3.1 กรณีที่ 9 ครีบบูรูปแบบแนวนอนเอียง 60 องศา (ระยะห่างของการติดตั้ง 1.00 เมตร)	69
4.2.3.2 กรณีที่ 10 และ 11 ครีบบูรูปแบบแนวตั้งเอียง 60 และ 30 องศา (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)	72
4.2.3.3 กรณีที่ 12 และ 13 ครีบบูรูปแบบแนวนอนเอียง 60 และ 30 องศา (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)	78
4.2.3.4 สรุปผลตัวแปรองศาการเอียงของครีบ (กรณี 9-13)	83
4.2.4 ความยาวของครีบ	85
4.2.4.1 กรณีที่ 14 ครีบนวนอน ความยาวครีบ 150 (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการวิจัย	90
5.1.1 ศึกษาพฤติกรรมของฝนที่ถูกลมพัด ที่กระทำกับตัวอาคารโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	90
5.1.2 ศึกษารูปแบบองค์ประกอบของการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น ที่สามารถป้องกันหยดน้ำฝนได้ และสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศในอาคารได้	92
5.1.3 นำเสนอแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมในการป้องกันหยดน้ำฝน และเปิดรับลมธรรมชาติในระหว่างฝนตกได้อย่างเหมาะสม	96
5.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ กรณีศึกษาที่ 1	98

5.2.1 อาคาร และขอบเขตการศึกษา	98
5.2.2 ผลก่อนติดตั้งเปลือกอาคาร	100
5.2.3 ผลหลังติดตั้งเปลือกอาคาร	104
5.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ กรณีศึกษาที่ 2	107
5.2.1 อาคาร และขอบเขตการศึกษา	107
5.2.2 ผลก่อนติดตั้งเปลือกอาคาร	109
5.2.3 ผลหลังติดตั้งเปลือกอาคาร	113
5.4 สรุปผล และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	115
รายการอ้างอิง	116
ประวัติผู้เขียน	121



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	6
2.2	18
3.1	35
4.1	39
4.2	43
4.3	45
4.4	48
4.5	49
4.6	50
4.7	51
4.8	52
4.9	53
4.10	57
4.11	58
4.12	59
4.13	60
4.14	62
4.15	63
4.16	66
4.17	67
4.18	71
4.19	71
4.20	73
4.21	74
4.22	76
4.23	77
4.24	79

4.25	ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 13	80
4.26	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร กรณีที่ 12	82
4.27	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร กรณีที่ 13	83
4.28	ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 14	87
4.29	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร กรณีที่ 14	87
5.1	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	103
5.2	ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	103
5.3	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (ไม่สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)	105
5.4	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)	105
5.5	ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร(สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)	106
5.6	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	112
5.7	ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	112
5.8	ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร	114
5.9	ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร	114

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แนวความคิดในการทำการศึกษ	2
2.1 ส่วนประกอบของฝนที่ถูกลมพัด	7
2.2 การเคลื่อนที่วิถีโค้งของหยดน้ำฝน	7
2.3 แรงที่กระทำต่ออนุภาคหยดน้ำฝน	8
2.4 ช่องเปิดบริเวณประตู AirPost	19
2.5 รูปแบบของเปลือกอาคารในอดีต	20
2.6 รูปแบบของเปลือกอาคาร	21
2.7 รูปแบบขององค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีการทำเพื่อป้องกันฝน และสามารถให้ เกิดการระบายอากาศได้	22
2.8 หน้าต่าง Louver window	23
2.9 Monsoon Window at One Moulmein Rise	24
2.10 แผงกันแดด (glazed blade หรือ solar shading)	25
2.11 ฉากกันฝนแบบแผ่นโลหะฉลุ (perforate rainscreen)	26
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	29
3.2 ขนาดเงื่อนไขขอบเขตจากงานศึกษาก่อนหน้า	31
3.3 ผลการศึกษา rain trajectories 1mm และ wetted pattern	32
3.4 ขนาด และตำแหน่งการวางพื้นที่ตรวจวัดในแบบจำลอง	33
3.5 เงื่อนไขของขอบเขตของแบบจำลอง	33
3.6 เมชรูปร่าง Tetrahedral ที่ใช้ในแบบจำลอง	34
3.7 ตัวแปรในการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น	
3.8 ผลเชิงกราฟิกจากการคำนวณ volume fraction จากโปรแกรม ANSYS Fluent 16.0	37
4.1 อัจฉริยะแบบสองด้าน พร้อมหลังคาเรียบ	38
4.2 การไหลของลมจากความละเอียดเมช ในกรณีที่ 1 และ 2	39
4.3 การไหลของลมจากความละเอียดเมช ในกรณีที่ 3 และ 4	40
4.4 ผลของพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นบนอัจฉริยะ จากทั้ง 4 ความละเอียดเมช	41
4.5 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1	43

4.6	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 1	45
4.7	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 1-4	47
4.8	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 2	47
4.9	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 3	48
4.10	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 4	49
4.11	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 2	51
4.12	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 3	52
4.13	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 4	53
4.14	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 2-4	54
4.15	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 1-4	55
4.16	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 2 5 และ 6	56
4.17	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 5	57
4.18	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 6	58
4.19	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 5	60
4.20	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 6	61
4.21	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 4 7 และ 8	62
4.22	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 7	63
4.23	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 8	64
4.24	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 7	65
4.25	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 8	66
4.26	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 2 5 และ 6	67
4.27	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 4 7 และ 8	68

4.28	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 5-8	68
4.29	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 6 และ 9	70
4.30	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 9	70
4.31	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 9	72
4.32	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 4 10 และ 11	73
4.33	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 10	74
4.34	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 11	75
4.35	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 10	76
4.36	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 11	77
4.37	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 8 12 และ 13	78
4.38	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 12	79
4.39	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 13	80
4.40	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 12	82
4.41	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 13	82
4.42	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 9-13	83
4.43	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 6 และ 9	84
4.44	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 4 10 และ 11	84
4.45	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 8 12 และ 13	85
4.46	กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 8 14 และ 15	86
4.47	ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 14	87
4.48	ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 14	88

4.49	กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 8 และ 14	89
5.1	การเคลื่อนที่ของลม และฝนในระนาบแนวนอน	91
5.2	การเคลื่อนที่ของลม และฝนในระนาบแนวตั้ง	92
5.3	ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรระยะทางการติดตั้ง เปลือกอาคาร	93
5.4	ผังสีแสดงความเร็วลม ในตัวแปรระยะทางการติดตั้งเปลือกอาคาร	93
5.5	ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรรูปแบบเปลือกอาคาร	94
5.6	ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรองศาการเอียงของคาน	95
5.7	ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรระยะยื่นของคาน	96
5.8	ไดอะแกรมสรุปการประยุกต์ใช้เปลือกอาคารแบบสองชั้น	97
5.9	อาคารที่ใช้ศึกษาในกรณีศึกษาที่ 1	99
5.10	ตำแหน่งของพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1	99
5.11	ลักษณะการไหลของลมในภาวะสมดุลคงตัว กรณีศึกษาที่ 1 ยังไม่ได้ติดตั้งเปลือกอาคาร	100
5.12	ลักษณะการไหลของลม กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	101
5.13	ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝน กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	101
5.14	พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	102
5.15	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	103
5.16	พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (ไม่สามารถ ป้องกันฝนได้ทั้งหมด)	104
5.17	พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (สามารถป้องกัน ฝนได้ทั้งหมด)	106
5.18	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)	107
5.19	อาคารที่ใช้ศึกษาในกรณีศึกษาที่ 2	108
5.20	20 ผัง และห้องพักอาคาร Park Rouge Akasaka Hinoki-cho	108
5.21	ตำแหน่งของพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 2	109
5.22	ลักษณะการไหลของลม กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	110
5.23	ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝน กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	111

5.24	พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	111
5.25	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร	112
5.26	พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร	113
5.27	กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร	114
5.28	ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน เปลือกอาคารบริเวณด้านข้างของอาคาร	115



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

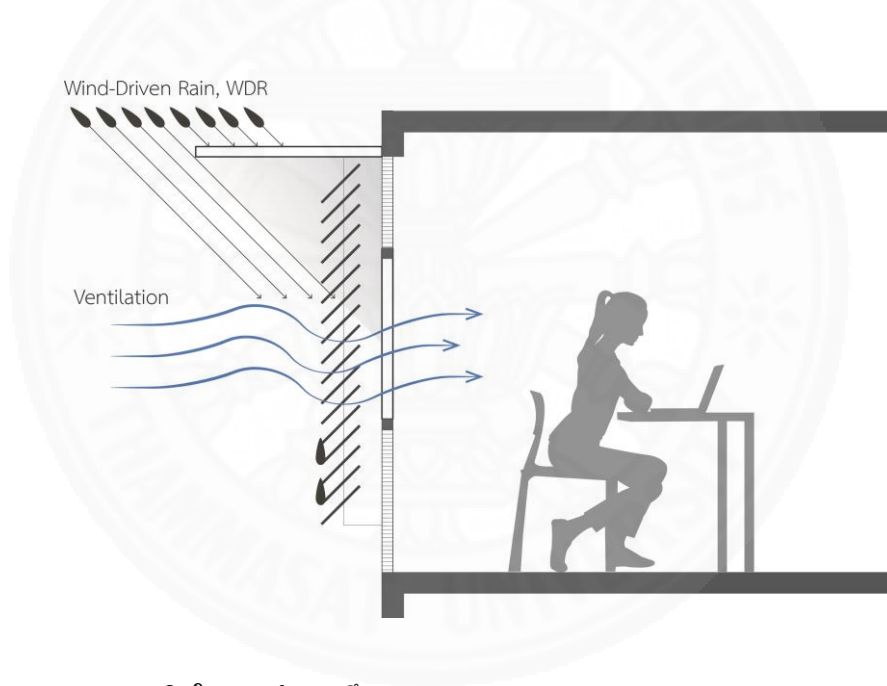
พื้นที่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (tropical climate) เป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุก และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส ฤดูกาลในเขตภูมิอากาศนี้แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ฤดูฝนมีช่วงเวลาเฉลี่ยที่ยาวนานที่สุด และฤดูหนาวมีระยะเวลาที่สั้น สถาปัตยกรรมเขตร้อน (tropical architecture) เป็นงานสถาปัตยกรรมที่ถูกรออกแบบเพื่อตอบรับกับสภาพแวดล้อมของเขตอากาศร้อนชื้น โดยเฉพาะการออกแบบให้มีความสามารถในการใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) เช่น การออกแบบให้มีพื้นที่กึ่งเปิดโล่ง (semi outdoor) หรือ ออกแบบอาคารที่สามารถ เปิด-ปิด ช่องเปิดได้ เป็นต้น การออกแบบเพื่อให้สามารถระบายอากาศแบบธรรมชาติได้นั้นมีส่วนช่วยในการลดพลังงาน โดยการลดจำนวนชั่วโมงการใช้เครื่องปรับอากาศ ลดพื้นที่ในการใช้เครื่องปรับอากาศในอาคาร ทำให้อากาศถ่ายเทได้เพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศภายในพื้นที่อาคาร และสร้างสภาวะน่าสบายให้แก่ผู้ใช้งานอาคาร ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (climate change) ทำให้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงขึ้นทุกปี และเกิดฝนตกในปริมาณที่มากขึ้น และรุนแรงขึ้น (NCCS, 2016) ส่งผลให้อาคารไม่สามารถใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่คาดการณ์ไว้

เปลือกอาคาร (building envelope หรือ façade) นั้นเป็นองค์ประกอบที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอกโดยตรง จึงเปรียบเหมือนผิวหนังของอาคาร เปลือกอาคารนั้นมีการออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย หนึ่งในปัจจัยหลักที่มักถูกพิจารณาเป็นอันดับแรก คือ การออกแบบเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคาร และป้องกันสภาพแวดล้อมไม่พึงประสงค์จากภายนอก ฝนนั้นเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารเขตร้อนชื้น ฝนที่เข้ามาสู่ตัวอาคารนั้นเป็นแหล่งความชื้นสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายภายในอาคารทั้งในด้าน วัสดุตกแต่ง เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ รวมไปถึงการเกิดเชื้อรา ซึ่งส่งผลเสียต่อทรัพย์สิน และคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ในช่วงเวลาที่ฝนตกอุณหภูมิของอากาศภายนอกนั้นจะค่อนข้างต่ำ พร้อมกับลมที่มีความเร็วสูงขึ้น หากฝนไม่สาดเข้ามาในอาคาร คนในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นนิยมใช้ประโยชน์จากลมดังกล่าวใน การระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยการออกแบบช่องเปิด หรือ ติดตั้งหน้าต่างแบบเปิด-ปิดได้ เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายในอาคาร โดยเฉพาะในอาคารพักอาศัย ซึ่งปัจจุบันอาคารพักอาศัยที่เป็นอาคารสูง หรือ คอนโดมิเนียมต่าง ๆ มีการเพิ่มตัวมากขึ้น ตอบรับกับการเพิ่มของความหนาแน่น

ประชากรในพื้นที่ต่าง ๆ ทั้งนี้การออกแบบที่นิยมเพื่อป้องกันฝนในปัจจุบันนั้น การกำหนดระยะต่าง ๆ ในการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม เช่น ชายคา หน้าต่าง และอุปกรณ์กันสาดนั้น ขึ้นอยู่กับ การคาดคะเน และประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ทำให้การออกแบบเพื่อป้องกันฝนนั้นมีโอกาสที่จะ ไม่ได้ประสิทธิภาพตามที่คาดไว้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของฝนที่ถูกลมพัด (Wind Driven Rain, WDR) ต่ออาคารสูงที่เป็นอาคารพักอาศัย โดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเปลือกอาคารที่ช่วย ป้องกันหยดน้ำฝน (raindrop) และสามารถใช้ประโยชน์จากลมที่ธรรมชาติภายนอกที่มีอุณหภูมิ ค่อนข้างต่ำ เพื่อทำให้เกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติแก่พื้นที่ภายในอาคารได้ ในช่วงฤดูฝน หรือ ช่วงเวลาที่มีฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน แนวคิดดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แนวความคิดในการทำการศึกษ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาพฤติกรรมของฝนที่ถูกลมพัด ที่กระทำกับตัวอาคารโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
- 2) ศึกษารูปแบบองค์ประกอบของการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น ที่สามารถป้องกันหยดน้ำฝน และสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศในอาคารได้
- 3) นำเสนอแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมในการป้องกันหยดน้ำฝน และเปิดรับลมธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การออกแบบเปลือกอาคาร ให้สามารถป้องกันฝนได้นั้น สามารถเพิ่มศักยภาพ ในการระบายอากาศแบบธรรมชาติในช่วงเวลาที่ฝนตกได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาใช้จำลองพฤติกรรมของฝน ขนาด 1 มิลลิเมตร ในกระแสมลม 10 เมตรต่อวินาที ที่ความสูงอ้างอิงระดับ 10 เมตร โดยทำการจำลองสถานการณ์ที่ลมปะทะกับตัวอาคาร โดยตรงเนื่องจากเป็นกรณีที่ส่งผลให้เปลือกอาคารด้านที่รับฝนได้รับผลกระทบมากที่สุด อาคารที่ใช้ศึกษาเป็นอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย ผังรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูง 40 ชั้น (140 เมตร) ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ผ่านโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) ANSYS fluent version 16.0 โดยศึกษาตัวแปรการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น เพื่อวัดผลของพื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด และอัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร บริเวณด้านของอาคารที่รับฝน

1.5 ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรต้น : รูปแบบของเปลือกอาคาร ระยะการติดตั้งเปลือกอาคาร องศาการเอียงของเปลือกอาคาร และความยาวของครีป

ตัวแปรตาม : ร้อยละน้ำฝนที่เข้ามาสู่อาคาร และอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร

ตัวแปรควบคุม : ความเร็วลม ขนาดของหยดน้ำฝน ปริมาณน้ำฝน ขนาด และตำแหน่งช่องเปิดของห้องพัก และรูปทรงของของอาคาร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แนวทางการออกแบบเปลือกอาคาร เพื่อป้องกันฝน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติในช่วงเวลาที่ฝนตก สำหรับ สถาปนิก และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร

บทที่ 2

วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาพฤติกรรมของฝนที่ถูกลมพัด (Wind Driven Rain) ที่กระทำต่อตัวอาคาร โดยใช้โปรแกรม จำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) นั้นได้มีการศึกษาวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นส่วนต่าง ๆ แบ่งออกเป็น

2.1 ลักษณะ และปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับฝนที่ถูกลมพัด

2.2 การศึกษา ฝนที่ถูกลมพัดเชิงคำนวณด้วย โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2.3 การออกแบบอาคาร และการป้องกันฝน

2.1 ลักษณะ และปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับฝนที่ถูกลมพัด

หยดน้ำฝน (raindrops) หมายถึง หยดน้ำที่มีขนาดศูนย์กลาง (diameter) มากกว่า 0.2 มิลลิเมตร ที่ตกลงมาจากชั้นบรรยากาศ ขนาดของหยดน้ำฝนดังกล่าวได้มาจากการศึกษา และทำการประมาณ ขนาดของหยดน้ำฝน 0.2 มิลลิเมตร นั้นถูกเลือกมาใช้เพราะ เป็นขนาดของหยดน้ำที่มีน้ำหนักพอที่จะตกลงมาจากชั้นบรรยากาศ จากการศึกษาแม้ว่าในธรรมชาติจะมีโอกาสที่เกิดหยดน้ำฝนขนาด 10 มิลลิเมตร แต่เมื่อเคลื่อนตัวตกลงมาในชั้นบรรยากาศนั้นมักจะเกิดการแตกตัวของหยดน้ำฝน ทำให้มีโอกาสที่น้อยมากที่จะพบน้ำฝนขนาดใหญ่กว่า 6 มิลลิเมตร (Kenneth R. Hardy, 1962)

ลักษณะความเร็วของลมในธรรมชาติได้ถูกแบ่งออกไว้ในมาตราของ Beaufort (Beaufort scale) ซึ่งเป็นความเร็วลมอ้างอิงที่ความสูง 10 เมตร จากพื้นดินที่โล่งแจ้ง มาตราความเร็วลมได้แบ่งความรุนแรงของลมออกเป็น 12 ระดับ ตามตารางที่ 2.1 ซึ่งเมื่อความเร็วลมอยู่ที่ระดับ 34 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 15.19 เมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในระดับมาตราของ Beaufort ที่ 7 จะเป็นระดับความเร็วลมของพายุพายุดีเปรสชันเขตร้อน (tropical depression) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มีการศึกษาในสถานการณ์ที่เกิดพายุ จึงกำหนดขอบเขตของ ลมไว้ไม่เกินระดับมาตราของ Beaufort ที่ 6 ซึ่งอยู่ในระดับลมที่แรงจนถึงไม่ใหญ่มีการสั่นไหว

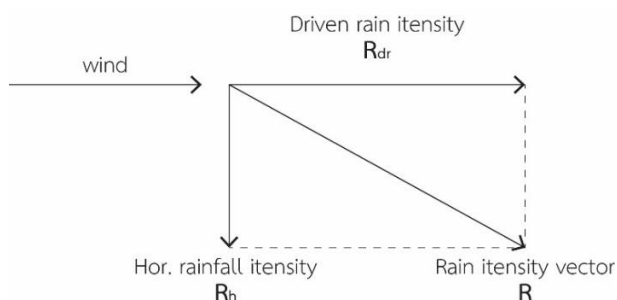
ตารางที่ 2.1

มาตรฐาน Beaufort scale

Beaufort number	Wind speed (mph)	Seaman's term	Effect on land
0	Under 1	Clam	ลมสงบควันลอยขึ้นตรง ๆ
1	1-3	Light Air	ควันลอยตามลม แต่ครลมไม่หันตามทิศลม
2	4-7	Light Breeze	รู้สึกลมพัดที่ผิวหนัง ใบไม้กระดิก ครลมหันไปตามลม
3	8-12	Gentle Breeze	ใบไม้ และกิ่งไม้เล็ก ๆ ขยับเขยื้อน ชงปลิว
4	13-18	Moderate Breeze	ฝุ่น ใบไม้ และกระดาษปลิว กิ่งไม้ขยับเขยื้อน
5	19-24	Fresh Breeze	ต้นไม้เล็กขยับเขยื้อน น้ำเป็นระลอก
6	25-31	Strong Breeze	กิ่งไม้ใหญ่ขยับเขยื้อน ได้ยินเสียงลมตามสายโทรเลข ไร่ร่มไม่สะดวก
7	32-38	Moderate Gale	ต้นไม้ใหญ่ขยับเขยื้อน เดินทวนลมได้ลำบาก
8	39-46	Fresh Gale	กิ่งไม้เล็กหักจากต้น
9	47-54	Strong Gale	สิ่งก่อสร้างที่ไม่มั่นคงหักพัง
10	55-63	Whole Gale	ต้นไม้โค่น และเกิดความเสียหาย
11	64-72	Strom	เกิดความเสียหายมาก
12	73 or higher	Hurricane Force	เกิดความเสียหายในระดับสูง

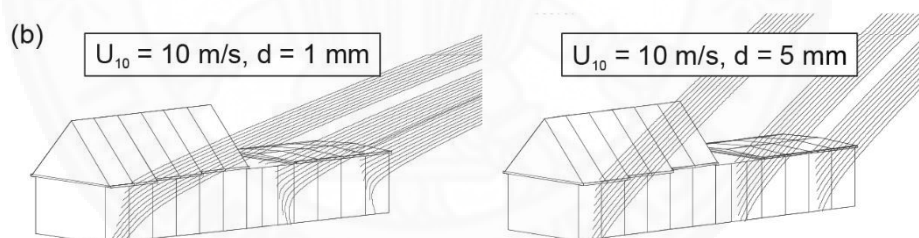
หมายเหตุ. จาก What Is The Beaufort Scale? (n.d.). Retrieved November 12, 2016, from <https://kiteboardingtampabay.com/beaufort-scale.html>

ฝนที่ถูกลมพัด (Wind Driven Rain, WDR) เป็นปรากฏการณ์ ที่มีปริมาณของฝนเคลื่อนตัวในทิศทางแนวดิ่ง ซึ่งกระทำกับระนาบในแนวราบ (horizontal rainfall intensity, R_h) สู่ชั้นบรรยากาศที่มีความเร็วลมซึ่งเป็นแรงในทิศทางแนวราบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำฝนในทิศทางแนวราบขึ้น หรือถูกเรียกว่าปริมาณของฝนที่ถูกลมพัด (driven rain intensity, R_{dr}) ส่งผลให้ลักษณะของน้ำฝนนั้นเคลื่อนตัวเป็นแนวเฉียง หรือในการศึกษาถูกเรียกอีกชื่อว่า ทิศทางของปริมาณของฝน (rain intensity vector, R) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของฝนที่ถูกลมพัด จาก *A review of wind-driven rain research in building science*, โดย Bert Blocken และ Jan Carmeliet, 2004, *Journal of wind engineering and industrial aerodynamic* 92(2004) 1079-1103

ในการศึกษาฝนที่ถูกลมพัดที่มีผลต่ออาคารนั้น แบ่งการศึกษาออกเป็นสามรูปแบบ คือ การศึกษาด้วยการตรวจวัดจริง การศึกษาด้วยการใช้แบบจำลองในอุโมงค์ลม และการศึกษาด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล เพื่อศึกษาผลกระทบของฝนต่อวัสดุเปลือกอาคารในการสะสมของน้ำฝนของวัสดุ และพฤติกรรมเคลื่อนที่ของน้ำฝนรอบตัวอาคาร และเข้าสู่ช่องเปิดของอาคาร โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล

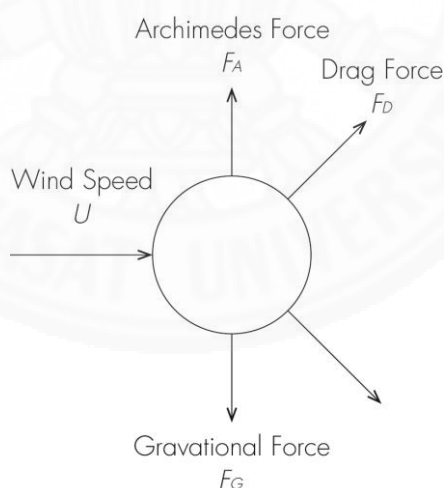


ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่วิถีโค้งของหยดน้ำฝน จาก *Spatial and temporal distribution of driven rain on a low-rise building*, โดย Bert Blocken และ Jan Carmeliet, 2002, *Wind and structure* Vol.5 No.5 pp.441-462

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าพบว่า การเคลื่อนที่ของน้ำฝนในกระแสลม เป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะวิถีโค้ง (rain trajectories) โดยขนาดหยดน้ำฝน (raindrop size) และกระแสลม (wind flow pattern) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำฝน จากการศึกษาของ Blocken และ Carmeliet (2002) ได้มีการจำลองกระแสลม ที่มีความเร็ว 5 และ 10 เมตรต่อวินาที ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทำการปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝนที่มีขนาด 1 และ 5 มิลลิเมตร

ลงไปในกระแสมทั้งสอง เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของขนาดหยดน้ำฝนทั้งสองในกระแสมที่มีความเร็วเท่ากัน ทำให้เห็นว่า การที่อนุภาคขนาดเล็กนั้นลงไปใกระแสมที่มีความเร็วมากจะมีการเคลื่อนที่วิถีโค้งที่พุ่งไปข้างหน้ามาก ในขณะที่การปล่อยอนุภาคขนาดใหญ่ในกระแสมที่มีความเร็วต่ำกว่าให้ผลตรงข้าม ดังภาพที่ 2.2

ในธรรมชาติเมื่อกระแสมปะทะกับตัวอาคารจะทำให้กระแสมมีเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปในลักษณะปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และทิศทาง ทำให้วิถีของน้ำฝนมีการปรับเปลี่ยนไปตามกระแสมที่เปลี่ยนแปลง ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความสูง และรูปทรงของอาคาร นั้นมีผลอย่างมากต่อลักษณะของความปั่นป่วนของลมรอบตัวอาคาร ซึ่งในกรณีอาคารสูงนั้นจะมีลักษณะผลกระทบจากความปั่นป่วนของลมมากกว่าอาคารขนาดที่เตี้ย (Sankaran และ Paterson, 1997) และรูปทรงของอาคารที่มีความซับซ้อนต่างกัันก็ส่งผลให้เกิดกระแสมที่ปั่นป่วนแตกต่างกัน ในงานศึกษาของ Hoof, Blocken และ Harten (2011) ได้มีการอธิบายถึงแรงที่กระทำต่อหยดน้ำฝนในการจำลอง โดยใช้หลักการของ Lagrangian particle tracking ซึ่งเป็นการคำนวณโดยอาศัยหลักสมดุลแรง (force balance) ประกอบด้วย แรงโน้มถ่วง (gravitational force) แรงลาก (drag force) และแรงลอยตัว (Archimedes force) ซึ่งกระทำต่อหยดน้ำฝน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แรงที่กระทำต่ออนุภาคหยดน้ำฝน จาก 3D CFD simulation of wind flow and wind-driven rain shelter in sport stadia: Influence of stadium geometry, โดย T. van hoof, B.Blocken และ M. van harten, 2011, Building and environment 46 (2011) 22-37

ในการศึกษาฝนที่ถูกลมพัดนั้น ค่าเชิงปริมาณที่มักใช้เพื่ออธิบาย ภาระความชื้น (driven rain load) บนอาคารได้แก่ อัตราการจับตัวเฉพาะ (specific catch ratio, η_d) และอัตราการจับตัว (catch ratio, η) อัตราการจับตัวเฉพาะนั้น เป็นค่าที่เกิดจากการคิดเฉพาะแต่ละ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำฝน (diameter, d) ในการคิดคำนวณค่า อัตราการจับตัวเฉพาะนั้น มีค่าตัวแปรได้แก่ ปริมาณฝนที่ถูกลมพัดเฉพาะ (specific driven rain intensity, $R_{dr}(d, t)$) และ ปริมาณฝนที่กระทำต่อแนวราบเฉพาะโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง (specific unobstructed horizontal rainfall intensity, $R_h(d, t)$) ตามสมการที่ 1

$$\eta_d(d, t) = \frac{R_{dr}(d, t)}{R_h(d, t)} \quad (1)$$

อัตราการจับตัว นั้นก็คำนวณด้วยตัวแปรที่คล้ายคลึงกันนั้นคือ ปริมาณฝนที่ถูกลมพัดเฉพาะ (driven rain intensity, $R_{dr}(t)$) และปริมาณฝนที่กระทำต่อแนวราบเฉพาะโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง (unobstructed horizontal rainfall intensity, $R_h(t)$) แต่เป็นการคำนวณจากทุกช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำฝน (ช่วงระหว่าง 0.2-6.0 มิลลิเมตร) ตามสมการที่ 2

$$\eta(t) = \frac{R_{dr}(t)}{R_h(t)} \quad (2)$$

ปริมาณฝนที่กระทำต่อแนวราบเฉพาะโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง (the unobstructed horizontal rainfall intensity) นั้นเป็นค่าปริมาณของฝนที่กระทำต่อระนาบแนวราบ ซึ่งเป็นระนาบที่ตั้งอยู่นอกรูปแบบการเคลื่อนที่ของลม (wind flow pattern) ที่ถูกทำให้มีการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วนโดยตัวอาคาร จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง A review of wind-driven rain research in building science, 2004 ได้มีการสรุปปัจจัยหลัก ๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของฝนที่ถูกลมพัดไว้ 6 ประการ ได้แก่ รูปทรงของอาคาร (building geometry) ตำแหน่งบนเปลือกอาคารด้านที่ศึกษา (positioning on the façade) ความเร็วลม (wind speed) ทิศทางลม (wind direction) ปริมาณน้ำฝน (rainfall intensity) และการกระจายตัวของน้ำฝนตามขนาด (raindrop size distribution)

2.2 การศึกษาฝนนที่ถูกลมพัดด้วย โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2.2.1 แนวทางในการศึกษาเชิงตัวเลข

การศึกษาฝนนที่ถูกลมพัดเชิงตัวเลข เริ่มโดย Sandbeurg (1974) ซึ่งเป็นการคำนวณเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของหยดน้ำฝนโดนรอบอาคาร โดยการศึกษาในรูปแบบการเคลื่อนที่ของลมจากอุโมงค์ลม ต่อมา Souster (1979) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่วิถีโค้งของหยดน้ำฝนโดยอาศัยการคำนวณหารูปแบบการเคลื่อนที่ของลมโดยใช้คอมพิวเตอร์ ในงานของ Souster นั้นเป็นการจำลองในรูปแบบสองมิติ เป็นการเริ่มต้น และเสนอแนวทาง การศึกษาฝนนที่ถูกลมพัดด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) การศึกษาฝนนที่ถูกลมพัดด้วยแบบจำลองจากโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนั้นถูกพัฒนาวิธีการมาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งงานศึกษาของ Choi (1991) นับได้ว่าเป็นงานวิจัยบุกเบิกในการจำลองฝนนที่ถูกลมพัดด้วยแบบจำลองในรูปแบบสามมิติ

Choi ได้พัฒนาการศึกษาเชิงคำนวณเพื่อดูการเคลื่อนที่วิถีโค้งของหยดน้ำฝน ในกระแสลมภาวะสมดุลคงตัว (steady-stage wind flow) โดยการจำลองกระแสลมในภาวะสมดุลและปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝนลงไปในสนามของกระแสลม เพื่อดูการเคลื่อนที่ของอนุภาค Choi ได้ทำการจำลองลมในภาวะสมดุลโดยใช้สมการ 3D Reynolds Averaged Navier-Stokes และใช้สมการคำนวณความต่อเนื่อง standard k- ϵ turbulence model การตั้งค่าการเคลื่อนที่ของฝนนที่ตกกระทบลงบนผนังของอาคาร และการกระจายตัวของน้ำฝน เป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณหาอัตราการจับตัว และอัตราการจับตัวเฉพาะ ในการจำลองเชิงคำนวณของ Choi นั้นยังทำให้สามารถหาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (spatial distribution) ของฝนนที่ถูกลมพัด ภายใต้ภาวะสมดุลของลม และฝนนได้

ภายหลังมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการใช้การจำลอง ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบนั้นมีหลากหลายแนวทางในการศึกษา ทั้งการเปรียบเทียบกับการวัดผลจากสภาพแวดล้อมจริง การทำโมเดลจำลอง โดยใช้อุโมงค์ลมทั้งแบบ ขนาดสมจริง (full-scale) และย่อส่วน (half-scale) เช่นในงานศึกษาของ Lakehal et al. (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาเชิงทดลองโดยใช้รูปทรงของอาคารที่เหมือนกัน และงานศึกษาของ Van mook (1999) ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองขนาดสมจริง โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาในช่วงเวลา 10 นาที ของการเกิดปรากฏการณ์

งานศึกษาของ Blocken และ Carmeliet (2002) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองเชิงคำนวณ เปรียบเทียบกับการตรวจวัดจริง โดยคำนึงถึงปัจจัยด้าน มิติ และเวลา

(space and time) ซึ่งมีการกำหนดช่วงเวลาของปรากฏการณ์ไว้ที่ 10 นาที เช่นการศึกษาที่เคยมีมา โดยการศึกษาจาก ปรากฏการณ์ฝนที่มีการเปลี่ยนแปลง (transient rain event) ในงานศึกษาของ Bolcken และCarmeliet ใช้ตัวอย่างอาคารที่มีความสูง 4.30 เมตร และส่วนที่มีหลังคาจั่วสูง 7.90 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนของรูปทรงมากกว่าการศึกษาอื่นก่อนหน้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษานั้น แบ่งออกเป็น 33 ขนาด 0.30 – 6.00 มิลลิเมตร และใช้ลมในการศึกษาเป็นความเร็วลมอ้างอิง $U_{10} = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ และ 10 เมตรต่อวินาที กระทำต่อเปลือกอาคารด้านที่ศึกษาที่ได้มีการแบ่งโซนไว้เพื่อหาค่า อัตราการจับตัว และอัตราการจับตัวเฉพาะ และในการศึกษายังมีจุดประสงค์ที่จะตรวจวัด การกระจายตัวเชิงตำแหน่ง และเวลา (spatial and temporal distribution)

นอกจากการดูผลกระทบภายนอกอาคารแล้ว บางการศึกษามีการประยุกต์ใช้วิธีต่าง ๆ เพื่อประเมินผลกระทบต่อภายในอาคาร โดยมีการใช้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนของรูปทรงอาคาร ให้เหมือนอาคารจริงมากขึ้น เช่นในงานศึกษารูปทรงผั่ง และหลังคารูปแบบต่าง ๆ ของอัมจันทร์ สนามกีฬาเพื่อดูผลกระทบของฝนที่ถูกลมพัดกับตำแหน่งของอัมจันทร์ที่ถูกฝนสาด (Hoof, Blocken และHarten, 2011) การศึกษาดูลักษณะของน้ำฝนที่เข้ามาในอาคารโรงงานเพื่อออกแบบหน้าต่างให้เกิดการป้องกันฝน และเกิดการระบายอากาศได้ โดยศึกษาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง (Kritana Prueksakorn, Cheng-Xu Piao, Hyunchul Ha และTaehyeung Kim, 2015) และการศึกษาเพื่อออกแบบช่องเปิดของอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยในมาเลเซีย โดยใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดจากอาคารจริง (C.H.Lim, M.Alkhair, E,Salleh และK.Sopian, 2015) เป็นต้น

จากการทบทวนวรรณกรรมจึงสามารถสรุปได้ว่า การศึกษาโดยการทำแบบจำลอง ฝนที่ถูกลมพัดด้วยวิธีเชิงคำนวณนั้น แบ่งออกเป็นสองแนวทางคือ การทำแบบจำลองในภาวะสมดุลคงตัว (steady-stage simulation) และการจำลองแบบการกระจายตัวเชิงตำแหน่ง และเวลา (spatial and temporal distribution simulation)

2.2.2 สมการในการวิเคราะห์แบบจำลองพลศาสตร์ของไหล

ในการใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ANSYS fluent 16.0 ในการศึกษาฝนที่ถูกลมพัด มีการใช้สมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ได้แก่

2.2.2.1 Governing equations of fluid dynamics

สมการอนุรักษ์พื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณของไหลนั้น ประกอบด้วย 3 สมการ สำคัญได้แก่ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้มีการคำนึงถึงปัจจัยด้านพลังงาน ดังนั้นสมการที่ใช้ในการศึกษาเป็นหลักจึงได้แก่ สมการความต่อเนื่อง และโมเมนตัม ดังสมการที่ 3 และ 4

1. Continuity equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (3)$$

2. Momentum equation

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\sigma_{ij}) - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (4)$$

โดยที่

$$\sigma_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \quad (5)$$

- ρ = Density
- t = Time
- x_i = Direction
- u_i = Velocity magnitude (i=1,2,3)
- τ = Shear stress
- μ = Dynamic viscosity

2.2.2.2 Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS)

เป็นสมการที่มักถูกใช้ในการคำนวณของไหลเพื่อหาการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ซึ่งเป็นการคำนวณสมการอนุพันธ์ทั้งสอง โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณผล (mean-flow) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 6 และ 7 โดยจะเห็นว่าสมการมีลักษณะคล้ายกับสมการที่ 3 - 5

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j}) \quad (7)$$

โดยที่ \bar{u}_i คือความเร็วเฉลี่ย และ $\overline{u_i u_j}$ คือ ความเร็วปั่นป่วน แต่ในเทอม Reynolds stresses ($-\rho \overline{u_i u_j}$) ที่เพิ่มเข้ามาในการคำนวณนั้นทำให้ไม่สามารถแก้สมการอนุพันธ์ทั้งสองได้ เนื่องจากมีตัวแปรที่เกินมา ทำให้ต้องใช้สมการแบบจำลองความปั่นป่วน มาช่วยเพื่อให้สามารถแก้เทอมดังกล่าวได้

2.2.2.3 Turbulence model $k-\varepsilon$

สมการแบบจำลองความปั่นป่วน (turbulence model) เป็นสมการที่ใช้เพื่อช่วยในการแก้ สมการ Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) เพื่อหาค่า Reynolds stresses ($-\rho \overline{u_i u_j}$) ที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วย RANS ซึ่งแบบจำลองความปั่นป่วนนั้นมีหลากหลายรูปแบบ จากงานศึกษาที่ใกล้เคียงก่อนหน้าพบว่านิยมใช้กันสองรูปแบบ ได้แก่ standard $k-\varepsilon$ และ realizable $k-\varepsilon$

(1) Standard $k-\varepsilon$

เป็นการคำนวณ $k-\varepsilon$ ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยเป็นการคำนวณแยกกันของสองสมการ คือ k พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulence kinetic energy) และ ε อัตราการแพร่กระจาย (rate of dissipation)

k-equation :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (8)$$

ε -equation :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (9)$$

โดยที่ Turbulence viscosity equation กำหนดโดย

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

โดย $C_\mu = 0.09$

G_k = Generation of turbulence kinetic energy due to the mean velocity gradients

G_b = Generation of turbulence kinetic energy due to buoyancy

Y_M = Dilatation dissipation

S_k, S_ε = User-defined source terms

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ = Constants ($C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_{3\varepsilon} = \tan h|v/u|$)

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ = Turbulent Prandtl number for k and epsilon (= 1.0, 1.3)

(2) Realizable k - ε

เป็นการคำนวณพัฒนาจาก standard k - ε ทำให้เกิดความแตกต่างกันสองอย่างได้แก่ มีความสามารถในการคำนวณความหนืดของความปั่นป่วน และสมการใหม่สำหรับอัตราการกระจาย ซึ่งได้มาจากสมการ mean-square vorticity fluctuation

โดยในการคำนวณใช้สมการในการหาค่า k เดียวกันกับสมการที่ 8 ของ standard k - ε แต่ในการคำนวณค่า ε จะเป็นไปตามสมการที่ 11 ซึ่งจะประกอบด้วยเทอมที่ซับซ้อนกว่า และในการหา turbulence viscosity ค่า C_μ นั้นไม่ได้เป็นค่าคงที่ 0.09 เหมือนกับ standard k - ε

ε -quation:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (11)$$

โดยที่

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, \quad S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

และ C_μ ในการหา turbulence viscosity คำนวณจาก

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{kU}{\varepsilon}}, \quad U = \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}}$$

ค่า $\tilde{\Omega}$ หาได้จาก $\overline{\Omega_{ij}}$ ซึ่งเป็นค่า เฉลี่ยการหมุน (mean rate-of-rotation)

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k$$

$$\Omega_{ij} = \overline{\Omega_{ij}} - \varepsilon_{ijk}\omega_k$$

2.2.2.4 Discrete Phase Modeling, DPM

เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณ การเคลื่อนที่ของอนุภาค (trajectory) และการจำลองอนุภาคในกระแสน้ำของไหลแบบปั่นป่วน (particles in turbulent flow) ด้วย stochastic tracking model หรือ the particle cloud model ใน ANSYS Fluent รวมถึงยังสามารถคำนวณการแลกเปลี่ยนความร้อน (heat transfer) และการแลกเปลี่ยนมวลสาร (mass transfer) โดยใช้หลักการ Lagrangian เป็นหลักการที่ใช้ในการแก้ปัญหาในการคำนวณที่มีมวลมากกว่า 1 ชนิดซึ่งแตกต่างจากนิวตัน โดยเป็นการบรรยายคุณสมบัติต่าง ๆ ของอนุภาคของไหลที่เกี่ยวข้องกับเวลา แบบจำลองที่คำนวณด้วย DPM จะสามารถใช้ในการ ติดตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีการใส่เข้าไปในแบบจำลอง (particles tracking) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ถึง ความเร็วของอนุภาค แรงดัน มวล และสัดส่วนของอนุภาคต่อของไหลอีกเฟสหนึ่ง (volume fraction) ในการทำแบบจำลอง ปัจจัยในการตั้งค่าหลักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่วิธีการปล่อยอนุภาคเข้ามาในระบบ (injection) ที่สามารถทำได้ในหลายรูปแบบตามความเหมาะสมของผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา แบ่งออกเป็น การปล่อยเพียงอนุภาคเดียว (single) การปล่อยแบบระนาบ (surface) หรือ แบบกลุ่ม (group) และอีก

ปัจจัยคือการตั้งค่าพื้นผิวแบบจำลองนั้นสามารถให้ตอบสนองกับอนุภาคที่ทำการใส่เข้ามาในระบบได้ด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ escape, trap และ reflect ซึ่งแตกต่างกันไปตามพื้นผิวของแบบจำลอง อนุภาคใน ANSYS Fluent นั้นจะเป็นอนุภาคทรงกลม (spherical particle) สามารถใช้จำลองเป็นฟองอากาศ หรือ หยดน้ำได้ (bubble or droplet)

การคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคใน ANSYS Fluent นั้นจะใช้สมการของการสมดุลแรง (force balance) มีการคำนวณด้วยค่าแรงโน้มถ่วง และมวลของอนุภาค ในสมการมีการคำนวณแบ่งออกเป็น 3 เทอมหลัก ๆ ได้แก่ แรงลาก (drag force, F_D) แรงโน้มถ่วง (gravity force, F_G) และแรงเพิ่มเติมที่สนใจอื่น ๆ (additional force, F_x) อาทิเช่น Pressure gradient, Thermophoretic และอื่น ๆ ตามแต่ผู้ใช้งานกำหนด ตามสมการ 12

Particle force balance :

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u_i - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (12)$$

2.2.2.5 Eulerian Multiphase

เป็นแบบจำลองใน ANSYS Fluent ที่แยกเฟสของการคำนวณ ทำให้สามารถจำลองสสารได้มากกว่าหนึ่งสถานะในแบบจำลองเดียวกันทั้ง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ใช้ในการจำลองแบบจำลองทั้งในสภาพ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ การคำนวณเพื่อศึกษาพฤติกรรมของอนุภาค (particles) จึงสามารถทำได้ด้วยสมการนี้ โดยเฉพาะการคำนวณระหว่าง ก๊าซ และของเหลวซึ่งตรงกับจุดประสงค์ของการศึกษานี้ โดยจะใช้การศึกษาการไหลของอนุภาคแบบ droplet flow ซึ่งเป็นการจำลองของหยดของเหลวกับอากาศ หรือ ก๊าซอื่น ๆ

ANSYS Fluent ใช้หลักการในการทำแบบจำลองหลายเฟส อยู่สองรูปแบบได้แก่ Euler-Lagrange และ Euler-Euler โดยหลักการของ Euler-Lagrange จะคล้ายกับที่กล่าวไปใน หัวข้อ 2.2.2.4 นั่นคือเป็นการคำนวณด้วย time-Average Navier-Stokes เพื่อติดตามผลของแต่ละอนุภาค ส่วน Euler-Euler นั้นจะเป็นการอธิบายในเชิงกระแสของของไหล ในเวลาที่เปลี่ยนไป ในการใช้ ANSYS Fluent เพื่อคำนวณนั้น การเลือกแบบจำลองตามการศึกษาซึ่งเป็นการจำลองระหว่าง ของเหลว-ก๊าซ นั้นได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือของโปรแกรมแบ่งออกเป็นสองกรณีได้แก่

- 1) ในการคำนวณระหว่างของเหลว-ก๊าซ หากมี volume fraction น้อยกว่า หรือเท่ากับ 10% จะใช้เพียง discrete phase model ในการทำแบบจำลอง
- 2) ในการคำนวณระหว่างของเหลว-ก๊าซ หากมี volume fraction มากกว่า 10% จะใช้เพียง mixture model และ Eulerian multiphase ในการทำแบบจำลอง

Eulerian model เป็นรูปแบบแบบจำลองที่ใช้การคำนวณ โมเมนตัม และความต่อเนื่อง หลายชุดในแบบจำลองเดียวกับ ซึ่งมีการคำนวณ volume fraction เพื่อการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมระหว่างเฟส ซึ่งใช้สมการคำนวณตามสมการที่ 13 เพื่อนำมาศึกษาการเคลื่อนที่ และผลลัพธ์ในงานศึกษา

Volume fraction of phase q :

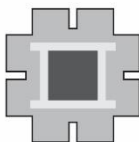
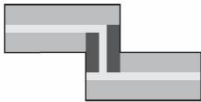
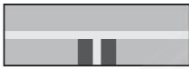
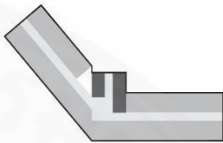
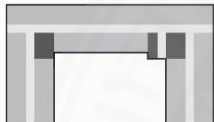
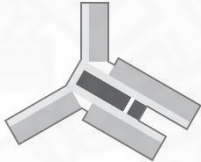
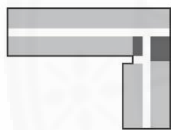
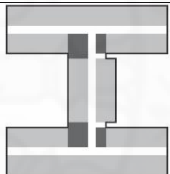
$$V_q = \int_v \alpha_q dv \quad (13)$$

2.3 การออกแบบอาคาร และการป้องกันฝน

จากงานศึกษาก่อนหน้าพบว่ารูปทรงของอาคารมีผลมากต่อฝนที่เข้าสู่ตัวอาคาร เนื่องจากลักษณะความซับซ้อนของกระแสลมที่เปลี่ยนไปเมื่อปะทะเข้ากับอาคารรูปทรงต่าง ๆ อาคารที่เป็นอาคารสูงซึ่งแต่ละระดับของความสูงของอาคารนั้นก็ส่งผลต่อลักษณะของลม และฝนที่ต่างกัน ในการออกแบบอาคารสูงที่เป็นประเภทอาคารพักอาศัยนั้น (high rise residential) มีการวิเคราะห์ในการวางผังอาคารจากหลายปัจจัย อาทิเช่น สภาพแวดล้อม รูปทรงของที่ดิน กฎหมาย ปัจจัยด้านการออกแบบ และปัจจัยด้านการเงินการลงทุน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรูปทรงอาคารที่ต่างกัน โดยทั่วไปลักษณะของอาคารสูง จะมีองค์ประกอบของอาคารอยู่ 2 ส่วนได้แก่ส่วนฐาน (podium) และส่วนที่เป็นทาวเวอร์ (tower) จากการศึกษารูปทรงของอาคารอาคารสูงที่เป็นประเภทอาคารพักอาศัยในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนั้น ทำโดยการสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 40 อาคาร ทั้งในบริบทประเทศไทย และต่างประเทศ ทำให้สามารถแบ่งรูปแบบของทาวเวอร์ออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ได้แก่ ทาวเวอร์ที่มีรูปทรงที่มีรูปแบบซ้ำ ๆ กัน (uniform) และรูปแบบที่ถูกออกแบบมาเฉพาะ (non-uniform) ในการศึกษานี้จะเลือกรูปแบบอาคารที่นำมาศึกษาเป็น รูปแบบที่ซ้ำ ๆ กัน (uniform) เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ได้อย่างแพร่หลาย รูปทรงทั่วไปของทาวเวอร์อาคารที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กัน นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 รูปแบบ ดังตารางที่ 2.2 ได้แก่

ตารางที่ 2.2

รูปทรงของทาวเวอร์อาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย

รูปทรงทาวเวอร์อาคาร	ลักษณะ	รูปทรงทาวเวอร์อาคาร	ลักษณะ
	รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส		รูปทรงตัว Z
	รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า		รูปทรงตัว V
	รูปทรงตัว U		รูปทรงตัว Y
	รูปทรงตัว L		รูปทรงตัว H

พื้นที่ในทาวเวอร์ของอาคารนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนได้แก่ แกนอาคาร (core) พื้นที่ทางเดิน (corridor) และส่วนพื้นที่พักอาศัย (living unit) ซึ่งพื้นที่ที่สามารถก่อให้เกิดการไหลของลมเข้าสู่ตัวอาคารได้นั้นคือ ทางเดิน และพื้นที่พักอาศัย ขนาดของยูนิตพักอาศัยนั้นมีขนาดแตกต่างกันไปตามแต่ละอาคาร ซึ่งปัจจัยทางขนาดของห้อง ขึ้นกับปัจจัยด้านการขาย และภาพลักษณ์ของโครงการเป็นหลัก การออกแบบพื้นที่ใช้สอยเองก็มีความแตกต่างกันไปตามผู้อยู่อาศัยในแต่ละประเทศ การออกแบบช่องเปิดนั้นนิยมวางไว้ในบริเวณห้องนั่งเล่น ซึ่งมักเป็นกระจกบานเลื่อนเต็มบานเชื่อมต่อกับส่วนระเบียง และในส่วนของห้องนอนเป็นหลัก ซึ่งนิยมเป็นบานกระทุ้ง ยกเว้นกรณีที่เป็นห้องที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีลักษณะเป็นบานเลื่อนเต็มบานออกสู่ระเบียงเช่นกัน ในปัจจุบันอาคารประเภทอาคารพักอาศัยพยายามออกแบบให้สามารถระบายอากาศแบบผ่านห้อง (cross ventilation) โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ อาทิเช่นช่องเปิดเหนือหน้าต่าง (window vent) หรือ ช่องเปิดบริเวณประตู (door vent) เป็นต้น ซึ่งช่องเปิดบริเวณประตูนั้นให้อัตราการไหลของอากาศได้มากกว่า ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ช่องเปิดบริเวณประตู AirPost จาก Land&Houses. (2016, June 6). บอกลากลิ้นอับ หน้าฝนกับ Air Post. Retrieved November 10, 2016, from <http://www1.lh.co.th/>

เปลือกอาคาร (building envelope หรือ façade) เป็นหนึ่งในองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากอดีตถึงปัจจุบัน ในอดีตเปลือกอาคารมีหน้าที่หลักในการปกป้องสภาพแวดล้อมภายในจากภายนอก ทั้งในเชิงสภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ และพื้นที่ว่าง โดยลักษณะของเปลือกอาคารจะแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นแต่สอดคล้องไปกับสภาพแวดล้อมของภูมิประเทศนั้น ๆ ทั้งในด้านการเลือกวัสดุ ลักษณะการตกแต่ง และรูปทรงของเปลือกอาคาร โดยรูปแบบเปลือกอาคารในอดีตนั้นจะมีลักษณะหนา และทึบ อีกทั้งนิยมทำจากวัสดุจากธรรมชาติ หรือ วัสดุในท้องถิ่นเป็นหลัก อาทิเช่น ไม้ ผ้า หิน หรือ ดิน เป็นต้น ดังภาพที่ 2.5

ตั้งแต่ยุคสมัยอียิปต์ เปลือกอาคารถูกพัฒนาไปเหนือกว่าการป้องกันสภาพแวดล้อม และการกำหนดพื้นที่ แต่มีการผสมผสานแนวความคิด ทางด้านศิลปะ และวัฒนธรรมทางสังคมต่าง ๆ เข้าไปกับเปลือกอาคาร เพื่อแสดงออกในเชิงสัญลักษณ์ผ่านงานสถาปัตยกรรม ในยุคกรีก-โรมัน เปลือกอาคารถูกพัฒนาเป็นอย่างมากในเรื่องสัดส่วน และรูปทรงด้วยองค์ความรู้ด้านความงาม ศิลปะ วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เปลือกอาคารเริ่มมีการกำหนดสัดส่วนต่าง ๆ รวมถึงการผสมความงามเข้ากับเทคนิคการก่อสร้างทางวิศวกรรม เช่น การแกะสลักเสา แต่ในปัจจุบันด้านการป้องกันปัจจัยทางสภาพแวดล้อมยังคงเป็นไปตามความรู้แบบพื้นถิ่น ในช่วงศตวรรษที่ 19 แนวความคิดในด้านการออกแบบเปลือกอาคารของสถาปัตยกรรมในยุคโมเดิร์น (modern architecture) นั้นเริ่มถูกเปลี่ยนแปลงด้วยเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรม ที่มีการผลิตที่สอดคล้องกับบริบททางสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมถึงปัจจัยด้าน เทคนิคการ สภาพภูมิอากาศ เศรษฐกิจ นโยบายต่าง ๆ และปัจจัยทางระบบการเมือง ก่อให้เกิดรูปแบบเปลือกอาคารใหม่ ๆ ที่เป็นผลผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม มีการลดการใช้วัสดุ ด้วยการผลิตวัสดุเปลือกอาคารมีขนาดที่บางลง ก่อให้เกิดรูปแบบเปลือกอาคารในงาน

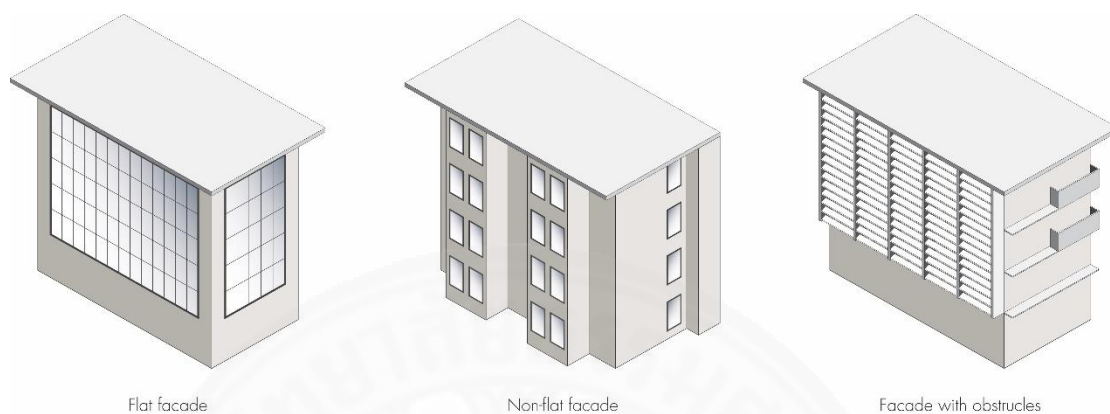
สถาปัตยกรรมใหม่ ๆ ขึ้น เช่น curtain wall, double façade หรือ green façade เป็นต้น โดยในปี 1990 นโยบายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม กลายเป็นที่สนใจอย่างมากจากความสำเร็จในการใช้ double façade ในยุโรป ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนให้การออกแบบอาคารมีการตอบสนอง และผสมผสานกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การคำนึงถึงเรื่อง แสงธรรมชาติ การป้องกันความร้อน การลดการสะท้อนจากการใช้กระจก ถูกนำมาผสมกับการออกแบบเปลือกอาคารเป็นส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรมที่สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมโดยตรงจึง มีบทบาทอย่างมากในการควบคุม และกำหนดสภาพแวดล้อมภายในพื้นที่อาคาร



ภาพที่ 2.5 รูปแบบของเปลือกอาคารในอดีต ซ้าย Northern Cameroon house ชาว Peru Reed house, จาก *Dive and travel the world*. (2011, November 1). Cameroon. Retrieved November 10, 2016, from www.diveandtraveltheworld.com/wordpress/destinations/africa/cameroon/ และ *Atlas Obscura*. (n.d.). *The Uros people of lake Titicaca*. Retrieved November 10, 2016, from www.atlasobscura.com/places/uros-people-lake-titicaca

การออกแบบเปลือกอาคารเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมมักจะสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของภูมิประเทศนั้น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ หรือ ป้องกันปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์ที่จะเข้าสู่พื้นที่อาคาร อาทิเช่น ฝุ่นละออง เสียง แดด เป็นต้น ฤดูกาลในประเทศเขตร้อนชื้น ซึ่งมีช่วงเวลาที่ฝนตก และอุณหภูมิสูงยาวนานกว่าช่วงเวลาที่อากาศหนาว เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลโดยตรงต่อการออกแบบเปลือกอาคาร ดังนั้นการออกแบบของอาคารในภูมิภาคนี้ก็มุ่งเน้นไปที่การออกแบบเพื่อป้องกันความชื้นจากฝนที่สาดเข้าสู่ตัวอาคารโดยตรง แดด และความร้อนจากอากาศที่จะเข้าสู่ตัวอาคาร อีกทั้งมีความพยายามในการนำความเย็นจากธรรมชาติมาเพื่อใช้ในการสร้างสภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้งานอาคาร และลดการใช้พลังงานของอาคารใน

ส่วนที่ไม่จำเป็นต้องปรับอากาศ ในงานศึกษาของ Ghiaus และAllard (2005) ได้แบ่งลักษณะรูปทรงของเปลือกอาคารในเชิงการออกแบบไว้เป็นสามรูปแบบหลัก ตามภาพที่ 2.6 ได้แก่



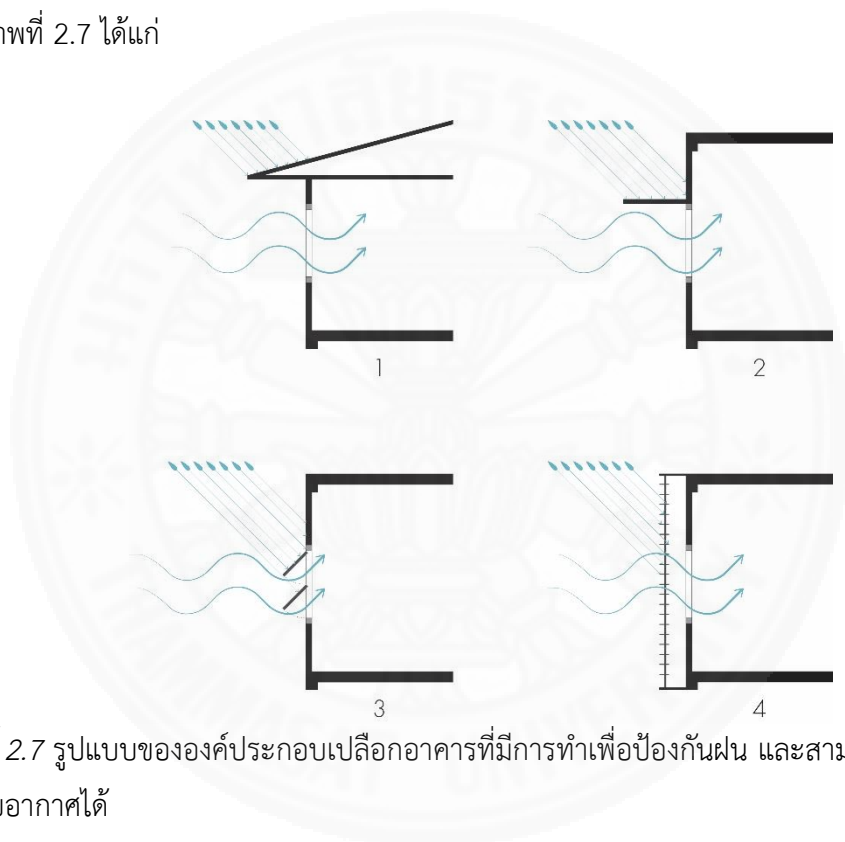
ภาพที่ 2.6 รูปแบบของเปลือกอาคาร, 2559 จาก *Natural ventilation in the urban environment*, โดย Cristian Ghiaus และFrancis Allard, 2005, Earthscan : UK

- 1) เปลือกอาคารแบบเรียบ (flat façades)
- 2) เปลือกอาคารแบบไม่เรียบ (non-flat façades)
- 3) เปลือกอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง (façades with obstruction)

รูปแบบของเปลือกอาคารทั้งสามแบบนี้ก็ส่งผลต่อลมที่เข้ามาปะทะอาคารต่างกัน โดยในรูปแบบ เปลือกอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง โดยสิ่งกีดขวางดังกล่าวรวมถึง อุปกรณ์กันแดด (solar shading) กันสาด (overhang) พื้นระเบียงยื่น (balconies) และเปลือกอาคารสองชั้น (double-skin façade) นั้นส่งผลทำให้เกิดการปั่นป่วนของกระแสลม ที่มีความซับซ้อนมากกว่าแบบอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ของเปลือกอาคาร ในขณะที่เปลือกอาคารแบบเรียบ นั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมน้อยที่สุด ในงานศึกษาชิ้นนี้ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจไปที่ เปลือกอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง

ในอาคารสูงโดยเฉพาะประเภทอาคารพักอาศัย (high-rise residential) ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น นั้นเป็นรูปแบบอาคารที่มีความเหมาะสมกับการใช้การปรับอากาศแบบธรรมชาติมากกว่าอาคารประเภทอื่น เพราะ สามารถควบคุมได้โดยผู้อยู่อาศัยในแต่ละยูนิตพักอาศัย แต่รูปแบบของเปลือกอาคารนั้นยังไม่ได้มีการออกแบบเพื่อให้ความสามารถในการป้องกันฝน และทำให้ใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติในช่วงเวลาที่ฝนตกได้ มีเพียงบางอาคารเท่านั้นที่การออกแบบเปลือกอาคารมีความสามารถในการป้องกันฝน และสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศในช่วงหน้าฝนได้ อาคารพักอาศัยที่เป็นอาคารสูงนั้นส่วนมากนั้นมักจะถูกทำในสองรูปแบบ ได้แก่ เปลือกอาคารไม่เรียบ

(non-flat façade) ซึ่งเป็นปัจจัยจากการออกแบบผังอาคารเป็นหลัก และเปลือกอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง (façade with obstruction) ที่เกิดจากระเบียงจากตัวห้อง และการออกแบบเปลือกอาคารเพื่อให้เกิดการป้องกันแสงแดด (shading devices) จากการศึกษารูปแบบองค์ประกอบของเปลือกอาคารที่มีออกแบบเพื่อให้มีความสามารถในการป้องกันฝน และทำให้เกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติในระหว่างที่ฝนตกได้ นั้นไม่ได้มีการศึกษาที่แบ่งออกอย่างชัดเจน จากการรวบรวมงานวิจัยเอกสาร และตัวอย่างงานออกแบบทางสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้วิจัยแบ่งรูปแบบของเปลือกอาคารที่มีความสามารถในการป้องกันฝน และทำให้เกิดการระบายอากาศออกเป็น 4 ประเภทหลัก ๆ ตามภาพที่ 2.7 ได้แก่



ภาพที่ 2.7 รูปแบบขององค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีการทำเพื่อป้องกันฝน และสามารถให้เกิดการระบายอากาศได้

- 1) การทำชายคายยื่น
- 2) อุปกณ์กันสาด (overhang / sunshade)
- 3) การออกแบบ และเลือกใช้หน้าต่างต่าง
- 4) การออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น (double-skin façade) รวมถึง แผงกันแดด (solar shading) และฉากรกันฝน (rainscreen)

การทำชายคายยื่น และการใช้อุปกณ์กันสาด (overhang) นั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน เป็นองค์ประกอบที่นิยมทำกันในสถาปัตยกรรมเขตร้อน (tropical architecture) มาตั้งแต่ในอดีต

จนถึงปัจจุบัน เป็นองค์ประกอบที่นิยมออกแบบเพื่อใช้ในการป้องกันแสงแดดที่เข้าสู่ตัวอาคาร (shading device) และยังมีประสิทธิภาพในการช่วยป้องกันฝนที่สาดเข้าสู่ตัวอาคาร รวมถึงการใช้เพื่อเป็นพื้นที่ระบายน้ำฝนของอาคาร จากงานศึกษาก่อนหน้า ได้มีการพูดถึงคุณสมบัติในการป้องกันฝนของอุปกรณ์กันสาด ซึ่งแบ่งปัจจัยของการออกแบบอุปกรณ์กันสาด และขายาค่าอื่น ที่มีผลต่อการป้องกันฝน ได้แก่ ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์กันสาดที่สัมพันธ์กับช่องเปิด E.Prianto, F. Bonneud, P.Depecker และ J-P. Peneau (2000) มีการสรุปผลว่าการติดตั้งเหนือช่องเปิดนั้นจะทำให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด ความยาวของกันสาด จากการศึกษาของ C.H.Lim, M.Alkhair, S.Mirrahimi, E.Salleh และ K.Sopian (2015) ได้มีการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทำให้เห็นว่าความยาวที่เพิ่มขึ้นของกันสาดทำให้ประสิทธิภาพของการป้องกันฝนเพิ่มมากขึ้น และในงานศึกษาเดียวกันทำให้เห็นว่า องศาการเอียงของกันสาด นั้นส่งผลให้มีประสิทธิภาพได้มากอย่างเห็นได้ชัด

การออกแบบช่องเปิด และเลือกใช้หน้าต่าง เป็นอีกองค์ประกอบของเปลือกอาคารที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป และมีความสามารถในการป้องกันฝน โดยลักษณะของหน้าต่างแตกต่างกันไปตามลักษณะการเปิดของตัวบาน จากการศึกษาพบว่า หน้าต่างบานกระทุ้ง (awning window) และบานเกล็ด (jalousie window) มีการพูดถึงศักยภาพในการป้องกันฝนสูงกว่าหน้าต่างรูปแบบอื่น ในกรณีที่มีขนาดเท่ากัน โดยในงานศึกษาของ Kritana Prueksakorn, Cheng-Xu Piao, Hyunchul Ha และ Taehyeung Kim, 2015 ได้มีการศึกษาเพื่อปรับการออกแบบของหน้าต่างบานเกล็ด เพื่อเพิ่มศักยภาพการป้องกันฝน โดย มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ทั้งความยาว องศาการเปิด และการเพิ่มรางน้ำ และฉากกัน เข้าไปในหน้าต่างบานเกล็ดที่มีขนาดช่องเปิด และความถี่ของกระฉากเท่ากัน นอกจากหน้าต่างแล้วยังมีการใช้



ภาพที่ 2.8 หน้าต่าง Louver window จาก C/S France. RSH-5700 Storm Resistant Louver. (n.d.). Retrieved November 5, 2016, from <http://www.csfrance.fr/en/products/louvers/rain-defence-performance-louvers/rsh-5700-storm-resistant-louver/>

แผ่นบานเกล็ด (louver) เป็นลักษณะหน้าต่างที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการระบายอากาศโดยเฉพาะ ตัวหน้าต่างประกอบด้วยครีบลโลหะ หรือไม้ที่มีลักษณะของครีบซ้อนกันเป็นเกล็ดถี่ ทำให้ความเร็วลมที่ผ่านซี่เกล็ดเพิ่มขึ้น ลักษณะของครีบนั้นถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันฝนไหลย้อนเข้าสู่ตัวอาคารโดยเฉพาะ ทำให้สามารถป้องกันฝนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านช่องเปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ด้วยจุดประสงค์หลักของหน้าต่างที่ทำให้เกิดการระบายอากาศได้ตลอดเวลา รวมถึงความถี่ของครีบ ที่ไม่สามารถนำไปใช้กับช่องเปิดที่ต้องการทัศนียภาพ หรือ แสงแดดได้ จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรม ทำให้สามารถใช้ได้กับอาคารบางประเภทเป็นหลัก เช่น อาคารโรงงานอุตสาหกรรม หรือ โกดังเก็บสินค้า ที่ต้องการการระบายอากาศตลอดเวลา และป้องกันฝนเป็นหลัก อาคารพักอาศัยก็มีการเลือกนำไปใช้ในบางพื้นที่ของอาคารที่มีจุดประสงค์เดียวกัน เช่น พื้นที่ห้องใต้หลังคา ห้องเก็บของ หรือ ห้องน้ำ เป็นต้น ดังภาพที่ 2.8

นอกจากรูปแบบของหน้าต่างที่มีตามท้องตลาดแล้ว WOHA Architect ยังมีการออกแบบหน้าต่างลักษณะเฉพาะ Monsoon Window ที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมการไหลของลมเข้าปะทะอาคาร และลักษณะของน้ำฝน เพื่อคุณสมบัติในการป้องกันฝน และให้เกิดการระบายอากาศได้ในวันที่ฝนตก ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารพักอาศัยแบบอาคารสูงในประเทศสิงคโปร์ ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 Monsoon Window at One Moulmein Rise จาก *Bioclimatic Skyscraper – Learning from Bawa*, โดย Assistant Professor Dr. Tan Beng Kiang และ Professor David Robson, 2006, PLEA2006 - The 23rd conference on passive and Low energy architecture at Geneva, Switzerland 6-8 September 2006

เปลือกอาคารสองชั้น (double-skin façade) หรือ เปลือกอาคารที่มีองค์ประกอบหลายชั้น (multi-layered façade) เป็นนวัตกรรมที่ถูกคิดขึ้นมาเพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพด้านสภาพแวดล้อมของเปลือกอาคาร โดยการสร้างช่องว่าง (hollow) หรือ รูพรุน (porous) ถูกนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในด้านการป้องกันฝน และการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ (rainscreens and solar screens) ด้วยเทคนิคการใช้วัสดุที่มีรู (perforation) การใช้เทคนิคในการออกแบบนี้ยังส่งผลในเรื่องการระบายอากาศ การปรับความดัน และการป้องกันความร้อน ฉากกันฝนนั้น มีการพบการใช้ ตั้งแต่ทศวรรษที่ 18 ในอาคารโรงนาใน Norway ซึ่งใช้โครงสร้างอิฐมาสร้างเป็น เปลือกอาคารสองชั้น โดยกรอบโครงสร้างไม้ทำให้มีช่องว่างตรงกลางระหว่างเปลือกอาคารทั้งสองแบบ เพื่อให้เกิดการป้องกันฝนที่ดันเข้ามาผ่านเปลือกอาคาร และในทศวรรษที่ 19 ในอาคารบ้านพักอาศัยแบบ Scandinavia ซึ่งเป็นการเอาไม้มาตีเกล็ดปิดเปลือกอาคารชั้นในไว้ คล้ายกับฝาตีซ้อนเกล็ดในประเทศไทย และในช่วงทศวรรษที่ 20 ในรูปแบบอาคารแบบโมเดิร์น เริ่มมีการใช้วัสดุประเภทโลหะ โดยเฉพาะ โทเทเนียม มาประยุกต์ในงานออกแบบเปลือกอาคารด้วยความเบาต่อการขึ้นรูป และในการต่อวัสดุเข้าด้วยกัน ฉากที่มีการฉลุรูรูต่าง ๆ (perforated screen) เป็นองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ที่ได้รับความนิยมในรูปแบบสถาปัตยกรรมโมเดิร์น ที่ไม่ได้มีจุดมุ่งเน้นในการทำให้เป็นองค์ประกอบในการป้องกันฝนตั้งแต่แรก เพียงแต่เป็นการคำนึงถึงเรื่องความสวยงาม และการป้องกันแสงแดดเท่านั้น แต่ในการประยุกต์ใช้กับอาคารทำให้เห็นถึงความสามารถในการป้องกันฝน รวมไปถึงความสามารถในการทำให้เกิดการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคารได้



ภาพที่ 2.10 แผงกันแดด (glazed blade หรือ solar shading) จาก Levolux Limited and Levolux A.T. Limited. (2012, May 25). Levolux keeps the heat off Gateshead pupils. Retrieved November 5, 2016, from <http://levolux.blogspot.com/2012/05/levolux-keeps-heat-off-gateshead-pupils.html>

เปลือกอาคารสองชั้นนั้น (double screen facade) ในงานศึกษาของ Ghuius และAllard, 2005 ได้มีการยกตัวอย่างอาคาร ไปรษณีย์กลาง ใน Lausanne (main postal office in Lausanne) ที่มีการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยทำเป็นเปลือกอาคารสองชั้น ในเปลือกอาคารบางส่วนได้มีการติด แผงกันแดด (glazed blade หรือ solar shading) ดังภาพที่ 2.10 เพื่อให้สามารถเปิดหน้าต่างทิ้งไว้ เพื่อระบายอากาศ และยังป้องกันฝนที่ถูกลมพัดได้ ในการทำความเย็นแก่อาคารตอนกลางคืน (night cooling) ได้ ทั้งนี้ตัวแผงกันแดดดังกล่าวปัจจุบันได้มีการออกแบบที่หลากหลายทั้งใน เรื่องของลวดลาย (pattern) ขนาด องศา และความยาว ซึ่งการกำหนดมาจาก ประสิทธิภาพการบังแสงแดดเข้าสู่ตัวอาคารเป็นหลัก ในงานศึกษาได้กล่าวว่า การทำเปลือกอาคารสองชั้นนั้นมีประสิทธิภาพในการป้องกันฝน และมลภาวะเช่นเสียงที่ดี แต่อัตราการระบายอากาศผ่านช่องเปิดนั้นก็ลดลงไปด้วย



ภาพที่ 2.11 ฉากกันฝนแบบแผ่นโลหะฉลุ (perforate rainscreen) จาก No.1 Hardman Street, Manchester. (n.d.). Retrieved November 10, 2016, from <http://www.proteusfaçades.com/project/no-1-hardman-street-manchester/>

ฉากที่มีการฉลุ (perforated screen) ได้เป็นที่นิยมในการใช้ในงานออกแบบมากขึ้น โดยมีการคำนึงถึงทั้งในด้าน แสงธรรมชาติ ทักษะภาพ การป้องกันความร้อน การป้องกันเสียง การป้องกันฝน และการระบายอากาศภายในอาคาร ทำให้มีการนำไปผสมผสานกับรูปแบบการออกแบบทางสถาปัตยกรรมอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณลักษณะการเป็นวัสดุที่ผสมระหว่างความทึบ และความโปร่ง ทำให้มีการนำไปออกแบบในรูปแบบที่สามารถปรับเปลี่ยนให้มีการเปิดปิดได้โดยผู้อยู่ใช้อาคาร หรือ แบบอัตโนมัติ กระบวนการผลิตผ่านการผลิตในรูปแบบโรงงาน ซึ่งทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูป ส่งผลให้ ส่งผลให้มีความสามารถในการนำไปใช้ในงานออกแบบ แบบparametricism ซึ่งเป็นการ

ผสมผสานหลักการทางคณิตศาสตร์ในการสร้างรูปทรงทางเลขาคณิตในงานออกแบบ ในการใช้ฉากที่มีการฉลุลาย และเปลือกอาคารสองชั้นนั้น แม้ว่ามีการกล่าวถึงประสิทธิภาพในการป้องกันฝน และให้การระบายอากาศแก่พื้นที่ภายในอาคารที่ดี แต่จากการทบทวนวรรณกรรมก่อนหน้ายังไม่พบว่ามี การนำมาศึกษาถึงประสิทธิภาพในการป้องกันฝน รวมถึงความสามารถในการระบายอากาศ แต่พบว่ามี การมุ่งเน้นการออกแบบไปที่การป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นหลัก ดังภาพที่ 2.11

จากการศึกษาข้างต้นทำให้เห็นข้อสรุปว่าอาคารพักอาศัยที่เป็นอาคารสูง การ ออกแบบให้มีความสามารถในการระบายอากาศนั้นมีความสำคัญต่อการตอบสนองกับความต้องการ ของผู้ใช้งานอาคาร ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ทั้งนี้ในการศึกษาเปลือกอาคารจาก ทั้งหมด 3 รูปแบบแรกได้ถูกมีการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้ามาบ้างแล้วในขณะที่รูปแบบที่ 4 คือ การ ออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น (double-skin façade) นั้นแม้จะถูกมองว่ามีศักยภาพในการป้องกัน ฝน และให้เกิดการระบายอากาศสูง แต่ยังไม่มีการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้าในงานศึกษานี้ผู้ศึกษาจึง มีความสนใจที่จะศึกษาเปลือกอาคารรูปแบบดังกล่าวนี้ ในด้านการป้องกันฝน และการระบายอากาศ เพื่อนำมาปรับตัวแปรในการออกแบบเปลือกอาคาร เพื่อนำองค์ความรู้จากการศึกษาด้วยการจำลอง ไปทดลองประยุกต์ใช้กับการออกแบบเปลือกอาคาร

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

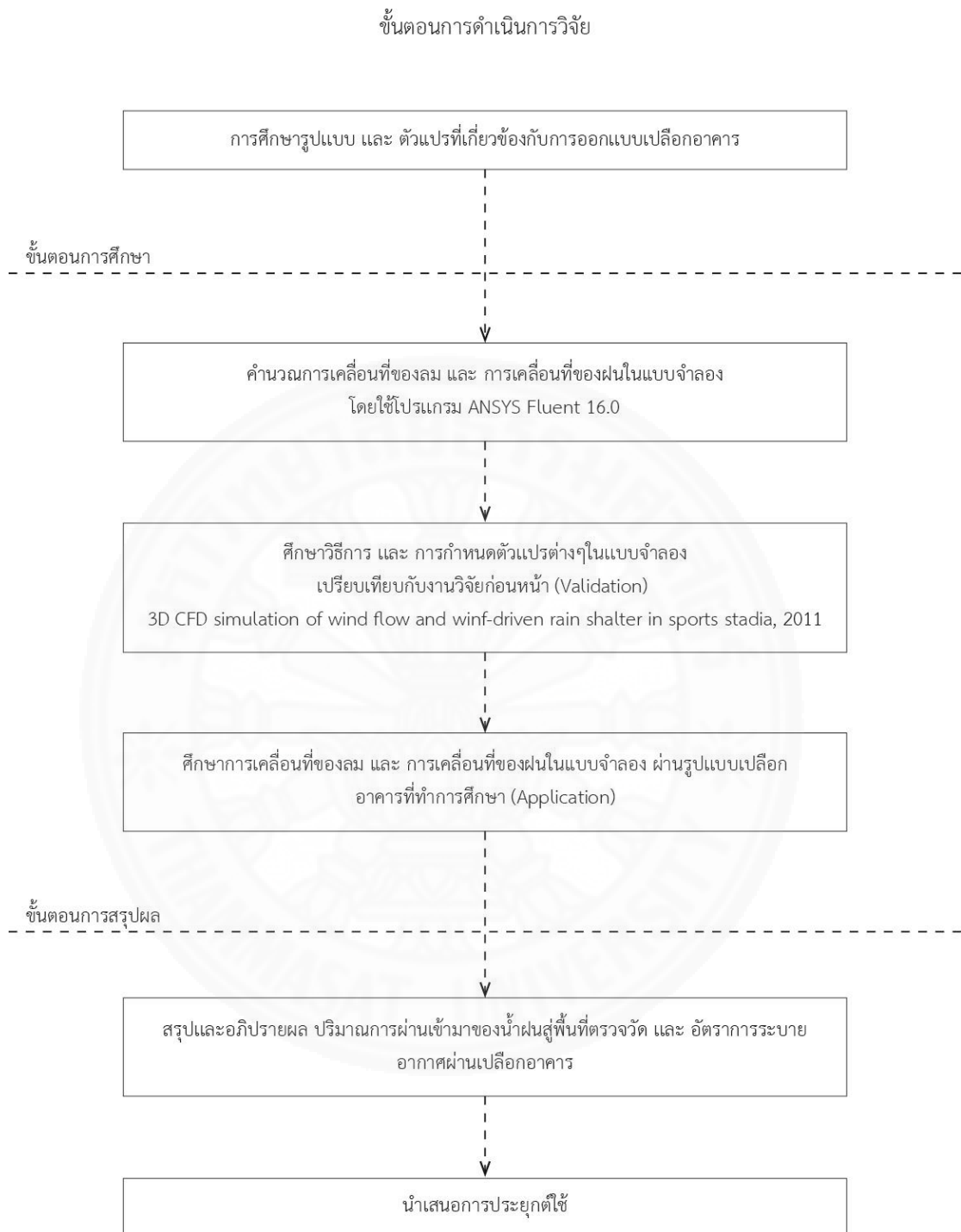
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในงานศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาศักยภาพในการป้องกันฝน และการระบายอากาศจากองค์ประกอบของเปลือกอาคาร แบบเปลือกอาคารสองชั้น (double-skin façade) ของอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) ANSYS Fluent version 16.0 มีขั้นตอนการวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1 โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ทำการจำลองเพื่อเปรียบเทียบ (validation) ผลกับงานศึกษาก่อนหน้าเพื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแบบจำลอง

ส่วนที่ 2 การวิจัยผลกระทบจากลม และฝนผ่านรูปแบบเปลือกอาคารสองชั้น

ส่วนที่ 3 สรุปผล และเสนอแนะแนวทางในการออกแบบเปลือกอาคารแบบสองชั้น



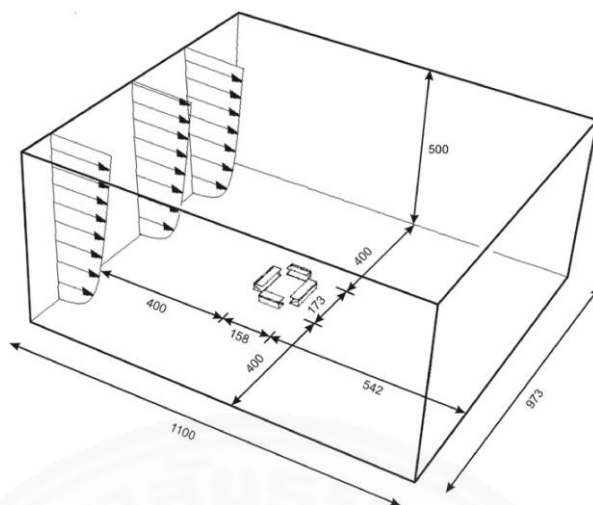
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีศึกษา และขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนในการศึกษาในงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาก่อนหน้า และนำวิธีการที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบแล้วมาศึกษาตัวแปรที่ต้องการศึกษาเพื่อนำมาสรุปผล

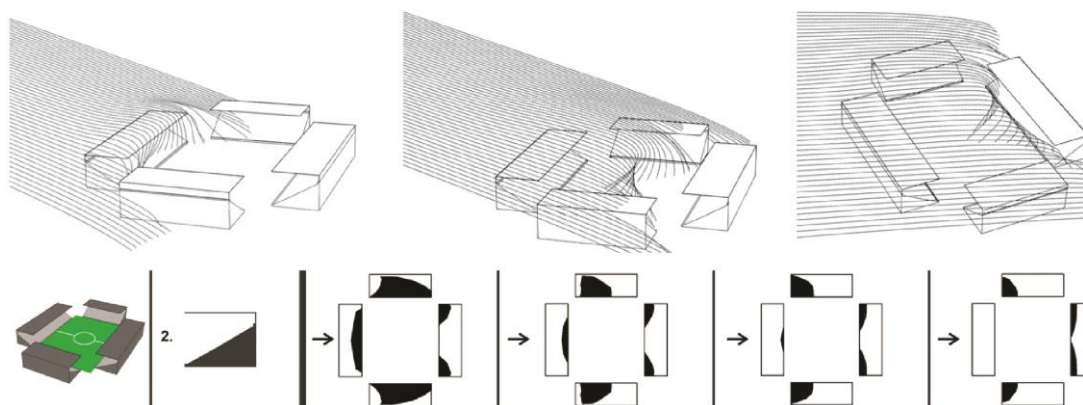
3.2.1 การศึกษาเปรียบเทียบ (validation)

ในการทำการทำแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยก่อนหน้าเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการทำแบบจำลองในการศึกษาตัวแปรที่สนใจ โดยการใช้โปรแกรม ANSYS Fluent 16.0 ซึ่งมีการคำนวณ และประมวลผลผลลัพธ์ของแบบจำลองด้วยเมช (mesh) เป็นการแบ่งแบบจำลองด้วยรูปทรงเลขาคณิตอย่างง่าย ในงานศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้สนใจเมชในรูปแบบ Tetrahedral เนื่องจากใช้การประมวลผลที่น้อยสำหรับแบบจำลองขนาดใหญ่ จึงทำการเปรียบเทียบผลกับงานศึกษา ที่ได้ทำโดย Hooff, Blocken และHarten (2011) เนื่องจากในงานศึกษามีการกล่าวถึงการตั้งค่าต่าง ๆ ในโปรแกรมไว้ค่อนข้างครบถ้วนทำให้สามารถติดตามวิธีได้ง่าย รวมถึงในงานของ Blocken นั้นได้มีการพัฒนารูปแบบการศึกษาในการทำการจำลองผ่นด้วยการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความน่าเชื่อถือ ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบนั้นเป็นการศึกษาเพื่อดูผลที่แตกต่างที่เกิดขึ้น ของเมชรูปแบบ Tetrahedral ที่ต้องการศึกษา และMultizone ที่ใช้ในงานศึกษาก่อนหน้า ตัวแปรอื่น ๆ จึงต้องควบคุมให้เหมือนกันงานก่อนหน้าทั้งหมด งานของ Hooff, Blocken และHarter (2011) นั้นศึกษารูปทรงของสนามกีฬา 4 รูปแบบ และรูปแบบหลังคาอีก 3 รูปแบบ รวมทั้งสิ้น 12 กรณีศึกษา ในการทดลองศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลนั้นจะเลือกมาเพียงรูปแบบเดียว งานศึกษาก่อนหน้าได้มีการกำหนด ขนาดเงื่อนไขของขอบเขต (boundary condition) ไว้เป็น $1100 \times 973 \times 500$ เมตร ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขนาดเงื่อนไขขอบเขตจากงานศึกษาก่อนหน้า จาก 3D CFD simulation of wind flow and wind-driven rain shelter in sport stadia: Influence of stadium geometry โดย T.van Hooff, B.Blocken และ M. van Harten, 2011, building and environment 46 pp.22-37

ในงานของ Hooff, Blocken และ Harten (2011) ได้มีการวิเคราะห์ความละเอียดของเมชในการจำลอง (grid sensitive analysis) ได้แบ่งออกเป็นสามรูปแบบ ได้แก่ 553,568 เมช (coarse grid) 1,490,489 เมช (middle grid) และ 3,734,178 เมช (fine grid) ซึ่ง 1,490,489 เมช ได้ถูกนำมาใช้ในงานศึกษาก่อนหน้าเพราะให้ผลไม่ต่างจาก 3,734,178 เมช ในการจำลองแบบของงานศึกษาก่อนหน้าได้แบ่งทำเป็นสองช่วงคือ จำลองลมรอบอาคารจนเข้าสู่ภาวะสมดุลงตัว (steady wind flow) และจึงค่อยทำการปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝนเข้ามาในกระแสลม ในการจำลองกระแสลมนั้น ใช้ลมที่ผ่านช่องเข้า (inlet) แบบ power-law exponent โดยมีค่าอ้างอิง ที่ 10 และค่าคงตัวที่ 0.15 และคำนวณความหนืดของของไหลโดยใช้ k-epsilon แบบ realizable เมื่อได้ลมที่อยู่ในภาวะสมดุลงตัว จึงทำการปล่อยอนุภาคของน้ำฝนที่มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน ได้แก่ 0.5, 1, 2 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งในการทำแบบศึกษาเปรียบเทียบนั้นจะเลือกมาเพียง 1 ค่า ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของหยดน้ำฝนในการศึกษาก่อนหน้าได้ทำการศึกษาโดยการปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝนจำนวน 10,000 อนุภาค จากความสูง 150 เมตร เพื่อดูพื้นที่ที่เปียกบนพื้นที่นั่งสนามกีฬาและการเคลื่อนที่ของน้ำฝน ดังภาพที่ 3.3

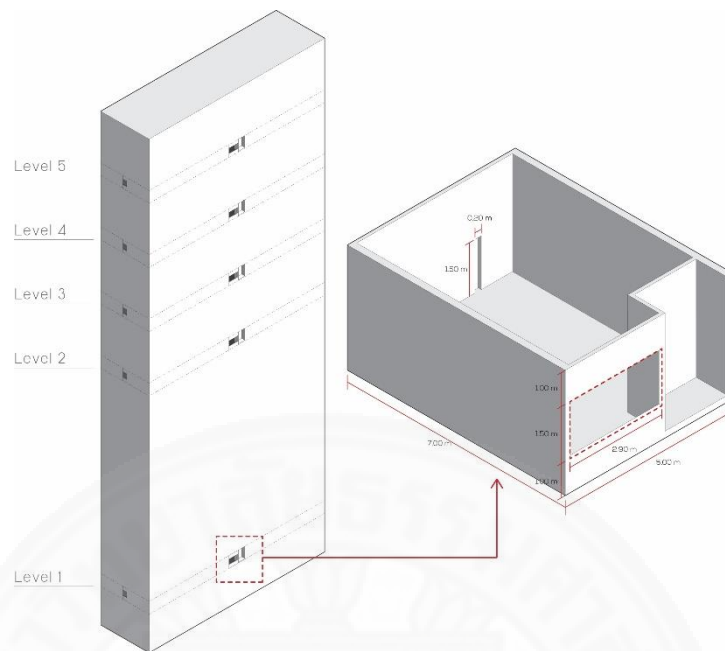


ภาพที่ 3.3 ผลการศึกษา rain trajectories 1mm และ wetted pattern จาก 3D CFD simulation of wind flow and wind-driven rain shelter in sport stadia: Influence of stadium geometry โดย T.van Hooff, B.Blocken และ M. van Harten, 2011, building and environment 46 pp.22-37

ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบนั้นจะนำวิธีของงานศึกษาข้างต้นเพื่อ นำค่าต่าง ๆ ที่ใส่เข้าไปในการศึกษาเพื่อตรวจสอบวิธีการ ก่อนจะนำวิธีการที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง ไปเพื่อใช้ตั้งค่าในการศึกษาตัวแปรที่สนใจต่อไป

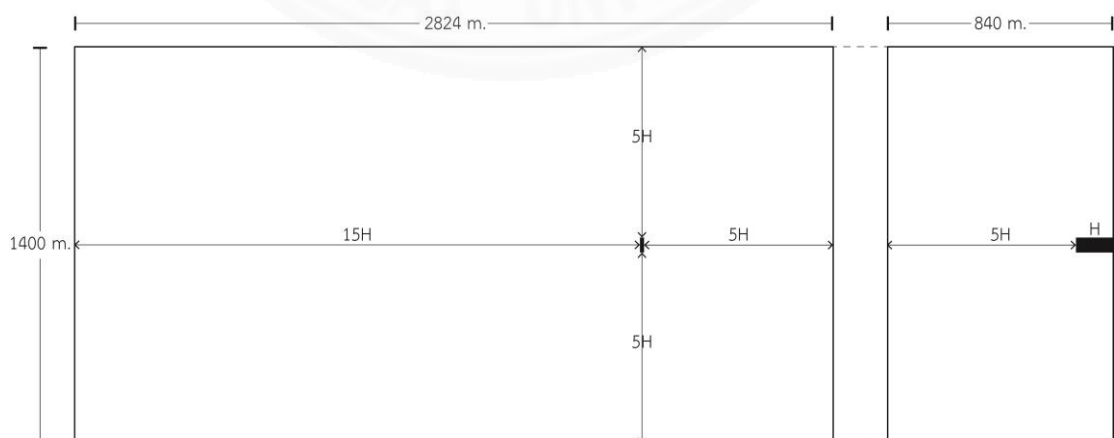
3.2.2 การวิจัยผลกระทบจากลม และฝนผ่านรูปแบบเปลือกอาคารสองชั้น

การวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ทำโดยการนำเครื่องมือ และวิธีการที่ผ่านการ ศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้ามาเพื่อศึกษาตัวแปรของเปลือกอาคารที่สนใจ ผลจากการศึกษานำมาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนที่เข้าสู่พื้นที่ตรวจวัด และอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารในกรณีต่าง ๆ จากรูปแบบผังอาคารทั้ง 8 รูปแบบ ที่ได้มีการสรุปไว้ในบทที่ 2 รูปทรงของอาคารที่มีความซับซ้อนนั้นเกิดจากรูปทรงพื้นฐานคือ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการศึกษาจึงเลือกรูปทรงดังกล่าวมาทำการจำลอง โดยกำหนดความสูงของอาคารที่ 140 เมตร (40 ชั้น) และวางห้องขนาด กว้าง 5.00 x ยาว 7.00 x สูง 3.50 เมตร เป็นพื้นที่ตรวจวัดผลไว้กึ่งกลางของอาคารใน 5 ระดับความสูง บนชั้นที่ 4 (10.70 เมตร) ชั้นที่ 21 (70.20 เมตร) ชั้นที่ 26 (87.70 เมตร) ชั้นที่ 31 (105.20 เมตร) และชั้น 36 (122.70 เมตร) ช่องเปิดของหน้าต่างห้องมีขนาด กว้าง 2.90 x สูง 1.50 เมตร ดังภาพที่ 3.4

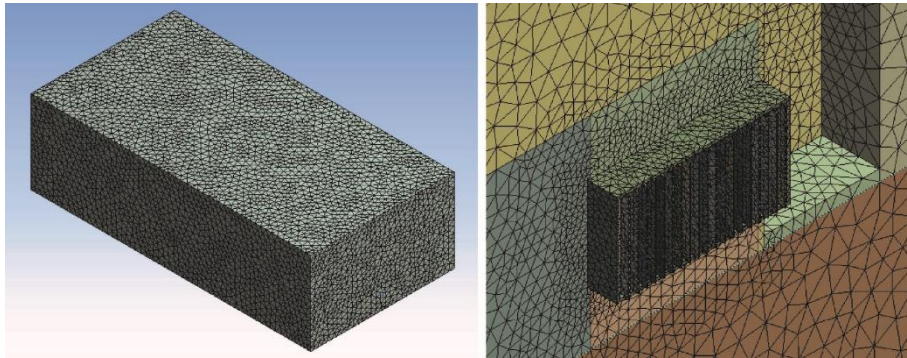


ภาพที่ 3.4 ขนาด และตำแหน่งการวางพื้นที่ตรวจวัดในแบบจำลอง

เงื่อนไขของขอบเขตของแบบจำลอง (computational domain) ได้มีการกำหนดไว้เป็น กว้าง 1400 x ยาว 2824 x สูง 840 ดังภาพที่ 3.5 รูปแบบเมชที่ใช้ในการทำแบบจำลองนั้นใช้เป็น Tetrahedral มีการกำหนดขนาดความละเอียดแตกต่างกันไปตามส่วนของอาคาร 40 เมตร สำหรับโดเมนแบบจำลอง 2 เมตร สำหรับอาคาร 0.30 เมตร สำหรับพื้นที่ตรวจวัด และการกำหนดเมชของเปลือกอาคารนั้นกำหนดละเอียดเป็น 1/2 ถึง 1/3 เท่าของช่องเปิดบนเปลือกอาคารรูปแบบต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.6



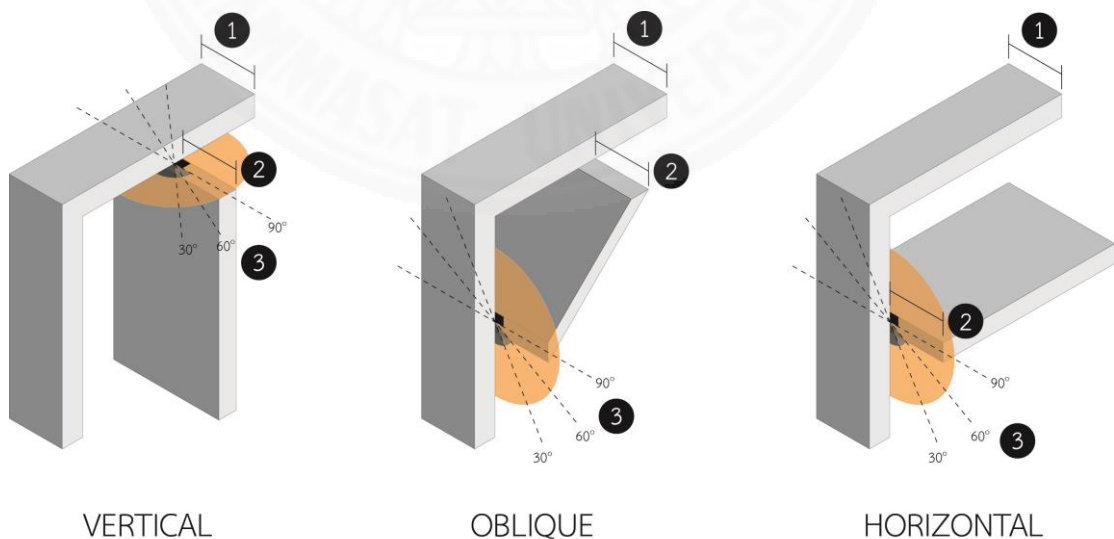
ภาพที่ 3.5 เงื่อนไขของขอบเขตของแบบจำลอง



ภาพที่ 3.6 เมชรูปแบบ Tetrahedral ที่ใช้ในแบบจำลอง

ตัวแปรในการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้นที่นำมาศึกษานั้นถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรต้น โดยแบ่งออกเป็น 4 ปัจจัยดังภาพที่ 3.7 ได้แก่ ระยะห่างของการติดตั้ง (1.00 0.50 และ 0.30 เมตร) รูปแบบของคريب (คريبแนวตั้ง แนวเฉียง และแนวนอน) องศาการเอียงของคريب (30 60 และ 90 องศา) และความยาวของคريب (75 และ 150 มิลลิเมตร) รวมทั้งสิ้น 14 กรณี ติดตั้งเข้ากับพื้นที่ที่ตรวจวัดดังตารางที่ 3.1

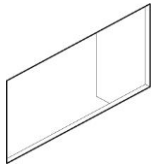
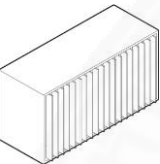
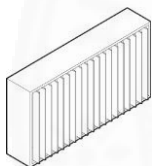
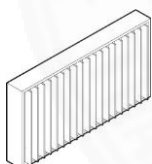
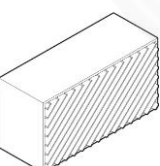
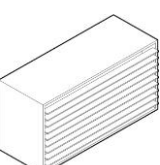
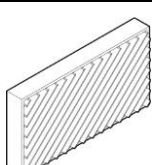
- 1) ระยะห่างของการติดตั้ง
- 2) ความยาวคريب
- 3) องศาการเอียงของคريب



ภาพที่ 3.7 ตัวแปรในการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น

ตารางที่ 3.1

ตัวแปรของเปลือกอาคารในกรณีศึกษาต่าง ๆ

กรณีศึกษา	รูป	ระยะห่าง			รูปแบบคิ้ว			องศาคิ้ว			ความยาวคิ้ว	
		1.00 ม.	0.50 ม.	1.00 ม.	แนวตั้ง	แนวเฉียง	แนวนอน	90 องศา	60 องศา	30 องศา	75 มม.	150 มม.
1												
2		●			●			●			●	
3			●		●			●			●	
4				●	●			●			●	
5		●				●		●			●	
6		●					●	●			●	
7				●	●			●			●	

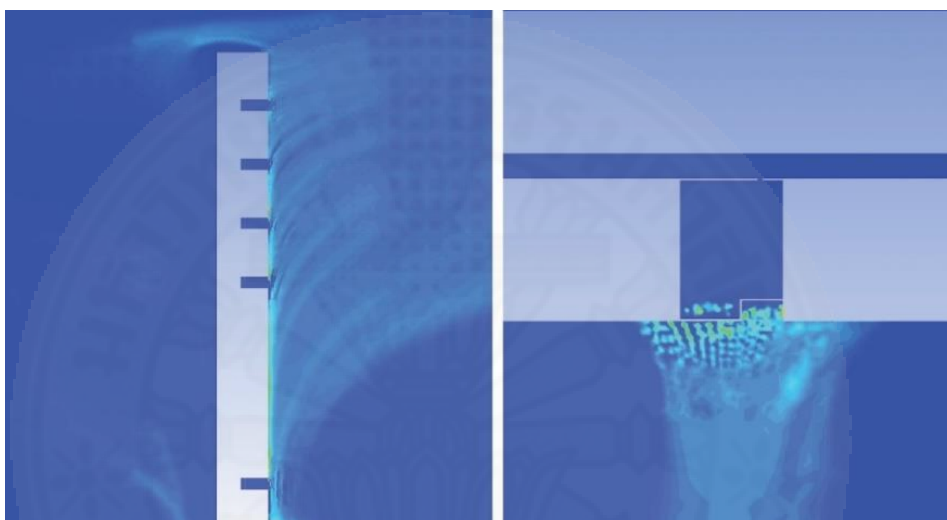
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ตัวแปรของเปลือกอาคารในกรณีศึกษาต่าง ๆ

กรณีศึกษา	รูป	ระยะการติดตั้ง			รูปแบบครีป			องศาครีป			ความยาวครีป	
		1.00 ม.	0.50 ม.	0.30 ม.	แนวตั้ง	แนวเฉียง	แนวนอน	90 องศา	60 องศา	30 องศา	75 มม.	150 มม.
8				●			●				●	
9		●					●		●		●	
10				●	●				●		●	
11				●	●				●		●	
12				●			●		●		●	
13				●			●		●		●	
14				●			●					●

3.3 การสรุป และ อภิปรายผล

ผลที่ได้จากแบบจำลอง โดยโปรแกรม ANSYS Fluent นั้นนำมาเพื่อวิเคราะห์ ส่วนแรกได้แก่ ปริมาณพื้นที่ที่น้ำฝนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ตรวจวัดที่พ้นจากขอบหน้าต่างเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัด ที่ความสูงสองระดับได้แก่ 0.01 เมตร จากพื้นเพื่อดูปริมาณน้ำฝนระดับพื้น และ 1.00 เมตรจากพื้น เพื่อดูปริมาณน้ำฝนระดับหน้าต่าง ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.8 ผลเชิงกราฟิกจากการคำนวณ volume fraction จากโปรแกรม ANSYS Fluent 16.0

และในการคำนวณอัตราการไหลของลมผ่านเปลือกอาคาร (volumetric flow rate) สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 14 ในการเปรียบเทียบผลนั้นจะแบ่งกรณีศึกษาที่ทำการจำลอง ออกเป็น 4 ชุด เปรียบเทียบตามตัวแปร เพื่อสรุปผล

$$Q = Av \quad (14)$$

- Q = Volumetric flow rate (m^3/s)
- A = Area of opening (m^2)

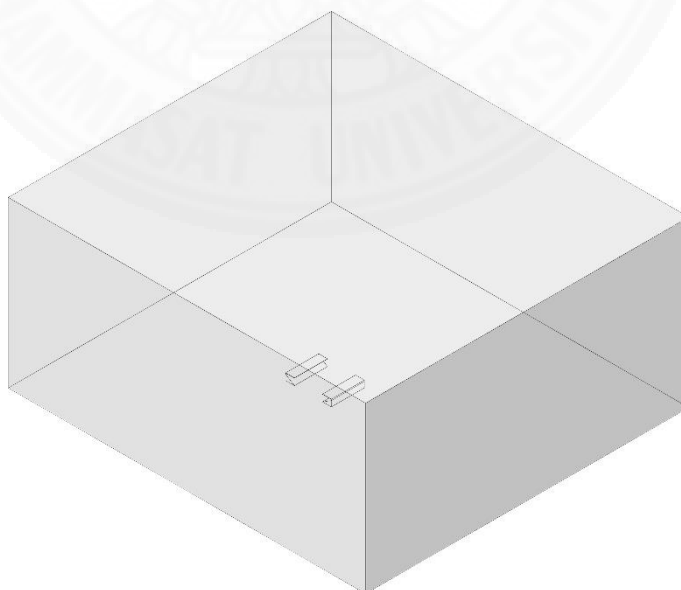
บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

ในงานวิจัยการอภิปรายผลแบ่งออกเป็นสองส่วน ผลการจำลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า (validation) เป็นการอภิปรายเชิงวิธีการทำแบบจำลองเพื่อนำกระบวนการเปรียบเทียบกับงานศึกษาก่อนหน้าเพื่อทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมก่อนนำไปใช้ต่อในงานศึกษา และผลการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้นั้น เป็นการอภิปรายผลของการทำแบบจำลอง 14 กรณี โดยเปรียบเทียบเป็นแต่ละชุดตามตัวแปร

4.1 ผลการจำลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า (validation)

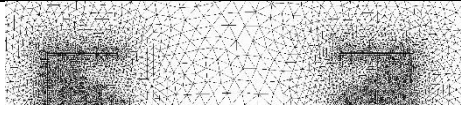
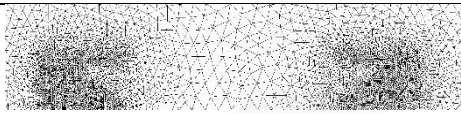
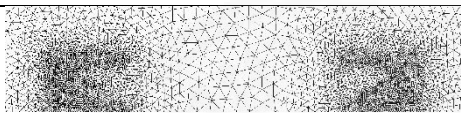
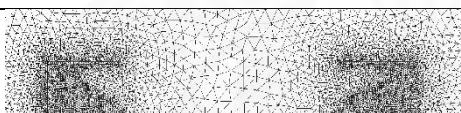
ในการทำแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบนั้นทำโดยเลือกรูปแบบ อัจฉริยะแบบสองด้าน พร้อมหลังคาเรียบ จากงานศึกษาของ ของ Hooff, Blocken และ Harter (2011) กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบจำลอง ลักษณะของลม และฝน ตามงานศึกษาก่อนหน้า เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากเมซรูปร่างแบบ Tetrahedral ที่ใช้ในการศึกษา และ Multizone จากงานวิจัยก่อนหน้า ในการศึกษาที่มีการกำหนดรายละเอียดเมซที่แตกต่างกัน 4 กรณี ดังตารางที่ 4.1



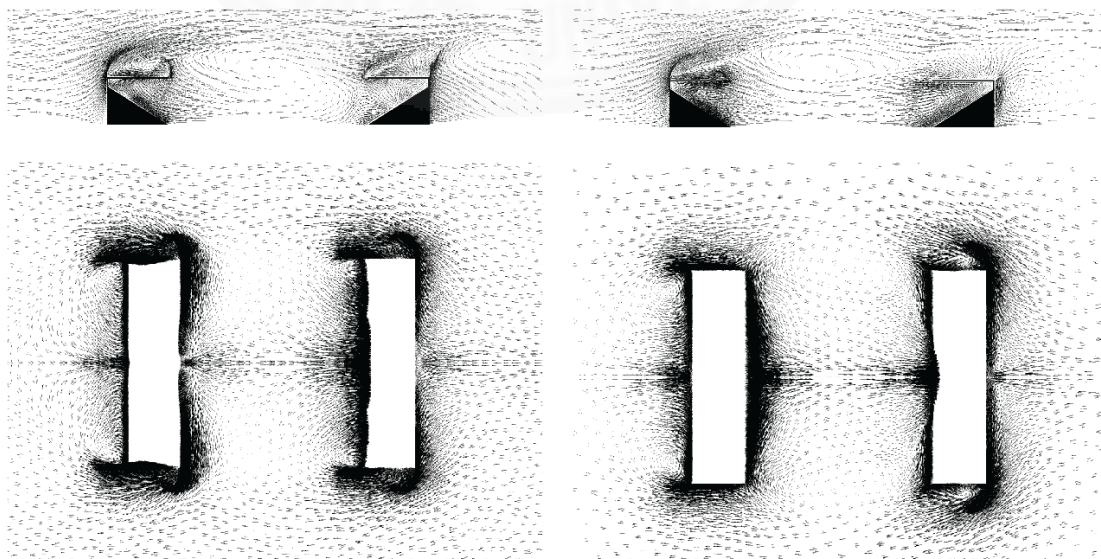
ภาพที่ 4.1 อัจฉริยะแบบสองด้าน พร้อมหลังคาเรียบ จากงานศึกษาของ Hooff, Blocken และ Harter, 2011

ตารางที่ 4.1

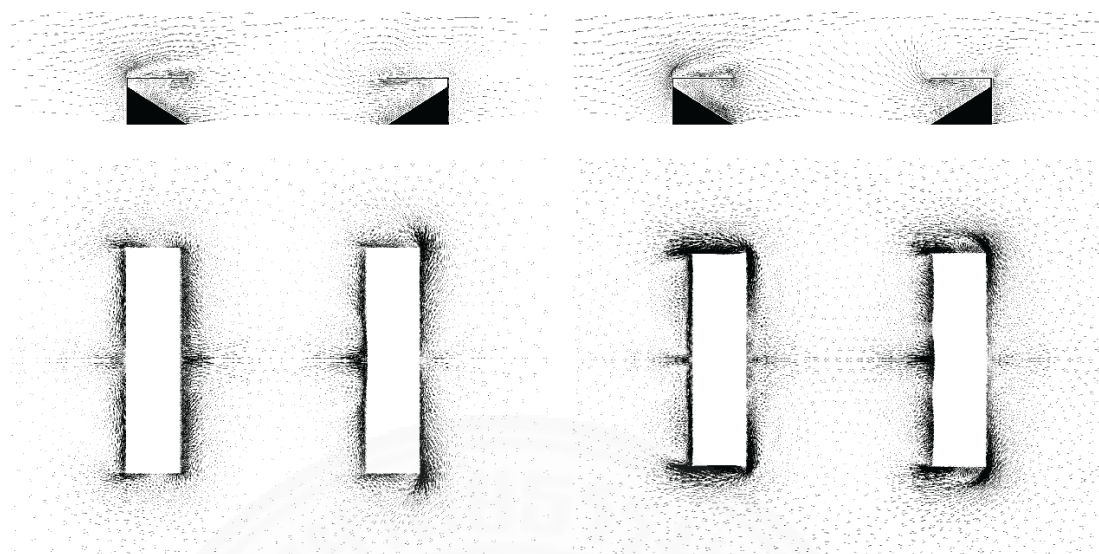
รายละเอียดของเมชในการศึกษาเปรียบเทียบ

กรณี	ภาพประกอบ	โดเมน เมตร	อาคาร เมตร	หลังคา เมตร	รวม เมตร
1		18.70 เมตร	0.50 เมตร	0.20 เมตร	2,241,596 เมช
2		18.70 เมตร	0.20 เมตร	0.20 เมตร	2,464,174 เมช
3		9.39 เมตร	0.50 เมตร	0.20 เมตร	4,586,227 เมช
4		9.39 เมตร	0.20 เมตร	0.20 เมตร	5,960,173 เมช

แบบจำลองการไหลของลมที่ได้จากเมชทั้ง 4 กรณี แบ่งความละเอียดดังตารางที่ 4.1 ให้ผลเชิงกราฟิก ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 เมื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหลของลม และการไหลวนของลม (recirculation) พบว่าเมชทั้ง 4 กรณี ให้ผลการไหลของลมเชิงกราฟิกที่ใกล้เคียงกับงานศึกษาก่อนหน้าเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลคงตัว จึงนำทั้งสี่กรณีดังกล่าวมาทำการจำลองปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝน ในระนาบแนวราบเข้ามาในกระแสนลมที่ได้จำลองไว้ในข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบผลของพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นในขนาดเมชที่แตกต่างกัน

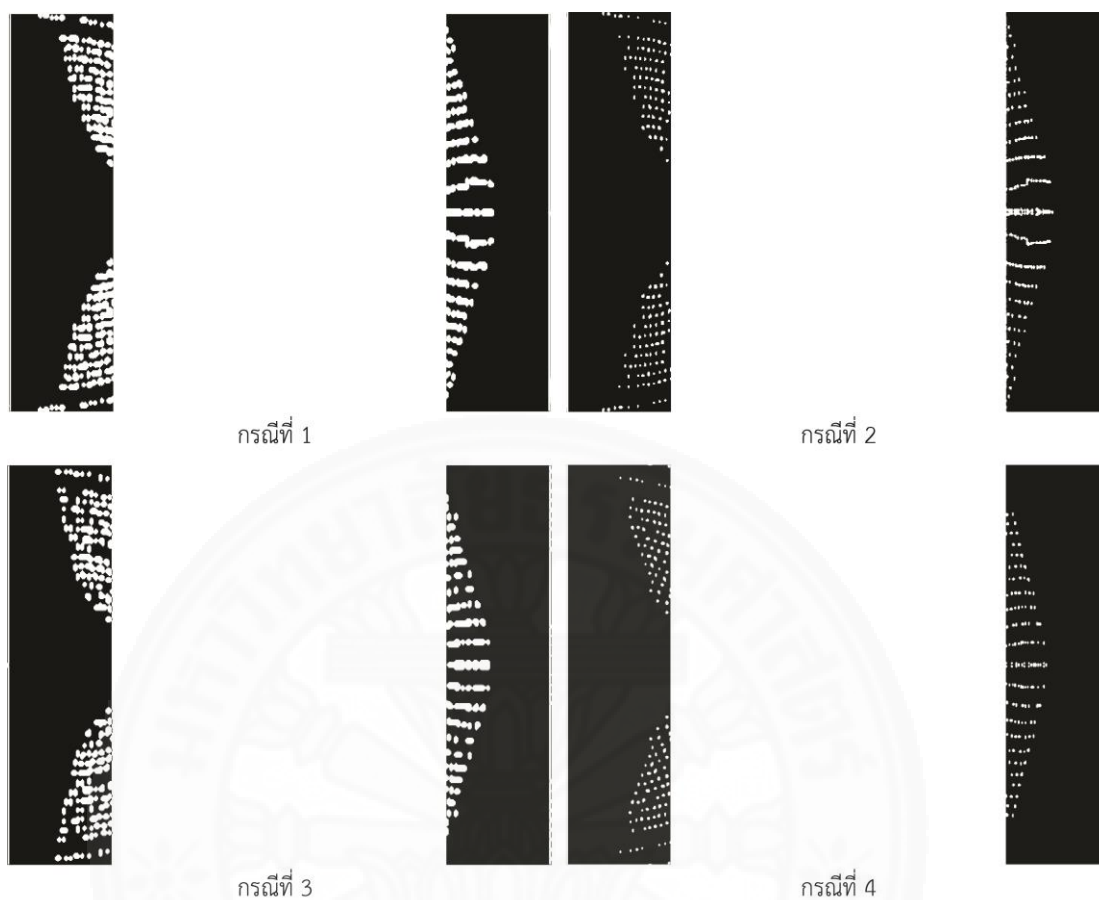


ภาพที่ 4.2 การไหลของลมจากความละเอียดเมช ในกรณีที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.3 การไหลของลมจากความละเอียดเมช ในกรณีที่ 3 และ 4

อนุภาคของหยดน้ำฝนถูกปล่อยลงมาความสูงระดับ 125 เมตร ซึ่งเป็นความสูงระดับเดียวกับในงานศึกษาก่อนหน้า เพื่อทำการติดตามการเคลื่อนที่ และดูผลพื้นที่เปียกบนอัมจรรย์ การติดตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำฝนที่ถูกปล่อยเข้ามาในกระแสลมสมดุคงตัว โดยหลักการของ Lagrangian เป็นการดูระยะการเคลื่อนที่ของหยดน้ำฝนต่อเวลาที่เปลี่ยนไป จากแบบจำลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 30 วินาที อนุภาคของน้ำฝนตกลงบนพื้นที่นั่งบนอัมจรรย์ พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของน้ำฝนมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามระยะการปล่อยซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสลมของบริเวณนั้น ๆ เมื่อหยดน้ำฝนตกกระทบลงบนอัมจรรย์ทำให้เกิดพื้นที่เปียกบนอัมจรรย์ซึ่งเกิดจากการคำนวณค่า volume fraction ของโปรแกรม พื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นบนอัมจรรย์ ในกรณีที่ 3 และ 4 แสดงผลดังภาพที่ 4.4 ในการเปรียบเทียบผลกับงานศึกษาก่อนหน้าจะนำกราฟิกการเกิดพื้นที่เปียกบนอัมจรรย์มาเพื่อคำนวณหาพื้นที่เป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่อัมจรรย์ทั้งหมด จากงานศึกษาก่อนหน้ามีการสรุปผลไว้ อยู่ที่ 12.00% ผลที่ได้จากการทำแบบจำลองแต่ละความละเอียดเมชให้ค่าของพื้นที่เปียกดังนี้ กรณีที่ 1 เกิดพื้นที่เปียก 29.30% กรณีที่ 2 เกิดพื้นที่เปียก 20.23% กรณีที่ 3 เกิดพื้นที่เปียก 26.45% และกรณีที่ 4 เกิดพื้นที่เปียก 18.09%



ภาพที่ 4.4 ผลของพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นบนอัจฉริยะ จากทั้ง 4 กรณี

ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ว่า การกำหนดเมชที่มีขนาดเล็กส่งผลให้ร้อยละพื้นที่เปียกบนแบบจำลองให้ผลที่ใกล้เคียง กับงานศึกษาก่อนหน้านี้มากขึ้น ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ทำแบบจำลองไม่สามารถประมวลผลของเมชที่ละเอียดลงกว่านี้ได้แล้วทำให้เครื่องมือที่ใช้ให้ผลมากกว่างานศึกษาก่อนหน้านี้ 6.09%

4.2 ผลการจำลองตัวแปรที่ทำการศึกษา (application)

การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูผลกระทบของพื้นที่มีต่อตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบเปลือกอาคารแบบอาคารสองชั้น ประกอบไปด้วย 4 ปัจจัยได้แก่ ระยะเวลาติดตั้งรูปแบบของครีบบ องศาการเอียง และความยาวของครีบบ โดยเปรียบเทียบจากพื้นที่เปียกในอาคาร และอัตราการไหลของลมผ่านเปลือกอาคาร

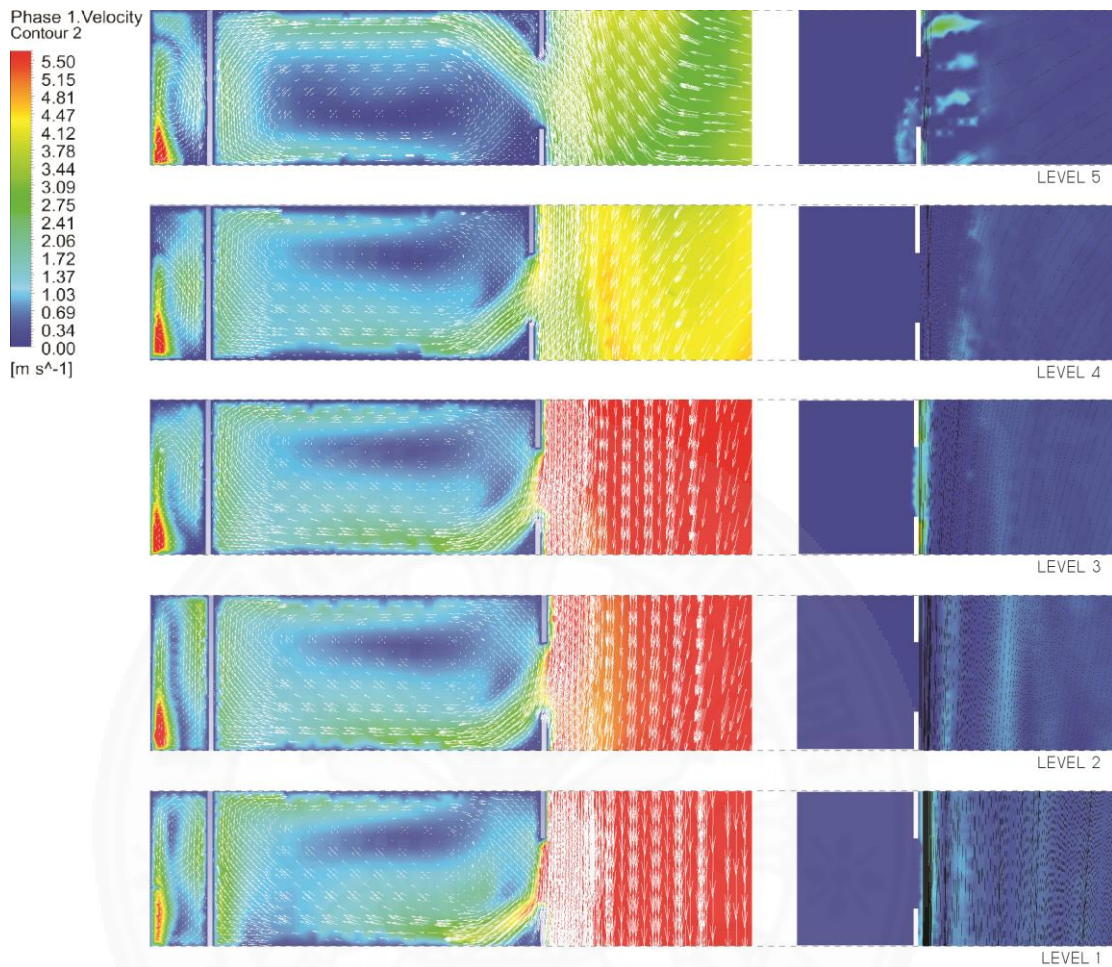
4.2.1 ระยะห่างของการติดตั้งเปลือกอาคาร

การศึกษาตัวแปรระยะการติดตั้งเปลือกอาคารนั้น วัดระยะจากขอบหน้าต่างถึงระดับกึ่งกลางครีบกั้นฝนของเปลือกอาคาร ขนาดของเปลือกอาคารอยู่ที่ 2.90×1.50 เมตร ติดตั้งครีบกั้นที่มีความยาวยื่นออกมาจากกรอบเปลือกอาคาร 75 มิลลิเมตร ห่างกันทุก ๆ ระยะ 0.15 เมตร แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ระยะ ทั้งสิ้น 4 กรณี ได้แก่

- 1) กรณีที่ 1 : ไม่ได้ติดตั้ง
- 2) กรณีที่ 2 : ติดตั้งที่ระยะห่าง 1.00 เมตร
- 3) กรณีที่ 3 : ติดตั้งที่ระยะห่าง 0.50 เมตร
- 4) กรณีที่ 4 : ติดตั้งที่ระยะห่าง 0.30 เมตร

4.2.1.1 กรณีที่ 1 ไม่ได้ติดตั้ง

กรณีศึกษาที่ 1 เป็นการทำให้แบบจำลองอาคารที่เปิดช่องหน้าต่างโล่ง และไม่ได้มีการติดตั้งเปลือกอาคารเข้าไปในแบบจำลอง เพื่อจะนำไปใช้เป็นกรณีตั้งต้น (base case) เมชที่ใช้ในการจำลอง แบ่งความละเอียดตามส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ดังนี้ เมชของโดเมนมีขนาดที่ 40.00 เมตร ตัวอาคาร 2.00 เมตร ผนังของพื้นที่ตรวจวัด 0.30 เมตร และพื้นภายในอาคาร 0.10 เมตร ตามลำดับ จึงมีเมชรวมในกรณีที่ 1 ทั้งสิ้น 6,716,716 เมช การทำให้แบบจำลองนั้นใช้ขั้นตอนและวิธีการเกี่ยวกับการทำให้แบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาก่อนหน้า โดยทำการจำลองลมให้เข้าสู่ภาวะสมดุลคงตัวก่อน ที่จะปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝน 13,800 อนุภาค ที่ความสูง 200 เมตร จนกระทั่งอนุภาคออกจากกระบอก หรือกระทบอาคารทั้งหมด ความสูงที่ทำให้การปล่อยอนุภาคของหยดน้ำฝนนั้นได้จากการทดลองปล่อยอนุภาคและปรับจนอนุภาคกระทบครอบคลุมทั้งอาคาร



ภาพที่ 4.5 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1

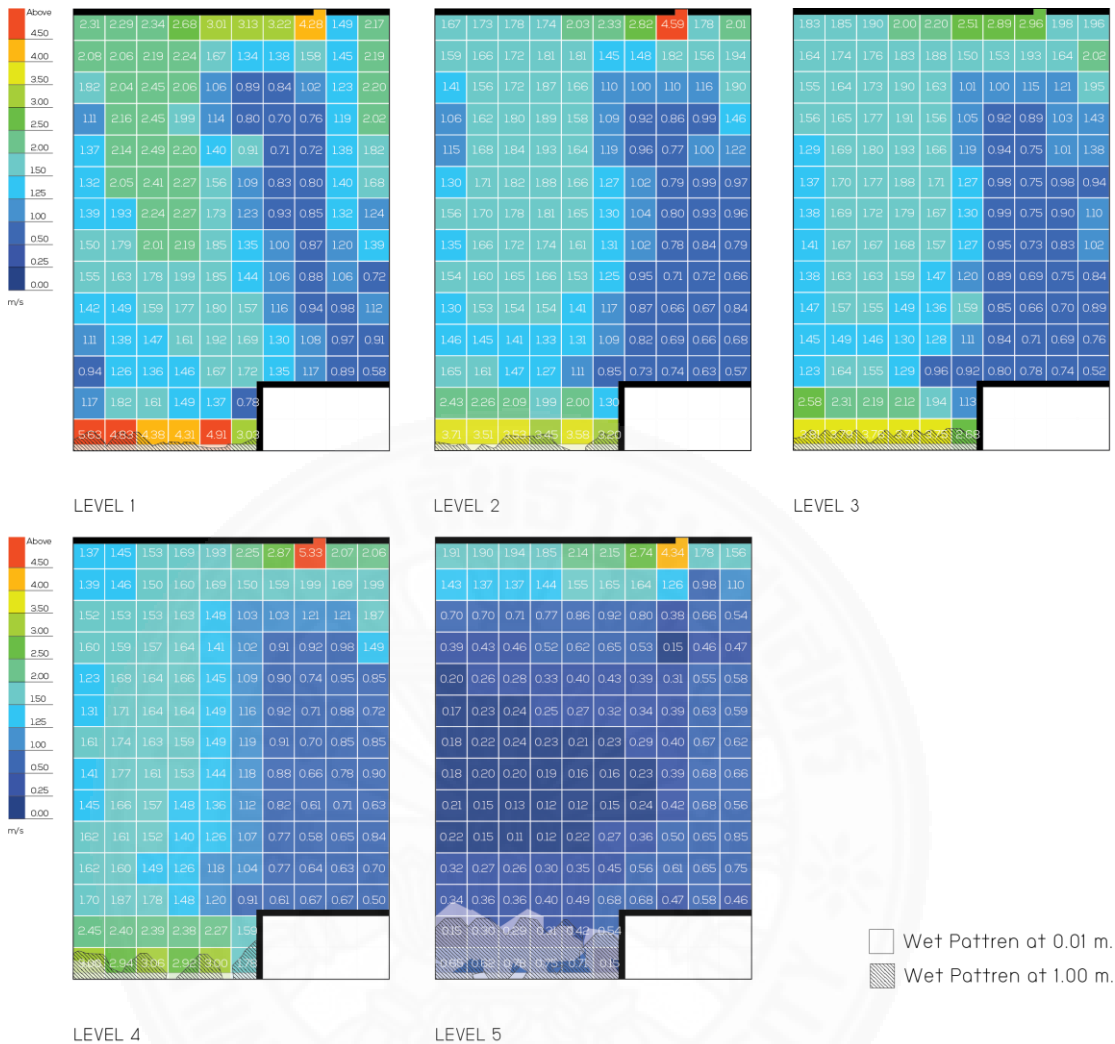
ตารางที่ 4.2

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 1

กรณีที่ 1			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	8.23 m/s	4.35	35.80 m ³ /s
ระดับที่ 2	4.20 m/s		18.15 m ³ /s
ระดับที่ 3	4.40 m/s		19.17 m ³ /s
ระดับที่ 4	3.28 m/s		14.28 m ³ /s
ระดับที่ 5	2.24 m/s		9.75 m ³ /s

การวิเคราะห์แบบจำลอง ทำโดยการวิเคราะห์ลมที่ระดับ 1 เมตร ซึ่งเป็นระดับที่ลมสามารถพัดผ่านโดนตัวของผู้ใช้อาคารได้โดยตรง ในการใช้การปรับอากาศแบบธรรมชาติ การไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารนั้นจะทำการวัดค่าเฉลี่ยของลมหน้าเปลือกอาคาร และการตรวจวัดพื้นที่เปียกนั้นทำการวัดในสองระดับได้แก่ระดับพื้น โดยจะทำการวัดสูงจากพื้นขึ้นมา 0.01 เมตร และระดับหน้าต่างวัดที่ระดับสูงจากพื้น 1 เมตร มาเพื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี แบบจำลองกรณีที่ 1 นั้นลมที่มากกระทบตัวอาคารที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร ทิศทางการไหลของลมมีการแยกทิศทางในบริเวณระหว่างระดับตรวจวัดระดับที่ 4 และ 5 ทำให้ลมมีทิศทางขึ้นไปยังระดับตรวจวัดที่ 5 และ ลงสู่ระดับตรวจวัดที่ 4 จากภาพที่ 4.5 เมื่อนำภาพตัดของแบบจำลองเพื่อดูความเร็ว และทิศทางของลมจากสีของความเร็วลมจะเห็นได้ว่า ลมมีการไหลผ่านระดับตรวจวัดที่ 4 ด้วยความเร็วที่สูงกว่า และเคลื่อนที่ลงสู่ระดับล่างด้วยความเร็วที่สูงขึ้น จนทำความเร็วสูงสุดที่ระดับตรวจวัดที่ 1 จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้ส่งผลโดยตรงต่อ อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่เปลือกอาคาร โดยพื้นที่ตรวจวัดระดับที่ 1 นั้นให้ค่าอัตราการระบายอากาศสูงที่สุด ระดับที่ 2 นั้นมีค่าใกล้เคียงกับ 3 ก่อนจะลดลงที่ระดับ 4 และ 5 ตามลำดับ ค่าของอัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคารของพื้นที่ตรวจวัดแต่ละระดับแสดงออกดังตารางที่ 4.2

จากแบบจำลองข้างต้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เปียก ในพื้นที่ตรวจวัด ดังภาพที่ 4.6 ร่วมกับภาพตัดของลมและฝนที่เข้าสู่อาคาร ภาพที่ 4.5 พบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ของลมข้างต้น ยังส่งผลต่อพฤติกรรมลมและฝนที่เข้าสู่ตัวอาคาร ลมที่เข้าสู่อาคารในระดับตรวจวัดที่ 5 มีทิศทาง จึงได้รับผลกระทบจากฝนที่เข้าสู่ตัวอาคารมากกว่าระดับชั้นอื่น ๆ ทำให้เกิดพื้นที่เปียกมากที่สุด และ ลมเข้าห้องในทิศทางขึ้นสู่ฝ้าทำให้มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ต่ำกว่า ระดับตรวจวัดอื่น ๆ ลมที่เข้าสู่ห้องในระดับตรวจวัดที่ 1-4 มีลักษณะที่เหมือนกันคือเคลื่อนที่ลงสู่พื้น ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ระดับตรวจวัดที่ 4 มีทิศทางของลมที่ความชันค่อนข้างน้อยทำให้เกิดพื้นที่เปียกในระดับพื้นชั้นเล็กน้อย ขณะที่ระดับตรวจวัดที่ 1-3 นั้นทิศทางของลมพุ่งลงสู่พื้นด้วยความเร็วทำให้ฝนตกลงสู่พื้นด้วยความชันมาก และ ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ตรวจวัดน้อยจึงทำให้ไม่เกิดพื้นที่เปียกระดับพื้นชั้นเลย ผลของพื้นที่เปียกแต่ละระดับชั้น และ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 1 เมตร นั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.6 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 1

ตารางที่ 4.3

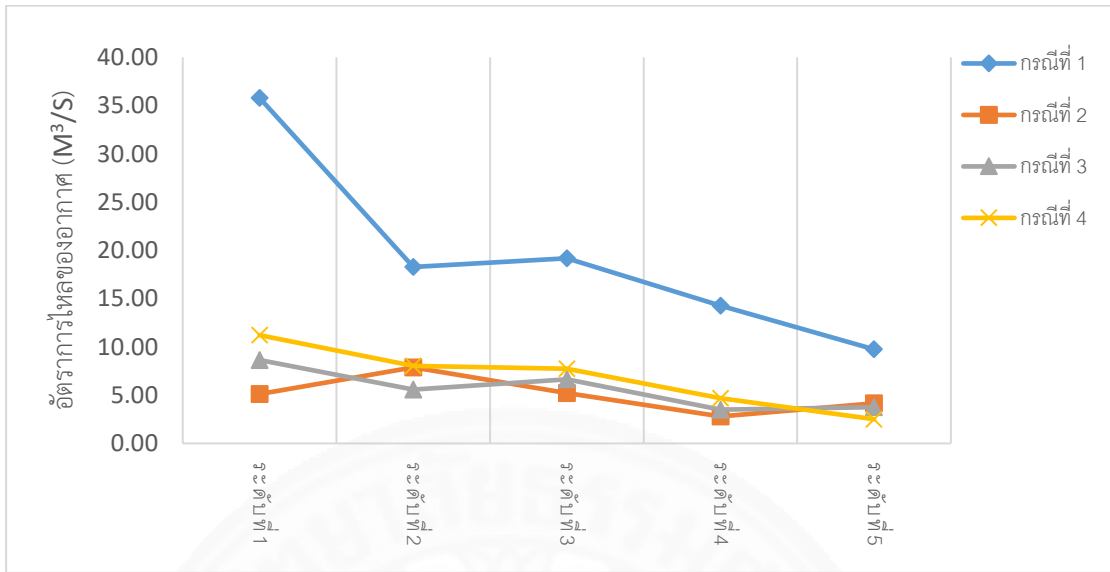
ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร กรณีที่ 1

กรณีที่ 1			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	1.06 %	1.69 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.55 %	1.50 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	1.51 %	1.53 m/s
ระดับที่ 4	0.28 %	1.73 %	1.43 m/s
ระดับที่ 5	6.56 %	4.25 %	0.62 m/s

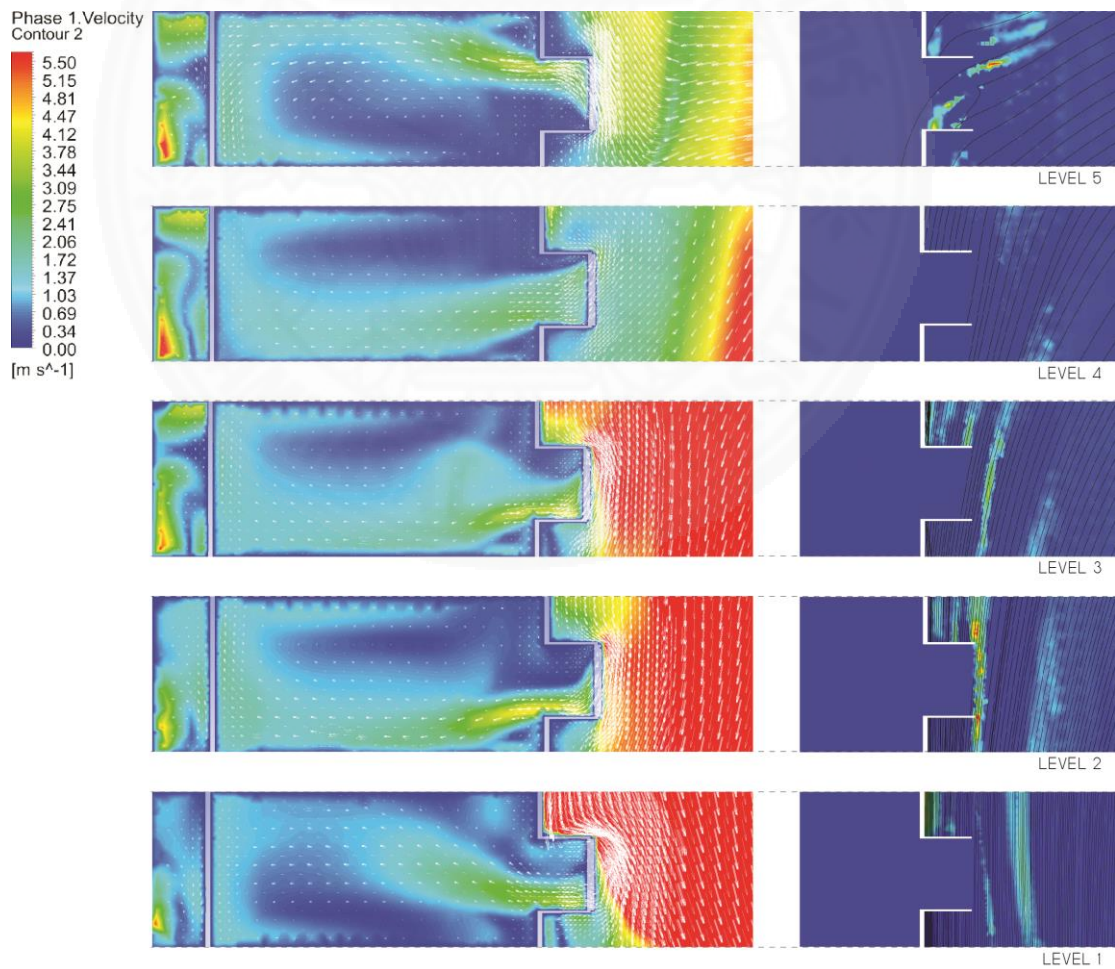
4.2.1.2 กรณีที่ 2-4 ระยะห่างของการติดตั้ง 1.00 0.50 และ 0.30 เมตร

ในการทำแบบจำลองที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร ได้มีการเพิ่มเมฆเข้าไปในแบบจำลอง กำหนดความละเอียดเป็น 2-3 เท่าของระยะเปิดระหว่างครีบอลอาคาร ซึ่งในกรณีที่ 2-4 นี้ใช้เมฆขนาด 0.05 เมตร ซึ่งเป็น 3 เท่าของช่องระหว่างครีบอลอาคารทำให้มีเมฆรวมทั้งสิ้น 7,917,357 เมฆ 7,854,748 เมฆ และ 7,699,115 เมฆ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.8-4.10 ลักษณะของลมในภาพตัดขวางจากแบบจำลองกรณีที่ 4 ติดตั้งเปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร พบว่าเมื่อลมเกิดการปะทะกับตัวอาคาร เกิดการแยกการไหลของลมที่ระหว่างระดับตรวจวัดที่ 4 และ 5 ซึ่งค่อนข้างไปทางระดับตรวจวัดที่ 5 ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารระดับตรวจวัดที่ 5 มีค่าน้อยที่สุด ขณะที่ระดับตรวจวัดที่ 2 และ 3 นั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกันแต่มากกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 และ แบบจำลองให้ค่ามากที่สุดที่ระดับตรวจวัดที่ 1 ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับกับกรณีที่ 1 ที่เป็นกรณีตั้งต้น แบบจำลองกรณีที่ 3 เมื่อเพิ่มระยะห่างของเปลือกอาคารเป็น 0.50 เมตร แล้วยังคงมีการแยกของลม คล้ายกับกรณีที่ 4 และ 1 ทำให้ผลของระดับตรวจวัดที่ 1-4 มีแนวโน้มเดียวกับกับทั้งสองกรณี แต่ในระดับที่ 5 นั้นการยื่นระยะห่างของเปลือกอาคารออกมาส่งผลให้ มีการกั้นลมที่ไหลขึ้นไปปะทะ และ ไปรวมกันยังหน้าเปลือกอาคาร ส่งผลให้มีค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารสูงขึ้นจนมากกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 และ เมื่อเพิ่มระยะห่างของเปลือกอาคารเป็น 1.00 เมตร ในแบบจำลองกรณีที่ 2 ส่งผลให้แนวโน้มของผลค่าอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนไปจากกรณีอื่น ๆ โดยเมื่อลมแยกที่ระหว่างระดับตรวจวัดที่ 4 และ 5 ในระดับตรวจวัดที่ 5 การเพิ่มระยะยื่นนั้นยังส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 ค่อนข้างมาก และ ยิ่งมากกว่าระดับตรวจวัดเดียวกันของกรณีที่ 3 และ 4 ค่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อลงมายังระดับตรวจวัดที่ 4 และ 3 ก่อนจะให้ค่าสูงสุดที่ระดับตรวจวัดที่ 2 ในระดับตรวจวัดที่ 1 นั้นเมื่อลมที่มีความเร็วสูงปะทะเข้ากับเปลือกอาคารที่มีระยะยื่นมากจนลมมีการเอียงออกไปมาก ส่งผลให้ลมไหลอ้อมเปลือกอาคาร และให้อัตราการระบายอากาศที่ต่ำที่สุดในระดับตรวจวัดที่ 1 ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ 2-4 นั้นแสดงตามตารางที่ 4.4-4.6 และเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 1-4

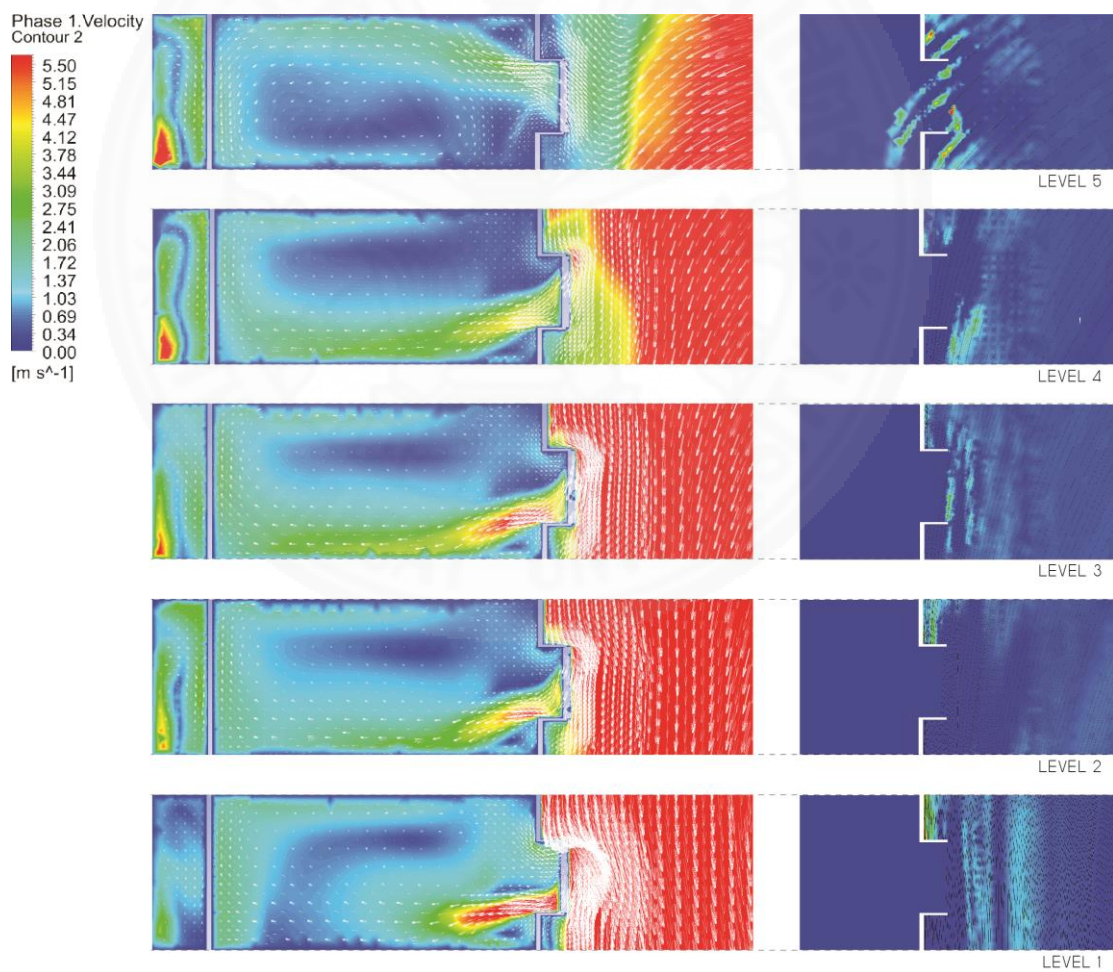


ภาพที่ 4.8 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 2

ตารางที่ 4.4

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 2

กรณีที่ 2			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	1.35 m/s	3.78 m ²	5.13 m ³ /s
ระดับที่ 2	2.08 m/s		7.88 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.37 m/s		5.20 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.74 m/s		2.80 m ³ /s
ระดับที่ 5	1.10 m/s		4.16 m ³ /s

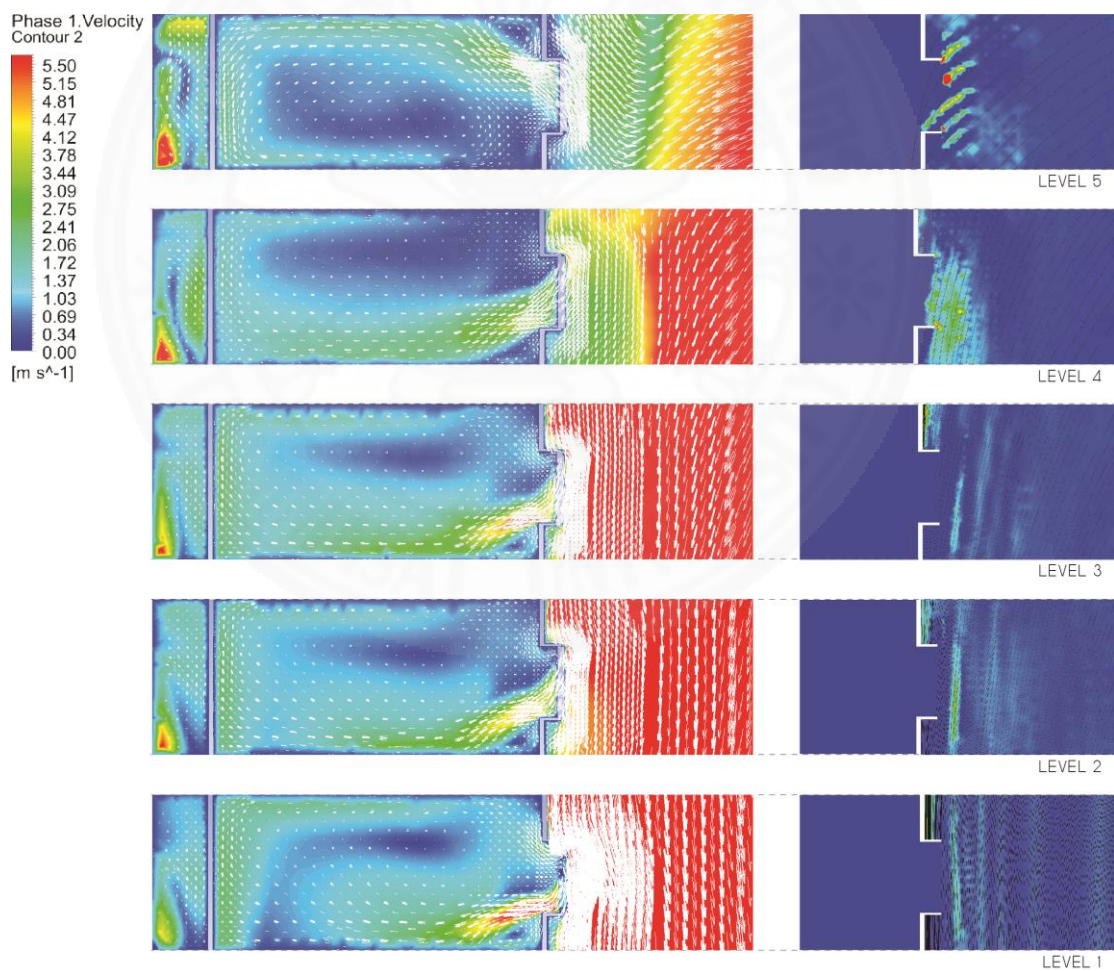


ภาพที่ 4.9 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 3

ตารางที่ 4.5

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 3

กรณีที่ 3			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	2.28 m/s	3.78 m ²	8.64 m ³ /s
ระดับที่ 2	1.47 m/s		5.59 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.75 m/s		6.64 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.92 m/s		3.50 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.98 m/s		3.74 m ³ /s



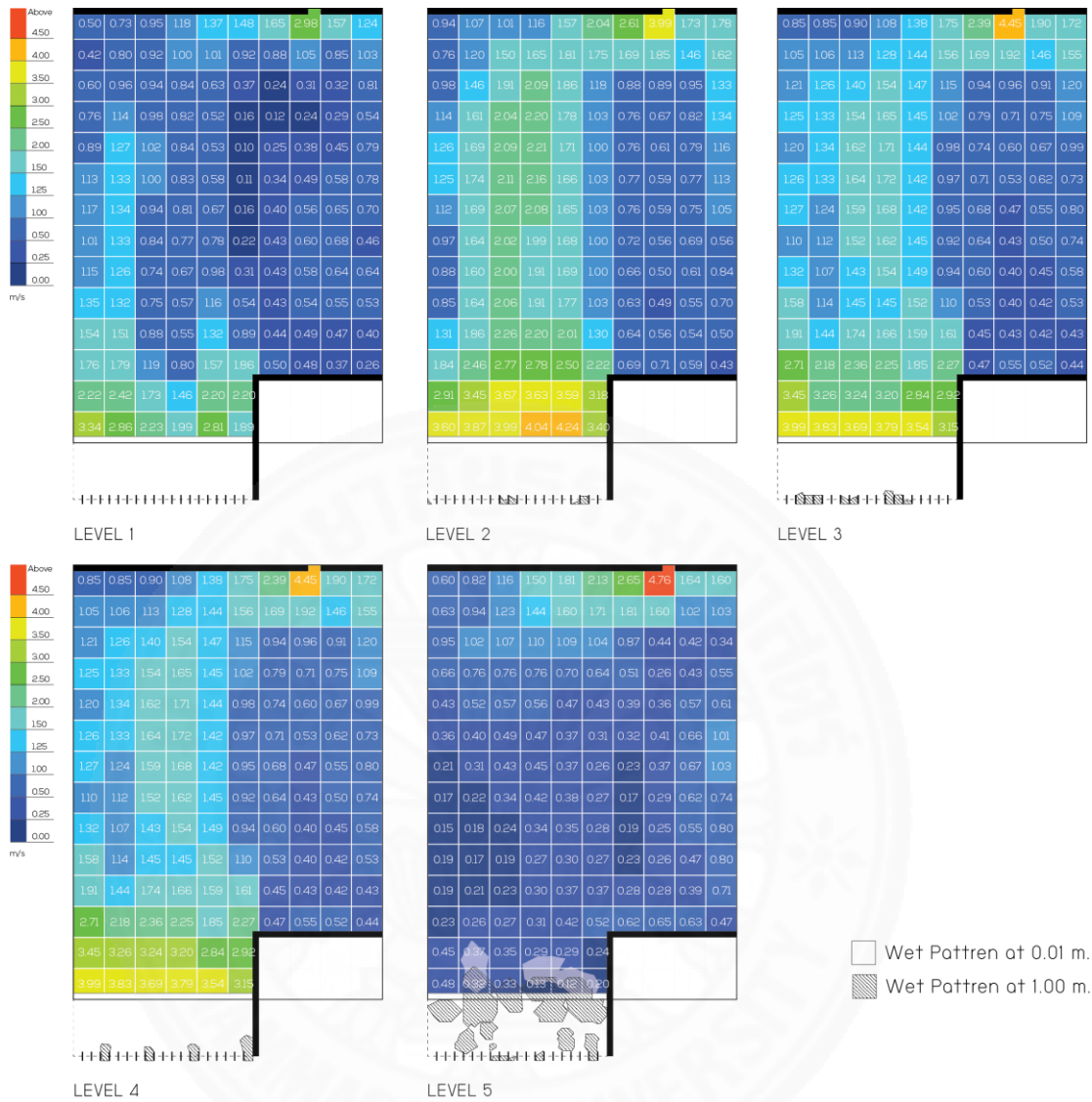
ภาพที่ 4.10 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 4

ตารางที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 4

กรณีที่ 4			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	2.97 m/s	3.78 m ²	11.20 m ³ /s
ระดับที่ 2	2.12 m/s		8.03 m ³ /s
ระดับที่ 3	2.05 m/s		7.75 m ³ /s
ระดับที่ 4	1.24 m/s		4.70 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.78 m/s		2.51 m ³ /s

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เป็ยกภายในอาคารดังภาพที่ 4.11-4.13 พบว่า จากทิศทางของลมทั้งสามกรณี que เข้าสู่พื้นที่ตรวจวัดคล้ายกับ กรณีที่ 1 และ 2 คือระดับตรวจวัดที่ 1-4 ลมเคลื่อนที่ลงสู่ระดับพื้น ขณะที่ระดับที่ 5 เคลื่อนที่สู่ฝ้า ส่งผลให้มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตรของระดับตรวจวัดที่ 1-4 สูงกว่าระดับตรวจวัดที่ 5 เปลือกอาคารในกรณีที่ 2-4 นั้นไม่เกิดพื้นที่เป็ยกขึ้นในพื้นที่ตรวจวัดระดับที่ 1-4 แต่ทั้ง 3 กรณียังคงได้รับผลกระทบจากฝน และเกิดพื้นที่เป็ยกขึ้นในระดับพื้นที่ระดับตรวจวัดที่ 5 โดยการเพิ่มระยะห่างของการติดตั้งเปลือกยังส่งผลให้พื้นที่เป็ยกในระดับตรวจวัดที่ 5 ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดลดลง ร้อยละพื้นที่เป็ยก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตรของกรณีที่ 2-4 สรุปไว้ดังตารางที่ 4.7-4.9

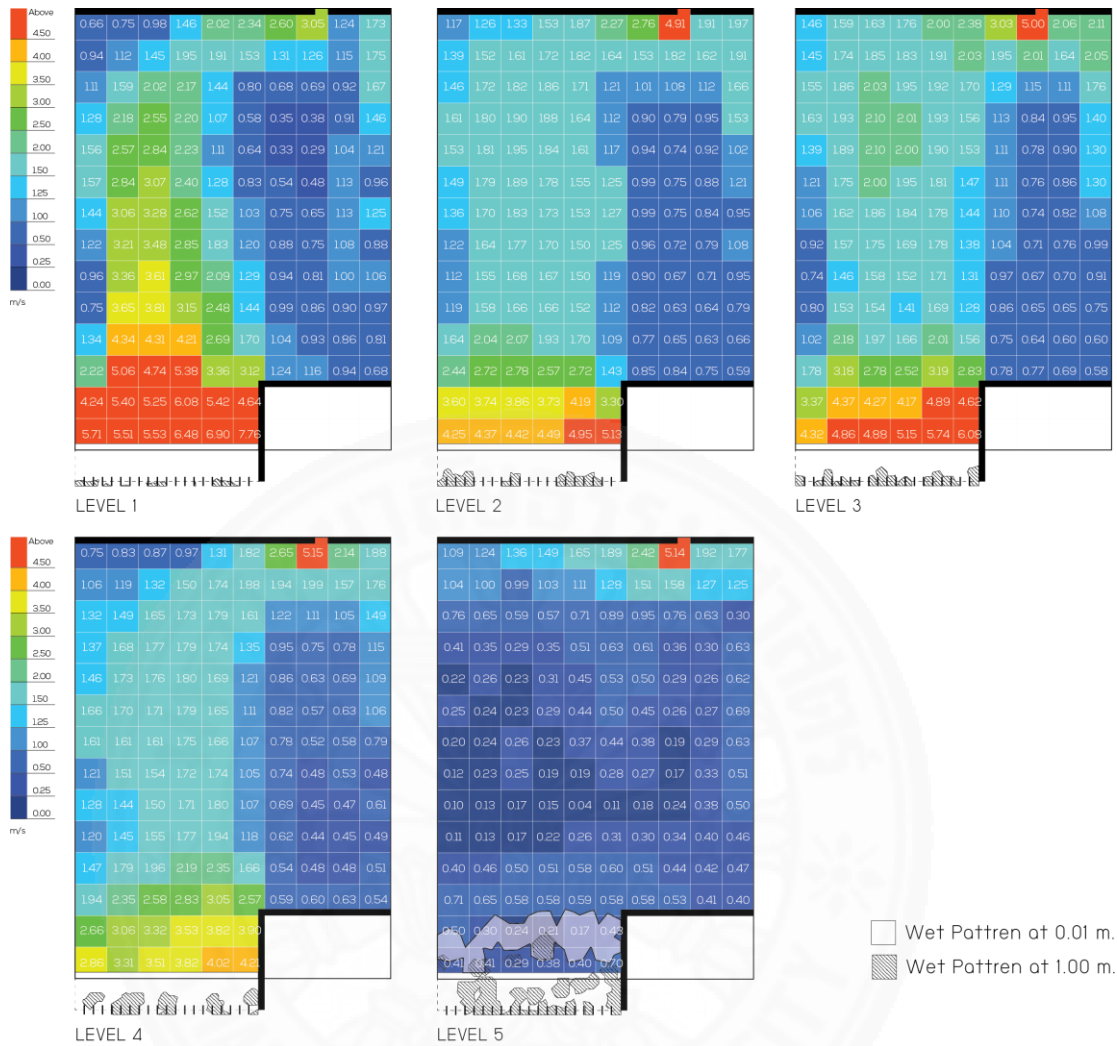


ภาพที่ 4.11 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 2

ตารางที่ 4.7

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร กรณีที่ 2

กรณีที่ 2			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	0.92 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.56 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.42 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.40 m/s
ระดับที่ 5	2.22 %	1.46 %	0.61 m/s

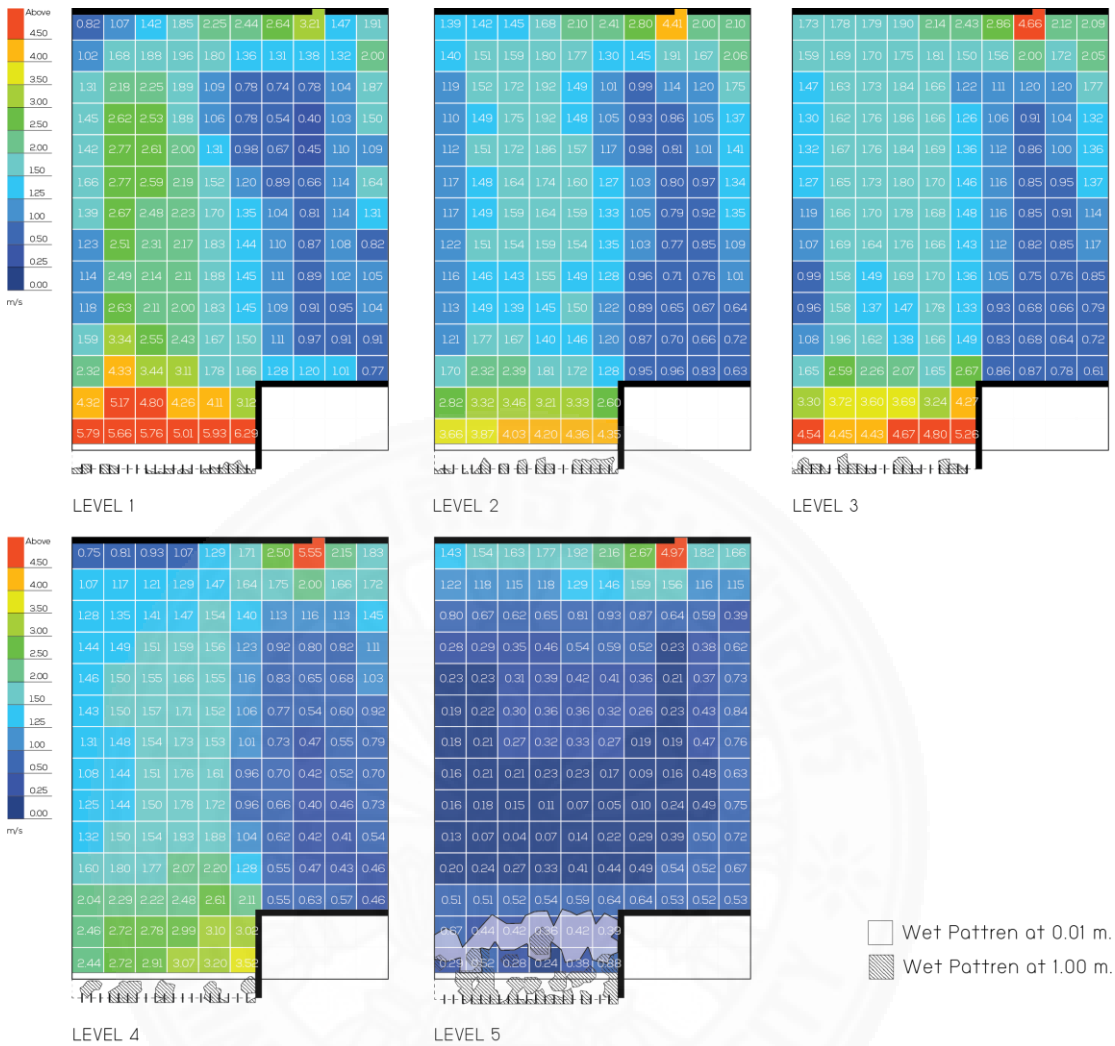


ภาพที่ 4.12 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 3

ตารางที่ 4.8

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร กรณีที่ 3

กรณีที่ 3			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	2.17 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.69 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.81 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.54 m/s
ระดับที่ 5	4.42 %	1.11 %	0.57 m/s



ภาพที่ 4.13 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 4

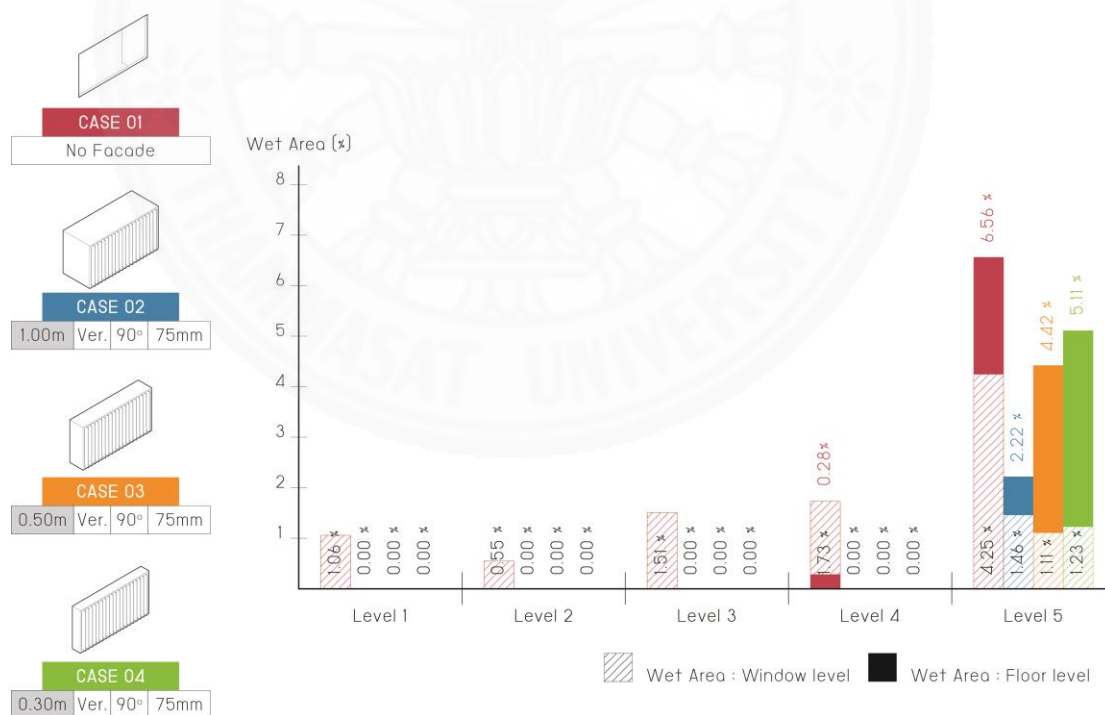
ตารางที่ 4.9

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 4

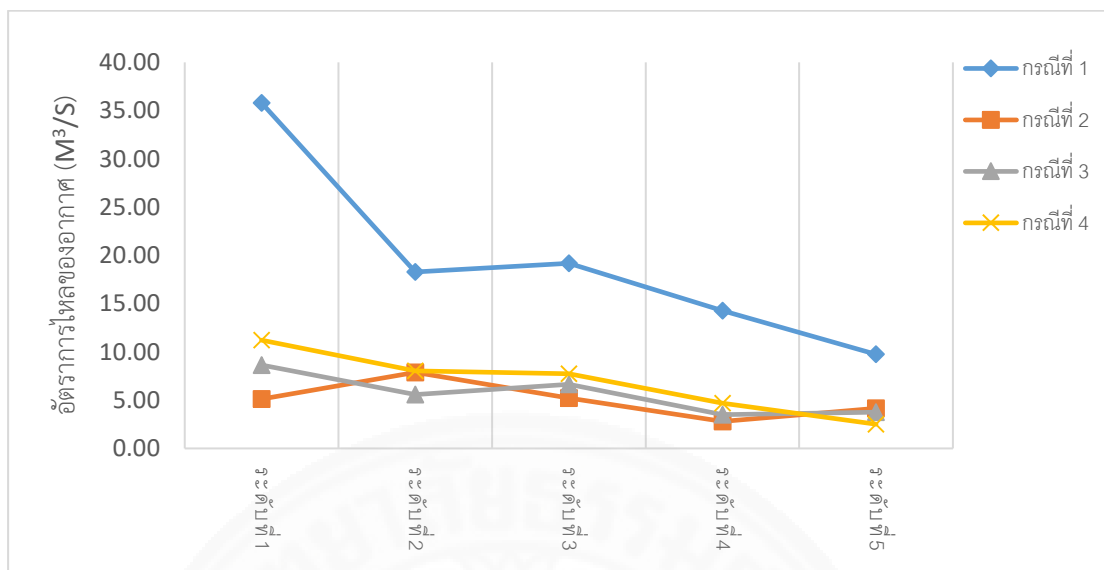
กรณีที่ 4			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	1.69 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.68 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.71 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.44 m/s
ระดับที่ 5	5.11 %	1.23 %	0.58 m/s

4.2.1.3 สรุปผลตัวแปรระยะห่างของการติดตั้งเปลือกอาคาร กรณีที่ 1-4

เมื่อเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกรณีที่ 1-4 พบว่าในทั้ง 4 กรณีศึกษา พื้นที่ตรวจวัดในระดับที่ 5 เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำฝนมากที่สุดในอาคาร ในการเปรียบเทียบผลของผลกระทบจากน้ำฝนนั้น แสดงออกได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.14 โดยเน้นข้อมูลพื้นที่เปียกชั้นที่ 5 มาเปรียบเทียบเป็นหลัก เนื่องจากเป็นพื้นที่ตรวจวัดที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ทำให้เห็นว่าการเพิ่มระยะห่างระหว่างเปลือกอาคารกับหน้าต่างนั้นส่งผลให้ช่วยลด ผลกระทบจากฝนลงได้ แต่ในด้านอัตราการไหลของอากาศสามารถสรุปเปรียบเทียบได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.15 การเพิ่มระยะห่างมากขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศในระดับตรวจวัดที่ 5 สูงขึ้นเล็กน้อยในขณะที่ระดับตรวจวัดที่ 1-4 มีค่าลดลง การติดตั้งเปลือกอาคารที่น้อยกว่าจึงเหมาะสมกับปัจจัยด้านอัตราการไหลของอากาศมากกว่า ทั้งนี้ในการศึกษาต่อไป จึงทำการเลือกกรณีที่ 2 ระยะห่าง 1.00 เมตร ซึ่งให้ผลดีที่สุดในด้านการป้องกันฝน แต่ให้ผลด้านอัตราการระบายอากาศแย่มากที่สุด และกรณีที่ 4 ระยะห่าง 0.30 เมตร ที่ให้ผลดีที่สุดในด้านอัตราการไหลของอากาศ แต่ให้ผลด้านการป้องกันฝนแย่ที่สุด ไปเพื่อศึกษาปัจจัยในตัวแปรอื่น ๆ ต่อไป



ภาพที่ 4.14 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 2-4



ภาพที่ 4.15 กราฟรูปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 1-4

4.2.2 รูปแบบของ crib

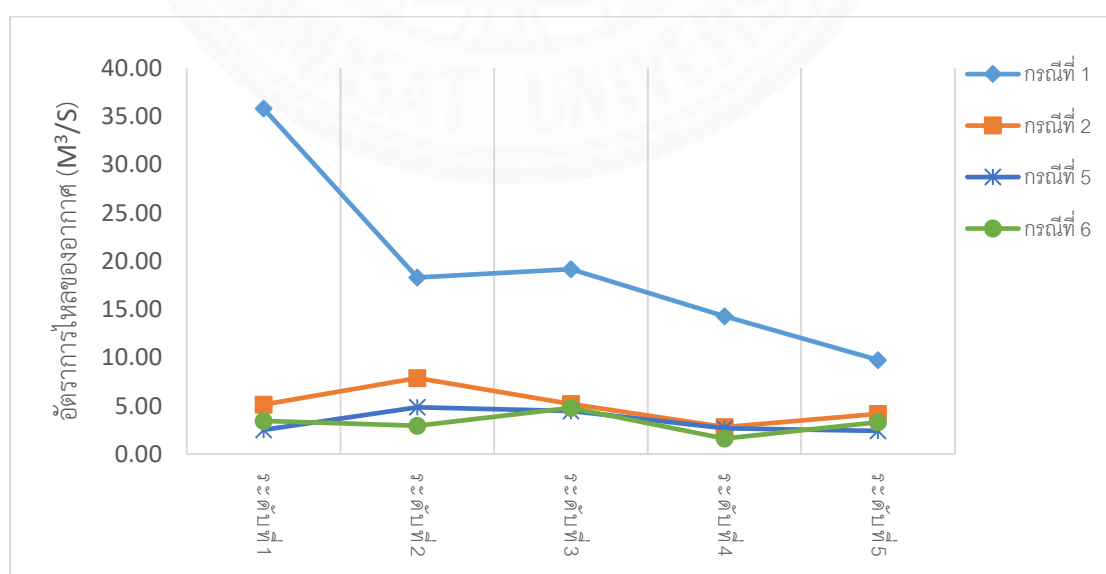
รูปแบบของ crib เปลือกอาคารนั้นทำการศึกษาโดยการทำ ระยะเวลาติดตั้งจาก กรณีที่ 2 และ 4 ของตัวแปรก่อนหน้ามาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อศึกษา รูปแบบของ crib เปลือกอาคาร ที่เปลี่ยนไปเป็น แนวเฉียง และแนวนอน ทั้งสิ้น 4 กรณี ได้แก่

- 1) กรณีที่ 5 : เปลือกอาคารระยะห่าง 1.00 เมตร รูปแบบ crib แนวเฉียง
- 2) กรณีที่ 6 : เปลือกอาคารระยะห่าง 1.00 เมตร รูปแบบ crib แนวนอน
- 3) กรณีที่ 7 : เปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบ crib แนวเฉียง
- 4) กรณีที่ 8 : เปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบ crib แนวนอน

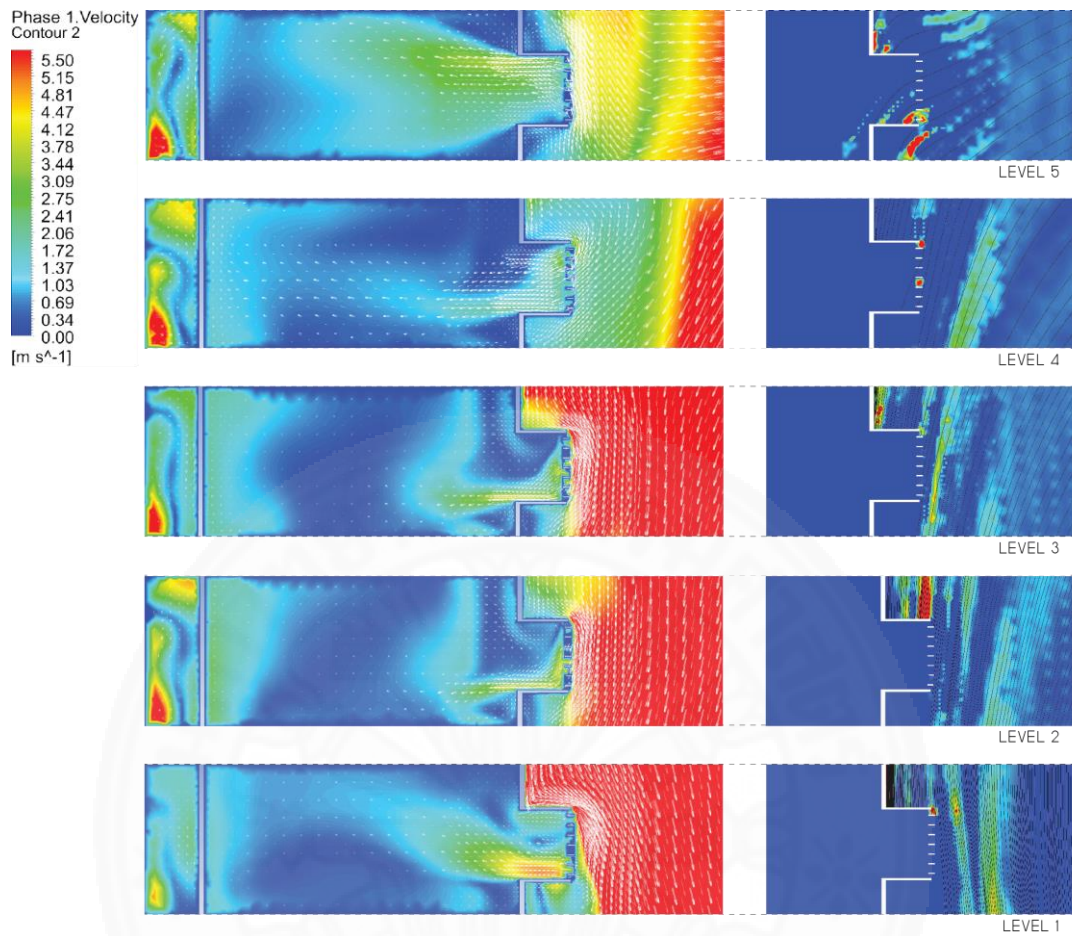
4.2.2.1 กรณีที่ 5 และ 6 รูปแบบ crib แนวเฉียง และแนวนอน (ระยะห่างของการติดตั้ง 1.00 เมตร)

ผลจากแบบจำลองกรณีที่ 2 ถูกยกมาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองกรณีที่ 5 และ 6 การเปลี่ยนรูปแบบ crib ของเปลือกอาคารที่มีระยะห่างของการติดตั้ง 1.00 เมตร โดยระยะห่างระหว่างครีวยังคงเดิมทำให้ใช้ความละเอียดของเมชบริเวณ crib เปลือกอาคาร อยู่ที่ 0.05 เมตร เป็น 3 เท่าของระยะห่าง กรณีที่ 5 และ 6 จึงมีเมชรวมทั้งสิ้น 8,288,455 เมช และ 8,269,631 เมช ตามลำดับ

จากภาพ 4.17-4.18 พบว่า กรณีที่ 5 และ 6 นั้นได้รับผลกระทบจากระยะห่างของการติดตั้งที่ 1 เมตร จึงทำให้มีพฤติกรรมของลมคล้ายคลึงกับกรณีตั้งต้น กรณีที่ 2 นั้นคือในระดับตรวจวัดที่ 5 มีอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นมากกว่าระดับที่ 4 ระดับตรวจวัดที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าระดับที่ 4 และ ระดับตรวจวัดที่ 2 เพิ่มขึ้นกว่าระดับตรวจวัดที่ 3 ก่อนจะลดลงที่ระดับที่ 1 ซึ่งมิต่ำน้อยสุด การปรับรูปแบบของ crib เปลือกอาคารเป็นแนวนอนในกรณีที่ 6 ส่งผลให้ระดับตรวจวัดที่ 5 มีอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับกรณีตั้งต้น และ มากกว่ารูปแบบแนวเฉียงกรณีที่ 5 จากทั้งสามกรณีรูปแบบแนวตั้งในกรณีตั้งต้นที่ 4 ให้อัตราการไหลของอากาศโดยรวมสูงที่สุดในทุกระดับชั้น แต่ในระดับชั้นที่ 5 รูปแบบแนวนอนในกรณีที่ 6 นั้นให้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่มากที่สุดใกล้เคียงกับกรณีที่ 4 ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ 5 และ 6 นั้นแสดงตามตารางที่ 4.10 และ 4.11 และเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 2 5 และ 6

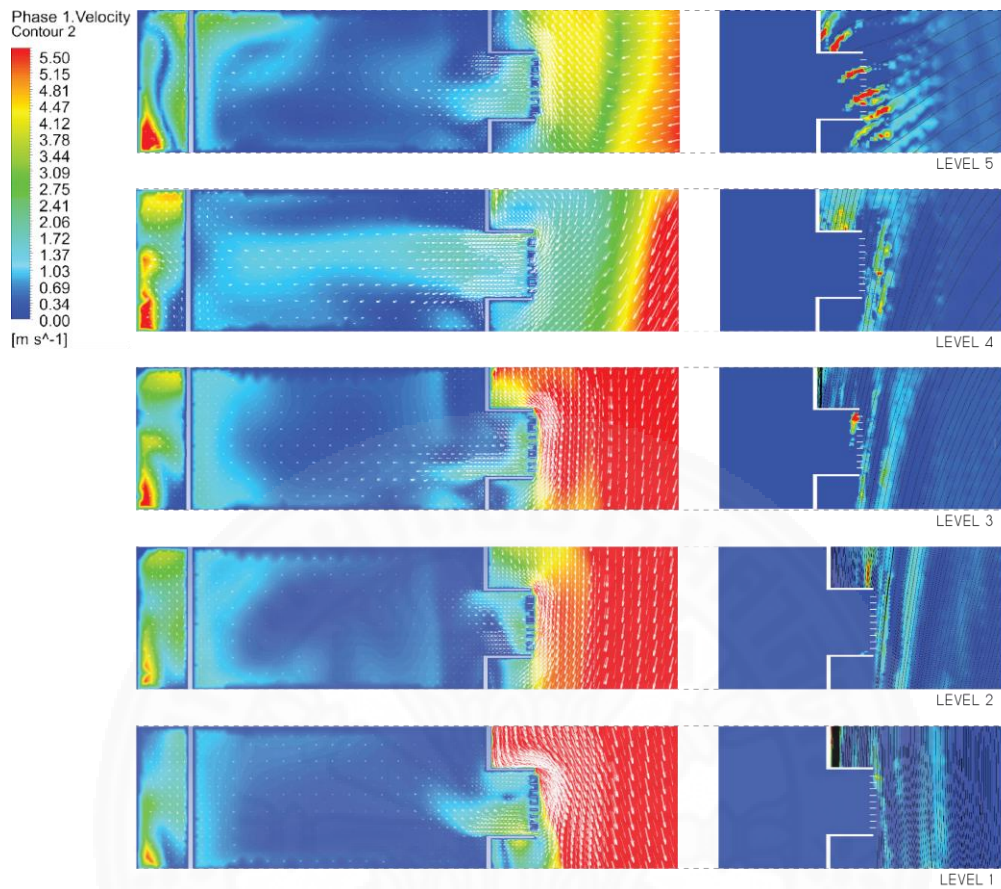


ภาพที่ 4.17 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 5

ตารางที่ 4.10

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 5

กรณีที่ 5			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	0.66 m/s	3.77 m ²	2.51 m ³ /s
ระดับที่ 2	1.28 m/s		4.85 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.18 m/s		4.48 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.70 m/s		2.67 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.63 m/s		2.40 m ³ /s



ภาพที่ 4.18 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 6

ตารางที่ 4.11

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 6

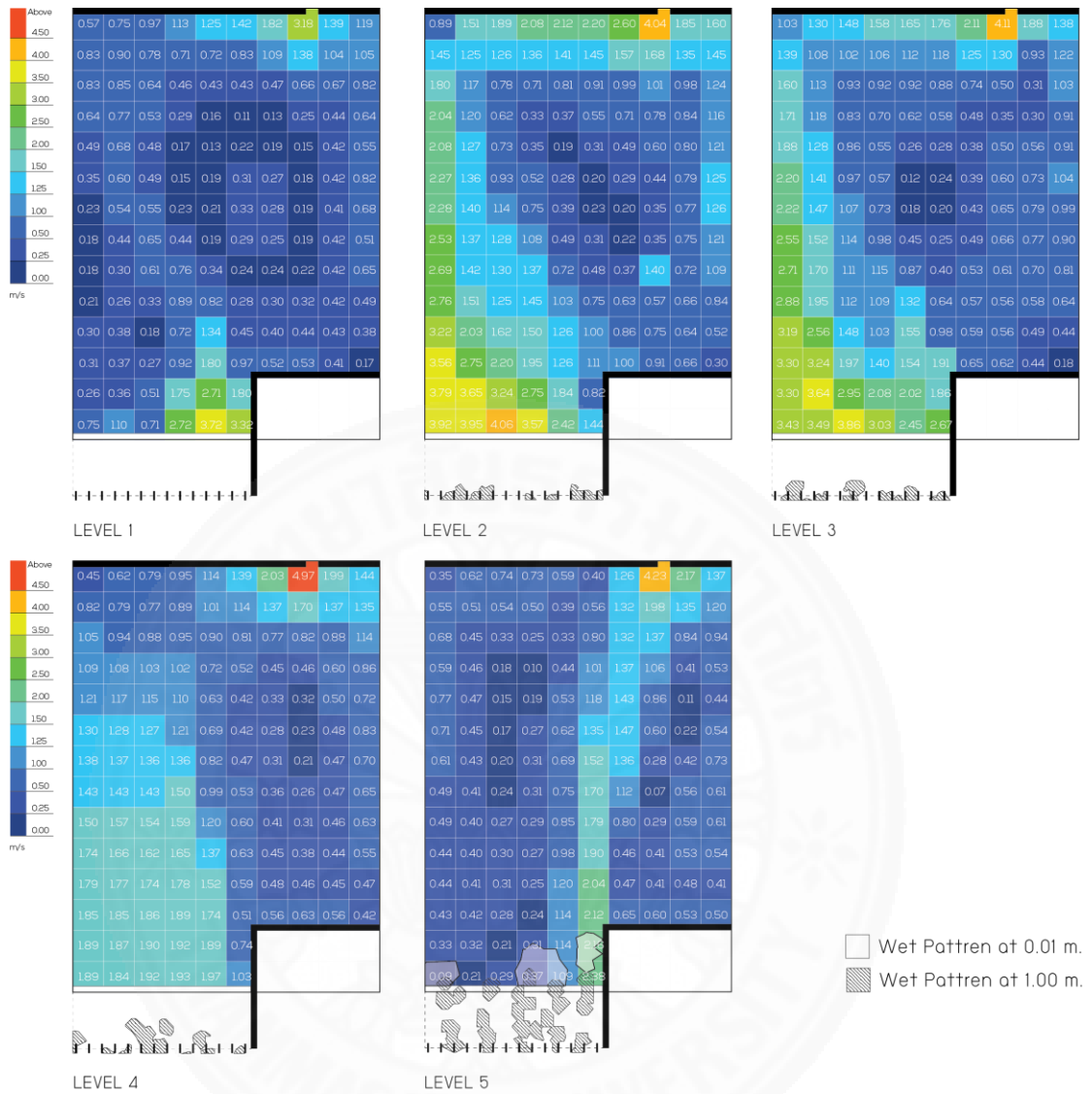
กรณีที่ 6			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	0.89 m/s	3.82 m ²	3.43 m ³ /s
ระดับที่ 2	0.77 m/s		2.94 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.25 m/s		4.79 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.42 m/s		1.61 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.86 m/s		3.32 m ³ /s

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เปือกภายในอาคารดังภาพที่ 4.19 และ 4.20 พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 5 รูปแบบครึ่งแนวเฉียงนั้น ให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร คล้ายกับกรณี 2 นั่นคือลมเข้าพื้นที่ตรวจวัดพุ่งสู่ระดับพื้นในระดับตรวจวัดที่ 2 - 4 จึงมีค่าที่มากเคียงกัน และมีค่าน้อยที่ระดับตรวจวัดที่ 5 เนื่องจากทิศทางลมที่ขึ้นสู่ระดับฝ้า แต่ระดับตรวจวัดที่ 1 นั้น ให้ค่าน้อยที่สุดเนื่องจากการที่ลมเฉียงตัวอ้อมเปลือกอาคารไป แบบจำลองในกรณีที่ 6 ครึ่งแนวอน นั้นมีลักษณะเข้าสู่เปลือกอาคารตรง ๆ และ ลมมีความเร็วในบางระดับลดลงเนื่องจากรูปทรงแนวอนนั้นขวางทิศทางการไหลของลม ส่งผลให้ค่าของความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ระดับตรวจวัดที่ 4 และ 2 มีค่าน้อยกว่าระดับตรวจวัด 3 และ ระดับตรวจวัดที่ 1 ได้รับความอิทธิพลจากเปลือกอาคารเช่นเดียวกับกรณีที่ 4 และ 5 ทำให้มีค่าน้อยที่สุด พื้นที่เปือกในอาคารทั้งสองกรณี ยังได้รับผลกระทบมากในระดับตรวจวัดที่ 5 โดยครึ่งรูปแบบแนวอนได้รับผลกระทบจากฝนน้อยที่สุดจากทั้งสามกรณี

ตารางที่ 4.12

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปือก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 5

กรณีที่ 5			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปือกระดับพื้น	พื้นที่เปือกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	0.65 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.33 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.25 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.06 m/s
ระดับที่ 5	2.65 %	0.33 %	0.71 m/s

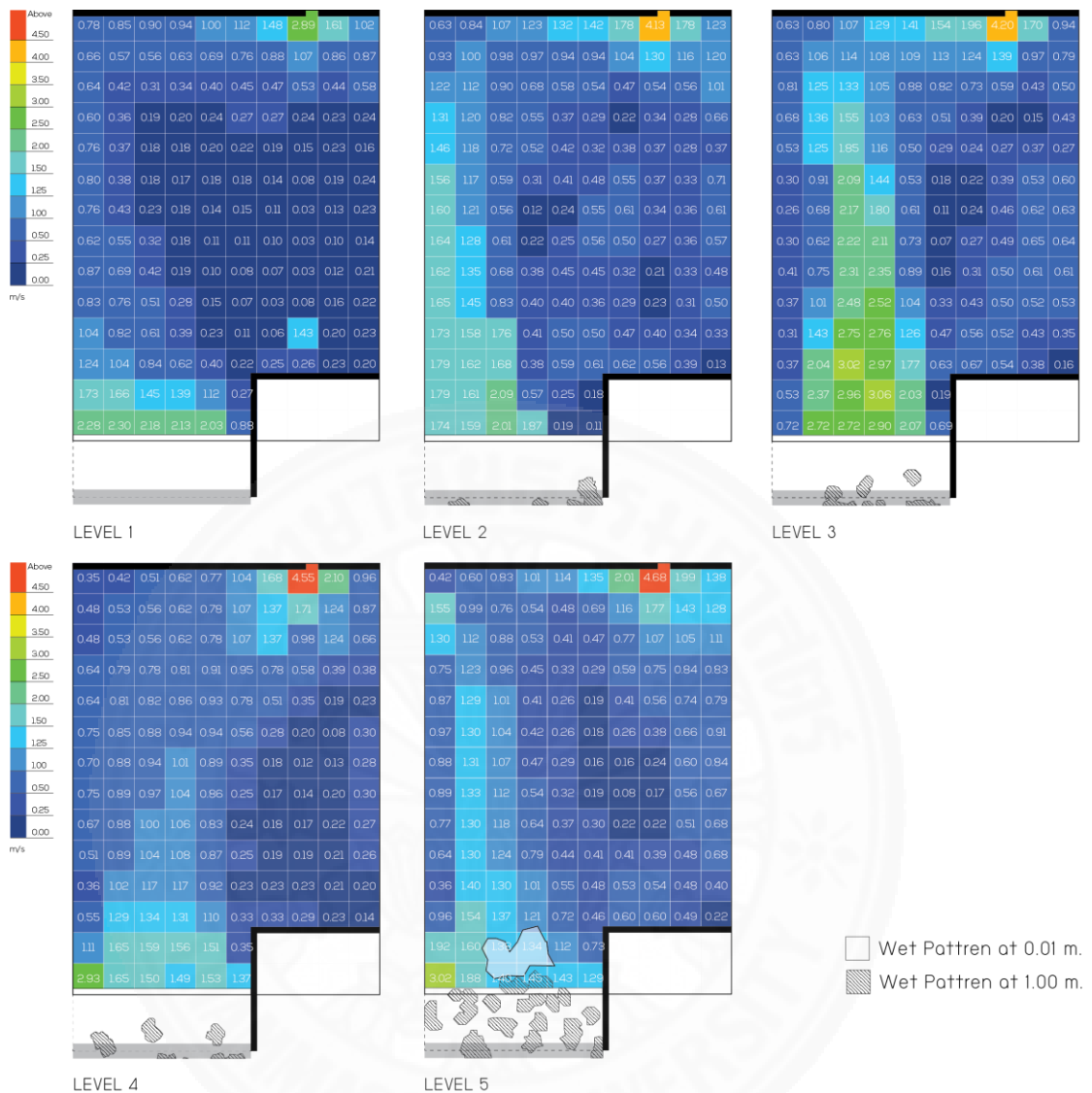


ภาพที่ 4.19 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 5

ตารางที่ 4.13

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 6

กรณีที่ 6			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	0.55 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	0.83 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.03 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	0.77 m/s
ระดับที่ 5	1.86 %	0.46 %	0.85 m/s



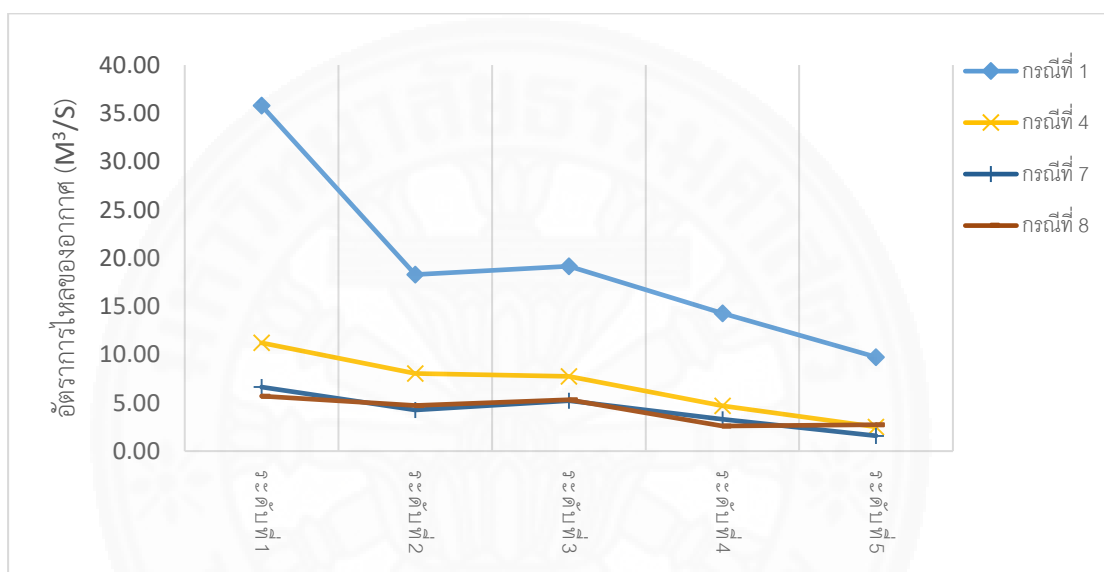
ภาพที่ 4.20 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีศึกษาที่ 6

4.2.2.2 กรณีที่ 7 และ 8 รูปแบบครึ่งแนวเฉียง และแนวนอน (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)

ผลจากแบบจำลองกรณีที่ 4 ถูกยกมาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองกรณีที่ 7 และ 8 การเปลี่ยนรูปแบบของครึ่งนั้นระยะห่างระหว่างครึ่งยังคงเดิมทำให้ไขความละเอียดของเมฆบริเวณครึ่งเปลือกอาคาร อยู่ที่ 0.05 เมตร เป็น 3 เท่าของระยะห่าง กรณีที่ 7 และ 8 จึงมีเมฆรวมทั้งสิ้น 7,703,737 เมฆ และ 7,695,195 เมฆ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.22 และ 4.23 พบว่ากรณีที่ 7 และ 8 นั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมลมเมื่อปะทะตัวอาคารคล้ายกับกรณีที่ 4 ส่งผลให้มีอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือก

อาคารมีค่าสูงสุดในระดับตรวจวัดที่ 1 ระดับตรวจวัดที่ 2 และ 3 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกันแต่มากกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 และระดับตรวจวัดที่ 5 ให้ค่าอัตราการไหลของอากาศน้อยที่สุดในกรณี 7 ส่วนกรณี 8 นั้น การเปลี่ยนรูปแบบครีบของเปลือกอาคารเป็นแนวนอนส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุผลเดียวกับการเพิ่มระยะห่างของเปลือกอาคาร กรณีที่ 8 จึงให้ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศ สูงที่สุดจากทั้งสามกรณี ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศในกรณี 7 และ 8 นั้นแสดงตามตารางที่ 4.14 และ 4.15 และเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.21

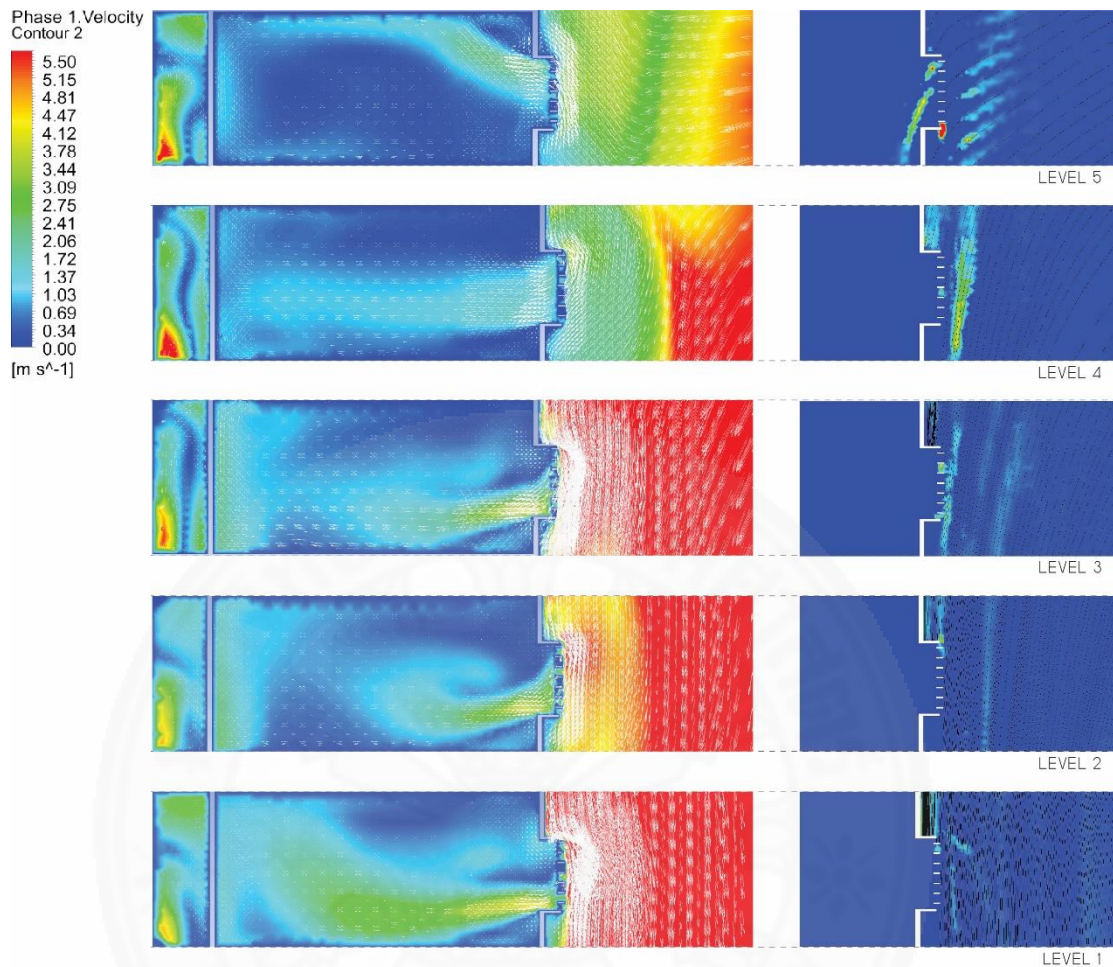


ภาพที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 4 7 และ 8

ตารางที่ 4.14

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณี 7

กรณี 7			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	1.76 m/s	3.77 m ²	6.64 m ³ /s
ระดับที่ 2	1.13 m/s		4.26 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.39 m/s		5.24 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.87 m/s		3.31 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.42 m/s		1.59 m ³ /s

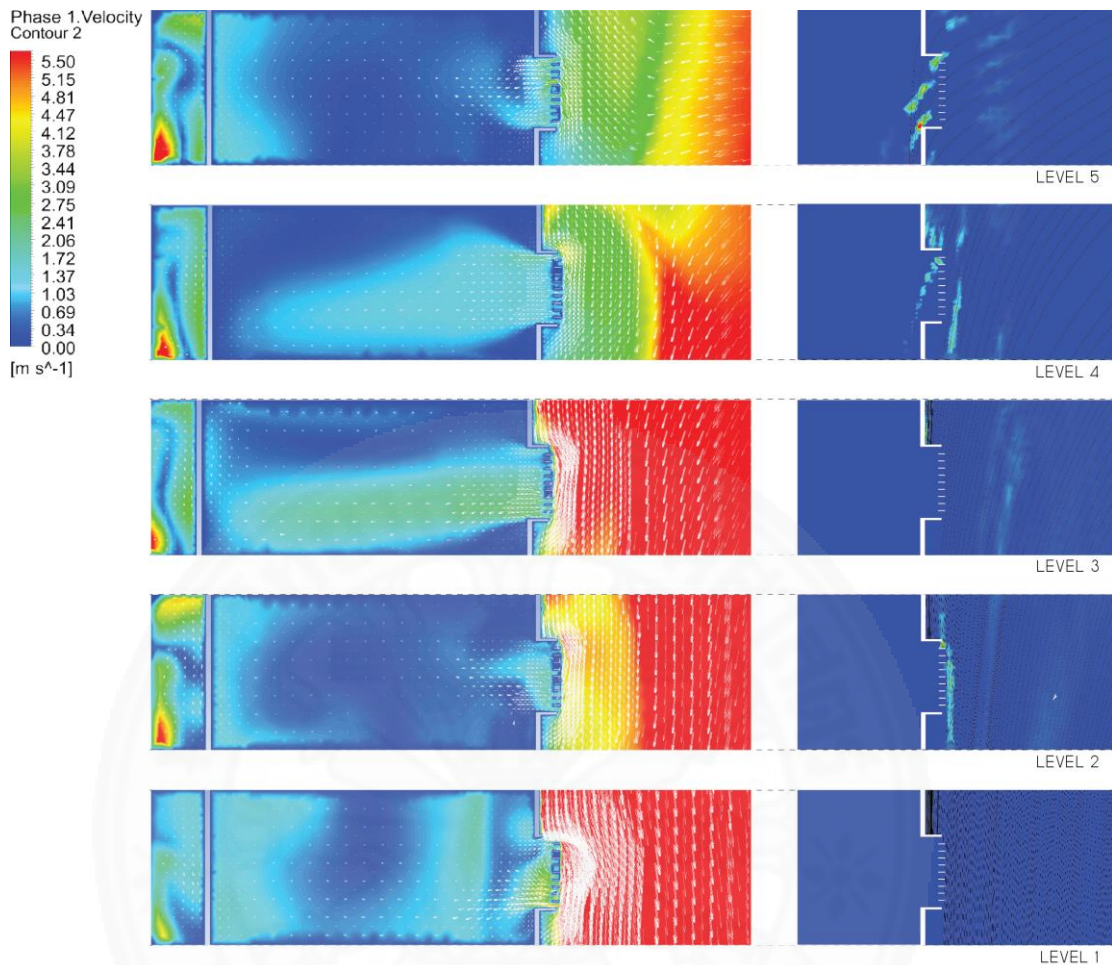


ภาพที่ 4.22 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 7

ตารางที่ 4.15

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 8

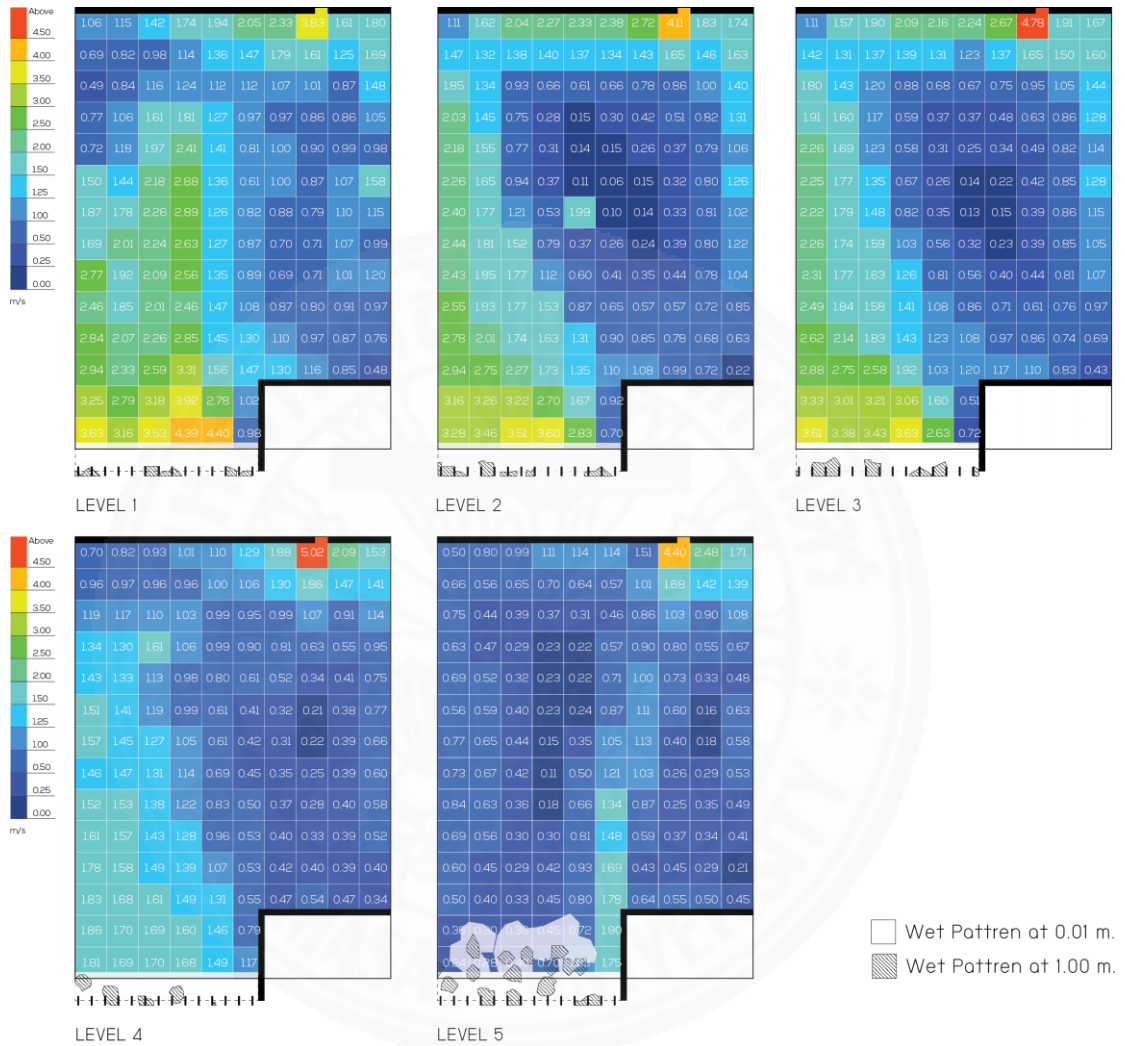
กรณีที่ 8			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	1.49 m/s	3.82 m ²	5.70 m ³ /s
ระดับที่ 2	1.24 m/s		4.74 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.39 m/s		5.34 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.68 m/s		2.60 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.71 m/s		2.74 m ³ /s



ภาพที่ 4.23 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 8

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เปียกภายในอาคารดังภาพที่ 4.24 และ 4.25 พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 7 รูปแบบครึ่งแนวเฉียงนั้น ให้ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร คล้ายกับกรณีตั้งต้นที่ 4 ให้ค่าในพื้นที่ตรวจวัดระดับที่ 1-4 สูงกว่าระดับตรวจวัดที่ 5 เนื่องจากทิศทางของลมที่เข้าสู่ตัวอาคารพุ่งลงสู่ระดับพื้น ขณะที่ ระดับตรวจวัดที่ 5 นั้นลมเคลื่อนที่ขึ้นสู่ระดับฝ้า เปลือกอาคารในแบบจำลองกรณีที่ 7 ยังทำให้เกิดพื้นที่เปียกในระดับที่ 5 ขณะที่แบบจำลองในกรณีที่ 8 ครึ่งแนวนอน ให้แนวโน้มของความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร คล้ายกรณีครึ่งแนวนอนที่ระยะ 1.00 เมตร กรณีที่ 6 โดยมีลักษณะเข้าสู่เปลือกอาคารตรง ๆ และ ลมมีความเร็วในบางระดับลดลงเนื่องจากรูปทรงแนวนอนนั้นขวางทิศทาง การไหลของลมค่าของความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตรระดับตรวจวัดที่ 4 และ 2 มีค่าน้อยกว่าระดับตรวจวัด 1 และ 3 ค่อนข้างมากกว่ากรณีตั้งต้นที่ 4 เปลือกอาคารในแบบจำลองที่ 8 แม้จะส่งผลให้เกิดพื้นที่เปียกขึ้นในระดับตรวจวัดที่ 2-4 ด้วยแต่ในระดับตรวจวัดที่ 5 ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ให้ค่าของพื้นที่เปียกดีที่่สุดจากทั้ง 3 กรณี

ผลของพื้นที่เปียก และ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 1 เมตร ของแต่ละระดับตรวจวัด ในกรณีที่ 7 และ 8 นั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.16 และ 4.17

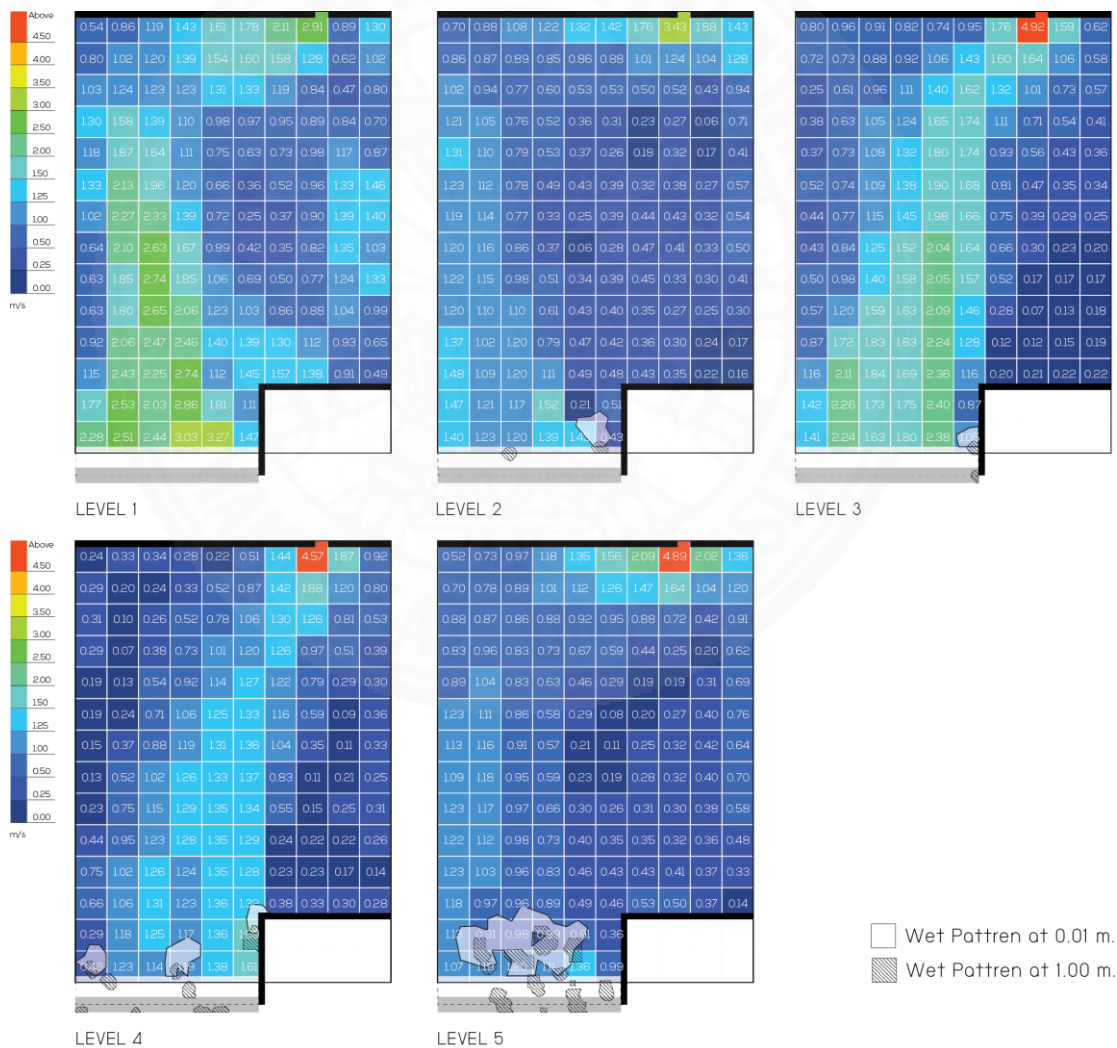


ภาพที่ 4.24 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 7

ตารางที่ 4.16

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 7

กรณีที่ 7			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	1.67 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.31 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.35 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.06 m/s
ระดับที่ 5	4.53 %	1.03 %	0.69 m/s



ภาพที่ 4.25 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 8

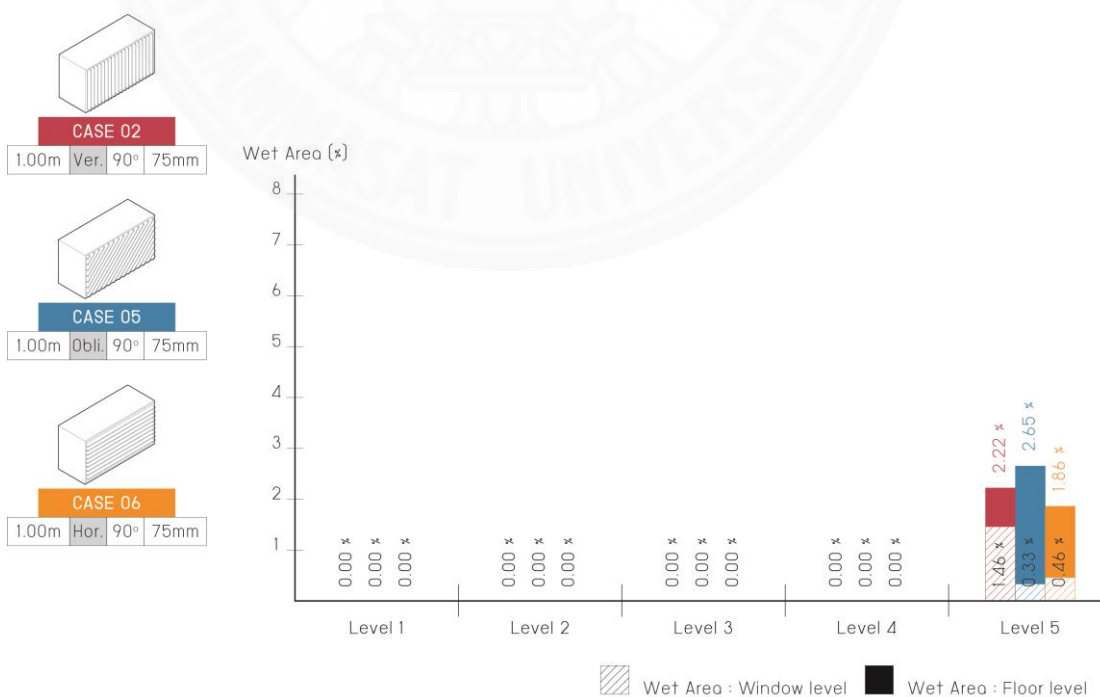
ตารางที่ 4.17

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 8

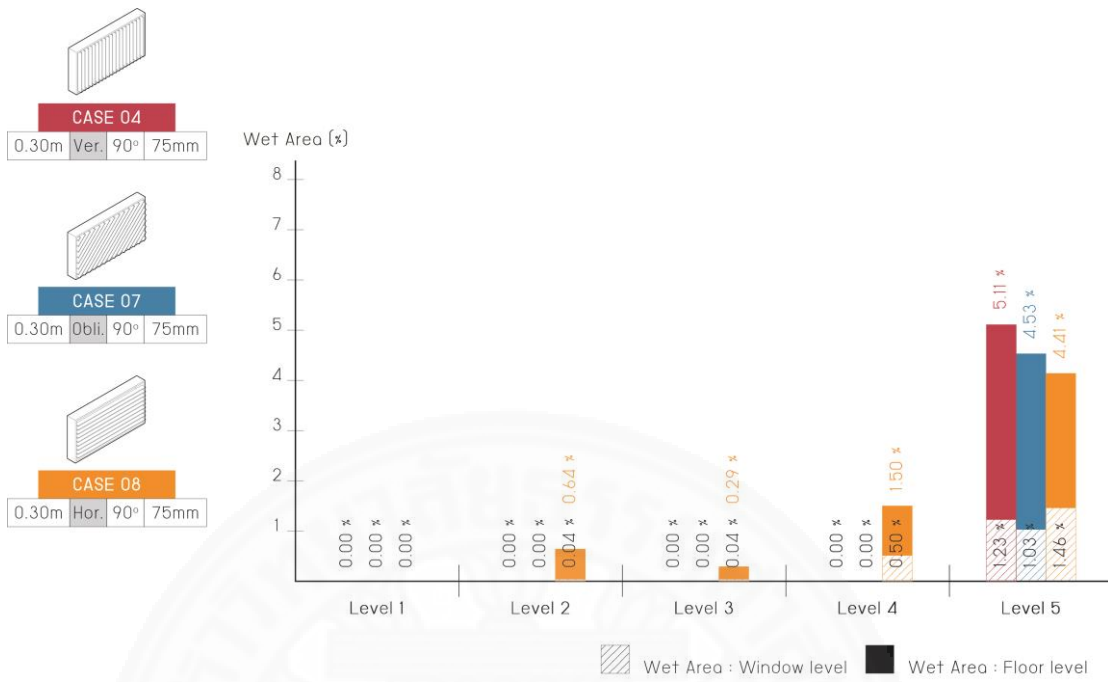
กรณีที่ 8			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	1.34 m/s
ระดับที่ 2	0.64 %	0.04 %	0.73 m/s
ระดับที่ 3	0.29 %	0.04 %	1.06 m/s
ระดับที่ 4	1.50 %	0.50 %	0.78 m/s
ระดับที่ 5	4.41 %	1.46 %	0.77 m/s

4.2.2.3 สรุปผลตัวแปรรูปแบบของครีป กรณีที่ 5-8

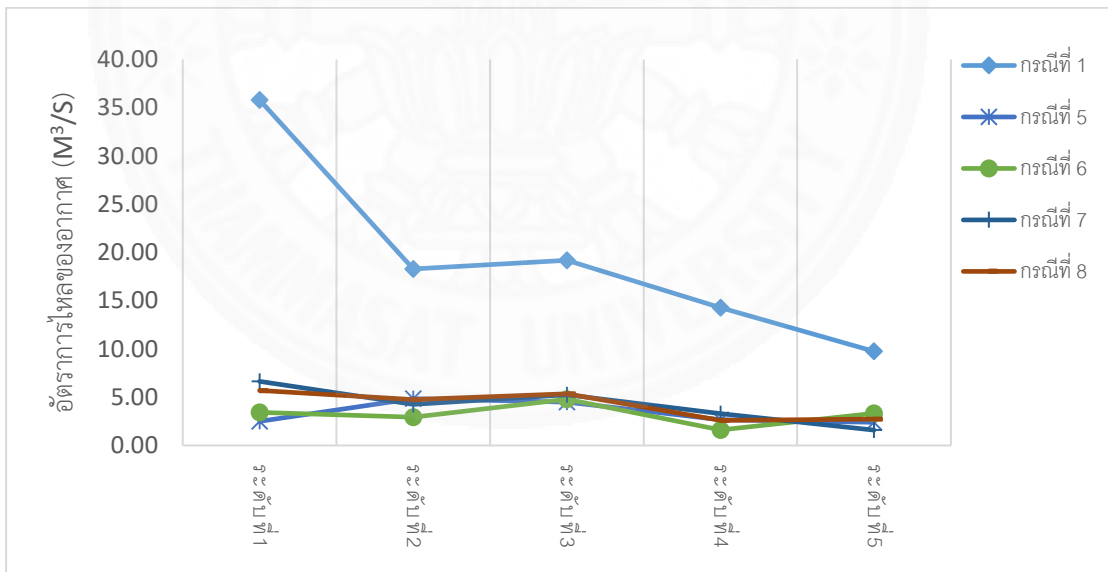
การเปรียบเทียบตัวแปรรูปแบบของครีปในกรณีที่ 5-8 ดังกราฟในภาพที่ 4.27 - 4.28 นั้นพบว่ารูปแบบเปลือกอาคารแบบแนวตั้งนั้นให้ผลของอัตราการไหลของอากาศได้ดีที่สุดจากทั้งสามรูปแบบ เนื่องจากรูปทรงที่ไม่ขวางทิศทางการไหลของลมที่ไหลในเหมือน รูปแบบแนวเฉียงและแนวนอน แต่ในระดับที่ 5 นั้นรูปแบบแนวนอน ส่งผลให้มีอัตราการไหลของอากาศได้ใกล้เคียงกับรูปแบบแนวตั้ง และยังป้องกันผลกระทบจากฝนได้ดีกว่ารูปแบบอื่น



ภาพที่ 4.26 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 2 5 และ 6



ภาพที่ 4.27 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 4 7 และ 8



ภาพที่ 4.28 กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 5-8

4.2.3 องศาการเอียงของครีบบ

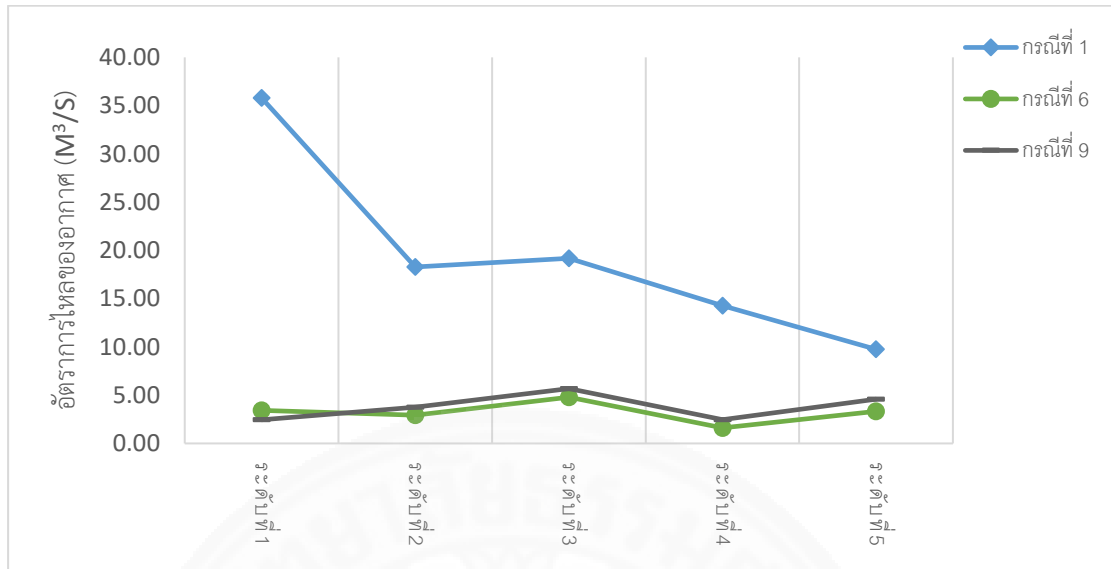
องศาการเอียงของครีบบเปลือกอาคารนั้นทำการศึกษาโดยการนำกรณีที่ 4 ระยะห่างการติดตั้งเปลือกอาคาร 0.30 เมตร รูปแบบแนวตั้ง ครีบบ 90 องศา กรณีที่ 6 ระยะห่างการติดตั้งเปลือกอาคาร 1.00 เมตร รูปแบบแนวนอน ครีบบ 90 องศา และกรณีที่ 8 ระยะห่างการติดตั้งเปลือกอาคาร 0.30 เมตร รูปแบบแนวนอน ครีบบ 90 มาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อศึกษา องศาการเอียงของครีบบเปลือกอาคาร ที่เปลี่ยนไปเป็น 60 และ 30 องศา ทั้งสิ้น 5 กรณี ได้แก่

- 1) กรณีที่ 9 : เปลือกอาคารระยะห่าง 1.00 เมตร รูปแบบครีบบแนวนอน เอียง 60 องศา
- 2) กรณีที่ 10 : เปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบครีบบแนวตั้ง เอียง 60 องศา
- 3) กรณีที่ 11 : เปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบครีบบแนวเอียง เอียง 30 องศา
- 4) กรณีที่ 12 : เปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบครีบบแนวนอน เอียง 60 องศา
- 5) กรณีที่ 13 : เปลือกอาคารระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบครีบบแนวนอน เอียง 30 องศา

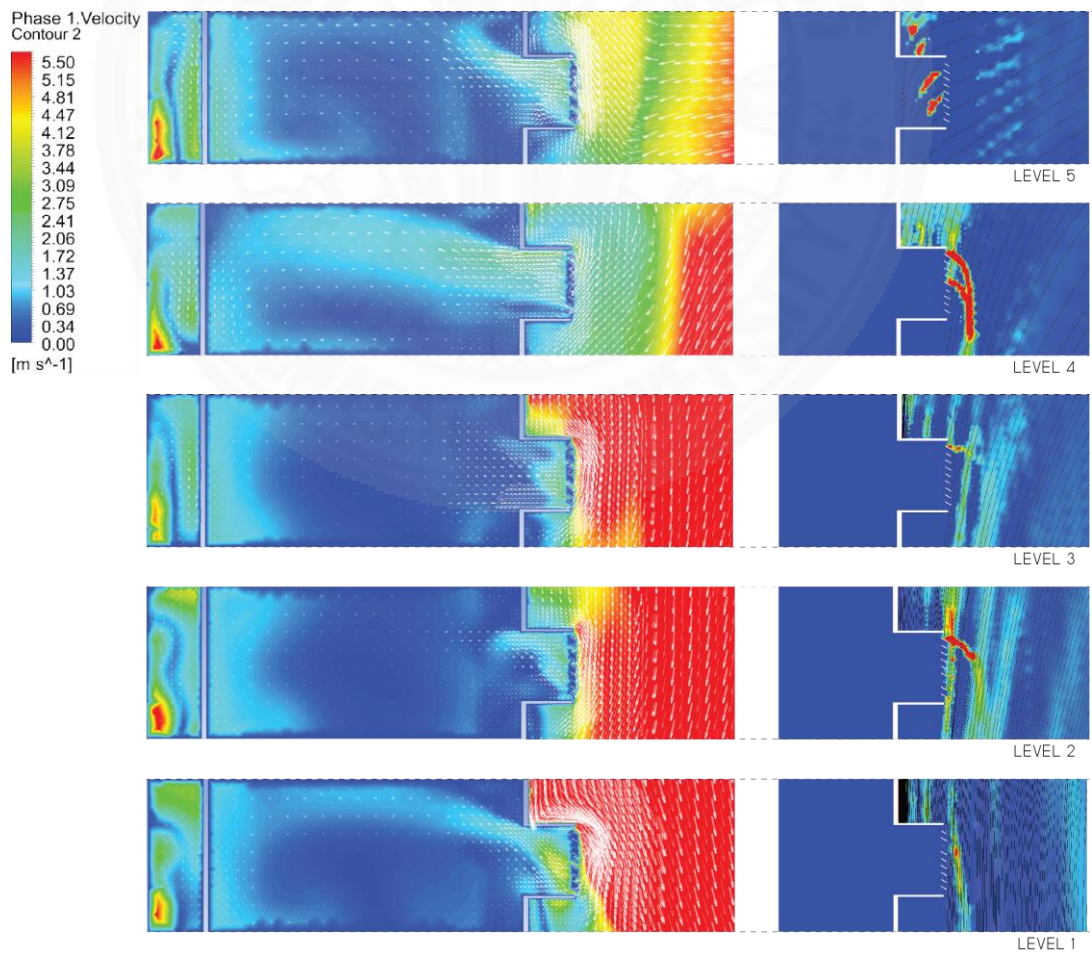
4.2.3.1 กรณีที่ 9 ครีบบแนวนอน เอียง 60 องศา (ระยะห่างของการติดตั้ง 1.00 เมตร)

ผลจากแบบจำลองกรณีที่ 6 ครีบบแนวนอน 90 องศา ที่ระยะ 1.00 เมตร ถูกยกมาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบกับ แบบจำลองกรณีที่ 9 การปรับองศาของครีบบเปลือกอาคารลงเป็น 60 องศา เมฆของเปลือกอาคารจึงลงเป็น 0.04 เมตร ซึ่งยังคงเป็น 3 เท่าของระยะห่างระหว่างครีบบ ทำให้มีเมฆรวมอยู่ที่ 7,692,166 เมฆ

จากภาพที่ 4.30 พบว่ากรณีที่ 9 การปรับครีบบของเปลือกอาคารแนวนอนลงเป็น 60 องศา นั้นยังให้แนวโน้มของอัตราการไหลของอากาศ คล้ายกับกรณีตั้งต้น กรณีที่ 6 โดยระดับตรวจวัดที่ 5 มีอัตราการไหลของอากาศสูงกว่าระดับที่ 4 ระดับตรวจวัดที่ 3 เพิ่มขึ้นจากระดับตรวจวัดที่ 4 และ ลดลงที่ระดับตรวจวัดที่ 2 และ 1 ตามลำดับโดยระดับตรวจวัดที่ 2-5 นั้นให้ค่าสูงกว่ากรณีตั้งต้นที่ 6 เล็กน้อย ในขณะที่ระดับตรวจวัดที่ 1 ให้ค่าน้อยกว่า ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ 9 นั้นแสดงตามตารางที่ 4.18 และเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 6 และ 9



ภาพที่ 4.30 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 9

ตารางที่ 4.18

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 9

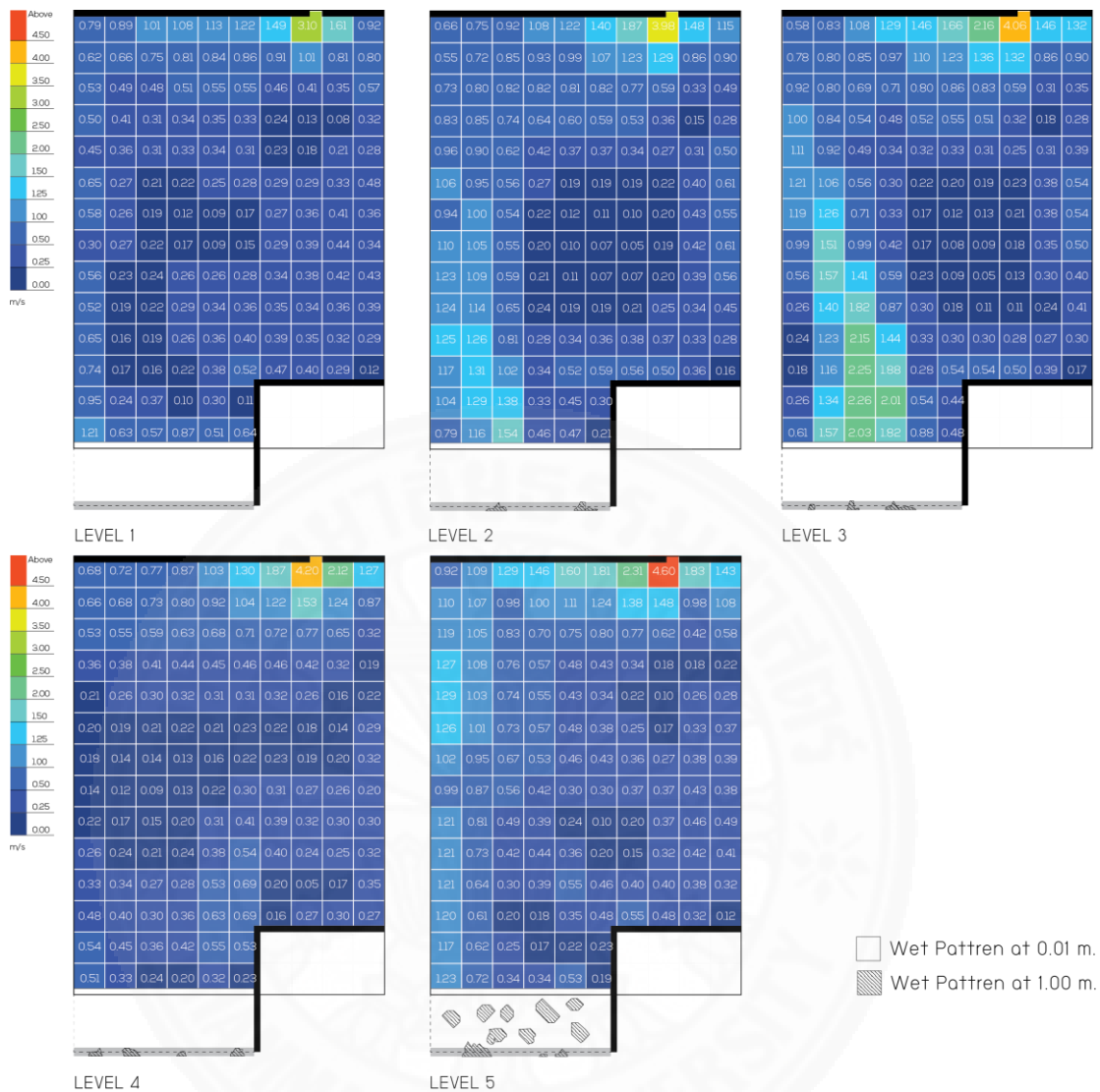
กรณีที่ 9			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	0.66 m/s	3.75 m ²	2.49 m ³ /s
ระดับที่ 2	1.01 m/s		3.80 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.55 m/s		5.77 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.67 m/s		2.51 m ³ /s
ระดับที่ 5	1.24 m/s		4.67 m ³ /s

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เป็ยกภายในอาคารดังภาพที่ 4.31 พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 9 การปรับองศาของครีบลมเป็น 60 องศา นั้นส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ในทุกระดับชั้นมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากลมที่เข้าสู่อาคารมีทิศทางขึ้นสูงระดับฝ้าเพดาน และในระดับที่ 1 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเนื่องจากผบกระทบจากระยะห่างของเปลือกอาคาร แต่แบบจำลองกรณีที่ 9 นั้นสามารถป้องกันผลกระทบจากฝนได้ทั้งหมด พื้นที่ตรวจวัดระดับที่ 5 ที่ได้รับผลกระทบจากฝนมากที่สุด นั้นไม่เกิดพื้นที่เป็ยกขึ้นในระดับพื้น ผลของพื้นที่เป็ยก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 1 เมตร ของแต่ละระดับตรวจวัด ในกรณีที่ 9 นั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เป็ยก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 9

กรณีที่ 9			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เป็ยกระดับพื้น	พื้นที่เป็ยกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	0.46 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	0.65 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	0.74 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	0.46 m/s
ระดับที่ 5	0.00 %	0.00 %	0.66 m/s

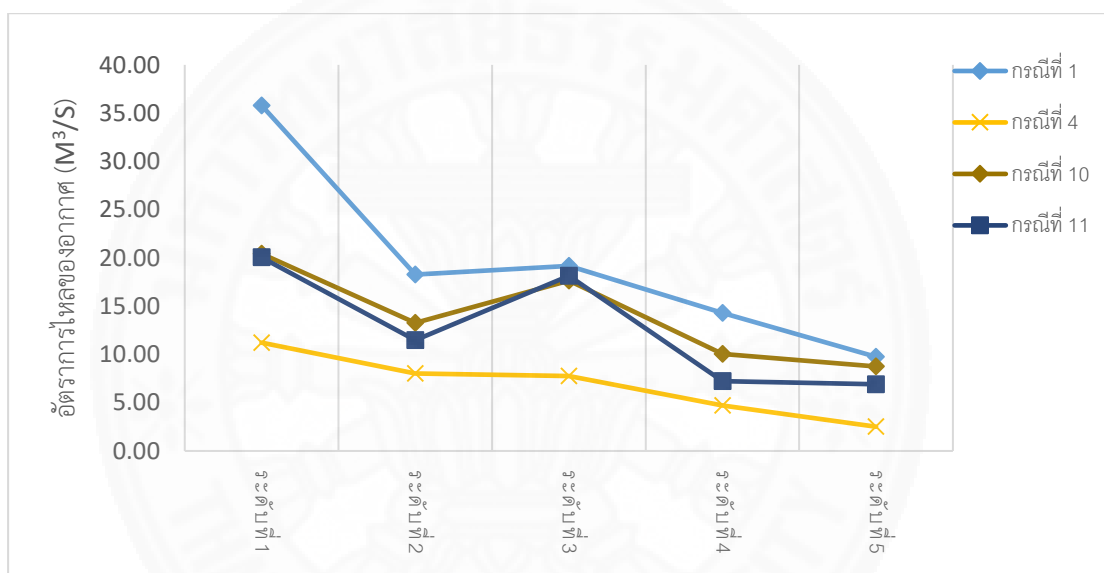


ภาพที่ 4.31 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 9

4.2.3.2 กรณีที่ 10 และ 11 ครีบนวดตั้ง เอียง 60 และ 30 องศา (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)

ผลจากแบบจำลองกรณีที่ 4 ครีบนวดตั้ง 90 องศา ที่ระยะ 0.30 เมตร ถูกยกมาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบกับ แบบจำลองกรณีที่ 11 และ 12 การปรับองศาของครีบล้อกอาคารลงเป็น 60 และ 30 องศา เมฆของเปลือกอาคารจึงลงเป็น 0.04 เมตร ในกรณีที่ 11 ยังคงเป็น 3 เท่าของระยะห่างระหว่างครีบล้อก และ ด้วยข้อจำกัดทางคอมพิวเตอร์จึงกำหนดขนาดเป็น 0.03 ในกรณีที่ 12 เป็น 2 เท่าของระยะห่างระหว่างครีบล้อก ทำให้มีเมฆรวมของกรณีที่ 11 และ 12 อยู่ที่ 7,701,547 เมฆ และ 7,712,768 เมฆ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.33 และ 4.34 พบว่ากรณีที่ 10 การปรับ crib ของเปลือกอาคารแนวตั้งลงเป็น 60 องศา นั้นยังให้แนวโน้มของอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มมากขึ้นจากกรณีตั้งต้นที่ 4 ค่อนข้างสูง โดยระดับตรวจวัดที่ 5 ให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารน้อยที่สุด และเพิ่มมากขึ้นในระดับตรวจวัดที่ 4 และ 3 ก่อนจะลดลงเล็กน้อยที่ระดับตรวจวัดที่ 2 และ ให้ค่าสูงสูงที่ระดับตรวจวัดที่ 1 แบบจำลองกรณีที่ 11 การปรับ crib ของเปลือกอาคารแนวตั้งลงเป็น 30 องศา ให้ผลคล้ายกับกรณีที่ 10 แต่มีค่าที่น้อยกว่าเล็กน้อย ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ 10 และ 11 นั้นแสดงตามตารางที่ 4.20 และ 4.21 และเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.32

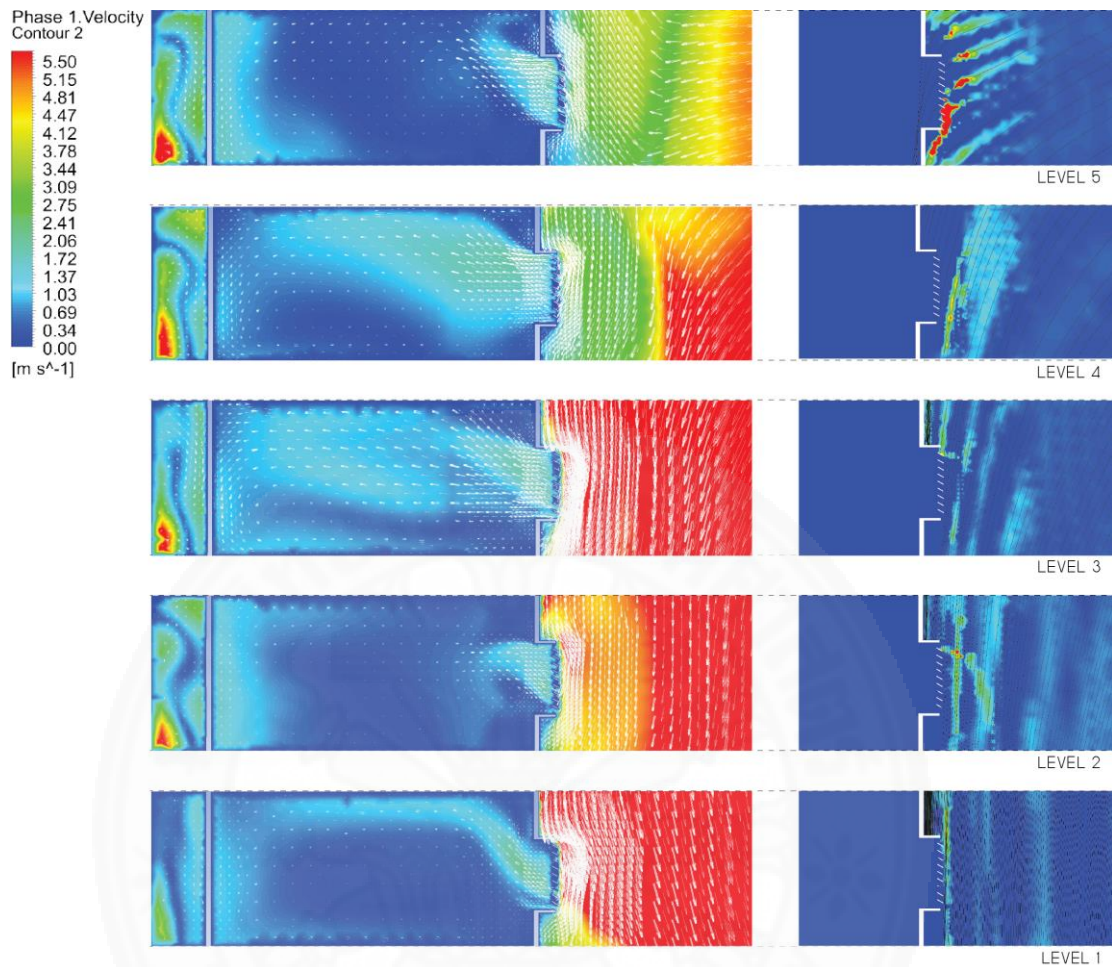


ภาพที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 4 10 และ 11

ตารางที่ 4.20

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 10

กรณีที่ 10			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	5.53 m/s	3.69 m ²	20.43 m ³ /s
ระดับที่ 2	3.59 m/s		13.27 m ³ /s
ระดับที่ 3	4.78 m/s		17.64 m ³ /s
ระดับที่ 4	2.72 m/s		10.04 m ³ /s
ระดับที่ 5	2.37 m/s		8.75 m ³ /s

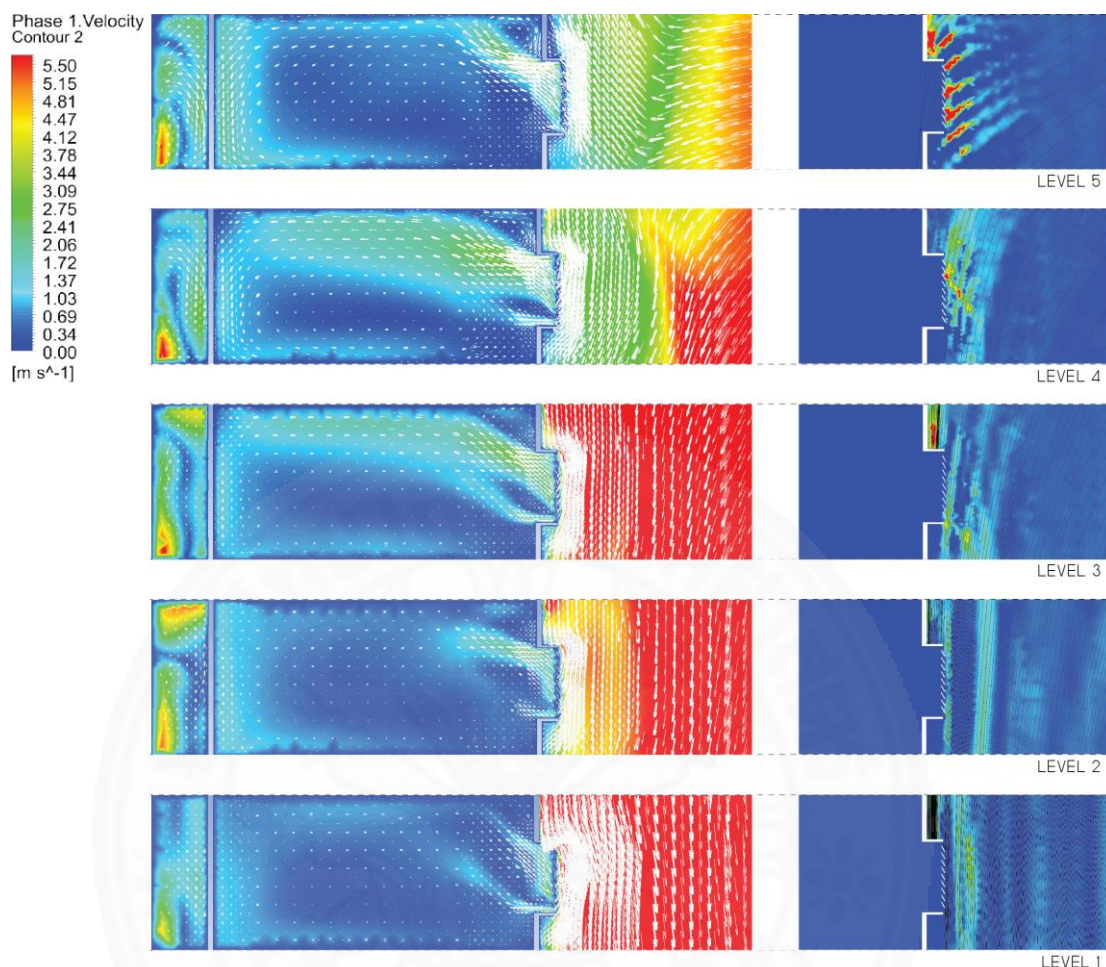


ภาพที่ 4.33 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีศึกษาที่ 10

ตารางที่ 4.21

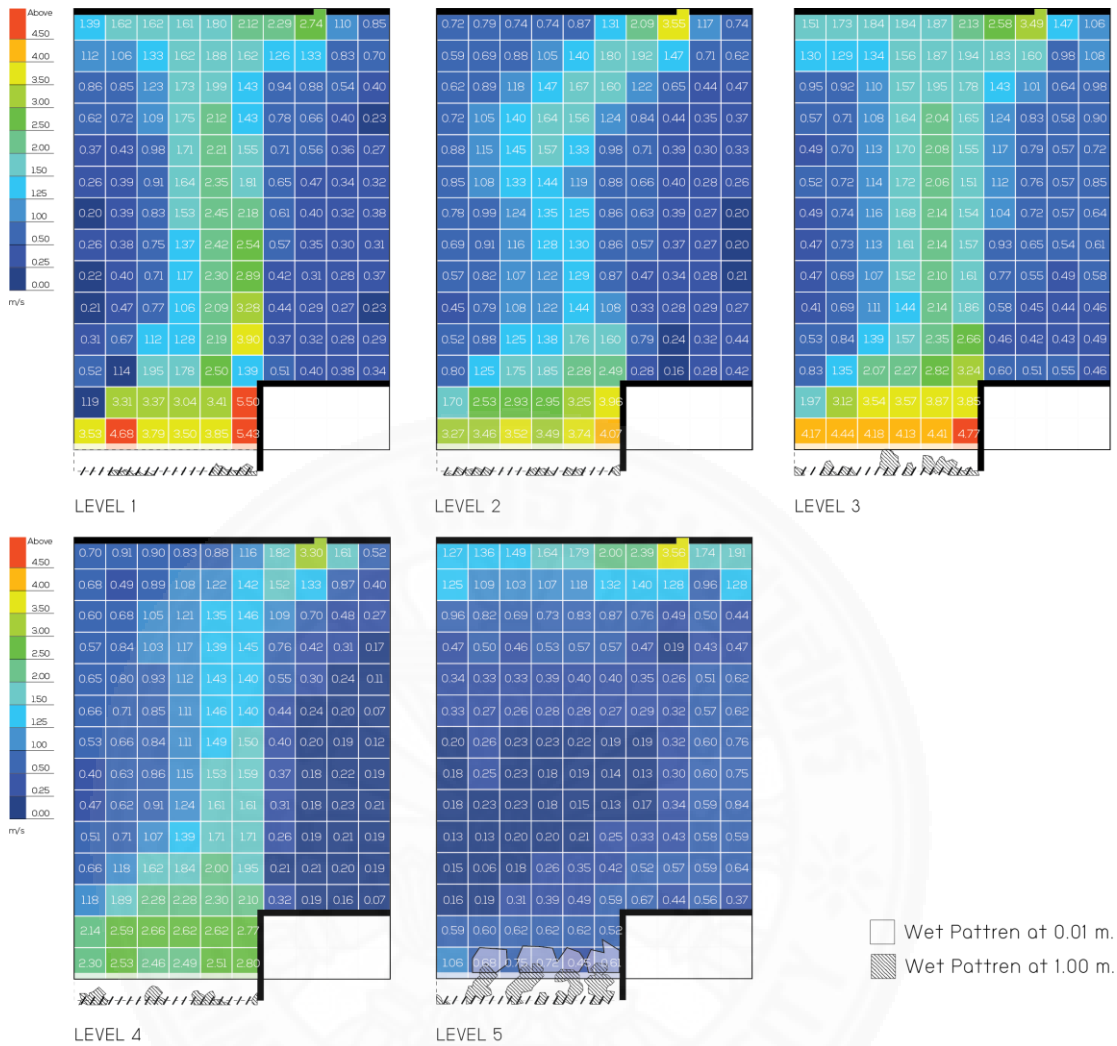
ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีศึกษาที่ 11

กรณีศึกษาที่ 11			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	6.24 m/s	3.21 m ²	20.05 m ³ /s
ระดับที่ 2	3.57 m/s		11.49 m ³ /s
ระดับที่ 3	5.65 m/s		18.14 m ³ /s
ระดับที่ 4	2.25 m/s		7.24 m ³ /s
ระดับที่ 5	2.15 m/s		6.91 m ³ /s



ภาพที่ 4.34 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 11

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เปียกภายในอาคารดังภาพที่ 4.35 และ 4.36 พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 10 และ 11 นั้นมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร สูงใกล้เคียงกันในระดับตรวจวัดที่ 1-4 และ ระดับตรวจวัดที่ 5 ให้ค่าน้อยที่สุด เนื่องจากมีทิศทางเคลื่อนที่ของลมเข้าสู่อาคารคล้ายกรณีตั้งต้น ระดับตรวจวัด 1-4 เคลื่อนที่ลงสู่ระดับพื้น และ ระดับตรวจวัดที่ 5 ขึ้นสู่ระดับฝ้า ทั้งสองกรณียังทำให้เกิดพื้นที่เปียกขึ้นในระดับพื้นของพื้นที่ตรวจวัดระดับตรวจวัดที่ 5 กรณีที่ 11 ให้ผลในการป้องกันผลกระทบจากฝนได้ดีที่สุดจากทั้ง 3 กรณี ผลของพื้นที่เปียก และ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 1 เมตร ของแต่ละระดับตรวจวัด ในกรณีที่ 10 และ 11 นั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.22 และ 4.23

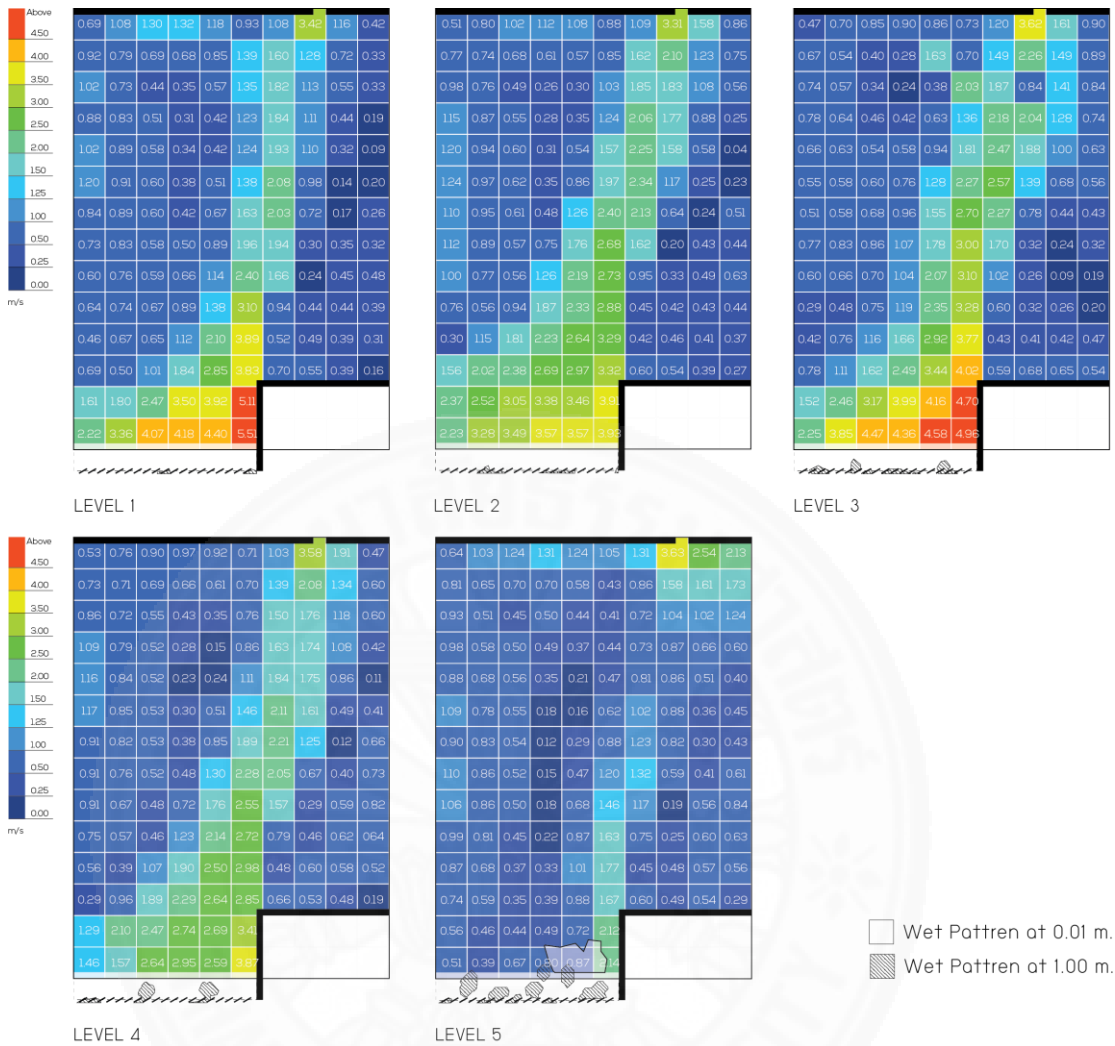


ภาพที่ 4.35 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 10

ตารางที่ 4.22

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 10

กรณีที่ 10			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	1.30 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.14 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.54 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.03 m/s
ระดับที่ 5	2.35 %	0.32 %	0.59 m/s



ภาพที่ 4.36 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 11

ตารางที่ 4.23

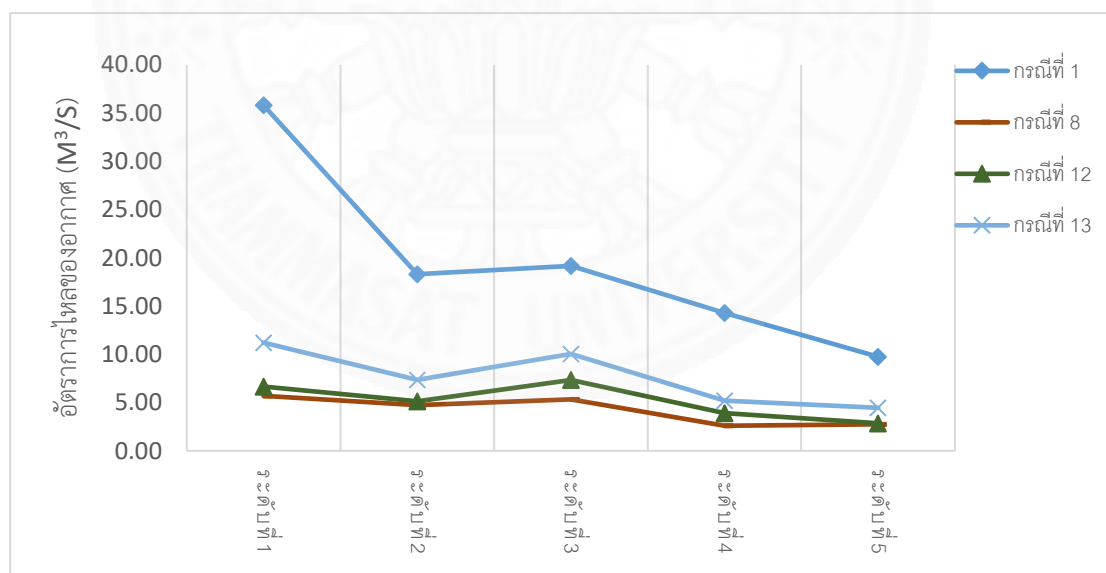
ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 11

กรณีที่ 11			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	1.16 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	1.28 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	1.35 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	1.14 m/s
ระดับที่ 5	1.22 %	0.12 %	0.80 m/s

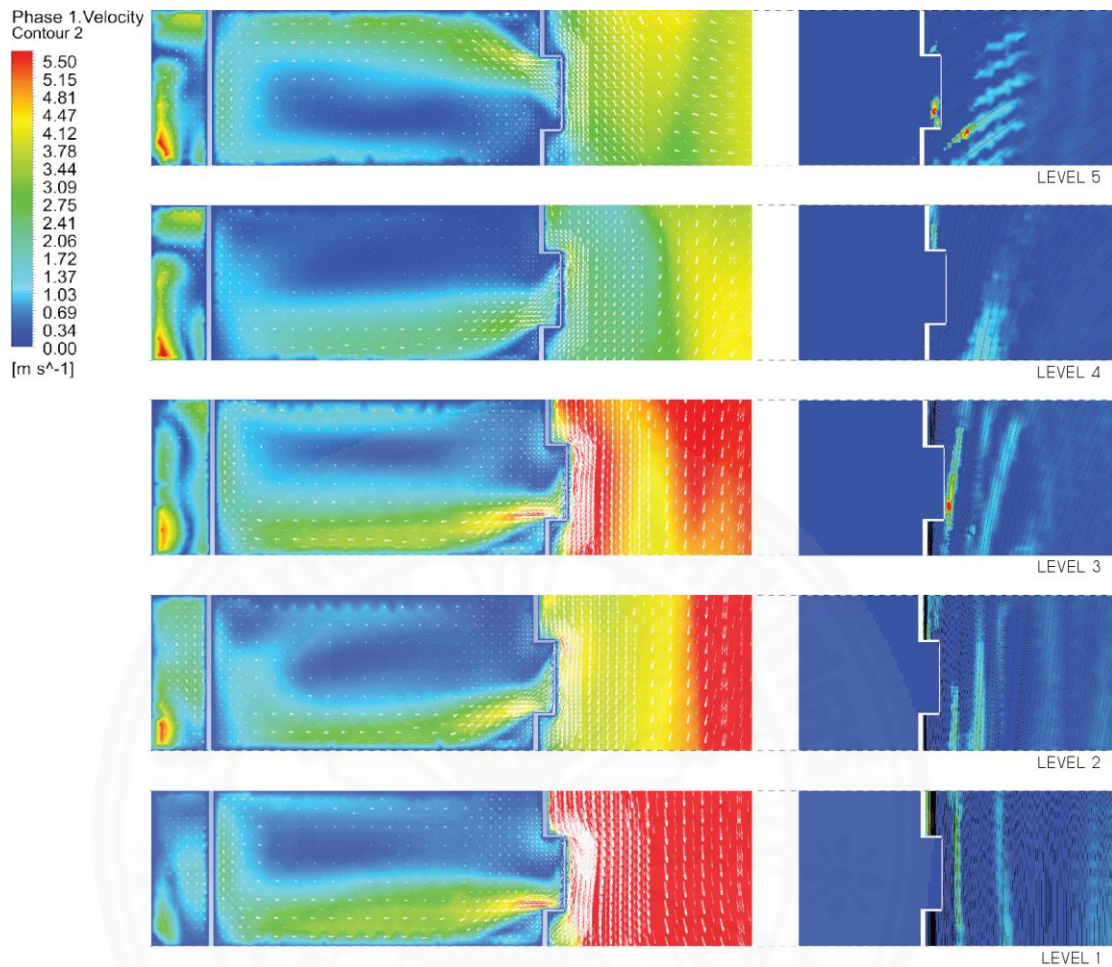
4.2.3.3 กรณีที่ 12 และ 13 ครีบนวนอน เอียง 60 และ 30 องศา (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)

ผลจากแบบจำลองกรณีที่ 8 ครีบนวนอน 90 องศา ที่ระยะ 0.30 เมตร ถูกยกมาเป็นกรณีตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบกับ แบบจำลองกรณีที่ 12 และ 13 การปรับองศาของครีบบเปลือกอาคารลงเป็น 60 และ 30 องศา กำหนดเหมือนกับกรณีที่ 10 และ 11 ทำให้มีเมฆรวมของกรณีที่ 12 และ 13 อยู่ที่ เมฆ และ เมฆ ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.38 และ 4.39 พบว่ากรณีที่ 12 และ 13 การปรับครีบนวนอนลงเป็น 60 และ 30 องศา นั้นให้แนวโน้มในแต่ละระดับตรวจวัดใกล้เคียงกันกับกรณีตั้งต้นที่ 8 โดยระดับตรวจวัดที่ 5 มีค่าน้อยกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 ระดับตรวจวัดที่ 2 และ 3 มีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่มากกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 และให้ค่าสูงในระดับตรวจวัดที่ 1 การปรับองศาของเปลือกอาคารเป็น 60 นั้นส่งผลให้มีอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารสูงขึ้นกว่ากรณีตั้งต้น และ 30 องศาให้ค่ามากที่สุด ผลของค่าอัตราการไหลของอากาศในกรณีที่ 12 และ 13 นั้นแสดงตามตารางที่ 4.24 และ 4.25 และเปรียบเทียบกันได้ดังกราฟจากภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.37 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 8 12 และ 13

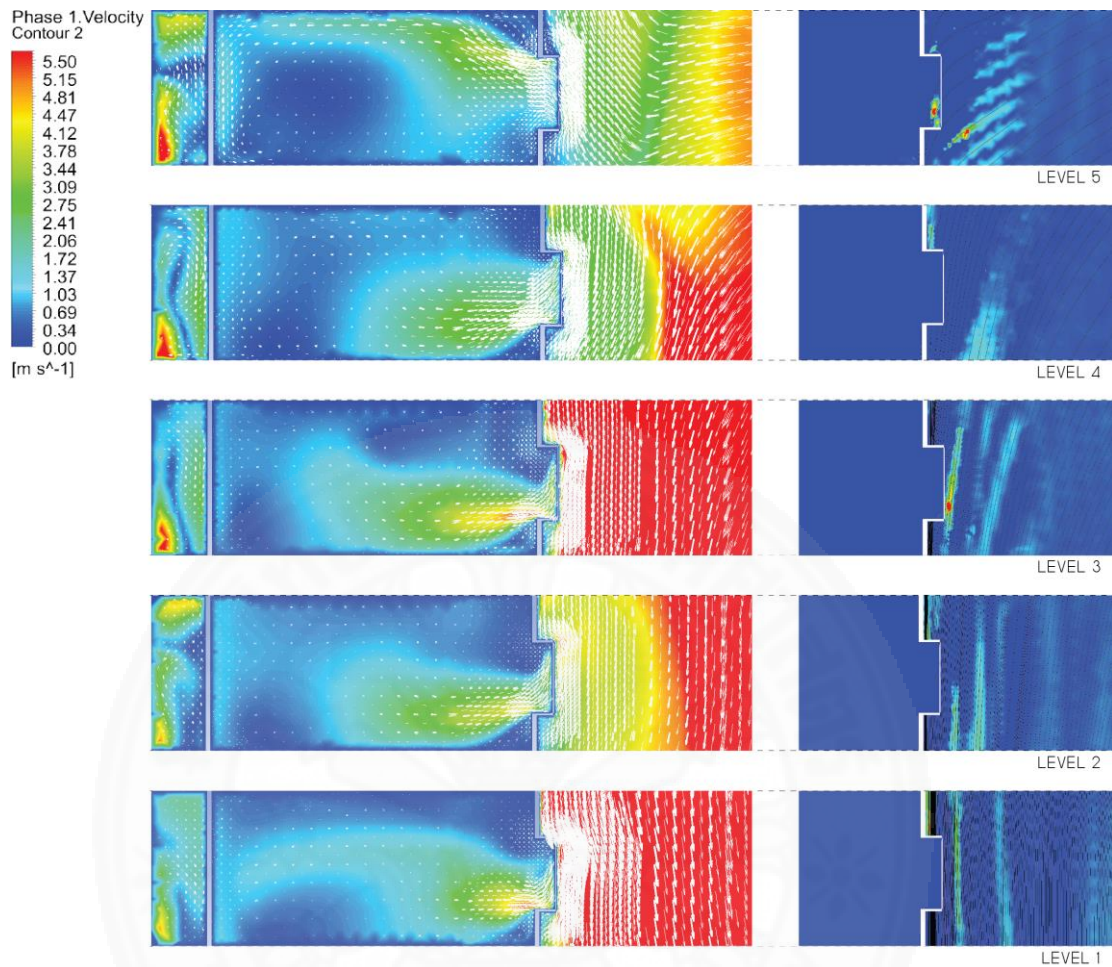


ภาพที่ 4.38 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 12

ตารางที่ 4.24

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 12

กรณีที่ 12			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	1.77 m/s	3.75 m ²	6.65 m ³ /s
ระดับที่ 2	1.36 m/s		5.14 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.95 m/s		7.34 m ³ /s
ระดับที่ 4	1.04 m/s		3.91 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.77 m/s		2.86 m ³ /s



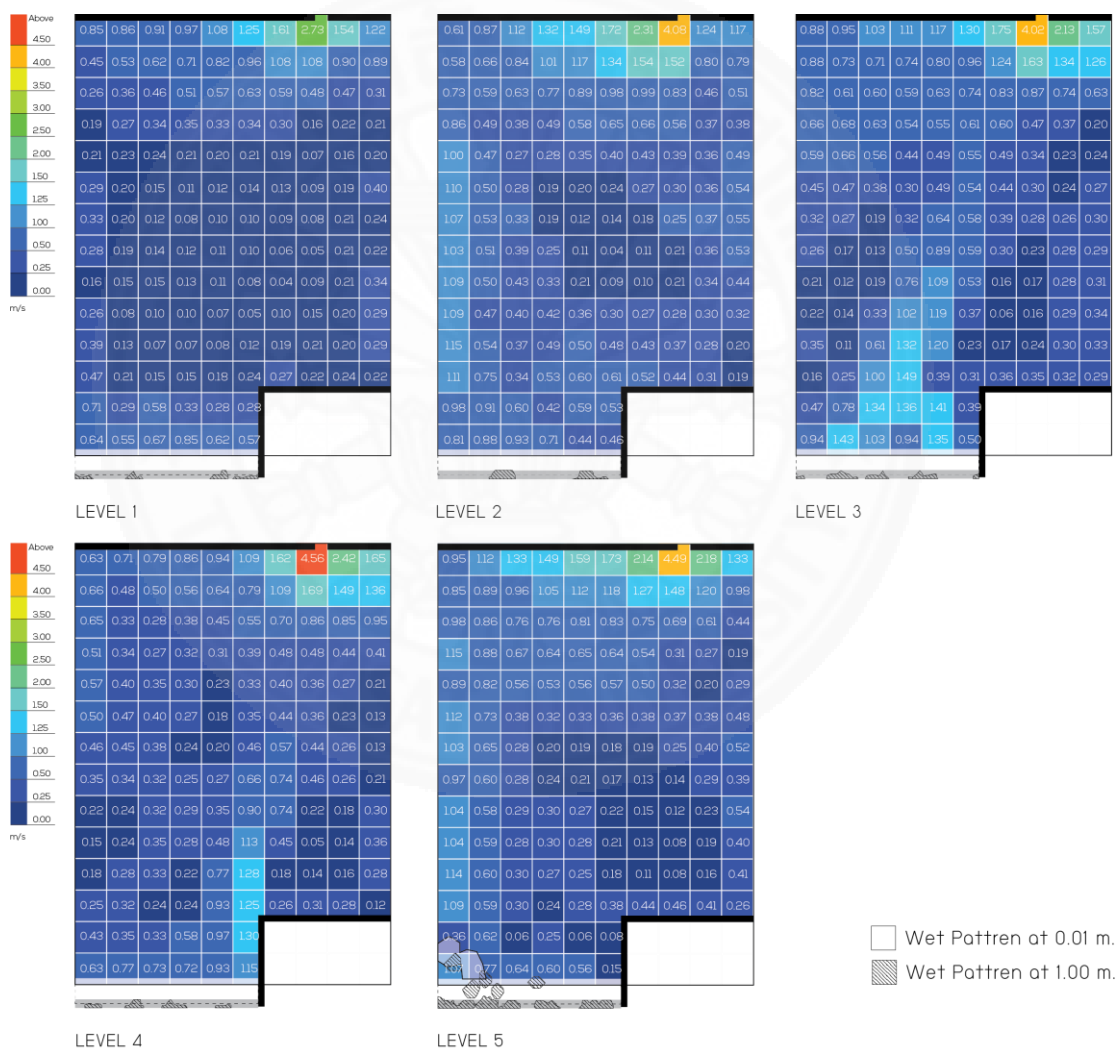
ภาพที่ 4.39 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีที่ 13

ตารางที่ 4.25

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 13

กรณีที่ 13			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	3.39 m/s	3.30 m ²	11.21 m ³ /s
ระดับที่ 2	2.22 m/s		7.35 m ³ /s
ระดับที่ 3	3.04 m/s		10.05 m ³ /s
ระดับที่ 4	1.57 m/s		5.20 m ³ /s
ระดับที่ 5	1.35 m/s		4.46 m ³ /s

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เปียกภายในอาคารดังภาพที่ 4.40 และ 4.41 พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 12 และ 13 การปรับองศาของคิบบลึงเป็น 60 และ 30 องศา นั้นส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ในทุกระดับชั้นมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากลมที่เข้าสู่อาคารมีทิศทางขึ้นสูงระดับฝ้าเพดานคล้ายกรณีที่ 9 กรณีที่ 12 ยังคงทำให้ได้รับผลกระทบจากฝนในพื้นที่ตรวจวัดระดับตรวจวัดที่ 5 แต่ไม่เกิดในระดับอื่นเหมือนกรณีตั้งต้น และ กรณีที่ 13 สามารถป้องกันผลกระทบได้ในทุกระดับชั้น ผลของพื้นที่เปียก และ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 1 เมตร ของแต่ละระดับตรวจวัด ในกรณีที่ 12 และ 13 นั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.26 และ 4.27

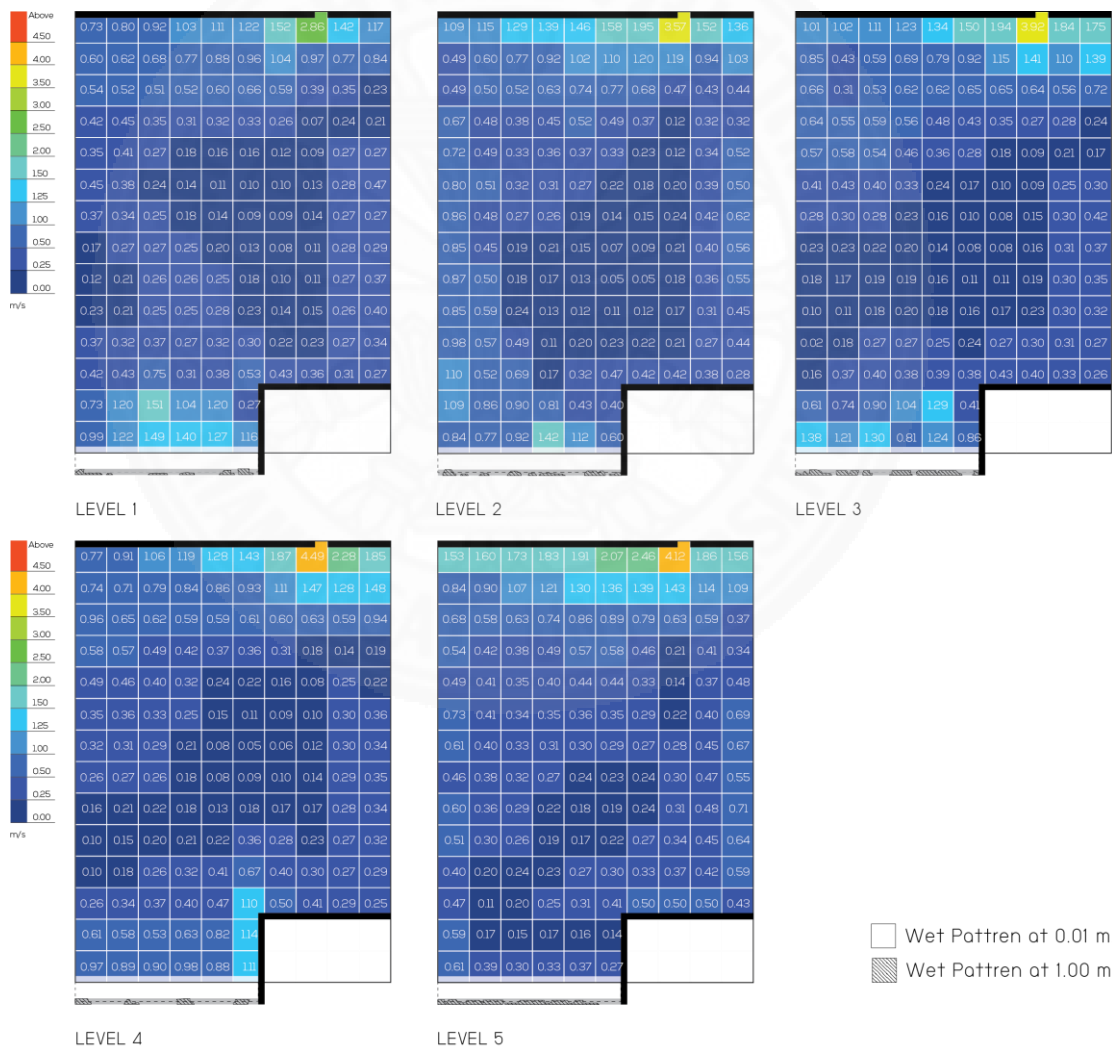


ภาพที่ 4.40 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 12

ตารางที่ 4.26

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 12

กรณีที่ 12			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	0.36 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	0.61 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	0.61 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	0.55 m/s
ระดับที่ 5	0.91 %	0.24 %	0.61 m/s



ภาพที่ 4.41 ผลวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และพื้นที่เปียกจากแบบจำลองกรณีที่ 13

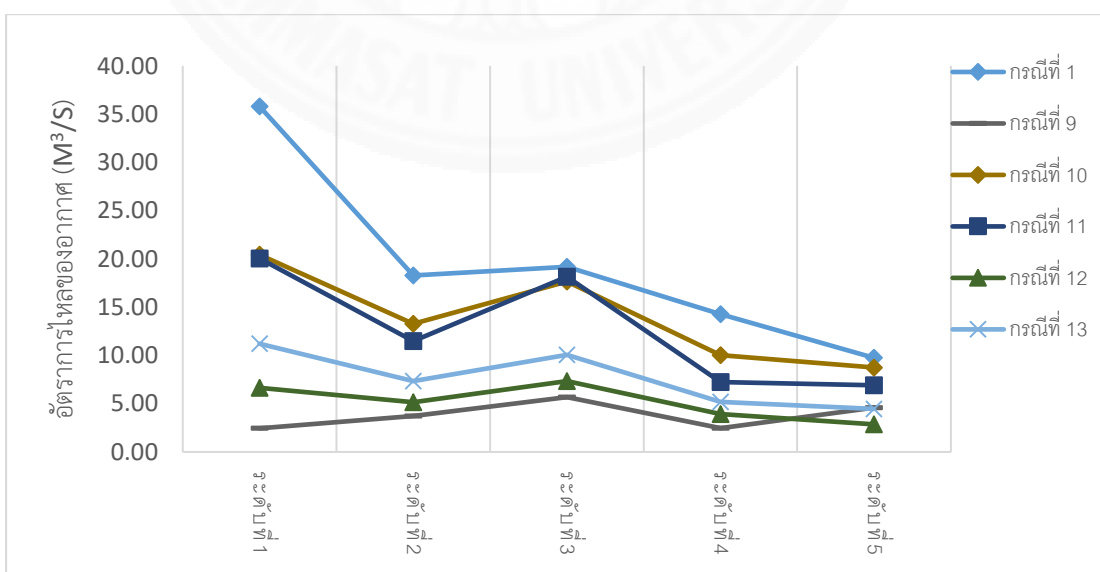
ตารางที่ 4.27

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 13

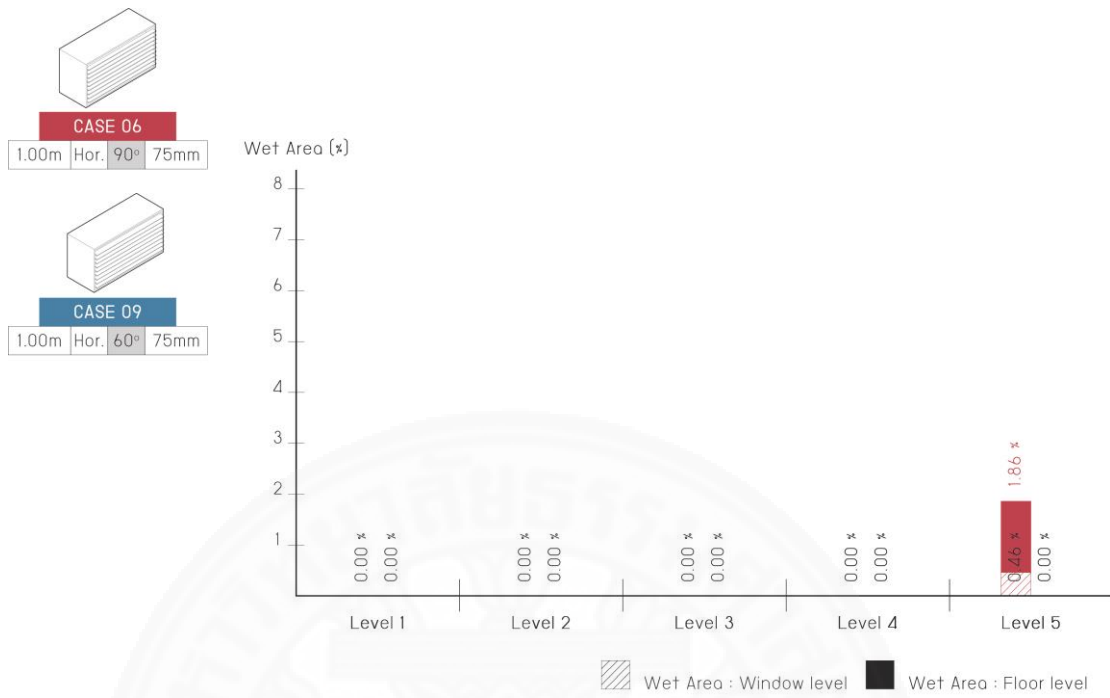
กรณีที่ 13			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปียกระดับพื้น	พื้นที่เปียกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	0.47 m/s
ระดับที่ 2	0.00 %	0.00 %	0.56 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	0.52 m/s
ระดับที่ 4	0.00 %	0.00 %	0.52 m/s
ระดับที่ 5	0.00 %	0.00 %	0.57 m/s

4.2.3.4 สรุปผลตัวแปรองศาการเอียง กรณี 9-13

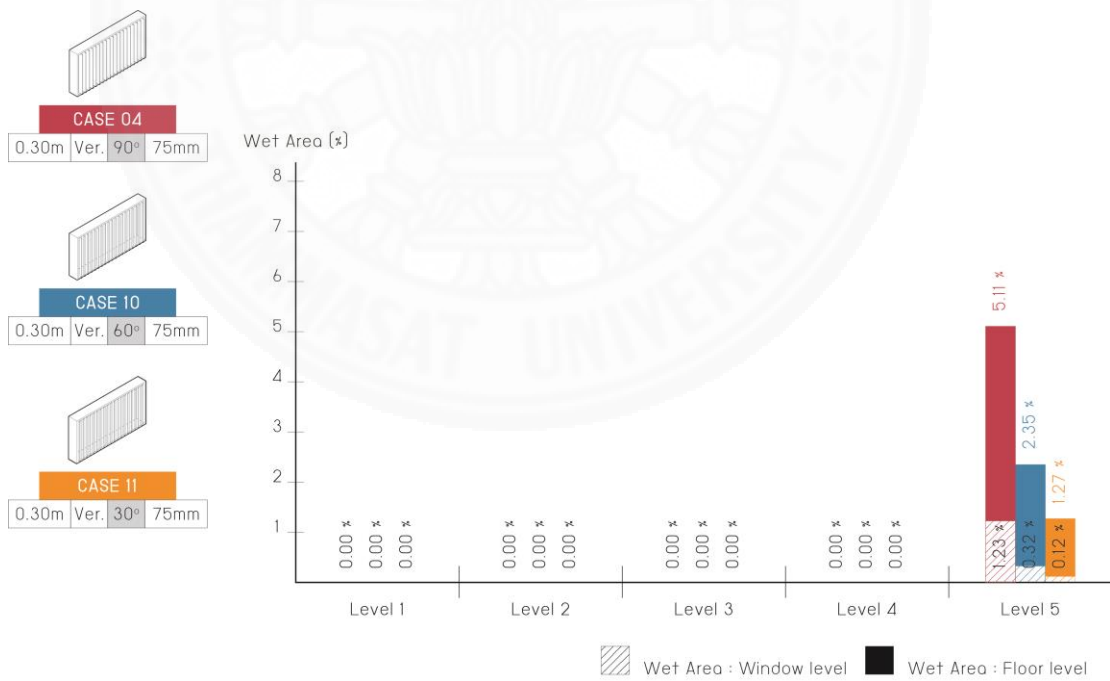
ตัวแปรการเอียงของครีบบนกรณีที่ 9-13 ดังกราฟในภาพที่ 4.42 และ 4.43 นั้นพบว่า องศาการเอียงของครีบบนเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศ และการป้องกันฝนอย่างมาก โดยรูปแบบแนวนอนที่มีการปรับองศาเอียง 60 องศา สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมดกับเปลือกอาคารที่มีระยะห่าง 1.00 เมตร และเอียง 30 องศา สามารถป้องกันฝนได้หมดกับเปลือกอาคารที่มีระยะ 0.30 เมตร ด้านอัตราการไหลของอากาศนั้นในรูปแบบแนวนอนส่งผลให้มีความมากกว่ากรณี 90 องศาเพียงเล็กน้อย แต่ในกรณีแนวตั้งนั้นให้ค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกที่ค่อนข้างสูง จนใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ติดตั้ง โดยกรณีแนวตั้ง ครีบบน 60 องศาให้อัตราการระบายอากาศที่ดีที่สุด



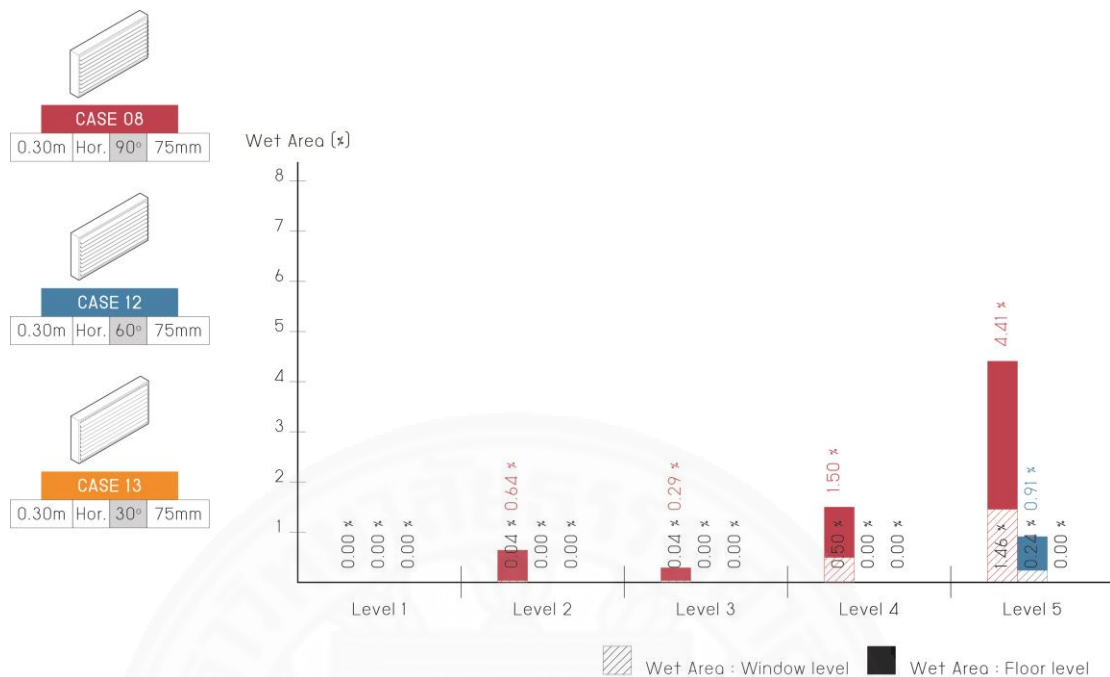
ภาพที่ 4.42 กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 9-13



ภาพที่ 4.43 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 6 และ 9



ภาพที่ 4.44 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 4 10 และ 11



ภาพที่ 4.45 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 8 12 และ 13

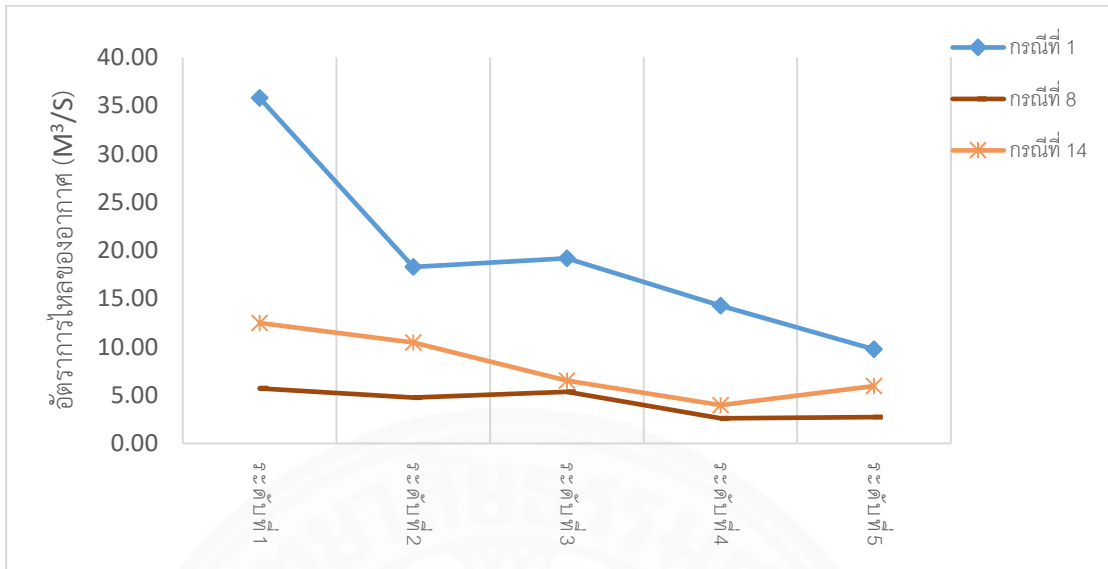
4.2.4 ความยาวของครีบ

ความยาวของครีบเปลือกอาคารนั้นทำการศึกษาโดยการนำกรณีที่ 8 เปลือกอาคารติดตั้งที่ระยะห่าง 0.30 เมตร รูปแบบแนวนอน 90 องศา ครีบยาว 75 มิลลิเมตร มาเป็นกรณีติดตั้งเพื่อศึกษา ความยาวของครีบเปลือกอาคาร ที่เปลี่ยนไปเป็น เป็น 150 มิลลิเมตร ในกรณีที่ 14

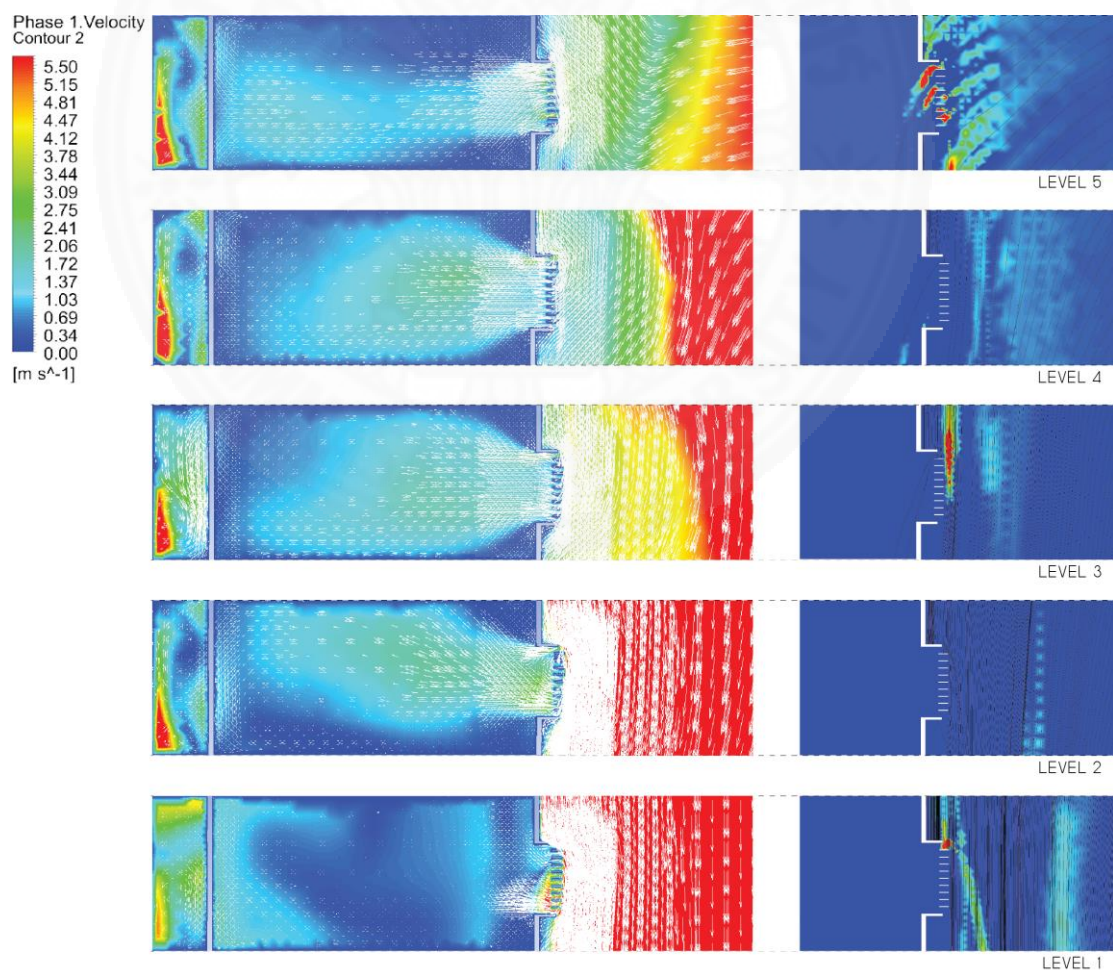
4.2.4.1 กรณีที่ 14 ครีบนแนวนอน ความยาวครีบ 150 (ระยะห่างของการติดตั้ง 0.30 เมตร)

ผลจากแบบจำลองกรณีที่ 8 รูปแบบแนวนอน ครีบยาว 75 มิลลิเมตร ถูกยกมาเป็นกรณีติดตั้งเพื่อเปรียบเทียบกับ แบบจำลองกรณีที่ 14 ที่เพิ่มระยะยื่นเป็น 150 มิลลิเมตร ตามลำดับการยื่นระยะของครีบนั้นไม่ทำให้ระยะห่างระหว่างครีบเปลี่ยนไปจึงมีการกำหนดความละเอียดของเมซอยู่ที่ 0.05 เช่นเดียวกับกรณีที่ 8 กรณีที่ 14 จึงมีเมซรวมทั้งสิ้น 8,466,683 เมซ

จากภาพที่ 4.47 พบว่ากรณีที่ 14 การปรับความยาวครีบเป็น 150 มิลลิเมตร นั้นส่งผลให้มีค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารมากขึ้นกว่ากรณีติดตั้งในทุกระดับชั้น ระดับตรวจวัดที่ 5 นั้นได้รับอิทธิพลจากระยะยื่นส่งผลให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 และ ระดับตรวจวัดที่ 2 และ 3 มากขึ้นกว่าระดับตรวจวัดที่ 4 ตามลำดับ และมีค่าอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุดบริเวณระดับตรวจวัดที่ 1



ภาพที่ 4.46 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีที่ 8 และ 14



ภาพที่ 4.47 ผลการไหลของลม และฝนจากแบบจำลอง กรณีศึกษาที่ 14

ตารางที่ 4.28

ผลการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร ของกรณีที่ 14

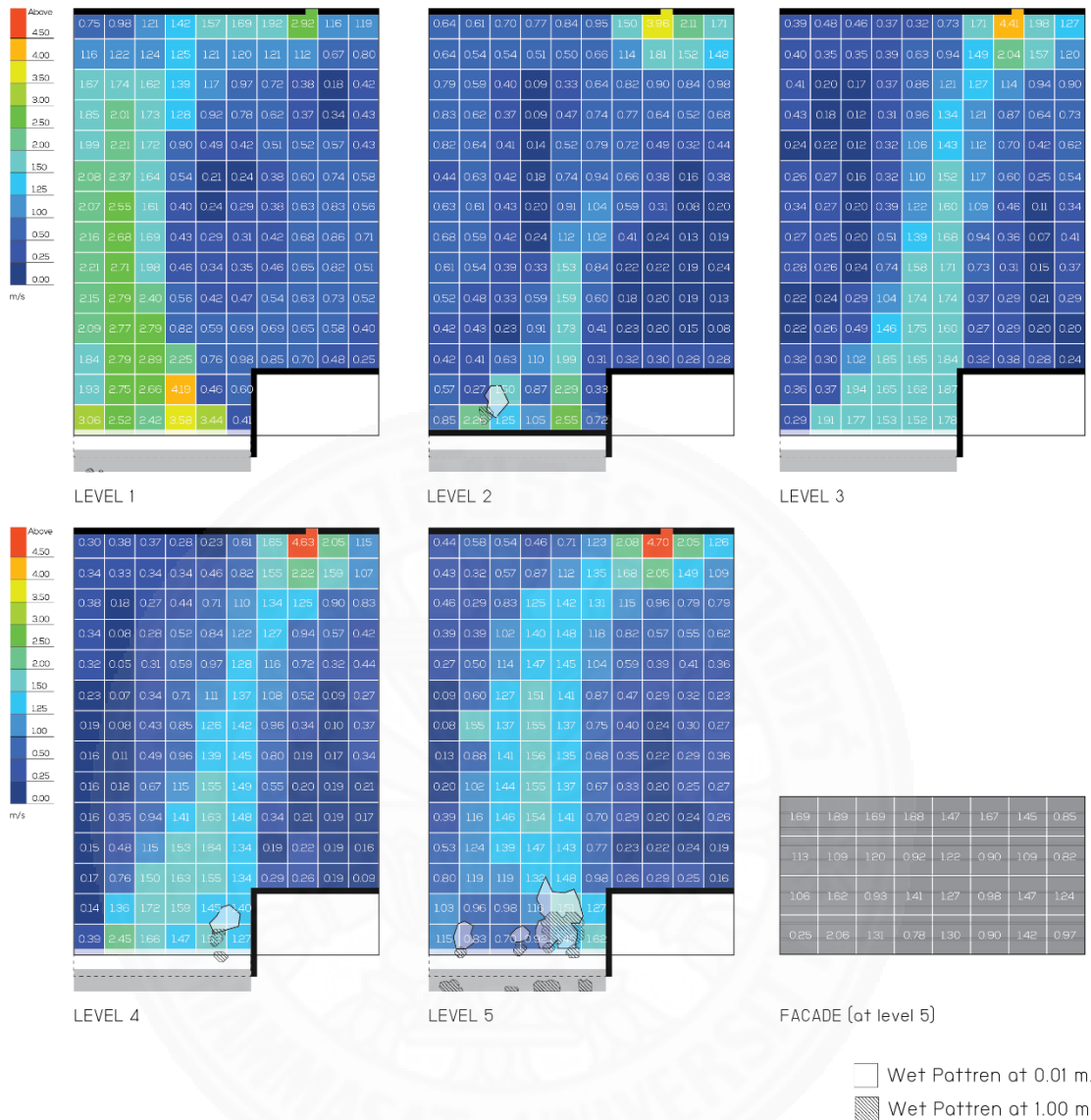
กรณีที่ 14			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าเปลือกอาคาร	พื้นที่ช่องเปิด	อัตราการระบายอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ระดับที่ 1	1.05 m/s	3.82 m ²	12.48 m ³ /s
ระดับที่ 2	0.96 m/s		10.44 m ³ /s
ระดับที่ 3	1.29 m/s		6.50 m ³ /s
ระดับที่ 4	0.70 m/s		3.97 m ³ /s
ระดับที่ 5	0.71 m/s		5.96 m ³ /s

เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร และ พื้นที่เปือกภายในอาคารดังภาพที่ 4.48 พบว่าแบบจำลองกรณีที่ 14 ให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตรใกล้เคียงกันทุกระดับชั้นเนื่องจากลมเข้าห้องในลักษณะตรงไปยังทางออกเช่นเดียวกันทั้ง 3 กรณี ในประสิทธิภาพการป้องกันฝน ระยะยื่นของคานที่ 150 มิลลิเมตร ส่งผลให้ผลกระทบจากฝนลดลงจากกรณีตั้งต้นในทุกระดับชั้น แต่ยังคงเกิดพื้นที่เปือกขึ้นในบริเวณพื้นที่ตรวจวัดระดับที่ 2 4 และ 5 ของแบบจำลอง ผลของพื้นที่เปือก และ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 1 เมตร ของแต่ละระดับตรวจวัด ในกรณีที่ 14 นั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29

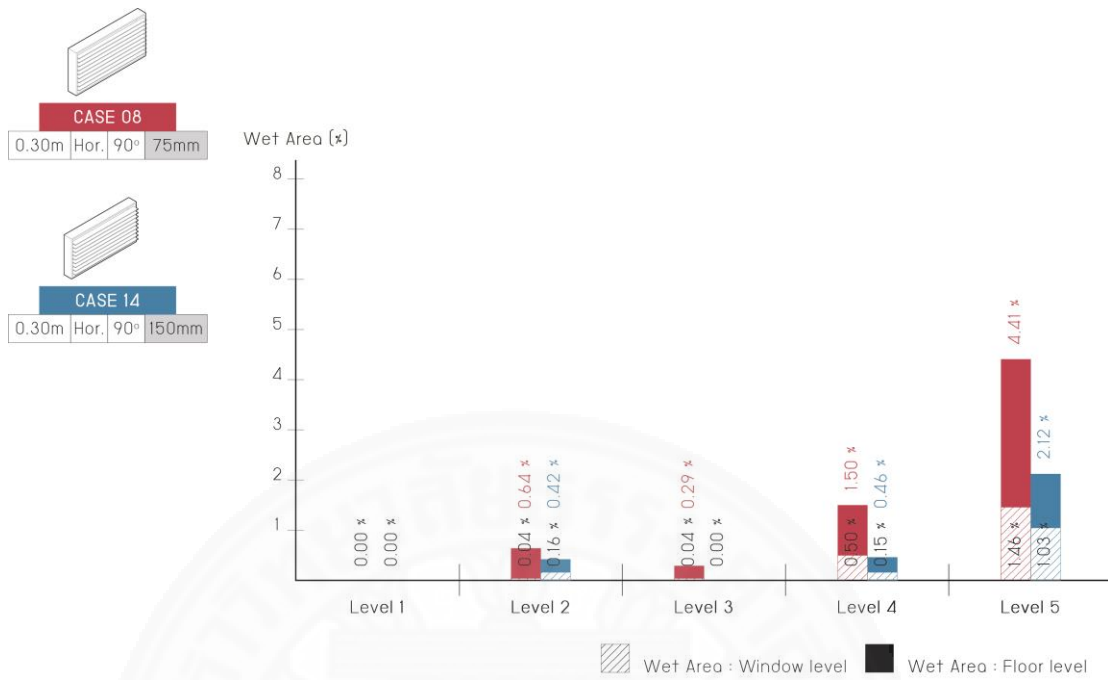
ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปือก และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 1 เมตร ของกรณีที่ 14

กรณีที่ 14			
พื้นที่ตรวจวัดระดับที่	พื้นที่เปือกระดับพื้น	พื้นที่เปือกระดับหน้าต่าง	ความเร็วลมที่ระดับ 1 เมตร
ระดับที่ 1	0.00 %	0.00 %	1.21 m/s
ระดับที่ 2	0.42 %	0.16 %	0.69 m/s
ระดับที่ 3	0.00 %	0.00 %	0.79 m/s
ระดับที่ 4	0.46 %	0.15 %	0.78 m/s
ระดับที่ 5	2.12 %	0.00 %	0.87 m/s



ภาพที่ 4.48 ผลการวิเคราะห์ความเร็วลมสูงจากพื้น 1 เมตร และพื้นที่เปียก ในกรณีที่ 14

ผลจากแบบจำลองที่เกิดขึ้นพบว่า การเพิ่มระยะยื่นของคานเปลือกอาคาร ตามขอบเขตของระยะมากที่สุด และน้อยสุด ที่นิยมใช้กันในตลาด มีผลทำให้พื้นที่เปียกในอาคารลดลง และได้รับอัตราการระบายอากาศที่สูงขึ้นกว่า คานที่มีระยะยื่นเพียงเล็กน้อย พฤติกรรมของลมที่เกิดขึ้น คล้ายกับตัวแปรการเพิ่มระยะยื่นของเปลือกอาคาร ทั้งนี้การเพิ่มระยะยื่นไปมากกว่านี้ไม่น่ามาศึกษา เพราะความไม่สมจริงในการการนำไปประยุกต์ติดตั้งเข้ากับตัวอาคาร ผลของพื้นที่เปียกเปรียบเทียบระหว่างสองกรณีแสดงออกดังกราฟในภาพที่ 4.49



ภาพที่ 4.49 กราฟสรุปเปรียบเทียบพื้นที่เปียก กรณีที่ 8 และ 14

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

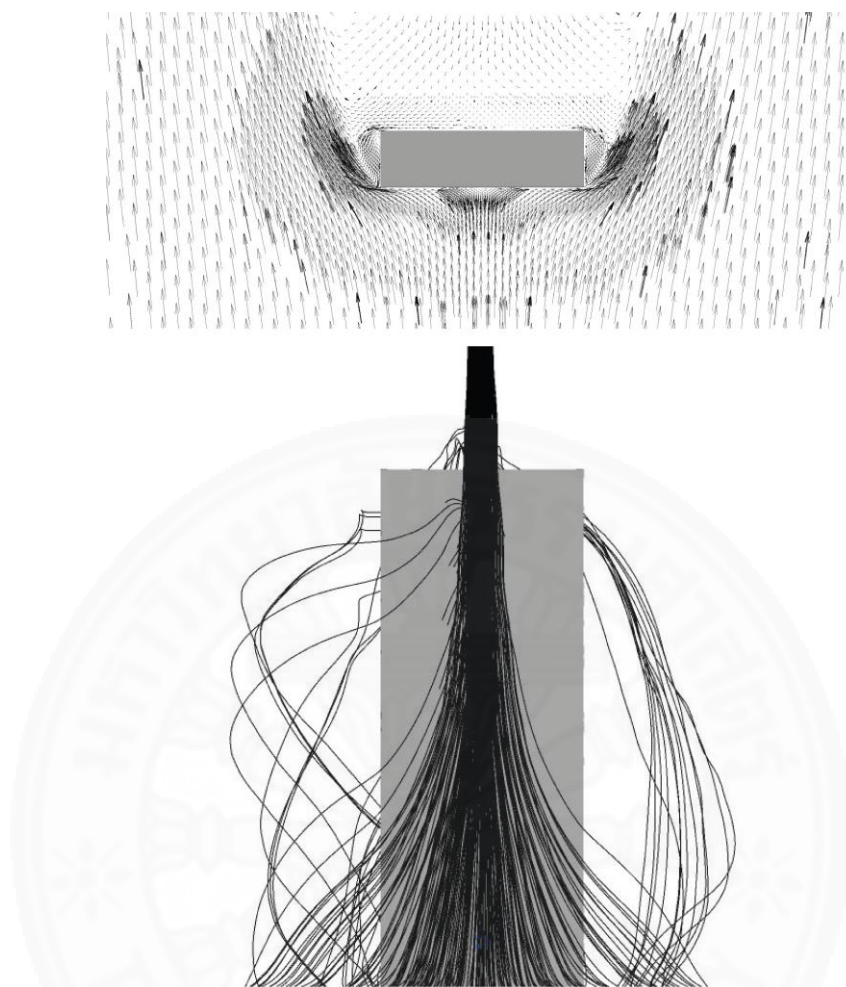
การศึกษาวิจัยฝนนที่ถูกลมพัดด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แบบสมดุลงตัว เพื่อออกแบบเปลือกแบบสองชั้นในอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย ที่ทำให้สามารถใช้การระบายอากาศธรรมชาติได้ โดยพิจารณาอัตราการไหลของอากาศ ร่วมกับพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นในอาคาร โดยผลการศึกษสามารถสรุปผลได้ตามวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) ศึกษาพฤติกรรมของฝนนที่ถูกลมพัด ที่กระทำกับตัวอาคารโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
- 2) ศึกษารูปแบบองค์ประกอบของการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น ที่สามารถป้องกันหยดน้ำฝน และสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศในอาคารได้
- 3) นำเสนอแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมในการป้องกันหยดน้ำฝน และเปิดรับลมธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม

5.1 สรุปผลการวิจัย

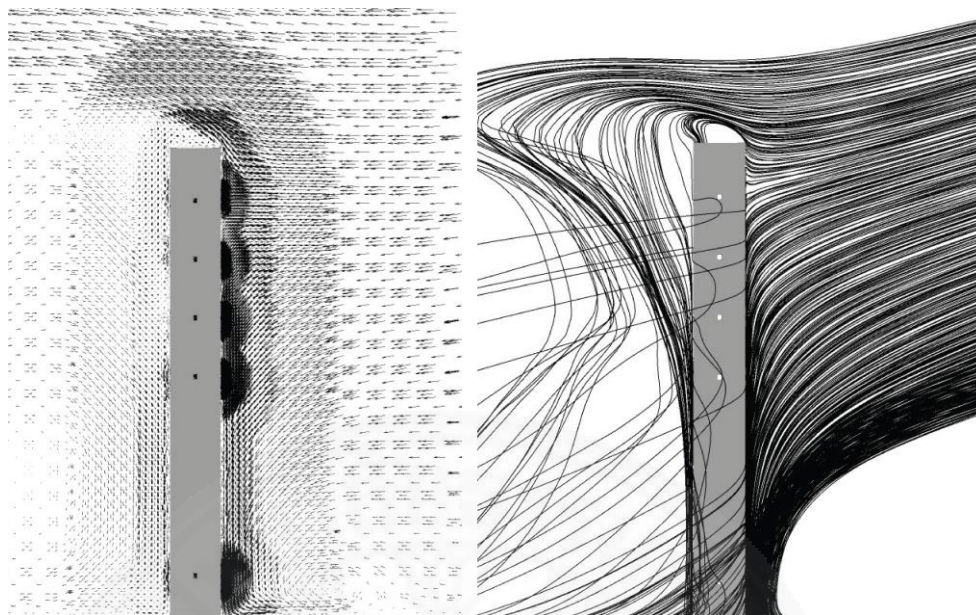
5.1.1 ศึกษาพฤติกรรมของฝนนที่ถูกลมพัด ที่กระทำกับตัวอาคารโดยใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

จากการศึกษาแบบจำลองอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย 40 ชั้น ที่มีการออกแบบให้สามารถระบายอากาศแบบผ่านห้อง (cross ventilation) ในสถานการณ์ที่คาดว่าจะส่งผลเสียมากที่สุดคือการที่ตัวอาคารตั้งอยู่ในพื้นที่โล่ง เกิดลมกรรโชกแรงด้วยความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที ที่ระดับอ้างอิง 10 เมตร เข้าปะทะกับอาคารโดยตรง และหยดน้ำฝนมีขนาดเล็ก 1 มิลลิเมตร โดยวัดผลที่ห้องตำแหน่งกึ่งกลางของอาคาร 5 ระดับตรวจวัด สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นรอบตัวอาคารนั้นหลังจากปะทะกับตัวอาคารแล้วลมได้แยกทิศทางออกเป็นสองทิศทางทั้งในระนาบ แนวตั้ง และแนวนอน ซึ่งทิศทางของลมที่เปลี่ยนไปเช่นนี้ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของฝนเข้าสู่อาคาร จากแบบจำลอง ในระนาบแนวนอนนั้นเมื่อลมได้ปะทะกับอาคารเกิดการแหวกตัวออกไปในทิศทางซ้าย และขวาอย่างสมมาตร เมื่อฝนเคลื่อนตัวเข้าสู่กระแสลมในลักษณะดังกล่าวดังกล่าวจึงเกิดการเคลื่อนตัวกระจายออกไปด้านข้างมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อลงสู่ระดับล่าง ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การเคลื่อนที่ของลม และฝุ่นในระนาบแนวนอน

ลมในระนาบแนวดิ่ง เคลื่อนที่เขตชั้นของลมบริเวณยอดของอาคาร ฝุ่นที่เข้าปะทะอาคารในช่วงความสูงนี้จึงมีความเข้มข้นน้อย ส่งผลให้ในบริเวณชั้นบนตั้งแต่ระดับชั้นที่ 35 ขึ้นไป หรือคิดเป็น 1 ใน 8 ของอาคาร นั้นจะได้รับผลกระทบจากฝุ่นที่เข้าสู่อาคารค่อนข้างมากจนเกิดพื้นที่เป็ยกของฝุ่นที่เข้ามาสู่อาคาร ในขณะที่ชั้นที่ต่ำกว่า 35 ลงมา ฝุ่นตกลงสู่พื้นด้วยความเข้มข้นที่มากขึ้นทำให้ฝุ่นไม่มีทิศทางพุ่งเข้าสู่ตัวอาคารเหมือนชั้นบน ทำให้เกิดเพียงละอองน้ำบริเวณช่องเปิดของเปลือกอาคาร แต่ไม่ทำให้เกิดพื้นที่เป็ยกบนพื้นห้อง จึงได้รับผลกระทบที่น้อยกว่าชั้นบนของอาคาร ดังภาพที่ 5.2

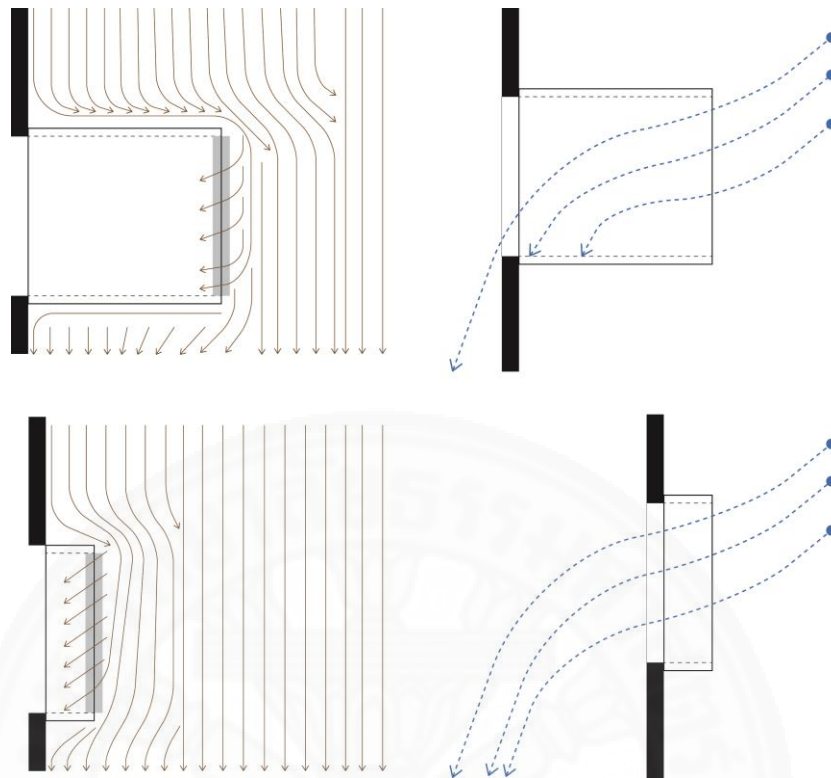


ภาพที่ 5.2 การเคลื่อนที่ของลม และฝนในระนาบแนวตั้ง

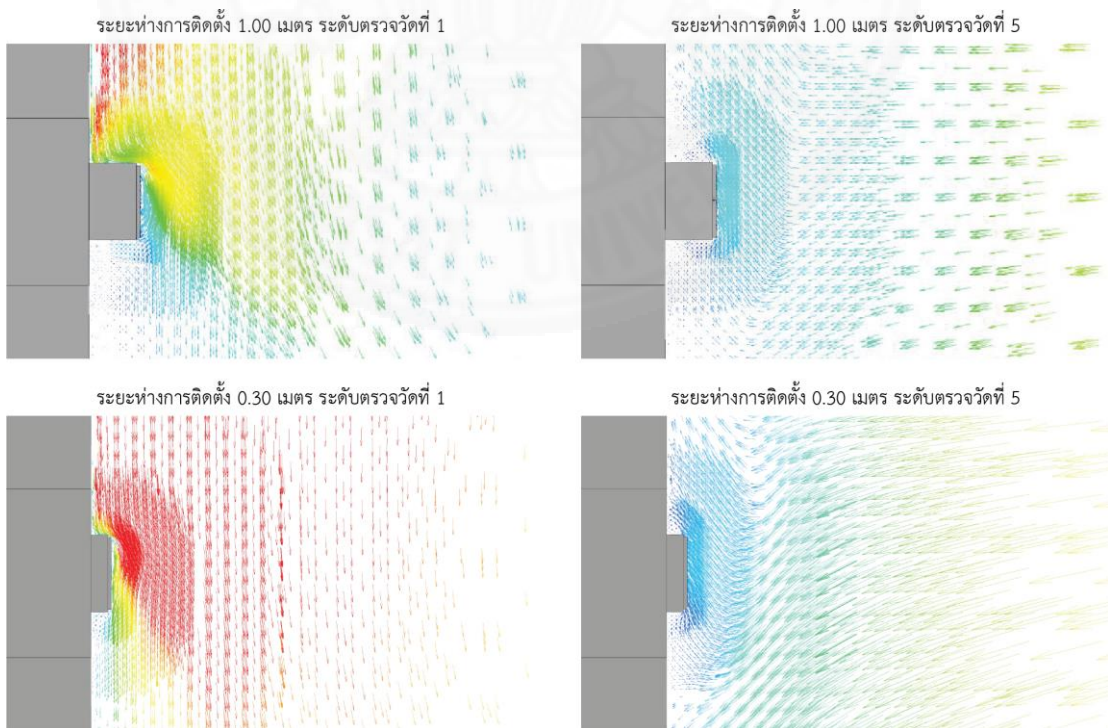
5.1.2 ศึกษารูปแบบองค์ประกอบของการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น ที่สามารถป้องกันหยดน้ำฝนได้ และสามารถทำให้เกิดการระบายอากาศในอาคารได้

การศึกษา 4 รูปแบบตัวแปรการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้น ประกอบด้วย ระยะห่างการติดตั้ง รูปแบบของครีป องศาของครีป และความยาวครีป โดยวัดผลกระทบจากพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นจากฝนที่เข้าสู่ตัวอาคาร และอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร สามารถสรุปผลได้ว่า

1) การเพิ่มระยะห่างการติดตั้งเปลือกอาคารมากขึ้นส่งผลให้พื้นที่ภายในอาคารได้รับผลกระทบจากฝนที่น้อยลง แต่ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกน้อยกว่ากรณีที่ระยะห่างของการติดตั้งที่น้อยกว่า ยกเว้นในระดับบนของอาคารซึ่งลมที่ปะทะอาคารมีการเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ ระยะยื่นที่มากจึงช่วยกันให้ลมไหลออกไปรวมกับลมบริเวณหน้าเปลือกอาคารจึงส่งผลให้มีความเร็วลมสูงกว่าระยะติดตั้งที่น้อยกว่าเล็กน้อย และในบริเวณชั้นล่างสุดที่ลมทำความเร็วได้สูงสุดเมื่อปะทะกับระยะยื่นที่มากจึงทำให้ลมไหลอ้อมเปลือกอาคาร ดังภาพที่ 5.3-5.4

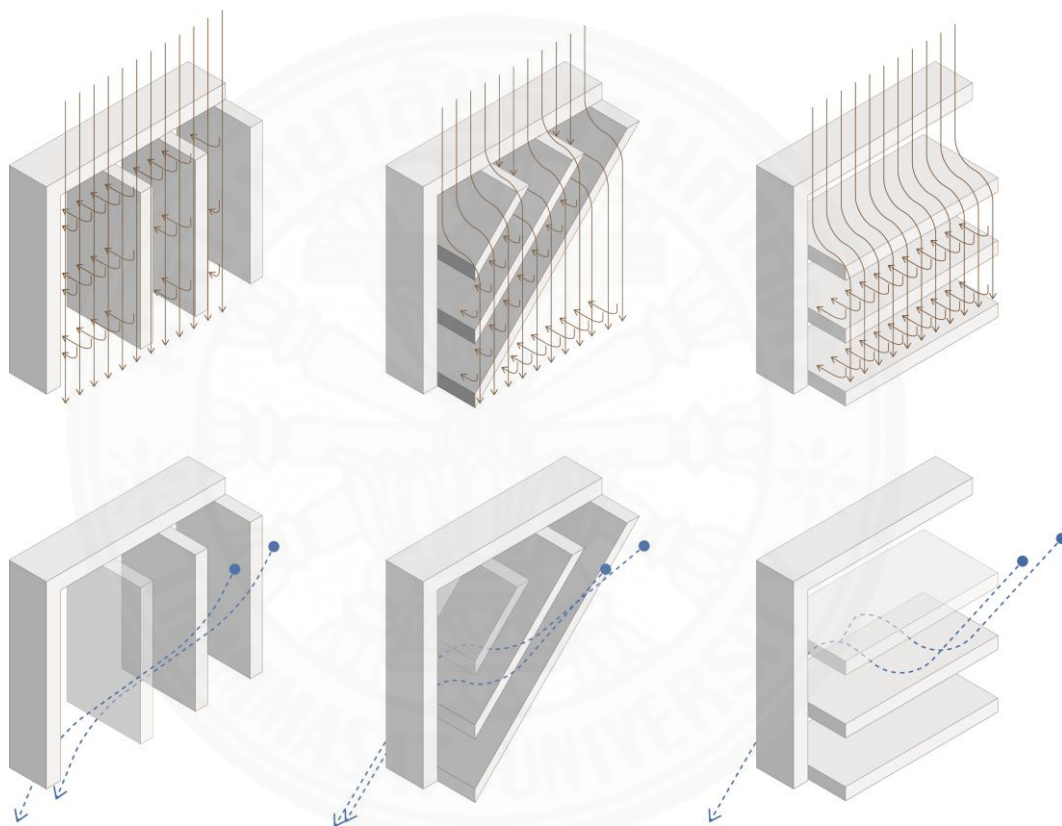


ภาพที่ 5.3 ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรระยะห่างการติดตั้งเปลือกอาคาร



ภาพที่ 5.4 ผังสีแสดงความเร็วลม ในตัวแปรระยะห่างการติดตั้งเปลือกอาคาร

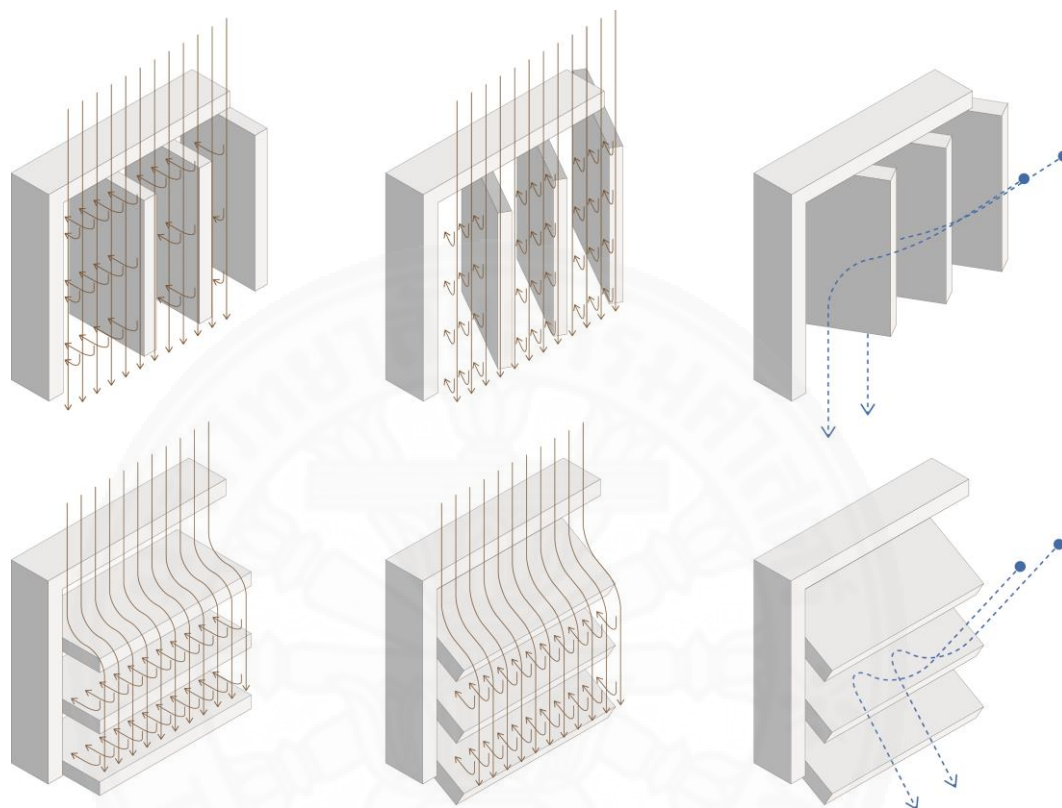
2) รูปแบบของครีบบ จากรูปแบบของครีบบทั้ง 3 ได้แก่ รูปแบบแนวตั้ง แนวเฉียง และแนวนอน ที่ได้ศึกษานั้นพบว่า รูปแบบแนวนอนนั้น แม้ว่าจะป้องกันฝนในระดับบนของอาคารที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด แต่ก็ยังส่งผลให้มีผลเข้าไปสู่ระดับอื่น ๆ ของอาคารเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำฝนสามารถตกกระทบครีบบของเปลือกอาคาร และกระเด็นเข้าสู่พื้นที่อาคารได้ ในขณะที่รูปแบบแนวตั้งนั้นให้ค่าของอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารได้ดีที่สุดเนื่องจากมีรูปร่างที่ไม่ได้ขวางทิศทางการไหลของลมหน้าเปลือกอาคารเหมือน รูปแบบแนวนอน และแนวเฉียง ดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรรูปแบบเปลือกอาคาร

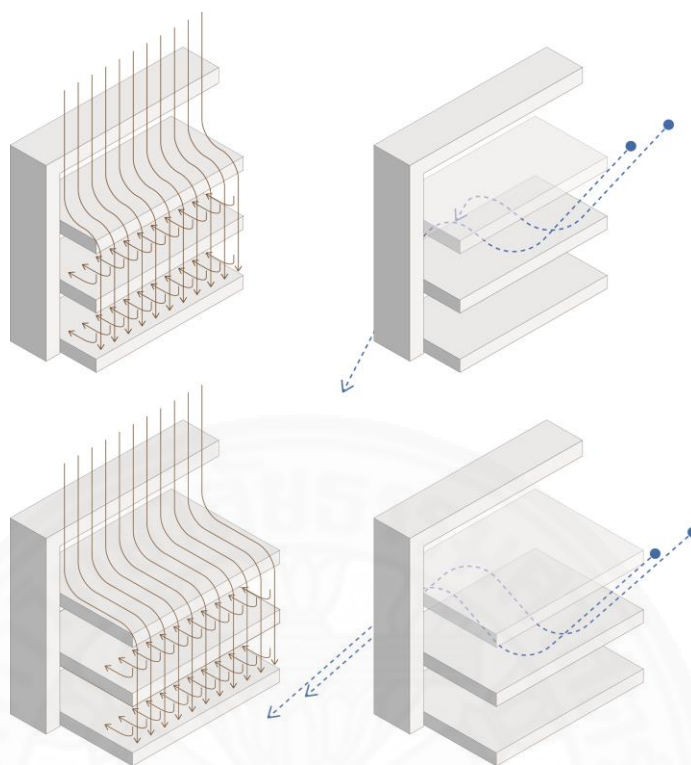
3) องศาของครีบบ เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้สามารถลดผลกระทบจากฝนได้มากที่สุดจากทั้ง 4 ตัวแปร ซึ่งรูปแบบแนวตั้งการปรับองศาส่งผลให้พื้นที่เปียกลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่แม้ว่าจะปรับไปถึง 30 องศา ก็ยังให้ค่าที่ยังค่อนข้างสูง อัตราการไหลของอากาศการปรับองศาของครีบบแนวตั้งนั้นให้ค่าที่สูงสุดจากทุกกรณีศึกษา เนื่องจากรูปแบบแนวตั้งนั้นไม่ได้ขวางการเคลื่อนที่ของลมแล้ว การลดช่องเปิดลงส่งผลให้ความเร็วลมหน้าเปลือกอาคารสูงขึ้นกว่าเดิม ในขณะที่การปรับองศาครีบบแนวนอนนั้นส่งผลให้พื้นที่เปียกในอาคารลดลงได้ทั้งหมด โดยหากติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะ 0.30 เมตร นั้นต้องปรับลงถึง 30 องศา และหากติดตั้งที่ระยะ 1.00 เมตร จะปรับเหลือเพียง 60 องศา

สามารถกันได้ทั้งหมด การปรับรูปแบบแนวนอนนั้นยังให้ผลอัตราการไหลของอากาศไม่ต่างกับรูปแบบ 90 องศาเช่นกัน ดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรองศาการเอียงของครีบ

4) ความยาวของครีบ จากระยะทั้ง 3 ที่เลือกมากทำการศึกษาได้แก่ 75 และ 150 มิลลิเมตร โดยระยะที่ 75 และ 150 นั้นเป็นระยะต่ำสุด และสูงสุดที่นิยมใช้กันในท้องตลาด สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มระยะจาก 75 เป็น 150 มิลลิเมตร นั้นสามารถลดพื้นที่เปียกของอาคารได้มาก แต่ทั้งสองระยะยังส่งผลให้เกิดพื้นที่เปียกในระดับล่างของอาคารเนื่องจากน้ำฝนที่กระเด็นเข้าสู่ตัวอาคาร หลังจากกระทบครีบ และการเพิ่มความยาวของครีบส่งผลให้ ฝนเข้าสู่อาคารได้ลึกขึ้นในระดับชั้นกลาง และล่าง ที่เกิดพื้นที่เปียกขึ้น ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน ในตัวแปรระยะยื่นของคาน

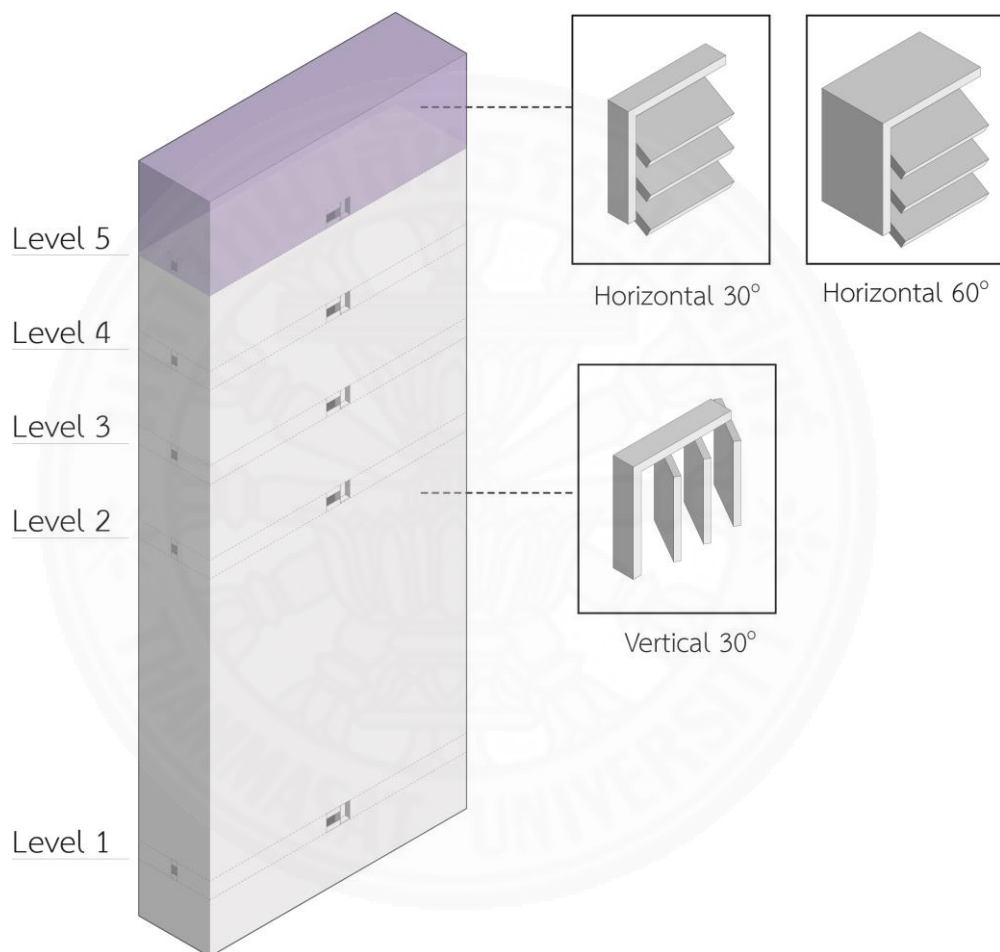
5.1.3 นำเสนอแนวทางการออกแบบที่เหมาะสมในการป้องกันหยดน้ำฝน และเปิดรับลมธรรมชาติในระหว่างฝนตกได้อย่างเหมาะสม

ในการนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบอาคารนั้น มีเงื่อนไขคือทุกระดับชั้นของอาคารต้องไม่ได้รับผลกระทบจากฝนจนเกิดพื้นที่เปียกชื้นภายในตัวอาคาร และมีค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารมากที่สุด จากแบบจำลองอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัย 40 ชั้น ในสถานการณ์ที่มีความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที ที่ระดับอ้างอิง 10 เมตร และหยดน้ำฝนมีขนาดเล็ก 1 มิลลิเมตร สามารถสรุปการประยุกต์ใช้งานเปลือกอาคาร ดังภาพที่ 5.8 แบ่งออกตามระดับได้แก่

1) ระดับล่างของอาคาร (ระดับตราวัดที่ 1) ควรมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่มีระยะการติดตั้งน้อย เพื่อที่เปลือกอาคารจะไม่ขวางลมที่มีความเร็วสูง ร่วมกับรูปแบบคานแนวตั้งที่เอียงประมาณ 60 องศา เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่สูงที่สุด และไม่ได้รับผลกระทบจากฝนที่เข้าสู่ตัวอาคาร

2) ระดับกลางของอาคาร (ระดับตราวัดที่ 2-4) การติดตั้งเปลือกอาคารสามารถทำได้ทุกระยะโดยที่ระยะห่างที่มาก (1.00 เมตร) นั้นยังให้ค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่ใกล้เคียงกับระยะห่างที่น้อย (0.30 เมตร) แต่ระยะห่างน้อยยังคงให้อัตราการไหลของอากาศที่สูงที่สุด ควรใช้ร่วมกับรูปแบบคานแนวตั้ง 60 องศา เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่สูงที่สุด และไม่ได้รับผลกระทบจากฝนที่เข้าสู่ตัวอาคาร

3) ระดับบนของอาคาร (ระดับตรวจวัดที่ 5) สามารถใช้เปลือกอาคารที่มีระยะห่างการติดตั้งน้อย 0.30 เมตร ร่วมกับครีบบรูปแบบแนวนอนที่ปรับลงไปเป็นอย่างน้อย 30 องศา หรือหากเพิ่มระยะติดตั้งเป็น 1.00 เมตร สามารถใช้เพียงอย่างน้อย 60 องศาเท่านั้น ก็จะทำได้เช่นกัน ป้องกันผลกระทบจากฝนได้ทั้งหมด และทำให้มีพื้นที่ช่องเปิดของอาคารมากขึ้น โดยกรณีที่ใช้ระยะติดตั้งน้อย ยังให้ผลของอัตราการระบายอากาศที่ดีกว่า



ภาพที่ 5.8 ไดอะแกรมสรุปการประยุกต์ใช้เปลือกอาคารแบบสองชั้น

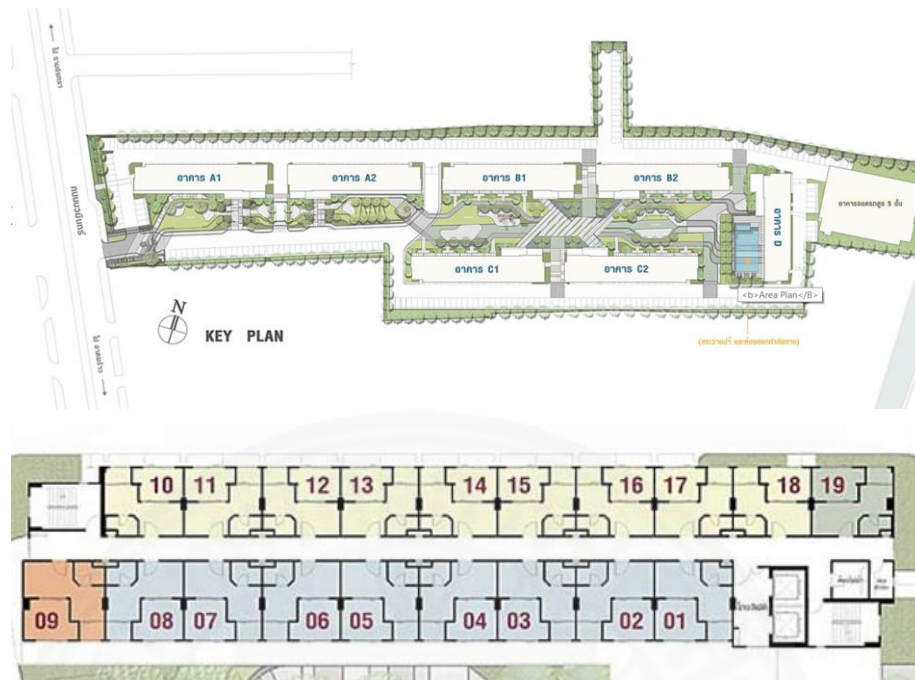
5.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ กรณีศึกษาที่ 1

จากการสรุปผลข้างต้น ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเปลือกอาคาร ใช้ขั้นตอน และวิธีการเกี่ยวกับการศึกษาในงานวิจัยโดยทำการศึกษาลักษณะของลม และฝนที่เข้าสู่ตัวอาคาร และนำมาวิเคราะห์ผลกระทบ ก่อนจะทำการเลือกเปลือกอาคารไปประยุกต์ใช้ในแต่ละตำแหน่ง โดยในการนำเสนอตัวอย่างการประยุกต์ใช้นั้น ยังเป็นการวิเคราะห์ผ่านสถานการณ์เลวร้ายที่สุดที่อาจจะเกิดขึ้น ทำโดยการเลือกอาคารรูปแบบอาคารพักอาศัยที่เป็นอาคารสูงมาเพื่อทำแบบจำลองโดยใช้ผังอาคารจริงของโครงการ และความเร็วลมในพื้นที่ตั้งของอาคาร

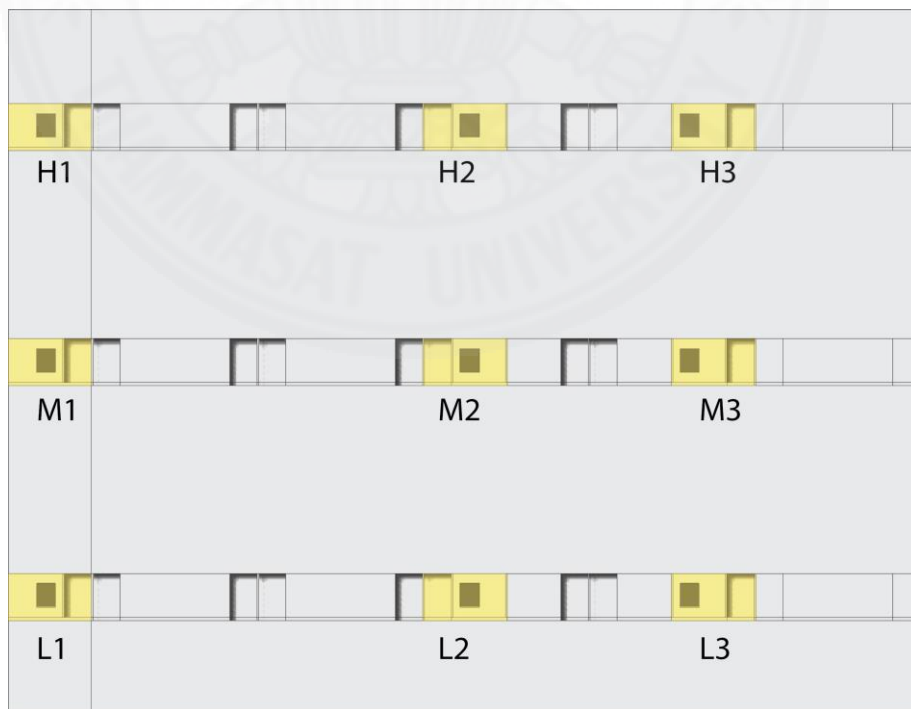
5.2.1 อาคาร และขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาอาคารที่เลือกมาเป็นตัวอย่างนั้นผู้วิจัยต้องการที่จะดูถึงผลกระทบกับการประยุกต์ใช้เปลือกอาคารในห้วงบริเวณต่างข้างของผังอาคารด้วย เนื่องจากรูปแบบของฝนที่มีการกระจายออกด้านข้างเมื่อลมปะทะกับอาคารดังที่ได้สรุปไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1 ด้วยข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทำให้การศึกษาในรูปแบบดังกล่าวต้องมีการลดขนาดของอาคารลง เพื่อที่การเว้นระยะห่างในการวัดผลตามระดับความสูงนั้นจะได้มีช่วงห่างอย่างเหมาะสม โดยควรอยู่ที่ขนาดประมาณ 15-20 ชั้น

อาคารที่ได้ทำการเลือกมาเพื่อเป็นกรณีศึกษาในการประยุกต์ใช้นั้นเป็น อาคารคอนโดมิเนียม ซึ่งเป็นโครงการ ของ บริษัท แอล.พี.เอ็น.ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ในบริบทประเทศไทย อาคารในโครงการดังกล่าวเป็นอาคารที่มีความสูง 15 ชั้น และมีรูปแบบของผังของโครงการ และอาคารดังภาพที่ 5.9 อาคารมีช่องหน้าต่าง 1.20x1.50 เมตร ติดหน้าต่างบานสไลด์ ทำให้สามารถเปิดได้เพียงทีละครั้งเท่านั้น และห้องมีรูปแบบที่เป็น single-sided ventilation โดยในแบบจำลองนี้จะทำการวัดผลทั้งสิ้น 9 ตำแหน่งของอาคารทิศที่ได้รับลมมรสุมในช่วงฤดูฝน แบ่งออกเป็นระดับล่าง (L1-L3) ระดับกลาง (M1-M3) และระดับบน (H1-H3) ดังภาพที่ 5.10



ภาพที่ 5.9 อาคารที่ใช้ศึกษาในกรณีศึกษาที่ 1 จาก L.P.N Development PCL. (N/A). Lumpini Park Nawamin-Si Burapha. Retrieved November 10, 2016, from <http://www.lpn.co.th>

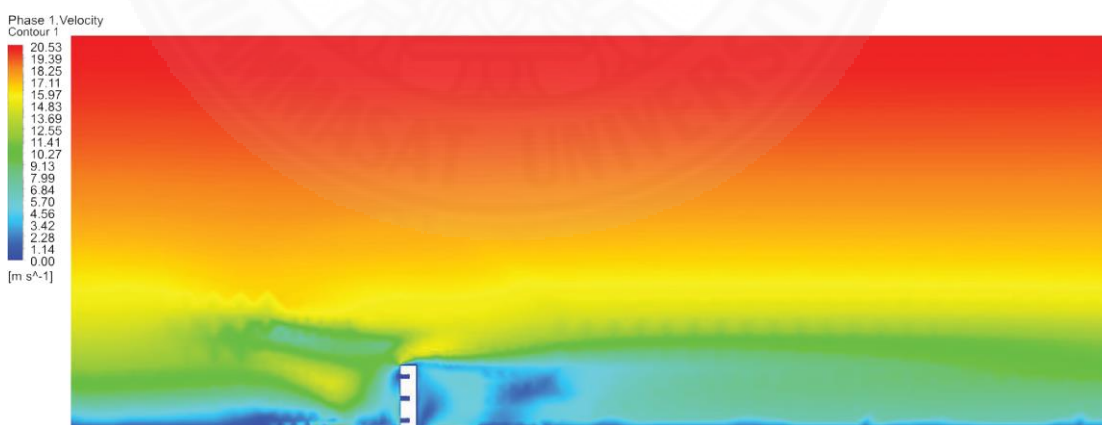


ภาพที่ 5.10 ตำแหน่งของพื้นที่ตรวจวัดกรณีศึกษาที่ 1

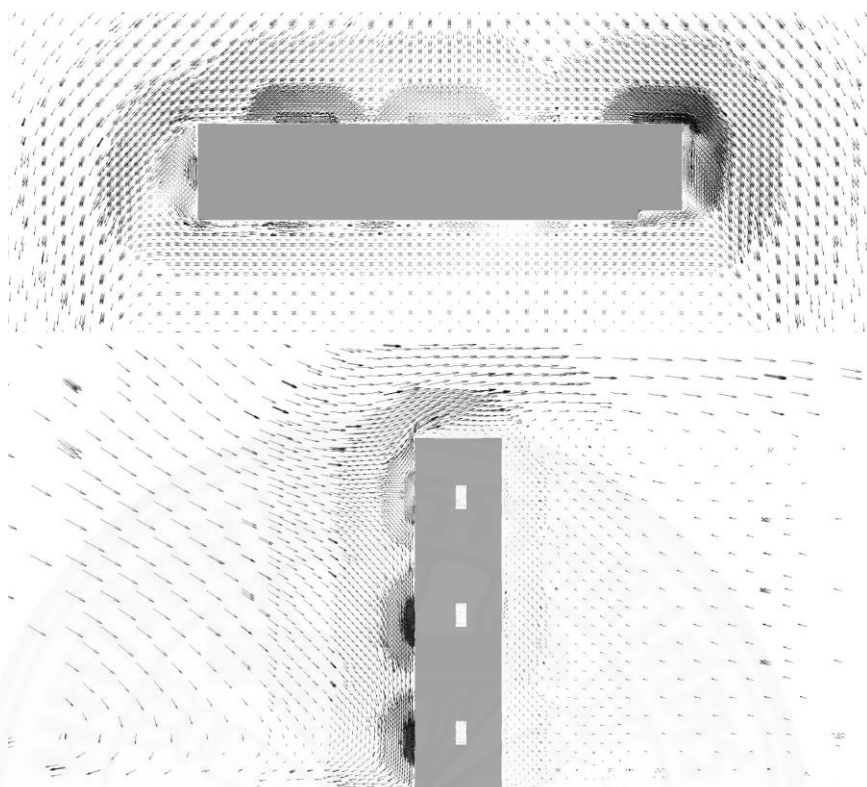
การศึกษาในบริบทของประเทศไทย ใช้ค่าลมที่แรงที่สุดที่เกิดขึ้นช่วงเวลาที่ฝนตกซึ่งอยู่ในช่วง Buafort scale ที่ 3 หรือประมาณ 5 เมตรต่อวินาที ที่ระดับอ้างอิง 10 เมตร ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษามาจากปริมาณน้ำฝนมากที่สุดในการเก็บข้อมูลรายเดือนเป็นระยะเวลา 3 ปี (2554-2556) จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยค่าที่มากที่สุดอยู่ที่เดือนกันยายน 2555 มีค่าอยู่ที่ 601.1 มิลลิเมตรต่อเดือน หรือคิดเฉลี่ยเป็น 2×10^{-4} มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถนำไปคำนวณปริมาตรเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ได้เนื่องจากในประเทศไทยใช้อุปกรณ์วัดน้ำฝนมาตรฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกวัดอยู่ที่ 0.20 เมตร ก่อนจะนำไปคำนวณแปลงหน่วยเป็น kg/s ซึ่งใช้เป็นค่าอัตราการไหลของฝนในโปรแกรม ANSYS Fluent ค่าที่ได้เท่ากับ 2.6×10^{-5} kg/s และใช้ฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด ที่ 1 มิลลิเมตร ในการศึกษาเพื่อตรวจสอบผล

5.2.2 ผลก่อนติดตั้งเปลือกอาคาร

การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขการศึกษาใช้กระบวนการเดียวกันกับการศึกษาตัวแปรในบทที่ 4 โดยมีขนาดเงื่อนไขของขอบเขตของแบบจำลอง กว้าง 1400 x ยาว 2824 x สูง 840 เมตร และทำการจำลองลมจะเข้าสู่ภาวะสมดุลคงตัว ก่อนจะทำการปล่อยอนุภาคของน้ำฝนทั้งสิ้น 37,800 อนุภาคตลอดแนวอาคาร เพื่อวัดผลของพื้นที่เปียก และอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อาคารในพื้นที่ตรวจวัดทั้ง 9

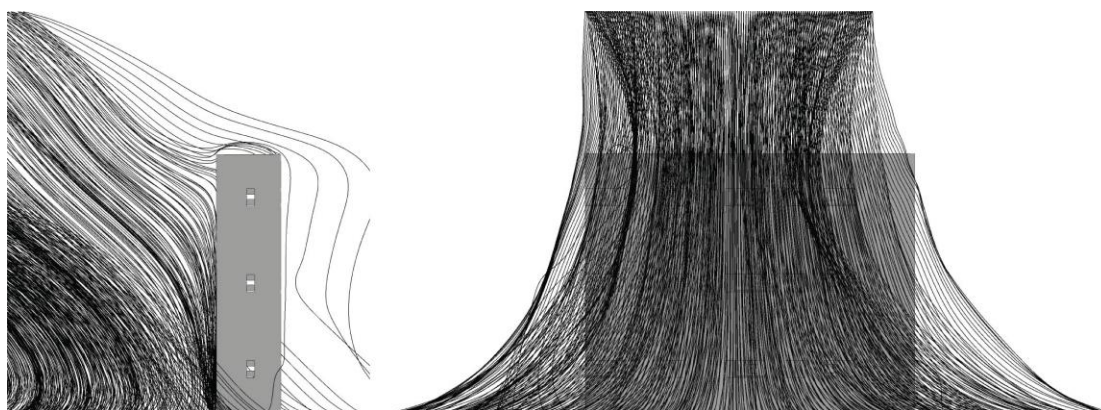


ภาพที่ 5.11 ลักษณะการไหลของลมในภาวะสมดุลคงตัว กรณีศึกษาที่ 1 ยังไม่ได้ติดตั้งเปลือกอาคาร



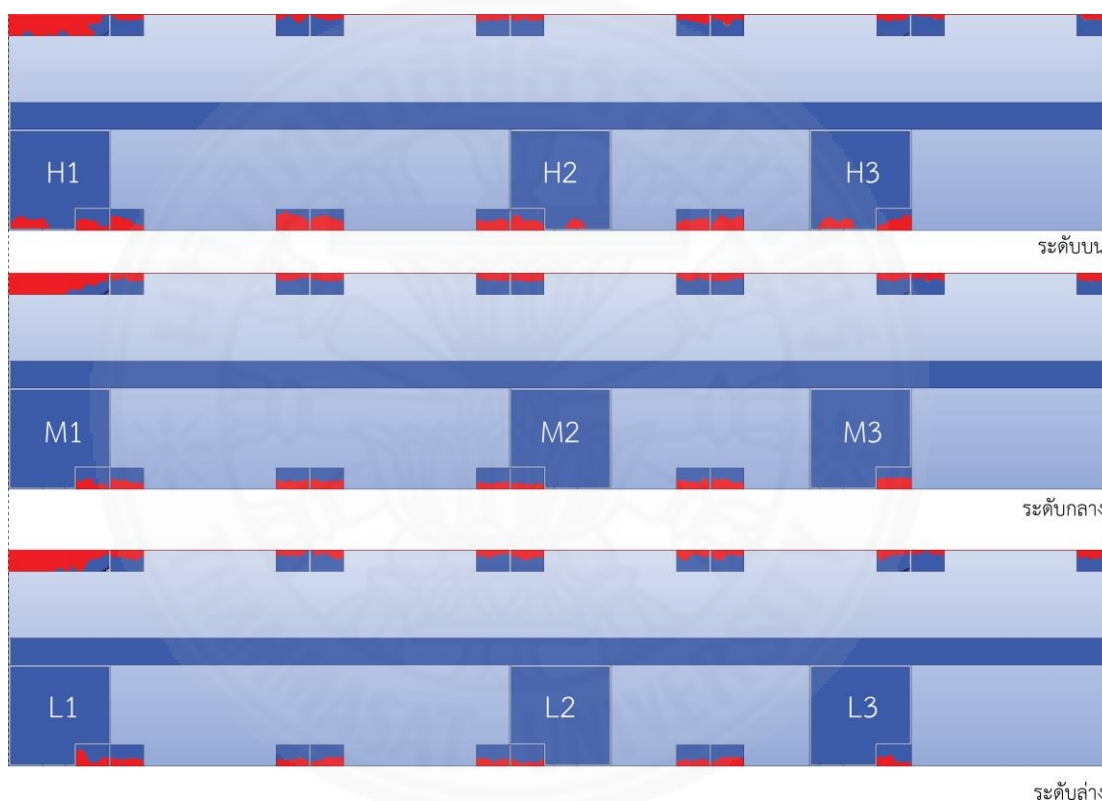
ภาพที่ 5.12 ลักษณะการไหลของลม กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นให้ผลเชิงกราฟิกคล้ายคลึงกับอาคารที่ได้ศึกษาไว้ในบทที่ 4 โดยในระดับบนลมมีทิศทางไหลขึ้นไปยังยอดอาคาร และไหลลงในช่วงระดับกลาง และล่าง เมื่อมองจากมุมบนลมมีการไหลออกซ้าย และขวาในลักษณะสมมาตร การเคลื่อนที่ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เกิดการไหลของฝนในลักษณะที่มีลักษณะเช่นเดียวกันด้วย ดังภาพที่ 5.10 - 5.13



ภาพที่ 5.13 ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝน กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

หลังจากทำการปล่อยอนุภาคน้ำฝนแล้วจึงวัดพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใช้งานของห้องจากผลของแบบจำลองใน ภาพที่ 5.14 และวัดอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารทั้ง 9 ตำแหน่ง พบว่าเกิดพื้นที่เปียกขึ้นเพียงในระดับบนที่ลมเกิดการยกตัวซึ่ง และฝนเข้าสู่อาคารด้วยความชันที่น้อย ผลของอัตราการไหลของอากาศนั้นให้ค่าต่ำสุดในระดับบน และสูงสุดในระดับล่าง ผลทั้งนี้คู่สอดคล้องกับที่ได้สรุปผลไว้ก่อนหน้านี้ ค่าของพื้นที่เปียกสามารถสรุป ได้ดังตารางที่ 5.1 และค่าอัตราการไหลของอากาศ ดังตารางที่ 5.2 และแสดงออกเป็นกราฟในภาพที่ 5.15



ภาพที่ 5.14 พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

ตารางที่ 5.1

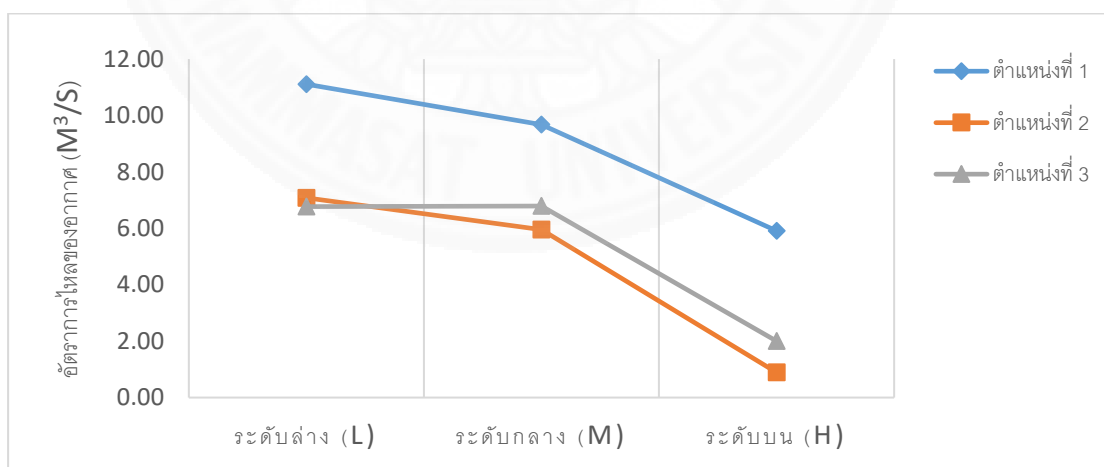
ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปือก กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	4.22 %	1.75 %	3.66 %
ระดับกลาง (M)	0.00 %	0.00 %	0.00 %
ระดับล่าง (L)	0.00 %	0.00 %	0.00 %

ตารางที่ 5.2

ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

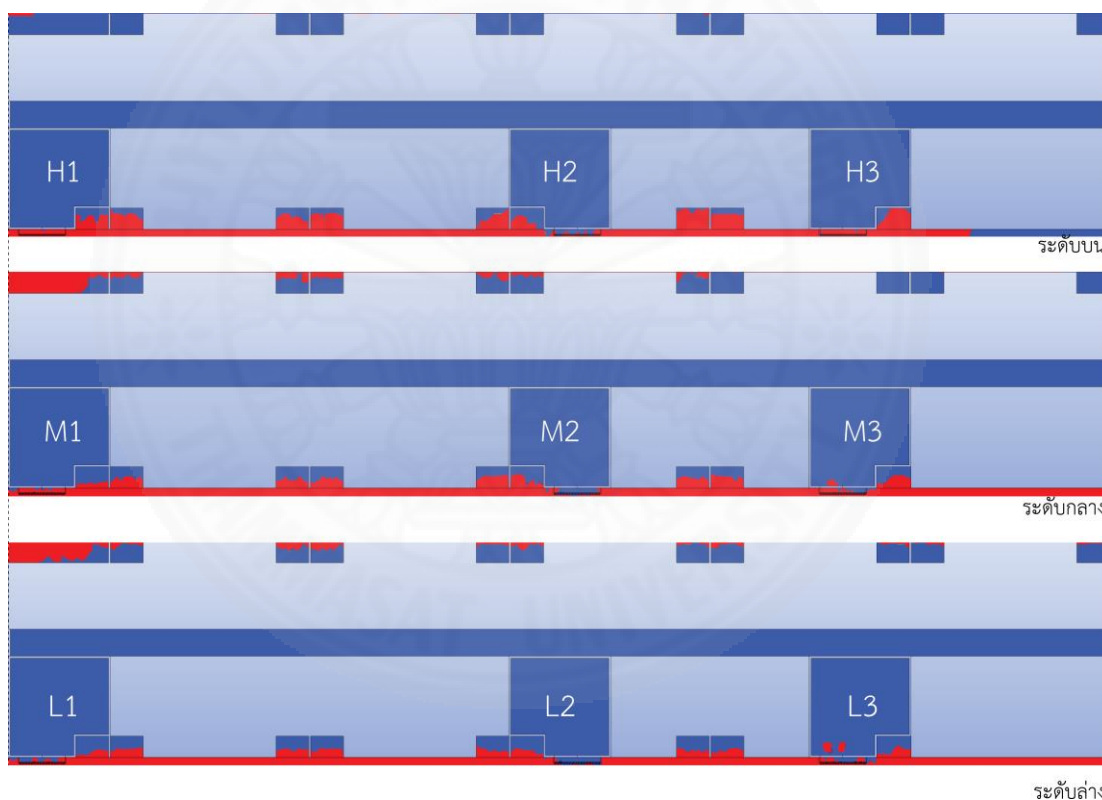
กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	5.91 m ³ /s	0.89 m ³ /s	2.00 m ³ /s
ระดับกลาง (M)	9.67 m ³ /s	5.95 m ³ /s	6.79 m ³ /s
ระดับล่าง (L)	11.11 m ³ /s	7.08 m ³ /s	6.77 m ³ /s



ภาพที่ 5.15 กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

5.2.3 ผลหลังการติดตั้งเปลือกอาคาร

เมื่อติดตั้งเปลือกอาคารตามข้อแนะนำที่ได้มีการสรุปไว้ โดยเลือกมาเพียง 1 ข้อสรุป ได้แก่ ในระดับบนติดตั้งเปลือกอาคารระยะ 0.30 เมตร ครีบบรูปแบบแนวนอนเอียง 30 องศา และระดับกลาง และล่างติดตั้ง ที่ระยะ 0.30 เมตร ด้วยรูปแบบแนวตั้ง เอียง 60 องศา ผลที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 5.11 พบว่า ในตำแหน่งที่ M3 และ L3 ซึ่งการวางตัวของแนวครีบนั้นเปิดรับกับทิศทางของลมที่ไหลเข้าสู่ช่องเปิดทำให้เกิดพื้นที่เปียกชื้นภายในอาคาร ให้ผลดังภาพที่ 5.16 และผลของพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.3 จึงต้องมีการปรับทิศทางของครีบบนองศาเท่ากันไปในทิศตรงข้ามส่งผลให้สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด



ภาพที่ 5.16 พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (ไม่สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)

ตารางที่ 5.3

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (ไม่สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)

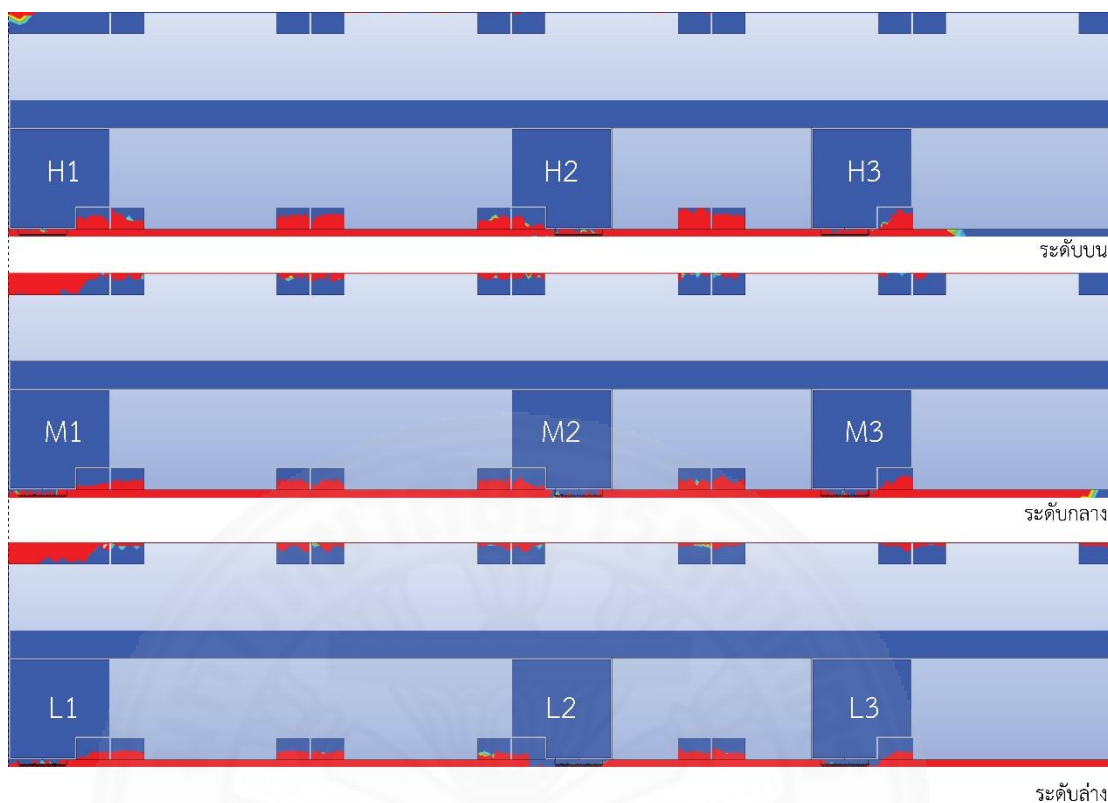
อาคารศึกษาที่ติดตั้งเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 (ไม่สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	0.00 %	0.00 %	0.00 %
ระดับกลาง (M)	0.00 %	0.00 %	0.65 %
ระดับล่าง (L)	0.00 %	0.00 %	1.73 %

ผลของอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นของแบบจำลองที่ป้องกันฝนได้ทั้งหมด ภาพที่ 5.17 นั้น ให้ผลที่สอดคล้องกับข้อสรุปก่อนหน้านี้เช่นกัน โดยระดับล่างให้ผลสูงที่สุด และระดับบนต่ำที่สุด แต่ยกเว้นในตำแหน่งที่ 1 ที่ในระดับบนให้อัตราการไหลของอากาศใกล้เคียงกับระดับที่ 1 เนื่องจากลมเข้าสู่อาคารมีทิศไหลออกด้านข้างด้วยส่งผลให้รูปแบบของครีบนั้นไม่ไปขวางทิศทางของลมไหล และตำแหน่งที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของอาคารนั้นให้อัตราการไหลของอากาศสูงกว่า ตำแหน่งที่ 2 กึ่งกลางอาคาร เนื่องจากลมที่ไหลออกไปยังด้านข้างทั้งสองมีความเร็วที่สูงกว่า ตรงกลางที่เป็นจุดแบ่งการไหลของลม ค่าของพื้นที่เปียกจากแบบจำลองที่ป้องกันฝนได้ทั้งหมดนั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.4 และค่าอัตราการไหลของอากาศ ดังตารางที่ 5.5 แสงเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 5.18

ตารางที่ 5.4

ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)

กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	0.00 %	0.00 %	0.00 %
ระดับกลาง (M)	0.00 %	0.00 %	0.00 %
ระดับล่าง (L)	0.00 %	0.00 %	0.00 %

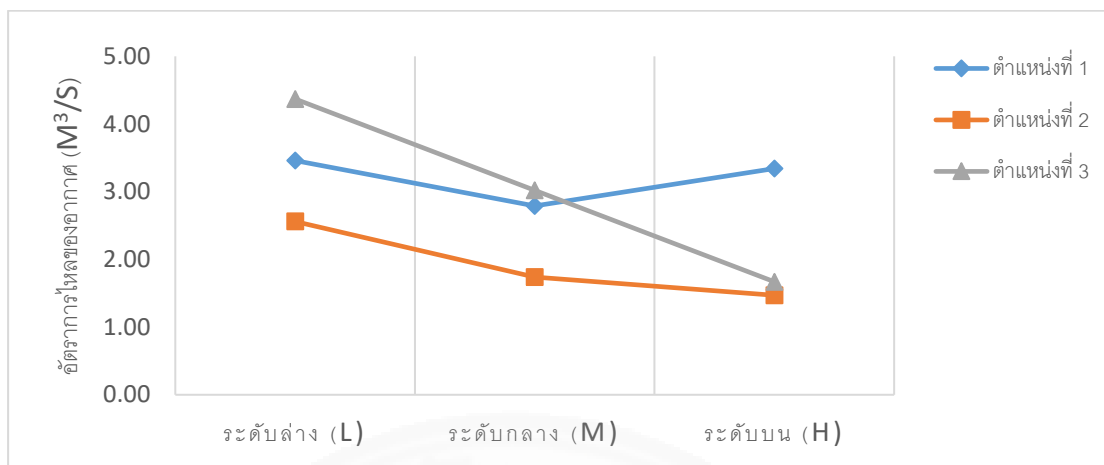


ภาพที่ 5.17 พื้นที่เปyekในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกออาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)

ตารางที่ 5.5

ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกออาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกออาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)

กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกออาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	3.34 m ³ /s	2.56 m ³ /s	1.67 m ³ /s
ระดับกลาง (M)	2.79 m ³ /s	1.74 m ³ /s	3.02 m ³ /s
ระดับล่าง (L)	3.46 m ³ /s	1.47 m ³ /s	4.37 m ³ /s

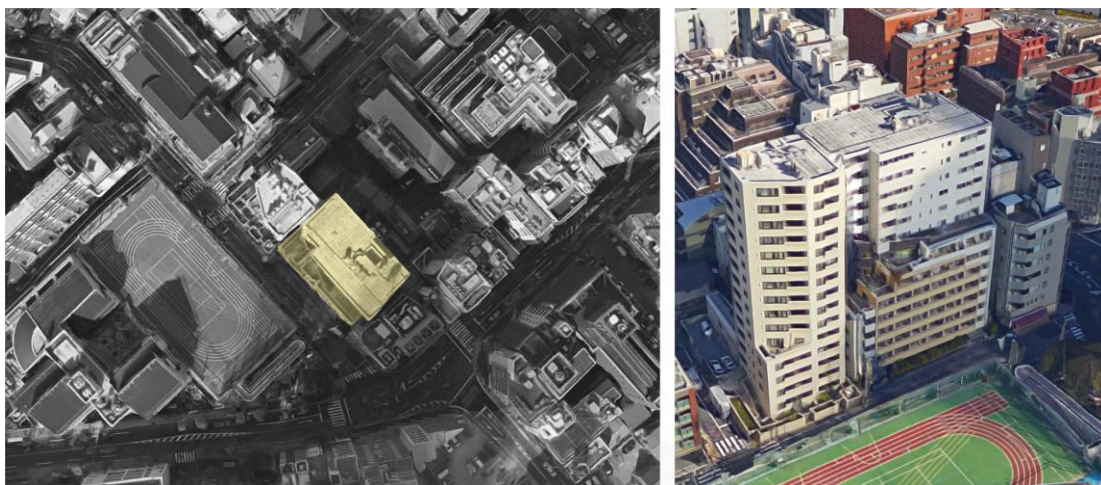


ภาพที่ 5.18 กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 1 ติดตั้งเปลือกอาคาร (สามารถป้องกันฝนได้ทั้งหมด)

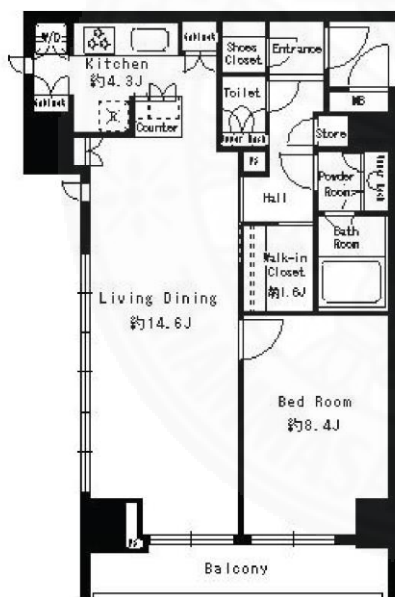
5.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ กรณีศึกษาที่ 2

5.3.1 อาคาร และขอบเขตการศึกษา

อาคารที่ได้ทำการเลือกมาเพื่อเป็นกรณีศึกษาในการประยุกต์ใช้อีกกรณีนั้นเป็นอาคารอพาร์ทเมนท์ อาคาร Park Rouge Akasaka Hinoki-cho ตั้งอยู่ในบริบทประเทศญี่ปุ่น เขต Minato-ku จังหวัดโตเกียว อาคารในโครงการดังกล่าวเป็นอาคารที่มีความสูง 15 ชั้น และมีรูปแบบของผังของโครงการ และอาคารดังภาพที่ 5.19-5.20 อาคารถูกออกแบบเป็นรูปแบบที่เป็น single-sided ventilation โดยในแบบจำลองนี้จะทำการวัดผลทั้งสิ้น 7 ตำแหน่งของอาคารทิศที่ได้รับลมมรสุมในช่วงฤดูฝน แบ่งออกเป็นระดับล่าง (L2-L3) ระดับกลาง (M2-M3) และระดับบน (H1-H2) ดังภาพที่ 5.21 ช่องเปิดของพื้นที่ตรวจวัดในระดับล่าง และระดับกลางนั้น มีลักษณะเป็นประตูเปิดออกสู่ระเบียงขนาด 1.20x1.50 เมตร และชั้นบนเป็นหน้าต่าง ขนาด 1.20x2.00 เมตร จำนวน 5 ชุดในตำแหน่ง H2 และ 4 ชุดในตำแหน่ง H3



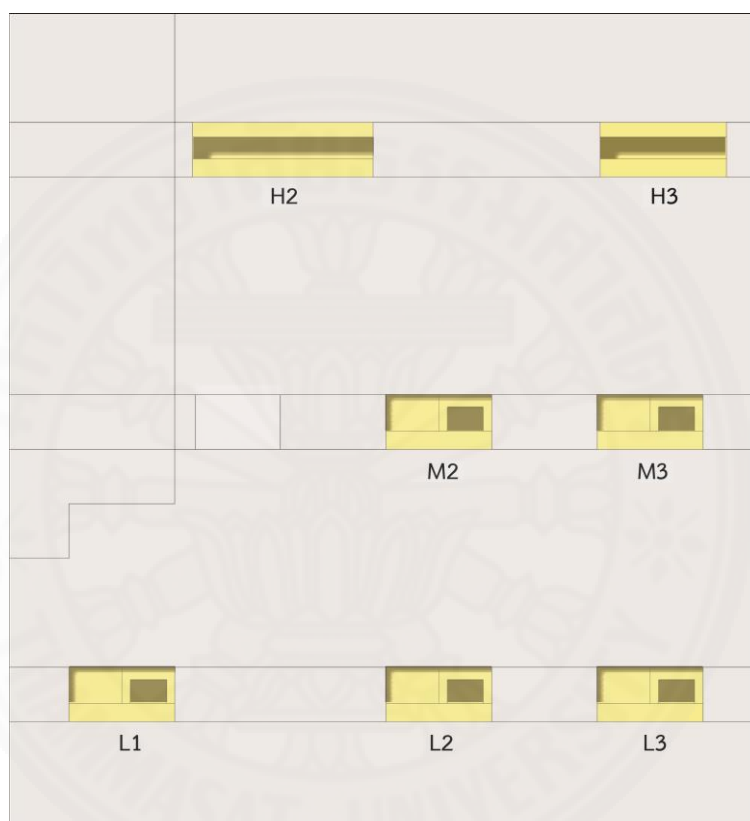
ภาพที่ 5.19 อาคารที่ใช้ศึกษาในกรณีศึกษาที่ 2 จาก Google map. (N/A). Retrieved November 12, 2016, from <https://www.google.co.th/maps>



ภาพที่ 5.20 พัง และห้องพักอาคาร Park Rouge Akasaka Hinoki-cho จาก Ken Corporation Ltd. (N/A). Park Rouge Akasaka Hinoki-cho (rent). Retrieved November 12, 2016, from <https://www.kencorp.com>

การศึกษาในบริบทของประเทศญี่ปุ่น ในเขตจังหวัด โตเกียว โดยฤดูฝน (tsuyu) ในเขตพื้นที่โตเกียวอยู่ในช่วง 8 มิถุนายน ถึง 19 กรกฎาคม ค่ำลมเฉลี่ยแรงที่สุดที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนเฉลี่ย 23 ปี (1989-2011) มีค่าอยู่ที่ 10 เมตรต่อวินาที ที่ระดับอ้างอิง 10 เมตร ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษามาจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 30 ปี (1981-2010) จากกรม

อุตุนิยมวิทยา มีค่าอยู่ที่ 1528.8 มิลลิเมตรต่อปี หรือคิดเฉลี่ยเป็น 4×10^{-5} มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถนำไปคำนวณปริมาณเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อุปกรณ์วัดน้ำฝนมาตรฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกวัดอยู่ที่ 0.20 เมตร ก่อนจะนำไปคำนวณแปลงหน่วยเป็น kg/s ซึ่งใช้เป็นค่าอัตราการไหลของฝนในโปรแกรม ANSYS Fluent ค่าที่ได้เท่ากับ 5.2×10^{-6} kg/s และใช้ฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด ที่ 1 มิลลิเมตร ในการศึกษาเพื่อตรวจสอบผล

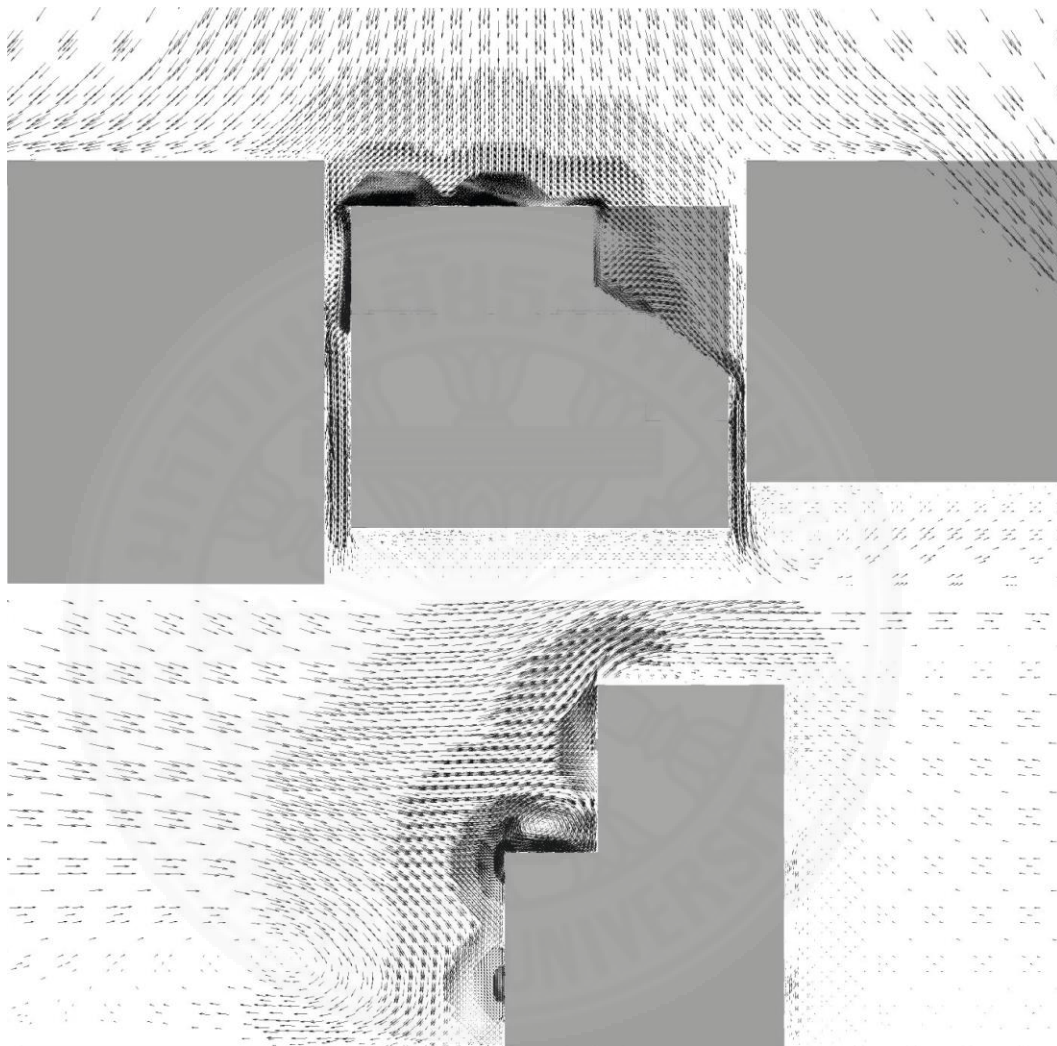


ภาพที่ 5.21 ตำแหน่งของพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 2

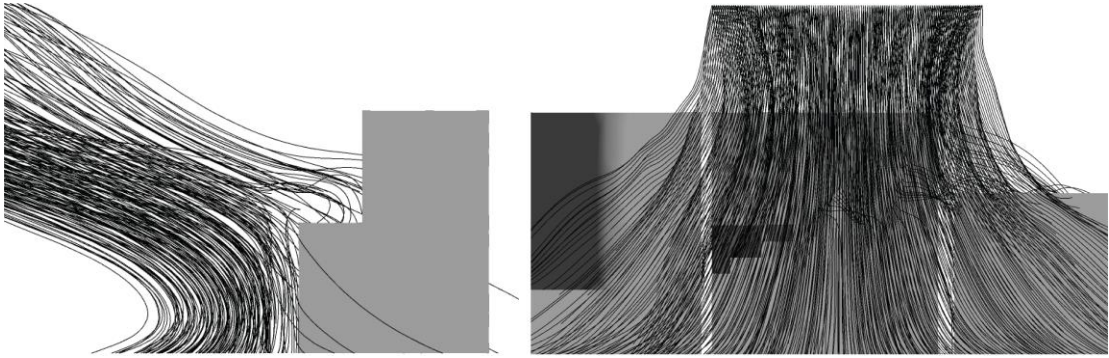
5.2.2 ผลก่อนติดตั้งเปลือกอาคาร

ขนาดเงื่อนไขของขอบเขตของแบบจำลอง กว้าง 492 x ยาว 935 x สูง 270 เมตร และทำการจำลองลมจะเข้าสู่ภาวะสมดุลคงตัว ก่อนจะทำการปล่อยอนุภาคของน้ำฝนทั้งสิ้น 36,900 อนุภาคตลอดแนวอาคาร เพื่อวัดผลของพื้นที่เปียก และอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อาคารในพื้นที่ตรวจวัดทั้ง 7 ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นให้ผลเชิงกราฟิกมีความซับซ้อนเปลี่ยนไปตามรูปทรงของอาคารที่เปลี่ยนไปแต่ยังมีทิศทางที่คล้ายกับกรณีผังอาคารทรงสี่เหลี่ยม ที่ได้ศึกษาไว้ในบทที่ 4 พื้นที่ตรวจวัดชั้นบนชมมีการเคลื่อนที่ในทิศขึ้นสู่ยอดอาคาร ระดับกลาง และล่างเคลื่อนที่ลงสู่พื้น ลมใน

ระนาบแนวนอนนั้นปะทะกับตัวอาคาร และเคลื่อนที่ออกไปทางซ้าย และขวาในลักษณะไม่สมมาตร ส่งผลให้ฝนมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปด้วย ดังภาพที่ 5.22 - 5.23

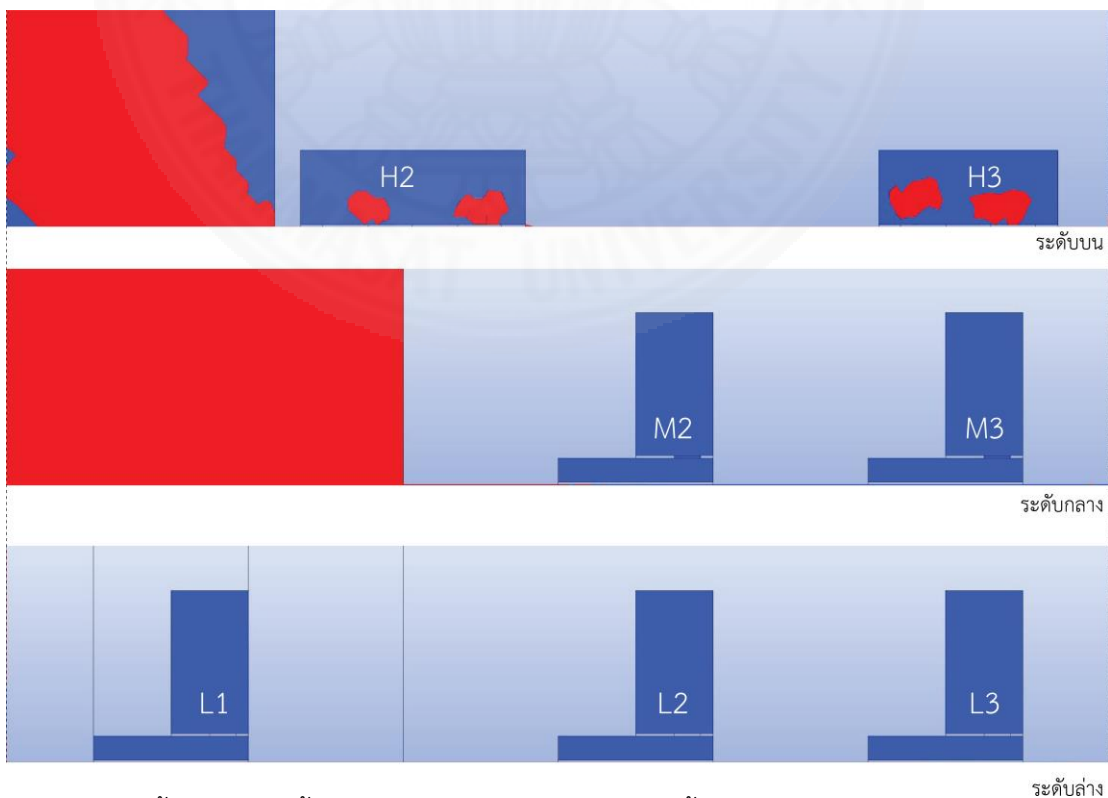


ภาพที่ 5.22 ลักษณะการไหลของลม กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร



ภาพที่ 5.23 ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝน กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

หลังจากทำการปล่อยอนุภาคน้ำฝนแล้วจึงวัดพื้นที่เปียกที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใช้งานของห้องจากผลของแบบจำลองใน ภาพที่ 5.24 และวัดอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารทั้ง 9 ตำแหน่ง พบว่าเกิดพื้นที่เปียกขึ้นเพียงในระดับบนที่ลมเกิดการยกตัวซึ่ง และฝนเข้าสู่อาคารด้วยความชันที่น้อย ผลของอัตราการไหลของอากาศนั้นให้ค่าต่ำสุดในระดับบน และสูงสุดในระดับล่าง ผลทั้งคู่สอดคล้องกับที่ได้สรุปผลไว้ก่อนหน้านี้ ค่าของพื้นที่เปียกสามารถสรุป ได้ดังตารางที่ 5.6 และค่าอัตราการไหลของอากาศ ดังตารางที่ 5.7 แสดงเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 5.25



ภาพที่ 5.24 พื้นที่เปียกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

ตารางที่ 5.6

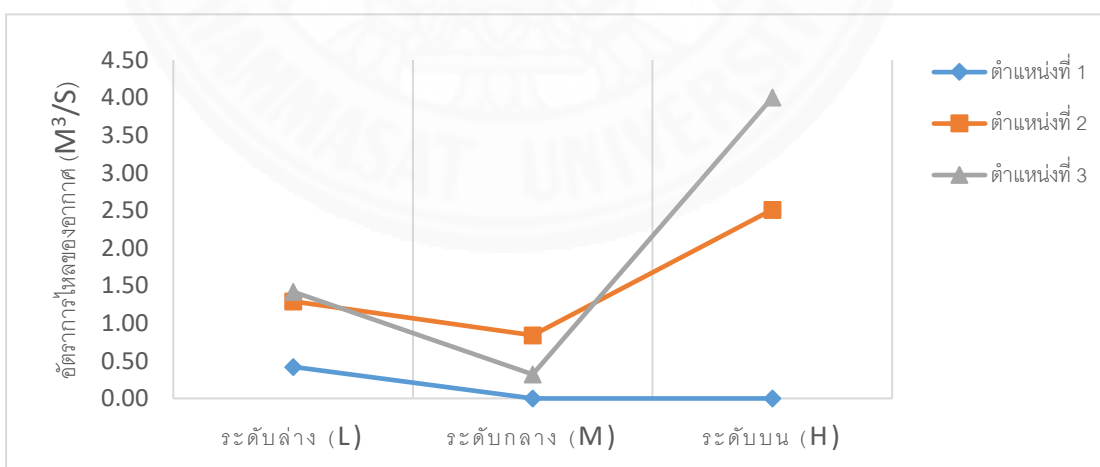
ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปียก กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	-	23.94 %	14.63 %
ระดับกลาง (M)	-	0.00 %	0.00 %
ระดับล่าง (L)	0.00 %	0.00 %	0.00 %

ตารางที่ 5.7

ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

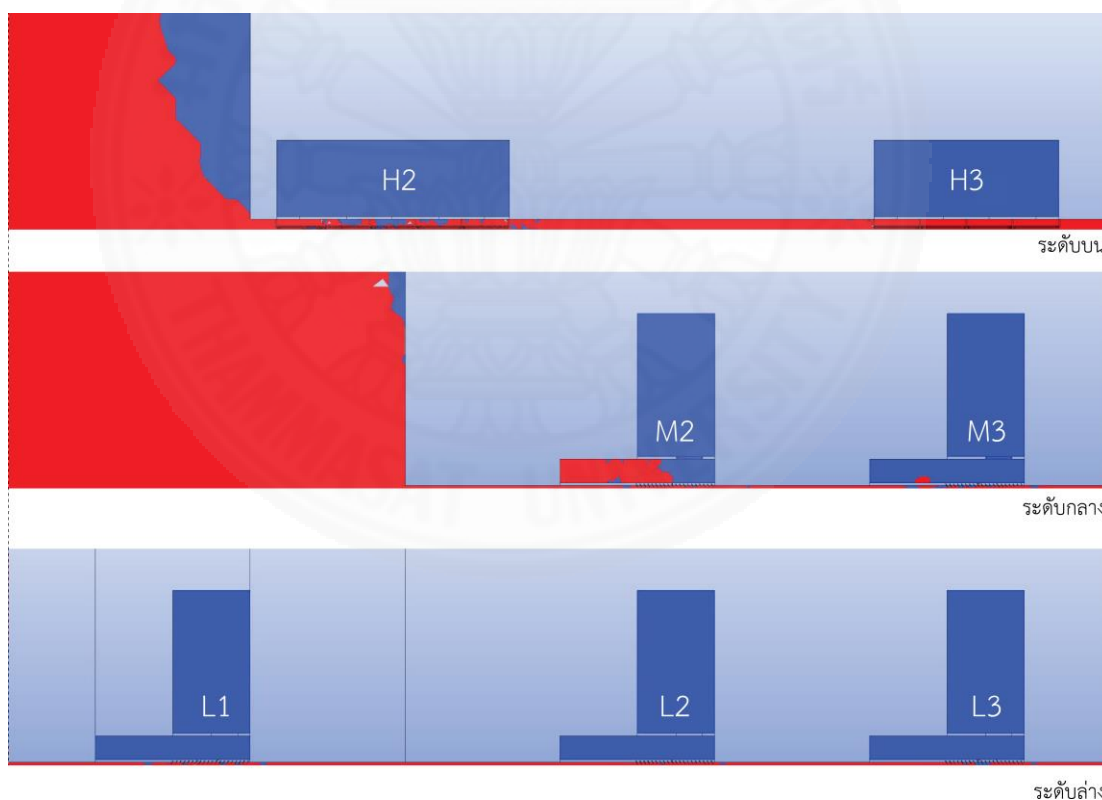
กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	-	2.51 m ³ /s	4.00 m ³ /s
ระดับกลาง (M)	-	0.84 m ³ /s	0.32 m ³ /s
ระดับล่าง (L)	0.42 m ³ /s	1.29 m ³ /s	1.42 m ³ /s



ภาพที่ 5.25 กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ไม่ติดตั้งเปลือกอาคาร

5.2.3 ผลหลังการติดตั้งเปลือกอาคาร

เมื่อติดตั้งเปลือกอาคารตามข้อแนะนำที่ได้มีการสรุปไว้เช่นเดียวกับแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 1 ได้แก่ ในระดับบน ติดตั้งเปลือกอาคารระยะ 0.30 เมตร ครีบริบบแบบแนวนอนเอียง 30 องศา และระดับกลาง และล่างติดตั้ง ที่ระยะ 0.30 เมตร ด้วยรูปแบบแนวตั้ง เอียง 60 องศา ที่มีการปรับทิศทาง และองศาของครีบริบบให้สอดคล้องกับทิศทางลม ผลที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 5.26 ค่าของพื้นที่เป็ยกสามารถสรุป ได้ดังตารางที่ 5.8 อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร สอดคล้องกับผลที่ได้สรุปไว้ก่อนหน้านี้ โดยระดับบนให้ค่าอัตราการระบายอากาศที่สูงกว่า ระดับล่าง และพื้นที่ตรวจวัดด้านข้างของอาคารมีค่าอัตราการไหลของอากาศมากกว่ากึ่งกลางอาคารใน ระดับกลาง และล่าง เนื่องจากลมวนที่เกิดขึ้นหน้าอาคาร ค่าอัตราการไหลของอากาศ ดังตารางที่ 5.9 แสดงเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 5.27



ภาพที่ 5.26 พื้นที่เป็ยกในพื้นที่ตรวจวัด กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร

ตารางที่ 5.8

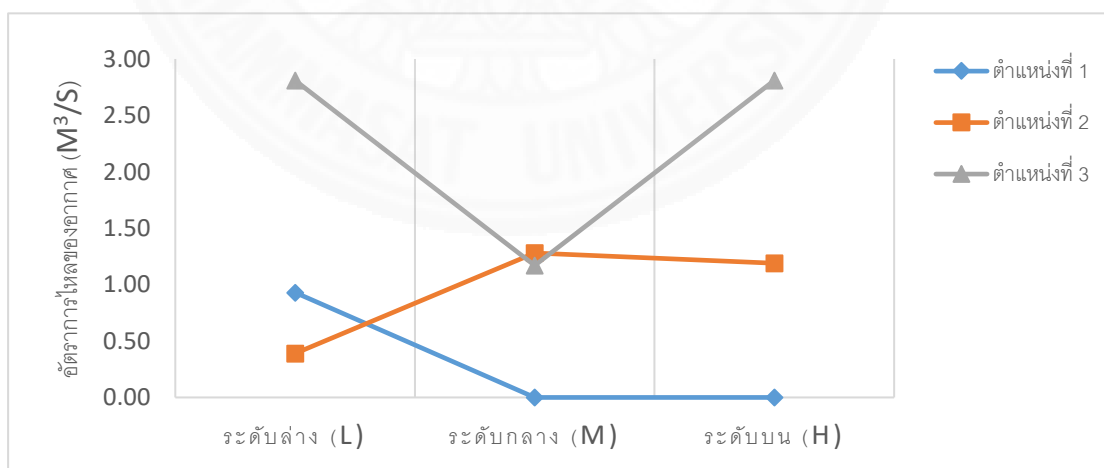
ผลการวิเคราะห์พื้นที่เปือก กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร

กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	-	0.00 %	0.00 %
ระดับกลาง (M)	-	0.00 %	0.00 %
ระดับล่าง (L)	0.00 %	0.00 %	0.00 %

ตารางที่ 5.9

ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร

กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
ระดับบน (H)	-	1.91 m ³ /s	2.81 m ³ /s
ระดับกลาง (M)	-	1.28 m ³ /s	1.17 m ³ /s
ระดับล่าง (L)	0.93 m ³ /s	0.39 m ³ /s	0.73 m ³ /s

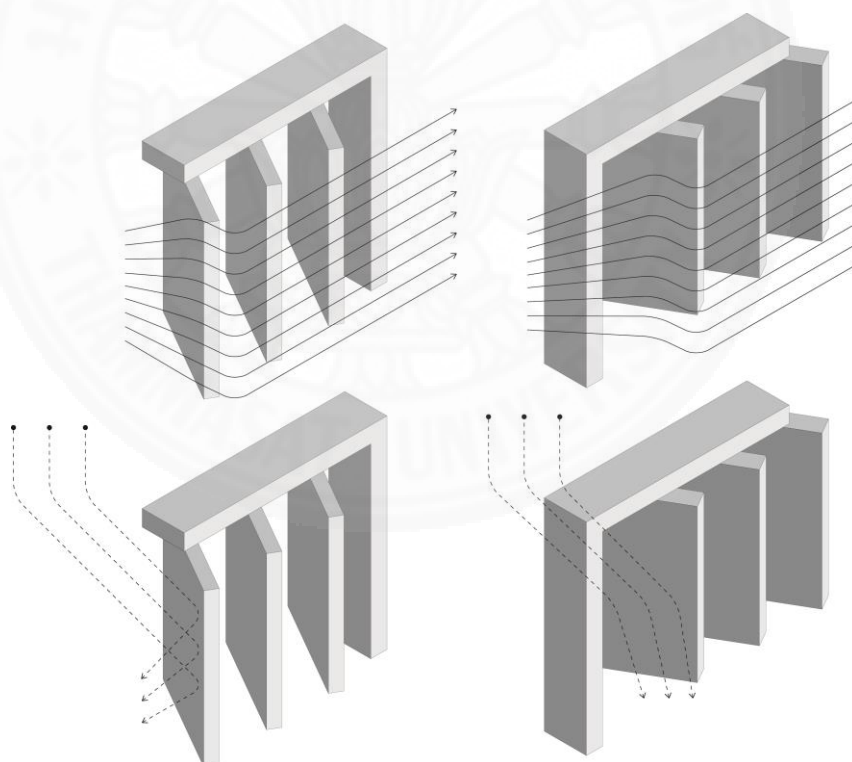


ภาพที่ 5.27 กราฟสรุปเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร กรณีศึกษาที่ 2 ติดตั้งเปลือกอาคาร

5.4 สรุปผล และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

เมื่อได้นำข้อสรุปไปประยุกต์ใช้กับอาคารที่เกิดขึ้นจริงแล้วพบว่า ข้อสรุปข้างต้นนั้นสามารถใช้ประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันฝนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้จริง ทั้งนี้พื้นที่ตรวจวัดด้านข้างของอาคารนั้นยังคงต้องมีการปรับเปลี่ยนทิศทางของครีปให้เหมาะสมกับทิศทางของลมโดยเฉพาะระดับล่าง และกลาง ที่ใช้รูปแบบครีปแนวตั้งเอียง 60 องศา หากเอียงด้านเปิดของครีปเข้าหาทิศทางของลมแล้วจะทำให้น้ำฝนเข้าสู่ตัวอาคารมากขึ้น ดังภาพที่ 5.28

ในการศึกษาในปัจจัยเรื่องฝนกับการออกแบบเปลือกอาคารสองชั้นต่อไปผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อดังนี้ นำข้อสรุปไปใช้ในการศึกษากับเปลือกอาคารที่มีการออกแบบในรูปทรงที่ซับซ้อนมากขึ้น และทดสอบยืนยันผลกับพื้นที่ตรวจวัดด้านข้างของอาคาร เนื่องจากเมื่อนำข้อสรุปไปประยุกต์ใช้แล้วยังมีกรณีที่ได้รับผลกระทบจากฝนอยู่



ภาพที่ 5.28 ไดอะแกรมแสดงการเคลื่อนที่ของลม และฝน เปลือกอาคารบริเวณด้านข้างของอาคาร

รายการอ้างอิง

หนังสือ และบทความในหนังสือ

Allard, F., & Ghuniaux, C. (2005). *Natural ventilation in the urban environment*. Earthscan:UK

ANSYS, Inc. (2010). *Customer Training Material : Using the Discrete Phase Model (DPM)*. <http://support.ansys.com>.

ANSYS, Inc. (2013). *ANSYS Fluent Theory Guide*. <http://support.ansys.com>.

Koolhaas, R. (2014). *Elements of architecture : Facade*. Marsilio.

Stouter, P. (2008). *Shaping Buildings for the Humid Tropics: culture, climate and material*. Earth bag Building.

บทความวารสาร

Aflaki, A., Mahyuddin, N., Baharum, M., & Mahmoud, Z. (2015). A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy and Buildings*, 101, 153-162.

Bangalee, M.Z.I., Lin, S.Y., & Miao, J.J. (2011). *Wind driven natural ventilation through multiple windows of a building: A computational approach*. *Energy and Buildings*, 45, 317-325

Blocken, B., & Carmeliet, J. (2002). *Spatial and temporal distribution of driving rain on a low-rise building*. *Wind and Structures*, 5, 441.

- Blocken, B., & Carmeliet, J. (2004). *A review of wind-driven rain research in building science*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 92, 1079-1130.
- Blocken, B., Carmeliet, J., & Poesen, J. (2005). *Numerical simulation of the wind-driven rainfall distribution over small-scale topography in space and time*. *Journal of Hydrology* 315(1-4), 252-273.
- Chenvidyakarn, T. (2007). *Review Article: Passive Design for Thermal Comfort in Hot Humid Climates*. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 5 issue 1, 1-27.
- Feriadi, H., & Wong, N. (2004). *Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia*. *Energy and Buildings*, 36, 614-626.
- Hangan, H. (1999). *Wind-driven rain simulations*. *Journal of Visualization*, 1, 337-343.
- Sankaran, R., & Paterson, D.A. (1997). *Computation of rain falling on a tall rectangular building*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 72, 127-136.
- Prianto, E., Bonneaud, F., Depecker, P., & Peneau, J-P. (2000). *Tropical-humid architecture in natural ventilation*. *International Journal on Architectural Science*, 1, 80-95.
- Kiang, T., & Robson, D. (2006). *Bioclimatic Skyscraper – Learning from Bawa*. *The Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 23.
- Khalilzadeh, A., Ge, H., & Dick Ng, H (2016). *CFD modeling of wind-driven rain wetting of building facade*. *International Building Performance Simulation Association*, 9, 181-191

- Lim, C.H., Alkhair, M., Mirrahimi, E.,& Sopian,K. (2016). *Optimization of Wind Driven Rain Barrier for Tropical Natural Ventilated Building*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 12(1), 69-85.
- Lopez, C., Masters, F.,& Bolton, S. (2010). *Water penetration resistance of residential window and wall systems subjected to steady and unsteady wind loading*. Building and Environment, 46, 1329-1342.
- Lopez, C., Masters, F.,& Bolton, S. (2010). *Water penetration resistance of residential window and wall systems subjected to steady and unsteady wind loading*. Building and Environment, 46, 1329-1342.
- Prueksakorn, K., Xu-Piao, C., Ha, H.,& Kim, T. (2015). *Computational and Experimental Investigation for an Optimal Design of Industrial Windows to Allow Natural Ventilation during Wind-Driven Rain*, 7, 10499-10520.
- Roetzel, A., Tsangrassoulis, A., Dietrich, U.,& Busching, S. (2010). *A review of occupant control on natural ventilation*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 1001-1013.
- Van Hooff, T., Blocken, B.,& Harten, M. (2011). *3D CFD simulations of wind flow and wind-driven rain shelter in sports stadia Influence of stadium geometry*. Building and Environmental, 46, 22-37.

วิทยานิพนธ์

Hardy, K. (1962). *A study of Raindrop-size, Distributions and their Variation with Height*. Department of Engineering Mechanics Meteorological Laboratories The university of Michigan.

Petterson, K. (2015). *Simulating wind-driven rain on building facades using Eulerian multiphase with standard k-epsilon turbulence model*. (Master's thesis in Applied Mechanics) Department of Applied Mechanics Calmers University of Technology.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

Bakker, A. (2002). *Discrete Phase Modeling : Applied Computational Fluid Dynamics*. Retrieved from <http://www.bakker.org>

Green Building Advisor. (2014, July). Every House Needs Roof Overhangs. Retrieved from <http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/every-house-needs-roof-overhangs>

Insurance Institute for Business & Homen Safet. (2009). *Steps to Protect Commercial Buildings from Wind Driven Rain*. Retrieved from <https://disastersafety.org/ibhs-news-releases/steps-to-protect-commercial-buildings-from-wind-driven-rain-4/>

National Climate Change Secretariat Strategy Group (NCCS), Prime Minister's office. (2016, January 22). Impact of Climate Change on Singapore. Retrieved from <https://www.nccs.gov.sg/climate-change-and-singapore/national-circumstances/impact-climate-change>

Ontario Association of Architects. (2013, January 4). OAA Rain Penetration Control Practice Guide. Retrieved from http://www.oaa.on.ca/images/docs/13052048_15_Rain_Penetration_Intro.pdf

Ozen, M. (2014, November 13). Meshing Workshop .Retrieved from www.ozeninc.com

Sofialidis, D. (2013, September 21-27). Workshop 2 : Using the Discrete Phase Model (DPM). Retrieved from <https://events.prace-ri.eu/event/156/session/5/contribution/11/material/slides/1.pdf>

ตาราง 31 น้ำฝนรายเดือน ปี 2554-2556. (2013). Monthly anual rainfall statistic . Retrieved from <http://www.dnp.go.th/>.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายจิรวุฒิ ศักดิ์ชลาธร
วันเดือนปีเกิด	4 พฤษภาคม 2536
ตำแหน่ง	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

