

การศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ  
STUDY OF THE EFFECTS OF WIND FORCE ON VARIOUS  
BUILDING SHAPES



ณัฐสรณ์ อยู่ด้วง  
ภูริวัฒน์ สุรินทชัย  
อธิปต์ย์ อ่อนแพง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ  
STUDY OF THE EFFECTS OF WIND FORCE ON VARIOUS  
BUILDING SHAPES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF THE EFFECTS OF WIND FORCE ON VARIOUS  
BUILDING SHAPES

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is surrounded by Thai script. The text inside the seal includes 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) and 'กระทรวงศึกษาธิการ' (Ministry of Education, Culture and Sport).

NATTHASON YOUDUANG  
POOHRIWAT SURINTACHAI  
ATIPHAT ONPHAENG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ


หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปร่างต่างๆ  
STUDY OF THE EFFECTS OF WIND FORCE ON VARIOUS BUILDING  
SHAPES

นักศึกษา นายณัฐสรณ์ อยู่ด้วง รหัสนักศึกษา 58010436  
นายภูริวัฒน์ สุรินทชัย รหัสนักศึกษา 58010991  
นายอธิปไตย อ่อนแพง รหัสนักศึกษา 58011391

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลิตา อุตะเกา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	
ผศ.ดร.ชลิตา	อุตะเกา	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญพฤษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

# การศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ

นายณัฐสรณ์	อยู่ด่าง	58010436
นายภูริวัฒน์	สุรินทชัย	58010991
นายอธิปต์ย์	อ่อนแพง	58011391
ผศ.ดร.ชลิตา	อุตะเถา	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2561

## บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง "การศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ" จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ มีการทดสอบทั้งหมด 2 แบบคือ การทดสอบลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตจากควันที่ผ่านแบบจำลอง และการทดสอบเชิงตัวเลขโดยการวัดความเร็วลมด้านหลังอาคาร

การทดสอบทางกายภาพพบว่า ลักษณะของรูปทรงอาคารแต่ละแบบที่แตกต่างกันทั้ง 8 แบบ มีผลทำให้เกิดลมแรงหรือเกิดพื้นที่อับลม จุดปั่นป่วน ซึ่งทำให้สภาพแวดล้อมโดยรอบมีผลกระทบที่เกิดกับคนในบริเวณนั้น อันได้แก่ จำนวนฝุ่นมากๆ ที่อยู่ในที่อับไม่ถูกพัดพาออกไป อันอาจจะทำให้เกิดผลกับสุขภาพของผู้อยู่อาศัย โดยขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นมลพิษที่สะสม

การทดสอบเชิงตัวเลขสามารถวิเคราะห์แรงลมทางด้านหลังอาคารทั้ง 8 แบบ ซึ่งพิจารณารูปแบบและทิศทางอาคารในแง่ของผลกระทบด้านกระแสลมด้านหลังอาคาร ซึ่งจากผลการทดสอบนั้น จะทราบค่าความเร็วลมที่ด้านหลังอาคารหลังจากปะทะลม และพิจารณาที่ค่าความเร็วลมต่ำที่สุดของแต่ละรูปทรงอาคาร สามารถสรุปได้สามกลุ่ม ได้แก่ รูปแบบ (A, F, H), รูปแบบ (B, C, D) และรูปแบบ (E, G) ซึ่งแต่ละกลุ่มจะสามารถพิจารณาผลกระทบด้านการถ่ายเท ของอากาศ ฝุ่น ควัน ที่เป็นมลภาวะได้

# STUDY OF THE EFFECTS OF WIND FORCE ON VARIOUS BUILDING SHAPES

Mr. Natthason Yooduang 54010436

Mr. Poohriwat Surintachai 58010991

Mr. Atiphat Onpaeng 58011391

Asst. Prof. Chalida U-tapao Co-Advisor

Academic Year 2018

## ABSTRACT

This research is a Topic of "Study of the effects of wind force on various building shapes" prepared to study the effect of wind force on various building shapes there are 2 types of tests physical testing by observing the smoke through the model and numerical testing by measuring the wind speed behind the building

Physical testing found that the characteristics of each of the 8 different types of buildings, resulting in strong winds or areas of wind, turbulence, which cause the surrounding environment to have an impact on people in that area, including the amount of dust. In the place where he was not taken away airflow to the person. Which may affect the health of the residents depending on the amount of dust accumulated

The numerical test can analyze the wind force in the back of the 8 buildings, which considers the layout and direction of the building in terms of the impact on the wind side behind the building. Which from the test results will know the wind speed at the back of the building after the wind strikes and considering the minimum wind speed of each building shape can conclude three groups including model (A, F, H), model (B, C, D) and model (E, G). Which each group can consider the impact of air pollution, dust, smoke that is pollution

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ เพื่องานวิศวกรรม สามารถสำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ส่งผลให้ ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.ชลิตา อุตะเภา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

คุณมนตรี บุปผาชาติ และคุณธีรเดช คำวิไล ช่างเทคนิคประจำสาขาวิศวกรรมโยธา กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้คำแนะนำ ความรู้ ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และการจัดสรรสถานที่ในการทำงานวิจัย ตลอดเวลาที่ผ่านมา

คุณธีรวัฒน์ ศรีสุพัฒน์ ตำแหน่ง Marketing Engineer Team A บริษัท Kruger Ventilation Industries (Thailand) กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้คำแนะนำ ความรู้ ความช่วยเหลือ ในด้านเกี่ยวกับ เครื่องกำเนิดลม และจัดทำให้ในราคาต้นทุนการผลิต

คุณศตวรรษ ต้วงแป้น พี่ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการแก้ปัญหา ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ณัฐสรณ์	อยู่ด้วง
ภูริวัฒน์	สุรินทร์ชัย
อธิปัตย์	อ่อนแพง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	3
2.1 อุโมงค์ลม	3
2.2 ชนิดของอุโมงค์ลม	3
2.3 อุโมงค์ลมแบ่งชนิดตามความเร็วของการไหลของอากาศภายในอุโมงค์	5
2.4 ส่วนประกอบหลักของอุโมงค์ลม	6
2.5 เครื่องวัดความเร็วลม	8
2.6 แรงลม	8
2.7 การทดสอบในอุโมงค์ลม	27
2.8 กฎหมายควบคุมอาคาร	31

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	40
3.1 การปรับปรุงซ่อมแซมอุโมงค์ลม	40
3.2 การทดสอบการวัดความเร็วช่วงหน้าตัดทดสอบ	44
3.3 การออกแบบและสร้างแบบจำลอง	46
3.4 การทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม	58
บทที่ 4 ผลการศึกษา	61
4.1 ผลการทดสอบการทำงานอุโมงค์ลม	61
4.2 การทดสอบลักษณะทางกายภาพ	63
4.3 การทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	74
5.1 สรุปผลการทดลอง	74
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	75
5.3 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก	78

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณสุข	11
2.2 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม	12
2.3 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C <sub>e</sub> ) สำหรับวิธีการอย่างง่าย	13
2.4 การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเดี่ยวและอาคารสูง	14
2.5 ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544	34
2.6 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2552 ข้อ 48 กฎของกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543)	36
3.1 ตัวอย่างตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้	45
3.2 ตัวอย่างตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้เมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบพฤติกรรมของแรงลมที่กระทำต่ออาคาร	60
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้	61
4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข จากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์	71
4.3 ตารางแสดงผลการทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข จากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์	71

# สารบัญญภาพ

รูป	หน้า
2.1 แสดงการไหลของอากาศในอุโมงค์ลมจำลองการไหลของอากาศผ่านรถยนต์	3
2.2 อุโมงค์ลมแบบดูด	4
2.3 อุโมงค์ลมแบบเป่า	4
2.4 อุโมงค์ลมแบบปิด	5
2.5 ส่วนประกอบหลักของอุโมงค์ลม	6
2.6 เครื่องวัดความเร็วลม	8
2.7 พฤติกรรมของแรงลมที่กระทำต่ออาคาร	9
2.8 ลมที่เข้าปะทะอากาศทำให้เกิด Positive pressure (+) และ Negative pressure (-)	9
2.9 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $C_pC_g$ สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับพื้นที่ ผิวทุกด้านของอาคารพร้อมกัน	15
2.10 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_pC_g$ ) สำหรับการออกแบบผนังภายนอกและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	17
2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_pC_g$ ) ที่กระทำบนพื้นผิวของหลังคาที่มีความชันน้อยกว่า $7^\circ$ สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	18
2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_pC_g$ ) ที่กระทำบนหลังคาตระดับ (stepped roof) โดยใช้ประกอบกับรูป 2.11 สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	19
2.13 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_pC_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า $7^\circ$ สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	20
2.14 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_pC_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า $10^\circ$ และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วงสำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	21
2.15 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_pC_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความลาดชันด้านเดียว สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	23

2.16 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร (CpCg) ที่กระทำกับหลังคา ลักษณะพื้นเอียง (มีความลาดชันเพียงด้านเดียว และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วง) ที่มีความชันมากกว่า 10° สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	24
2.17 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม (Cp และ Cp*) สำหรับอาคารที่มีความสูงมากกว่าความกว้าง และมีหลังคาอยู่ในแนวราบ	25
2.18 แบบจำลองย่อยส่วนของอาคารและอาคารข้างเคียงในอุโมงค์ลม	28
2.19 แบบจำลองแข็ง ที่ติดตั้งท่อส่งแรงดัน เพื่อวัดความดันลมที่จุดต่างๆ ของผนังโดยรอบอาคาร	29
2.20 แบบจำลองหน้าตัดสะพานบางส่วนในอุโมงค์ลม	30
2.21 แบบจำลองหน้าตัดสะพานที่ติดตั้งอยู่บนสปริง เพื่อจำลองคุณสมบัติทางด้านพลศาสตร์	30
2.22 แสดงเนื้อหากฎหมายผังเมือง	31
2.23 ผังสีกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน	32
2.24 รายละเอียดผังสีซึ่งกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน	32
2.25 ตารางสรุปข้อกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินตามกฎหมายกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวม กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2556	33
2.26 ค่าแรงตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544	34
2.27 อุโมงค์ลมแบบเปิด	37
2.28 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบและนิยามทิศทางของแรงลม	38
2.29 ผลการจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสลม	38
2.30 รูปแบบการจำลองและผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม CFD	39
3.1 ตัวอย่างน็อดและสกรูที่ใช้	40
3.2 ประแจไขน็อดขนาดต่างๆ	40
3.3 ซิลิโคนพร้อมปืนฉีด	41
3.4 ส่วนสำหรับเจาะ	41
3.5 ไม้สำหรับเสริมฐานรองรับอุโมงค์ลม	41
3.6 กาวสำหรับติดอะคริลิก	42
3.7 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความเร็วลม	42
3.8 เหล็กฉาก	43
3.9 ยางสำหรับเปลี่ยนยางเก่าที่เสื่อมสภาพ	43
3.10 ฉากเหล็กกอนกประสงค์	43
3.11 แสดงภาคตัดด้านหน้า	44

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.12 แสดงภาคตัดด้านข้าง	44
3.13 รูปแปลนขยาย ช่องใส่วัสดุ	46
3.14 รูปแปลนอาคาร A	47
3.15 รูปแปลนอาคาร B	47
3.16 รูปแปลนอาคาร C	48
3.17 รูปแปลนอาคาร D	48
3.18 รูปแปลนอาคาร E	49
3.19 รูปแปลนอาคาร F	49
3.20 รูปแปลนอาคาร G	50
3.21 รูปแปลนอาคาร H	50
3.22 รูปแปลนแบบจำลอง A	51
3.23 รูปแปลนแบบจำลอง B	51
3.24 รูปแปลนแบบจำลอง C	52
3.25 รูปแปลนแบบจำลอง D	52
3.26 รูปแปลนแบบจำลอง E	53
3.27 รูปแปลนแบบจำลอง F	53
3.28 รูปแปลนแบบจำลอง G	54
3.29 รูปแปลนแบบจำลอง H	54
3.30 ปูนซีเมนต์	55
3.31 ทราเยอบแห้ง	55
3.32 ไม้แบบ	55
3.33 ตะปู	55
3.34 ค้อนตีตะปู	56
3.35 เลื่อยฉลุไฟฟ้า	56
3.36 กาวร้อน	56
3.37 ซิลิโคนพร้อมปืนยิง	56
3.38 แสดงการเข้าไม้แบบ	57
3.39 การผสมปูน	57
3.39 การผสมปูน	57

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.40 การเทปูนเข้าแบบหล่อ	57
3.41 หลังจากถอดไม้แบบ	58
3.42 การบ่มแบบจำลอง	58
3.43 การทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์	59
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับค่าความถี่ไฟฟ้า	62
4.2 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง A	63
4.3 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง B	64
4.4 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง C	65
4.5 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง D	66
4.6 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง E	67
4.7 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง F	68
4.8 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง G	69
4.9 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง H	70
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบจำลองจากแหล่งจ่ายไฟ 20 เฮิร์ตซ์	72
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบจำลองแหล่งจ่ายไฟ 30 เฮิร์ตซ์	73

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการงาน

แรงลมเป็นแรงหลักที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้าง ในปัจจุบันวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงลมที่มีค่าแปรผันตามช่วงความสูงของอาคารที่ออกแบบ แต่ในทางความเป็นจริงแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างจะมีลักษณะที่แปรผันไปตามปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพภูมิประเทศที่มีภูเขาบดบัง ลักษณะรูปทรงของอาคาร ดังนั้นแรงลมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างจึงไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัว อาจจะมีการคลาดเคลื่อนได้ ปัจจุบันนี้วงการการก่อสร้างได้เติบโตอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการสร้างป้ายโฆษณาประชาสัมพันธ์สินค้า อาคารสูง หรือสะพานที่มีความยาว ในขณะเดียวกันรูปทรงของอาคารมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้ผลกระทบที่เกิดจากแรงลมส่งผลต่ออาคารโดยตรง จึงทำให้งานวิจัยเพื่อการศึกษาผลกระทบของแรงลมต่ออาคารสูง ป้ายโฆษณา สะพานยาว จึงถูกให้ความสำคัญมากขึ้น และการนำอุโมงค์ลมมาเป็นเครื่องมือในการทดสอบ จะทำให้การออกแบบอาคารสูง หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ที่มีผลกระทบจากแรงลมนั้น มีความใกล้เคียงกับแรงลมจริง และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

โครงการนี้จึงมุ่งที่จะทำการทดสอบแรงลมที่กระทำต่อแบบจำลองรูปทรงของอาคารต่างๆโดยจะใช้ อุโมงค์ลมในการทดสอบ ซึ่งอุโมงค์ลมนี้สามารถใช้ทดสอบสำหรับอาคารสูงไม่เกิน 20 เมตร และสามารถนำข้อมูลนี้ไปต่อยอดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาแรงลมที่กระทำต่อแบบจำลองรูปทรงอาคารต่างๆ

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลการใช้งานและชนิดของอุโมงค์ลม
2. ศึกษาเรื่องแรงลม ความเร็วลม ที่ส่งผลกระทบต่ออาคาร
3. ศึกษางานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เพื่อกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมในการวิจัย
4. ศึกษาข้อบังคับในการสร้างอาคาร
5. ออกแบบและสร้างแบบจำลองอาคารรูปทรงต่างๆ
6. การใช้อุโมงค์ลมในการทดสอบกับอาคารรูปทรงต่างๆ

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

### 1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษางานของอุโมงค์ลม การทำงานของอุปกรณ์วัดความเร็วลม ศึกษางานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการหาขนาดของแรงปะทะเนื่องจากการไหลข้อบังคับในการสร้างอาคาร และศึกษารูปทรงแบบจำลองของอาคาร

### 2. เครื่องมือที่ใช้ทดลองและการเตรียมอุโมงค์ลม

ทำการตรวจสอบเครื่องวัดลม และตรวจสอบส่วนที่ไม่สมบูรณ์ของตัวอุโมงค์ลมทั้งหมด และเก็บรายละเอียดส่วนที่ยังใช้ได้ และไม่ได้ ทำการแยกชิ้นส่วนออกมา เพื่อทำความสะอาด เปลี่ยนชิ้นส่วนที่เสียหาย หรือสึกกร่อน จากนั้น ทำการประกอบส่วนต่างๆ ของอุโมงค์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ตรวจสอบความเรียบร้อย และความสมบูรณ์ของเครื่อง

### 3. การทดสอบ

ทำการทดสอบอุโมงค์ลมเพื่อหาค่าความเร็วลมช่วงหน้าตัดทดสอบที่ขนาดกำลังต่างๆ ของเครื่องกำเนิดลม โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วลม จากนั้นทำการออกแบบและสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปทดสอบ และวิเคราะห์แรงลมที่กระทำต่อรูปทรงอาคารต่างๆ ที่ได้นำไปทดสอบ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้

1. ทำให้การออกแบบอาคารสูง หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของแรงกระทำด้านข้าง โดยมีความใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
2. ให้ตระหนักถึงแรงลมที่มีผลต่ออาคารต่างๆ
3. สามารถใช้งานอุโมงค์ลมขนาดห้องปฏิบัติการได้จริง
4. เป็นข้อมูลเพื่อการศึกษาของนักศึกษารุ่นต่อไปได้

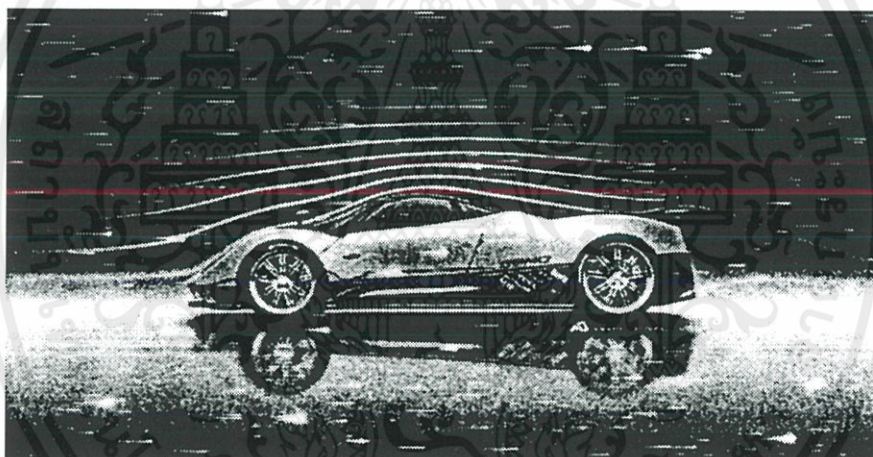
## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทรรศน์

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุโมงค์ลม

อุโมงค์ลมคือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยในเรื่องอากาศพลศาสตร์ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านวัตถุที่เป็นของแข็ง ประโยชน์ที่ได้รับ เช่น จำลองการไหลของอากาศผ่านรถยนต์หรือเครื่องบิน และยังมักใช้ในการจำลองสถานการณ์แรงหรือความดันที่ส่งผลต่อโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง นอกจากนี้จะมีบางหน่วยงานที่มีใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์แสดงการทำงานขนาดย่อมภายในห้องทดลองเท่านั้น (ณัฐมน สุขเสริม, ฌปภัช สุขเสริม และศุภกิจ ลีมประยูร, 2011.)



รูป 2.1 แสดงการไหลของอากาศในอุโมงค์ลมจำลองการไหลของอากาศผ่านรถยนต์

#### 2.2 ชนิดของอุโมงค์ลม

ปัจจุบันอุโมงค์ลมถูกใช้ในการทดสอบกับงานหลากหลายประเภทมากขึ้น นอกจากงานทางด้านอากาศยานแล้วยังถูกใช้ในงานออกแบบสิ่งก่อสร้าง เช่น โครงสร้างอาคารที่พักอาศัยและสำนักงานที่มีความสูงมากๆ สะพานที่มีขนาดใหญ่ การออกแบบทางยานยนต์ให้มีรูปทรงที่เหมาะสมกับสภาพใช้งานหรือการแข่งขันเป็นต้น หากแบ่งอุโมงค์ลมตามความเร็วลมจะสามารถแบ่งได้ 4 ชนิดคือ อุโมงค์ลมที่ความเร็วลมไม่เกิน 100m/s หรือ Mach 0.3 (Low speed wind tunnel), อุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมใกล้เคียงกับความเร็วเสียง (Transonic wind tunnel), อุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมมากกว่าความเร็วเสียง (Supersonic wind tunnel), และอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมสูงสุด 5-15 เท่า

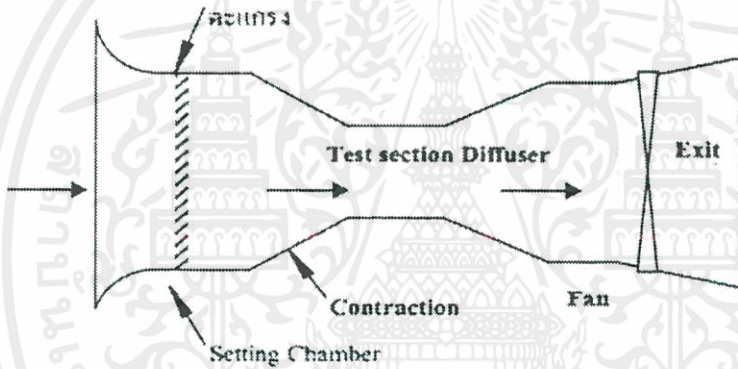
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความเร็วเสียง (Hypersonic wind tunnel) ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีวิธีการสร้างต่างกันไปขึ้นกับสมรรถนะที่ต้องการ, ขนาดของแบบจำลองที่ต้องการทดสอบ, พื้นที่และงบประมาณในการสร้าง โดยการสร้างแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ อุโมงค์ลมแบบเปิด (Open-circuit tunnel) และอุโมงค์ลมแบบปิด (Closed-circuit tunnel) (ณัฐมน สุขเสริม, ณปภัช สุขเสริม และศุภกิจ ลิ้มประยูร, 2011)

### 2.2.1 อุโมงค์ลมแบบเปิด (Open-circuit tunnel)

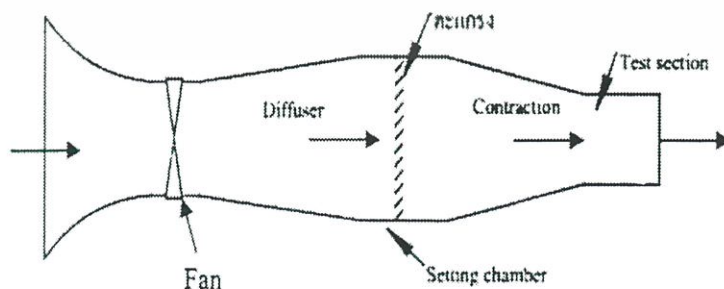
อุโมงค์ลมประเภทนี้ จะเปิดปลายด้านทั้งสองข้าง เพื่อให้อากาศเข้าและออก จึงต้องมีช่องตาข่ายที่ทำหน้าที่กรองอากาศที่ทางเข้า จากอากาศที่ไหลอย่างปั่นป่วนเมื่อผ่านตาข่ายกรองและจะมีทิศทางการไหลที่เป็นระเบียบมากขึ้น ซึ่งก็สามารถแบ่งออกเป็นอีกสองชนิด นั่นคือ

อุโมงค์ลมแบบดูด (Suck down tunnel) อุโมงค์ลมแบบนี้จะมีส่วนที่ใช้ทดสอบอยู่ตรงกลางของอุโมงค์ ส่วนของใบพัดจะอยู่ส่วนท้ายที่ใช้ทดสอบมีหน้าที่ดูดลมเข้าตัวอุโมงค์ด้านหน้าสุดจะเป็นตาข่ายที่ใช้กรองอากาศติดอยู่



รูป 2.2 อุโมงค์ลมแบบดูด

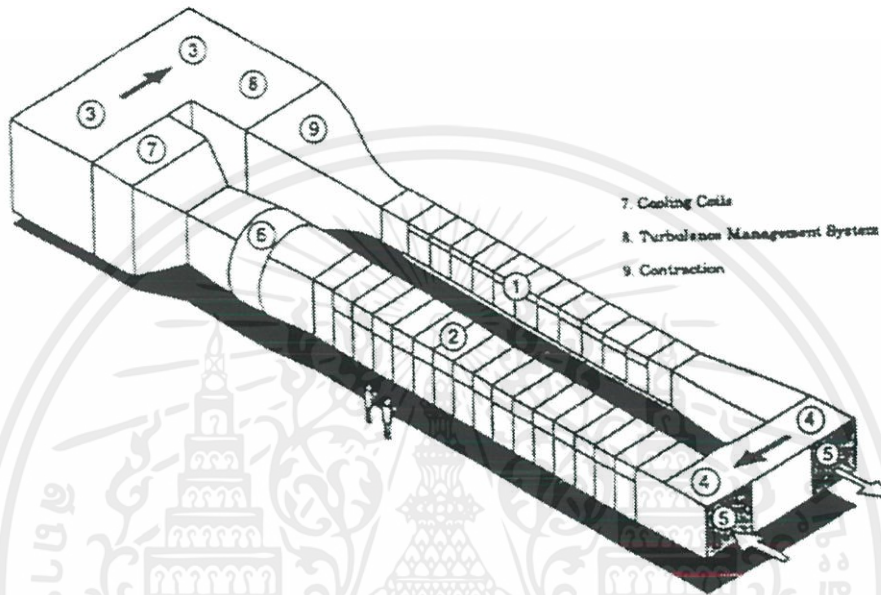
อุโมงค์ลมแบบเป่า (Blower tunnel) อุโมงค์ลมแบบนี้จะมีส่วนใบพัดติดอยู่ด้านทางเข้าของอากาศและมีตาข่ายกรองอากาศติดอยู่ถัดมาจากใบพัด และจะมีส่วนที่ใช้ทดสอบอยู่ตรงสุดปลายตรงทางออกของอากาศ



รูป 2.3 อุโมงค์ลมแบบเป่า

## 2.2.2 อุโมงค์ลมแบบปิด (Closed-circuit tunnel)

อุโมงค์ลมประเภทนี้ ทางออกจะวนมาต่อกับทางเข้าอากาศที่ไหลจะหมุนเวียนอยู่ภายในระบบอากาศ ภายในจะไม่ถูกรบกวนจากอากาศภายนอก เนื่องจากเป็นระบบปิดการไหลของอากาศไหลได้สม่ำเสมอดีกว่าอุโมงค์ลมแบบเปิดแต่รูปร่างจะมีขนาดใหญ่กว่า และต้นทุนการสร้างจะแพงกว่าอุโมงค์ลมแบบเปิด



รูป 2.4 อุโมงค์ลมแบบปิด (Closed circuit wind tunnel)

## 2.3 อุโมงค์ลมแบ่งชนิดตามความเร็วของการไหลของอากาศภายในอุโมงค์

อุโมงค์ลมสามารถแบ่งชนิดตามความเร็วของการไหลของอากาศภายในอุโมงค์ได้ 4 ชนิด (ณฐมน สุขเสริม, ณปภัช สุขเสริม, ศุภกิจ ลิมประยู, 2011)

### 2.3.1 Low speed wind tunnel หรือ Subsonic win tunnel

อุโมงค์ลมที่สามารถให้ความเร็วลมภายในอุโมงค์ไม่เกิน 100-135 เมตรต่อวินาที หรือมีความเร็วไม่เกิน 0.4 เท่าความเร็วเสียง เป็นอุโมงค์ลมที่พบเห็นได้ทั่วไปตามสถานศึกษาและมหาลัย เนื่องจากมีรูปร่างไม่ซับซ้อนและราคาไม่แพง

### 2.3.2 Transonic wind tunnel

อุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมสูงสุดใกล้เคียงกับความเร็วเสียงหรือราวๆ 340 เมตรต่อวินาที อุโมงค์ลมประเภทนี้พบเห็นได้ตามโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอากาศยานทั่วไป

### 2.3.3 Supersonic wind tunnel

อุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมสูงสุด 5 เท่าของความเร็วเสียง โดยใช้หัวฉีดอากาศมาบรรจบเข้าด้วยกันและฉีดด้วยแรงดันสูง ซึ่งอุโมงค์ลมประเภทนี้ต้องการพลังงานในการทำงานมาก

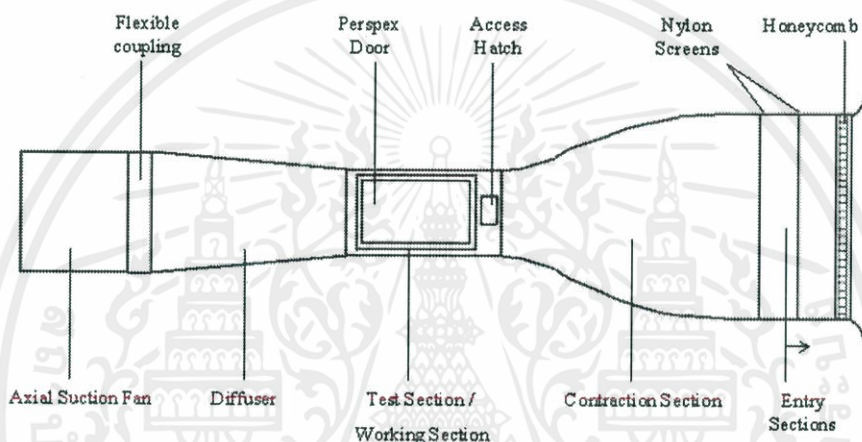
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 Hypersonic wind tunnel

อุโมงค์ลมประเภทนี้สามารถให้ความเร็วลมภายในอุโมงค์สูงสุด 5-15 เท่าของความเร็วเสียง

## 2.4 ส่วนประกอบหลักของอุโมงค์ลม

โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของอุโมงค์ลมประกอบด้วย 6 ส่วนหลักๆ โดยอาจมีส่วนประกอบเพิ่มเติมเพื่อสามารถช่วยลดการไหลอย่างปั่นป่วนของอากาศภายในอุโมงค์ลมได้มากขึ้น (ณฐมน สุขเสริม, ณปภัช สุขเสริม และศุภกิจ ลิ้มประยู, 2011.)



รูป 2.5 ส่วนประกอบหลักของอุโมงค์ลม

#### 2.4.1 Filter

เป็นส่วนประกอบที่ถูกติดตั้งที่ทางเข้าใบพัดก่อนส่วน Setting Chamber มีหน้าที่กรองฝุ่นละอองและอนุภาคเล็กๆ เพื่อทำให้อากาศสะอาดช่วยลดการไหลปั่นป่วนได้

#### 2.4.2 Setting Chamber

อากาศที่ถูกกรองจะไหลเข้าสู่ Setting Chamber เพื่อทำให้อากาศมีการไหลอย่างเป็นเส้นตรงด้วยการลดการไหลอย่างปั่นป่วนให้เหลือน้อยที่สุดก่อนจะเข้าสู่ส่วนการทดสอบการออกแบบเพราะฉะนั้น Setting Chamber จึงควรออกแบบให้มีความยาวอย่างเหมาะสมเพื่อที่จะรองรับส่วนประกอบย่อยอีกสองส่วนคือ Honeycomb และ Mesh screens

##### 2.4.2.1 Honeycomb

คือช่องเล็กๆ ที่ตาข่าย โดยที่ความกว้างและรูปร่างของช่องนั้นมีผลต่อการลดการไหลอย่างปั่นป่วนของอากาศมีหลายแบบ เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม หกเหลี่ยม ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุโมงค์ลม

#### 2.4.2.2 Mesh screens

คือแผงตาข่ายที่ถูกติดตั้งเพื่อลดการไหลวนและการไหลแบบตัดกันของอากาศทำให้อากาศมีการไหลอย่างสม่ำเสมอ

#### 2.4.3 Contraction chamber

ท่อรีดอากาศเป็นส่วนสำคัญของอุโมงค์ลม โดยพื้นที่หน้าตัดของส่วนนี้จะลดลงตามความยาวที่ยาวขึ้น สัดส่วนของการลดพื้นที่หน้าตัดถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการไหลอย่างสม่ำเสมอของอากาศควรเลี่ยงการออกแบบที่ทำให้เกิดการแยกไหลของอากาศโดยออกแบบให้ส่วนนี้มีความยาวที่เหมาะสม

#### 2.4.4 Test section

ส่วนหน้าตัด ทดสอบใช้สำหรับการทดลองหรือจำลองสถานการณ์ภายใต้เงื่อนไขบางอย่างในส่วนนี้การไหลของอากาศจะเป็นแบบแนวยาวไหลออกด้านข้างเล็กน้อยอุโมงค์ลมแต่ละแบบจะถูกออกแบบให้มีความเร็วสูงสุดของการไหลที่ต้องการโดยจะใช้ส่วนทดสอบนี้เป็นส่วนอ้างอิงความเร็วของการไหล

#### 2.4.5 Diffuser section

ทอลดความเร็วของอากาศเป็นส่วนที่ออกแบบมาเพื่อรักษาความดันภายในอุโมงค์จากการที่อากาศไหลเข้าและออกอุโมงค์ทำให้เกิดความดันไม่คงที่ขึ้น โดยพื้นที่ของส่วนนี้จะเพิ่มตามความยาวของท่อ ซึ่งความส่วนนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียความดันเนื่องจากผลของความหนืดการรักษาความดันจากพลังงานจลน์นั้นจะลดกำลังขับของอุโมงค์ลม

#### 2.4.6 Fan

ส่วนใบพัดจะถูกใช้เป็นตัวกำลังให้กับอุโมงค์ลม ส่วนใหญ่จะต้องสร้างความดันคงที่โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนความเร็วรอบเพลา

## 2.5 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) มีรูปร่างเหมือนใบพัดเครื่องบินหรือกรวยตักลมมีหลักการการทำงานเหมือนเช่นเดียวกับเครื่องวัดความเร็วในรถยนต์เมื่อกระแสลมปะทะใบพัด จะทำให้แกนหมุน และส่งสัญญาณมาเป็นจำนวนรอบเพื่อให้เครื่องคำนวณความเร็วลมอีกครั้งหนึ่ง โดยมีหน่วยวัดเป็นเมตรต่อวินาที (ณัฐมน สุขเสริม, ณปภัช สุขเสริม และศุภกิจ ลิมประยูร, 2011.)



รูป 2.6 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

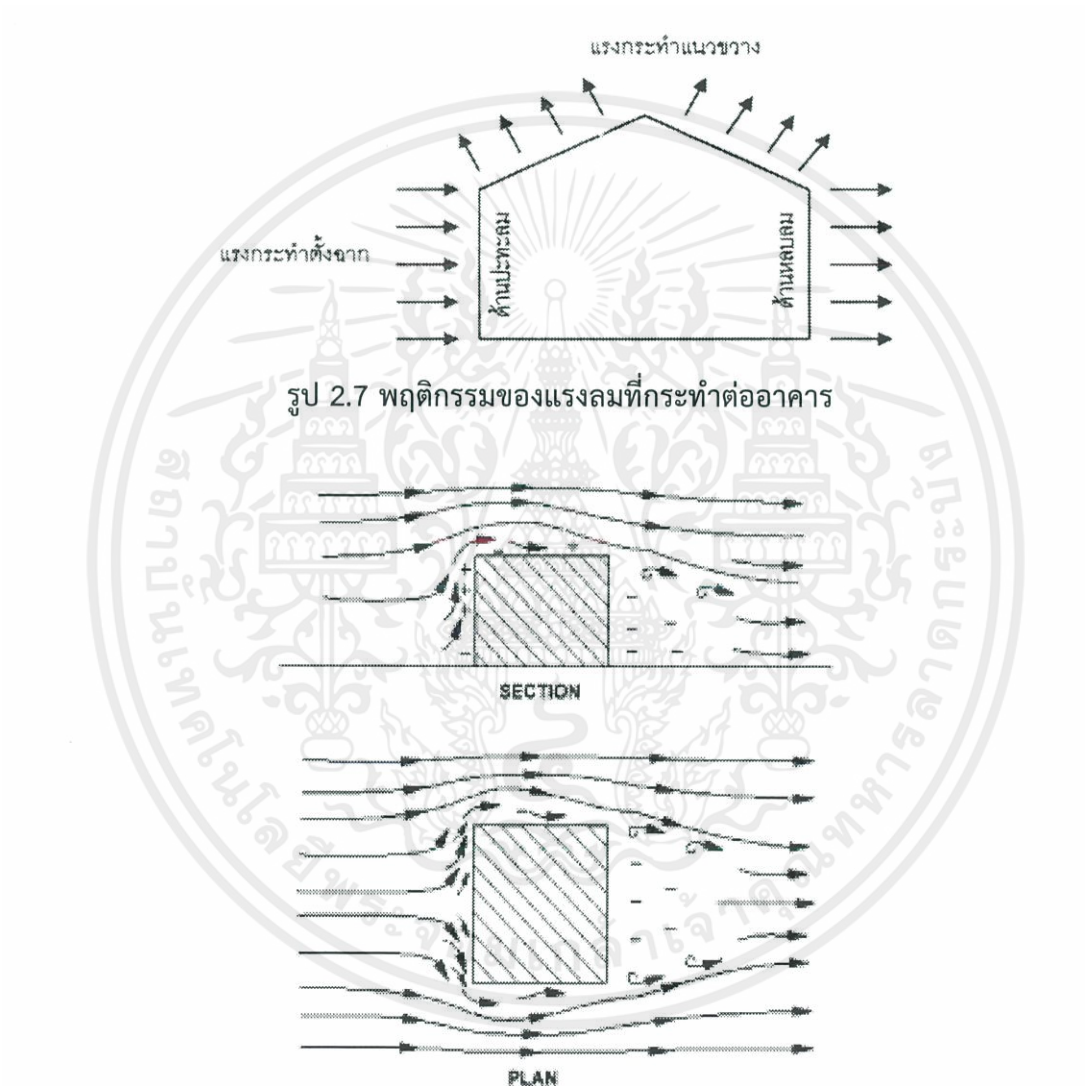
## 2.6 แรงลม

แรงลมมีความสำคัญต่อการออกแบบอาคารสูง ซึ่งทำให้การออกแบบอาคารลักษณะนี้แตกต่างไปจากการออกแบบอาคารทั่วไป ปัจจุบันนี้ วิทยาการทางด้านกำลังของวัสดุสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้การออกแบบได้ขนาดองค์อาคารเล็กลงและมีน้ำหนักที่เบาลงเป็นผลให้โครงสร้างอาคารมีโอกาสเกิดการโก่งตัวทางด้านข้างเนื่องจากแรงลมมากขึ้น แรงลมในระดับรุนแรงจึงจัดเป็นภัยธรรมชาติต่ออาคารสูงชนิดหนึ่ง พฤติกรรมของแรงลมมีความซับซ้อนเนื่องจากมีความไม่แน่นอนมาก ซึ่งต่างจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และมีลักษณะเป็นแบบน้ำหนักบรรทุกจร (dynamic loading) ซึ่งมีขนาดและทิศทางของแรงกระทำที่ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของ

1. ภูมิประเทศ (topography) เช่น หุบโล่ง ป่าไม้ ภูเขา สวนผัก เป็นต้น
2. แบบของอาคาร (building type) เช่น รูปร่าง ขนาดของอาคาร ความสูง พื้นผิวอาคาร ช่องเปิดของอาคาร เป็นต้น
3. ธรรมชาติของการไหลเวียนของอากาศ (nature of airflow) เช่น ความหนาแน่นของอากาศ ทิศทางของลม ความเร็วของลม ความคงที่ของลมที่พัดมา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลมพัดมาปะทะโครงสร้างอาคาร ลักษณะของอาคารซึ่งประกอบด้วย รูปร่าง ความหยาบของ พื้นผิวและช่องเปิด จะมีผลต่อขนาดของแรงดันที่กระจายบนตัวอาคาร โครงสร้างอาคารจะถูกกระทำด้วยแรงกระทำตั้งฉากและแรงกระทำแนวขวาง แรงกระทำตั้งฉากกระทำในทิศทางการพัดของลม โดยก่อให้เกิดแรงอัดที่ด้านปะทะลม (windward face) และจะมีแรงดูดที่ด้านหลังลม (leeward face) สำหรับแรงกระทำแนวขวางนั้นเกิดในลักษณะคล้ายคลึงกับการยกตัวของปีกเครื่องบิน (สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์. 2555.)



รูป 2.8 ลมที่เข้าปะทะอากาศทำให้เกิด Positive pressure (+) และ Negative pressure (-)

ทฤษฎีที่ใช้ในการหาขนาดของแรงปะทะเนื่องจากการไหลของอากาศในสภาวะคงที่ไม่คำนึงถึงผลทางพลศาสตร์ เนื่องจากแรงกระชอก หรือผลการตอบสนองทางพลศาสตร์ของอาคาร หรือกล่าวอีกอย่างได้ว่าแรงลมทางสถิตบนโครงสร้างได้จากพจน์แรกของสมการทั่วไปของแรงดันพลศาสตร์ (สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์. 2555.) และเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{\gamma v^2}{2g} \quad (2.1)$$

โดยที่	q	= หน่วยแรงดันลมสถิต	ปอนด์/ตร.ฟุต
	$\rho$	= ความหนาแน่น	สลัก/ลบ.ฟุต
	v	= ความเร็วลมเฉลี่ย	ฟุต/วินาที
	$\gamma$	= น้ำหนักจำเพาะของมวลอากาศมาตรฐานวัดที่ระดับน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ 15° มีค่า เท่ากับ 0.07651 ปอนด์/ลบ.ฟุต	
	g	= ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดโลก	32.1740 ฟุต/วินาที <sup>2</sup>

จัดสมการใหม่มีหน่วยเป็นเมตริก จะได้ว่า

$$q = 0.004826v^2 \quad (2.2)$$

โดยที่	q	= หน่วยแรงดันลมสถิต	กก./ตรม.
	v	= ความเร็วลมเฉลี่ย	กม./ชม.

ในกรณีอาคารมีความสูงไม่เกิน 120 เมตร ค่าแรงลมกระทำต่ออาคารสามารถคำนวณได้จากมาตรฐาน UBC (Uniform Building Code) โดยสมการ

$$p = I_w q C_e C_q C_g \quad (2.3)$$

p = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure)  
กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร โดยเรียกว่า “หน่วยแรงดัน” ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ  
“หน่วยแรงดูด” ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

$I_w$  = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม ตามที่กำหนดในตาราง 2.2

q = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure)

$C_e$  = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor) ตามที่กำหนดตาราง 2.3

$C_g$  = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (gust effect factor) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.6.2

$C_p$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร (external pressure coefficient) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.6.3

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
<p>อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร</li> <li>- อาคารชั่วคราว</li> <li>- อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ</li> </ul>	น้อย
<p>อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อยมาก และสูงมาก</p>	ปกติ
<p>อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆ มากกว่า 300 คน</li> <li>- โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน</li> <li>- มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน</li> <li>- สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้</li> <li>- เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ</li> </ul>	มาก
<p>อาคารและส่วนโครงสร้างที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชนเป็นอย่างมาก หรืออาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุเป็นอย่างมาก เช่น</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้</li> <li>- สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ</li> <li>- โรงไฟฟ้า</li> <li>- โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง</li> <li>- อาคารศูนย์สื่อสาร</li> <li>- อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย</li> <li>- ทำอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน</li> <li>- อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ</li> </ul>	สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารหรือส่วนโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เช่น เชื้อเพลิง หรือสารเคมี อันก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	
---	--

ตารางที่ 2.2 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

ประเภทความสำคัญ ของอาคาร	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม	
	สถานะจำกัดด้านกำลัง	สถานะจำกัดด้านการใช้งาน
น้อย	0.8	0.75
ปกติ	1	0.75
มาก	1.15	0.75
สูงมาก	1.15	0.75

2.6.1 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพภูมิประเทศ ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศการคำนวณค่าแรงลมโดยวิธีการอย่างง่าย คำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. สภาพภูมิประเทศแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่างๆ กัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล ให้คำนวณค่า  $C_e$  จากสมการ (2.4) หรือใช้ค่าจากตาราง 2.3

$$C_e = \left(\frac{z}{10}\right)^{0.2} \quad (2.4)$$

โดยที่  $z$  = ความสูงจากพื้นดิน (หน่วยเป็นเมตร) ณ ตำแหน่งที่คำนวณค่าหน่วยแรงลม โดยที่ถ้า  $C_e$  ที่คำนวณจากสมการ (2.4) มีค่าน้อยกว่า 0.9 กำหนดให้ใช้ค่า  $C_e = 0.9$

ข. สภาพภูมิประเทศแบบ B เป็นสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก ให้คำนวณค่า  $C_e$  จากสมการ (2.5) หรือใช้ค่าจากตาราง 2.3

$$C_e = 0.7 \left(\frac{z}{12}\right)^{0.3} \quad (2.5)$$

โดยที่ ถ้า  $C_e$  ที่คำนวณได้จากสมการ (2.5) มีค่าน้อยกว่า 0.7 กำหนดให้ใช้ค่า  $C_e = 0.7$

สภาพภูมิประเทศใด ๆ จะจัดอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ B ได้ ก็ต่อเมื่อมีลักษณะภูมิประเทศในลักษณะนั้น ๆ สม่าเสมอในทิศทางต้นลม เป็นระยะทางไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร หรือ 10 เท่าของความสูงของอาคาร โดยใช้ค่าที่มากกว่า ซึ่งสภาพภูมิประเทศที่ใช้ในการคำนวณนี้ ควรสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศที่แท้จริงในทิศทางลมที่พิจารณา

ช้อยกเว้น อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และตั้งอยู่ในกลุ่มที่มีความเร็วลมอ้างอิงไม่เกิน 25 ม./วินาที ให้ใช้เฉพาะสภาพภูมิประเทศแบบ A เท่านั้น

ตารางที่ 2.3 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) สำหรับวิธีการอย่างง่าย

ความสูงจากพื้นดิน	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B
สูงไม่เกิน 6 เมตร	0.90	0.70
สูงเกิน 6 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตร	1.00	0.70
สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	1.15	0.82
สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 30 เมตร	1.25	0.92
สูงเกิน 30 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.32	1.00
สูงเกิน 40 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร	1.43	1.13
สูงเกิน 60 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.52	1.24

2.6.2 ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ( $C_g$ ) ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ย ค่าประกอบ  $C_g$  สำหรับวิธีการอย่างง่าย คำนวณค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ก. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า  $C_g$  เท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม ยกเว้น ป้ายและกำแพงให้ใช้ค่า  $C_g$  เท่ากับ 2.35

ข. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า  $C_g$  เท่ากับ 2.5 ในการออกแบบโครงสร้างรองและผนังภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก (ประมาณขนาดของหน้าต่าง)

2.6.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วย ( $C_p$ ) แรงลมภายนอก ขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคาร ทิศทางลม และลักษณะการแปรเปลี่ยนของความเร็วลมตามความสูงอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายนอกอาคาร สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารและระบบโครงสร้างหลักของอาคาร แบ่งออกเป็น 3 หมวด ดังนี้

ก. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารเตี้ยที่มีความสูงต่อความกว้าง  $\left(\frac{H}{D_s}\right)$  น้อยกว่า 1 ( $D_s$  คือความกว้างของด้านที่แคบที่สุด) และมีความสูงอ้างอิง (reference height) น้อยกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมได้ถูกนำมารวมกับค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม ดังแสดงในรูป 2.9 ถึง 2.16

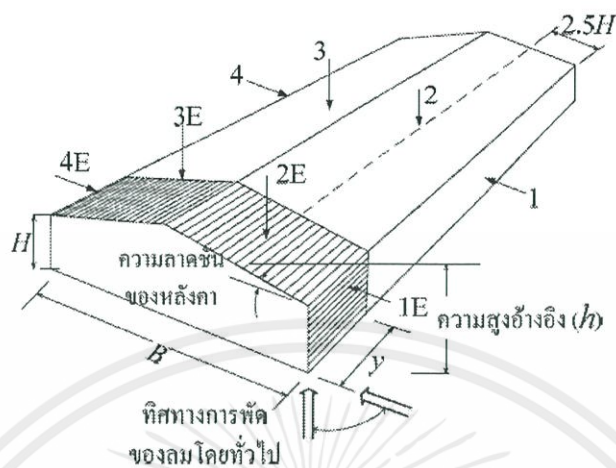
ข. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารสูง ดังแสดงในรูป 2.17

ค. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับโครงสร้างพิเศษ

ตารางที่ 2.4 การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารสูง

ประเภทอาคาร	ประเภทของโครงสร้าง	ความลาดชันของหลังคา ( $\alpha$ )	หมายเลขของรูป	สัมประสิทธิ์ที่กำหนด
อาคารที่มีค่า $H/D_s < 1$ หรือ $H \leq 23$ เมตร	โครงสร้างหลัก	-	ข.1	$C_p C_s$
	กำแพง	-	ข.2	
	หลังคา (1) ทั่วไป	$\alpha \leq 7^\circ$	ข.3	
		(2) หลังคาลาดระดับ $\alpha = 7^\circ$	ข.4	
	(3) หลังคาจั่วและปั้นหยา	$\alpha \leq 7^\circ$	ข.3	
		(4) หลังคาต่อเนื่อง $\alpha > 7^\circ$	ข.5	
	(5) หลังคาลาดชันด้านเดียว	$\alpha \leq 10^\circ$	ข.3	
		$\alpha > 7^\circ$	ข.6	
		$\alpha \leq 3^\circ$	ข.3	
		(6) หลังคารูปรางฟันเลื่อย	$3^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	
$\alpha \leq 10^\circ$	ข.3			
$\alpha > 10^\circ$	ข.8			
อาคารที่มีค่า $H/D_s \geq 1$ หรือ $H > 23$ เมตร	-	-	ข.9	$C_p, C_p^*$

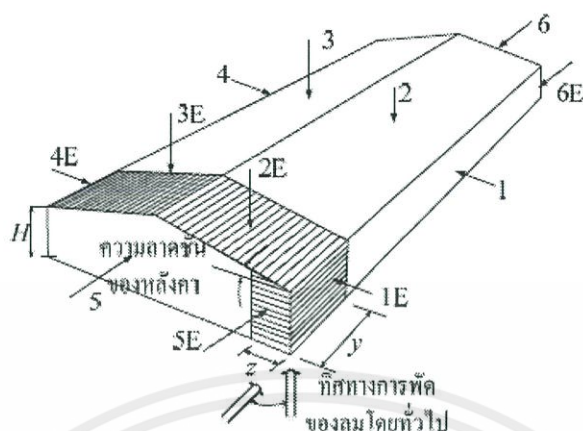
แรงกระทำกรณีที่ 1 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไป อยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา



ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวของอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
$0^\circ$ ถึง $5^\circ$	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8
$20^\circ$	1.0	1.5	-1.3	-2.0	-0.9	-1.3	-0.8	-1.2
$30^\circ$ ถึง $45^\circ$	1.05	1.3	0.4	0.5	-0.8	-1.0	-0.7	-0.9
$90^\circ$	1.05	1.3	1.05	1.3	-0.7	-0.9	-0.7	-0.9

รูป 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร  $C_p C_g$  สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับพื้นที่ผิวทุกด้านของอาคารพร้อมกัน

แรงกระทำกรณีที่ 2 ทิศทางการพัดของลม โดยทั่วไปอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา



ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวของอาคาร											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
$0^{\circ}$ ถึง $90^{\circ}$	-0.85	-0.9	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.85	-0.9	0.75	1.15	-0.55	-0.8

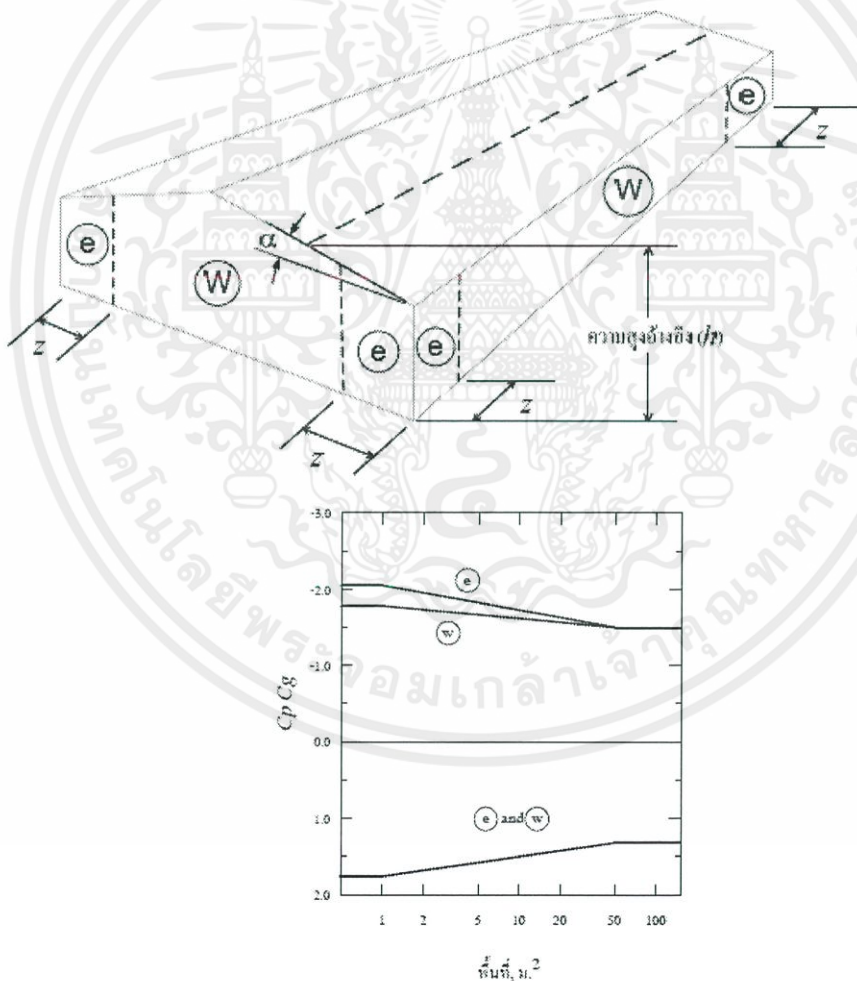
รูป 2.9 (ต่อ)

คำอธิบายประกอบรูป 2.9

1. อาคารต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลมได้ในทุกทิศทาง โดยที่ทั้ง 4 มุมของอาคารต้องได้รับการพิจารณาให้เป็นมุมที่รับแรงลม (windward corner) ตามรูป แรงลมที่กระทำต้องพิจารณาแยกเป็นแรงกระทำกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าแรงกระทำต่างๆรวมทั้งแรงบิดที่เกิดขึ้นกับระบบโครงสร้าง
2. สำหรับหลังคาที่มีองศาความชันเป็นค่าอื่นที่ไม่ได้แสดงไว้ในตาราง ให้เทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อคำนวณหา  $C_p C_g$  จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง
3. สัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าบวก แสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งเข้าและตั้งฉากกับพื้นผิว ส่วนสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าลบแสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งออกและตั้งฉากกับพื้นผิว
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ
5. สำหรับการออกแบบฐานราก (ยกเว้นส่วนที่ยึดโครงอาคารกับฐานราก (anchorage)) ให้ใช้ค่า 70% ของแรงประสิทธิผล (effective load) ในการออกแบบ
6. ความสูงอ้างอิง,  $h$ , สำหรับหน่วยแรงลม ให้ใช้ความสูงที่วัดถึงจุดกึ่งกลาง (Mid-height) ของหลังคา ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 เมตร ในกรณีความชันของหลังคาน้อยกว่า 7 องศา สามารถใช้ความสูงของชายคาแทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความกว้าง “z” ของพื้นที่บริเวณขอบของผนังหน้าจั่ว (gable wall) มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H ทั้งนี้ค่า “z” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
8. ความกว้าง “y” ของพื้นที่บริเวณขอบอาคาร (end zone) มีค่าเท่ากับค่าที่มากกว่าระหว่าง 6 เมตร และ  $2z$  สำหรับอาคารที่สร้างขึ้นจากโครงข้อแข็ง (Frame) หลายๆตัวมาประกอบกัน ค่า “y” อาจจะพิจารณาให้มีค่าเท่ากับระยะที่วัดจากขอบของอาคารถึงโครงข้อแข็งภายในตัวแรก (first interior frame)
9. สำหรับแรงกระทำกรณีที่ 1 ในกรณีอาคารที่มีค่า  $B/H > 5$  ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าลบบนพื้นผิว 2 และ  $2E$  ควรจะใช้กับพื้นที่ที่กว้าง  $2.5H$  จากขอบของอาคารด้านต้นลมเท่านั้นสำหรับพื้นที่ส่วนที่เหลือบนพื้นผิว 2 และ  $2E$  สามารถกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กับพื้นผิว 3 และ  $3E$  ตามลำดับ

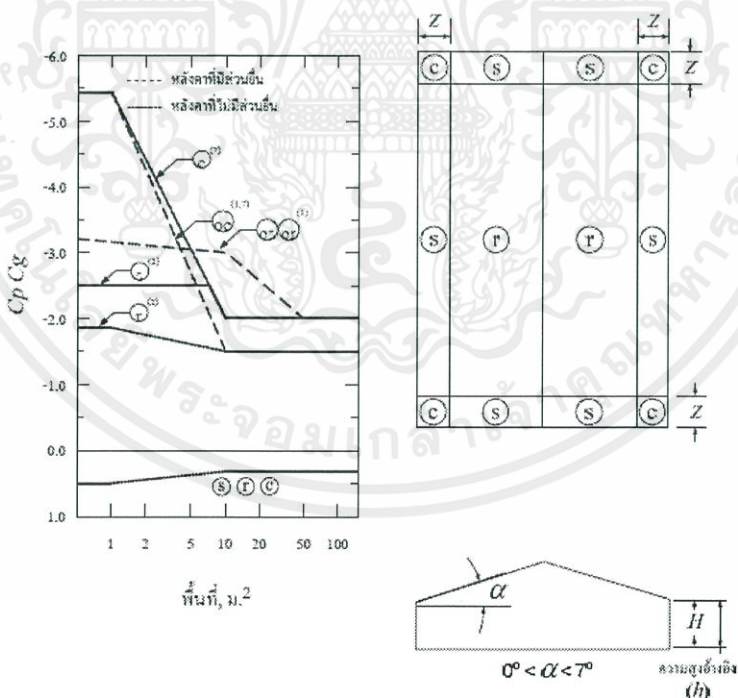


รูป 2.10 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p, C_{pg}$ ) สำหรับการออกแบบผนังภายนอกและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบรูป 2.10

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับผนังอาคารในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่แสดงไว้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลังคาทุกๆ ความชัน
3. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
4. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H ทั้งนี้ค่า “z” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
5. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ
6. ค่าความสูง, h, สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลม ให้ใช้ความสูงที่วัดถึงจุดกึ่งกลาง (mid-height) ของหลังคา แต่ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 เมตร
7. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงลมสำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารได้ทุกประเภท ยกเว้นในกรณีที่มีครีบริบแนวตั้ง (vertical ribs) ที่มีความลึกมากกว่า 1 เมตร ยึดติดอยู่กับระบบผนังภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า  $C_p C_g = -2.8$  กระทำกับโซน e ของอาคาร

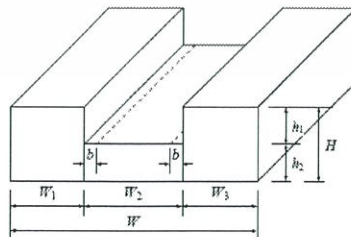
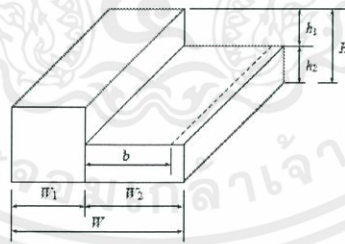


รูป 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำบนพื้นผิวของหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่า  $7^\circ$  สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายประกอบ รูป 2.11

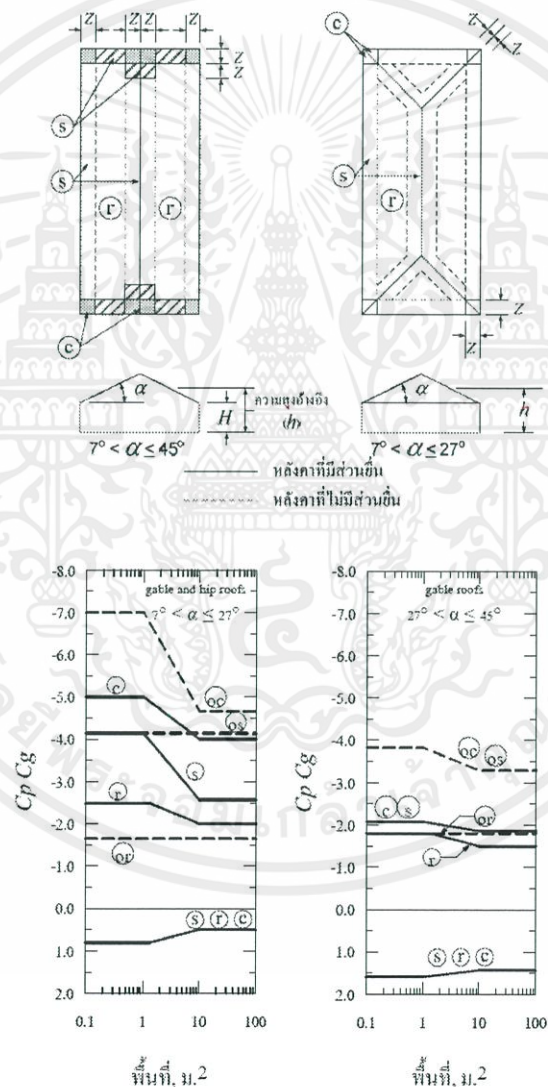
1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ในกรณีทีหลังคามีส່วนยื่น (roof with overhang) หน่วยแรงลมลัพท์ที่กระทำต่อส่วนยื่นจะเป็นผลรวมของ หน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่าง ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมลัพท์สำหรับส่วนที่ยื่นดังกล่าวแสดงโดยกราฟที่มี สัญลักษณ์ “O” นำหน้า
3. ในทุกกรณีไม่ว่าหลังคามีส່วนยื่นหรือไม่มีส่วนยื่น ค่าสัมประสิทธิ์จากกราฟ  $s$ ,  $r$  และ  $c$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนของหลังคาในโซน  $s$ ,  $r$  และ  $c$  ตามลำดับ
4. ค่าในแกน  $x$  ของกราฟที่แสดงในภาพคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
5. ความกว้าง “ $z$ ” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40 % ของความสูง  $H$  แต่ทั้งนี้ค่า “ $z$ ” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
6. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ
7. สำหรับการออกแบบแรงดูดของหลังคาที่มีพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบมากกว่า 100 ม. และมีศูนย์กลางของพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบห่างจากขอบหลังคามากกว่า  $2H$  ให้ลดค่า  $C_p$   $C_g$  เหลือเท่ากับ  $-1.1$  ที่  $x / H = 2$  และลดค่าลงเป็นเชิงเส้นเท่ากับ  $-0.6$  ที่  $x / H = 5$  โดยที่  $x$  = ระยะห่างจากขอบหลังคา และ  $H$  = ความสูงของหลังคา



รูป 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำบนหลังคาลดระดับ (stepped roof) โดยใช้ประกอบกับรูป 2.11 สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

คำอธิบายประกอบ รูป 2.12

1. ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  สำหรับหลังคาในรูป 2.11 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับหลังคาตระดับของอาคารที่แสดงในภาพนี้ได้ ยกเว้นในส่วนของหลังคาตระดับที่วัดจากกำแพงเป็นระยะ  $b$  ซึ่งในส่วนนี้ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นบวกของกำแพงในรูปที่ 2.10
2. ความกว้าง “  $b$  ” มีค่าเท่ากับ  $1.5h_1$  และไม่เกิน 30 เมตร
3. สำหรับพื้นที่กำแพงด้านต่าง ๆ รวมทั้งกำแพงที่อยู่ติดกับขอบของหลังคาตระดับ ให้แบ่งโซนและใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมทั้งค่าบวกและค่าลบเท่ากับกำแพงในรูปที่ 2.10
4. รูป 2.12 ใช้ได้กับหลังคาที่มีขนาดและสัดส่วนทางเรขาคณิตที่สอดคล้องกับข้อกำหนดดังต่อไปนี้  
 $h_1 \geq 3$  เมตร,  $h_1 \geq 0.3H$ ,  $0.25W \leq (W_1, W_2 \text{ และ } W_3) \leq 0.75W$

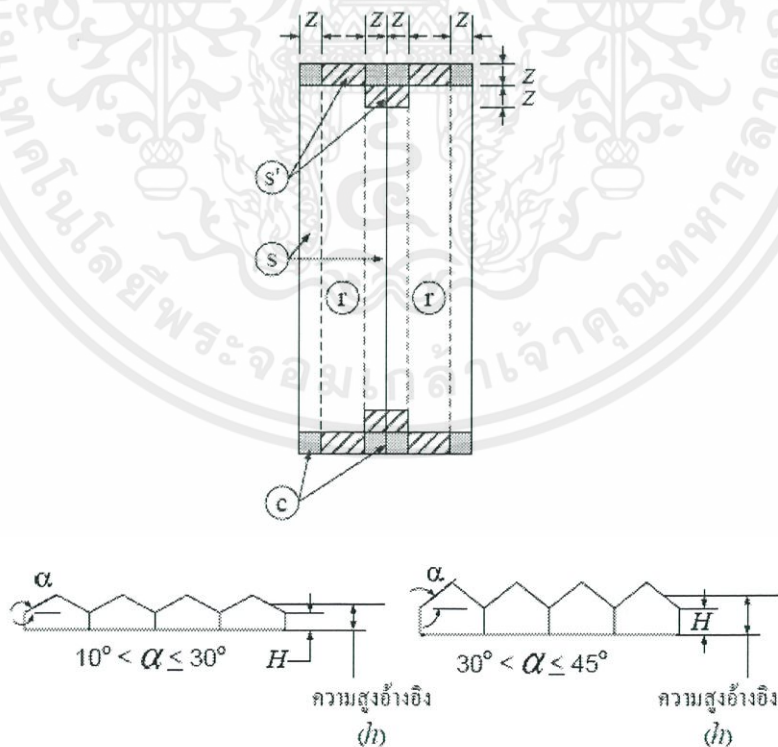


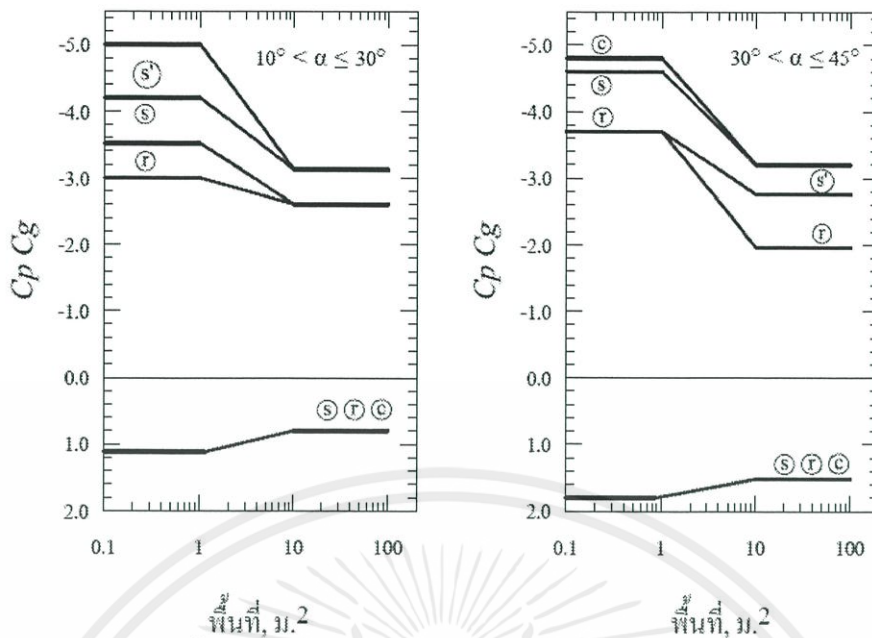
รูป 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า  $7^\circ$  สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำอธิบายประกอบรูป 2.13

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ในกรณีที่หลังคามีส່วนยื่น (roof with overhang) หน่วยแรงลมลัพท์ที่กระทำต่อส่วนยื่นจะเป็นผลรวมของ หน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่าง ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมลัพท์สำหรับส่วนที่ยื่นดังกล่าวแสดงโดยกราฟที่มี สัญลักษณ์ “O” นำหน้า
3. ในทุกกรณีไม่ว่าหลังคามีส່วนยื่นหรือไม่มีส่วนยื่น ค่าสัมประสิทธิ์จากกราฟ s, r และ c เป็นค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนของหลังคาในโซน s, r และ c ตามลำดับ
4. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในภาพคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
5. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
6. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ





รูป 2.14 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า  $10^\circ$  และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วงสำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

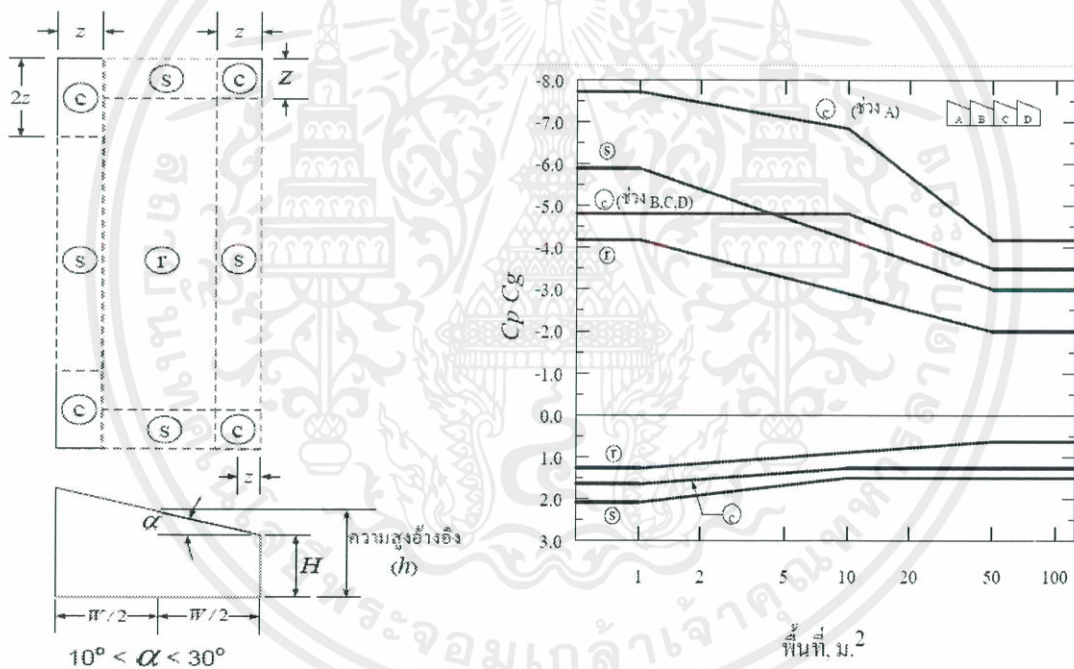
คำอธิบายประกอบรูป 2.14

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ
5. สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $10^\circ$  ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในรูป 2.11



คำอธิบายประกอบ รูป 2.15

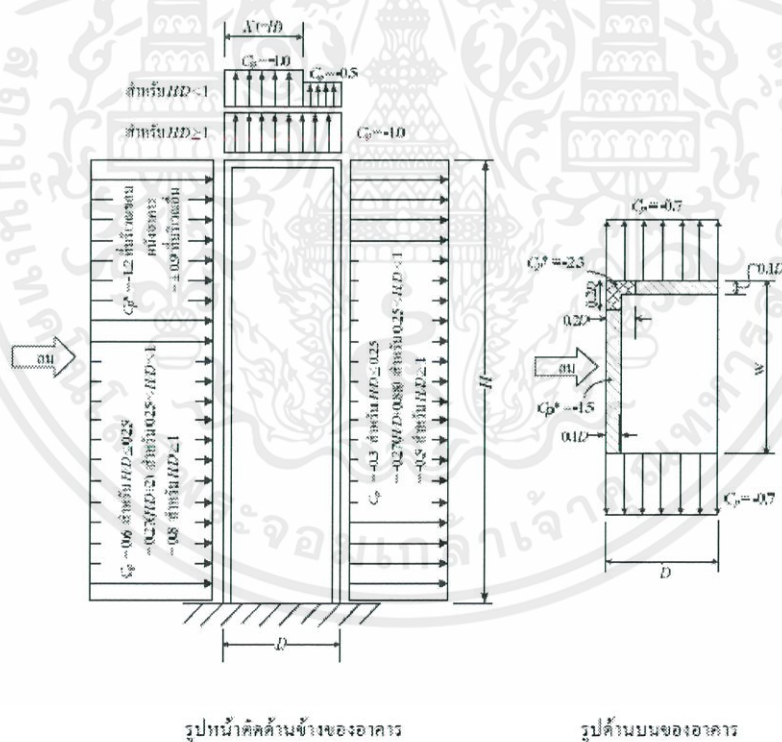
1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง "z" มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า "z" มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ
5. ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  ที่แสดงในรูปใช้ได้กับหลังคาที่มีค่าความชันไม่น้อย  $3^\circ$  ส่วนหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $3^\circ$  ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงในรูป 2.11



รูป 2.16 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาลักษณะพื้นเอียง (มีความลาดชันเพียงด้านเดียว และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วง) ที่มีความชันมากกว่า  $10^\circ$  สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

คำอธิบายประกอบ รูป 2.16

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ
5. สำหรับพื้นที่บริเวณมุมของหลังคา ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  ที่เป็นค่าลบสำหรับที่อยู่ในช่วง A จะแตกต่างจากค่า สัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  ของช่วง B, C และ D
6. สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $10^\circ$  ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในรูป 2.11



รูป 2.17 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$  และ  $C_p^*$ ) สำหรับอาคารที่มีความสูงมากกว่าความกว้าง และมีหลังคาอยู่ในแนวราบ

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูป 2.17 ใช้สำหรับอาคารที่มีค่า  $H/D_s \geq 1$  และความสูงของอาคาร (H) มากกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปของค่า  $C_p$  (หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงลมเฉลี่ยของพื้นผิว) และ  $C_p^*$  (หน่วยแรงลมเฉพาะที่) ซึ่งไม่ได้รวมผลเนื่องจากการกระโชกของลม ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนวณหาค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ( $C_g$ )

คำอธิบายประกอบ รูป 2.17

1. กรณีที่ทิศทางลมอยู่ในแนวตั้งฉากกับผนังด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร ให้ถือว่ามิติในแนวราบของอาคารในแนวขนานกับทิศทางลม คือความลึก (D) ของอาคาร และมิติในแนวราบด้านที่ตั้งฉากกับทิศทางลมเป็นความกว้าง (W) ของอาคาร

2. การคำนวณค่าแรงลมที่กระทำกับอาคารโดยรวม ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p$  สำหรับหลังคาและผนังแต่ละด้านให้เหมาะสมตามที่แสดงในรูป 2.17

3. ในกรณีที่ลมกระทำในทิศทางที่ไม่อยู่ในแนวตั้งฉากกับผนังอาคาร จะทำให้เกิดแรงดูดเฉพาะที่อย่างสูงบนพื้นผิวด้านต่างๆของอาคาร ซึ่งในการออกแบบผนังภายนอกที่มีขนาดเล็ก (ประมาณขนาดของหน้าต่าง) บนผนังและพื้นผิวหลังคาของอาคาร ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมเฉพาะที่ ( $C_p^*$ ) ในการคำนวณค่าแรงดูดดังกล่าว แต่ไม่ต้องนำค่า  $C_p^*$  มาใช้ร่วมกับค่า  $C_p$  สำหรับการคำนวณแรงลมที่กระทำกับอาคารโดยรวม

4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคารเพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ

5. ความสูงอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) กำหนดให้ใช้ดังต่อไปนี้

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำ ภายนอกอาคารบนผนังด้านต้นลม (windward walls) ให้ใช้ความสูงอ้างอิง = z (ความสูงเหนือพื้นดิน)

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคารบนหลังคาและพื้นผิวด้านข้างของอาคาร (roof and side walls) ให้ใช้ความสูงอ้างอิง = H (ความสูงทั้งหมดของอาคาร)

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคารบนผนังด้านท้ายลม (leeward walls) ให้ใช้ความสูงอ้างอิง = 0.5H

- กรณีใช้ร่วมกับ  $C_p^*$  เพื่อหาค่าหน่วยแรงดูดเฉพาะที่ ให้ใช้ความสูงอ้างอิง = H

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร (internal pressures) ให้ใช้ความสูงอ้างอิง = 0.5H

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคารที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ให้ใช้ความสูงอ้างอิง เท่ากับความสูงของช่องเปิดนั้นวัดเหนือพื้นดิน

6. สำหรับพื้นที่ขอบของผนังอาคาร ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมเฉพาะที่ ( $C_p^*$ ) เท่ากับ -1.2 กระทำกับพื้นที่ที่กว้าง 0.1D จากขอบของอาคาร ยกเว้นผนังภายนอกที่ประกอบด้วยคานขนาดใหญ่ในแนวตั้งที่มีความลึกมากกว่า 1 เมตร ให้ใช้ค่า  $C_p^* = -1.4$  เพื่อคำนวณค่าแรงลมเฉพาะที่ที่กระทำกับพื้นที่บริเวณขอบของอาคารที่กว้างเท่ากับ 0.2D จากขอบของอาคาร

## 2.7 การทดสอบในอุโมงค์ลม

การทดสอบในอุโมงค์ลม (หรือการทดสอบโดยใช้ของไหลประเภทอื่น เช่น น้ำ) ที่ใช้เพื่อการคำนวณแรงลมสำหรับออกแบบอาคารและโครงสร้างทุกประเภท ต้องกระทำให้สอดคล้องกับข้อกำหนดที่ระบุไว้ในที่นี้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน (สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการ และผังเมือง, 2550.)

1. ของแรงลมและความดันลม ต้องกระทำให้สอดคล้องตามข้อกำหนดทุกข้อดังต่อไปนี้ การจำลองสมรรถนะสำหรับการทดสอบในอุโมงค์ลม ต้องทำการจำลองทั้งคุณสมบัติทางการแปรเปลี่ยนของความเร็วลมเฉลี่ยตามความสูง และการแปรเปลี่ยนของลมปั่นป่วนตามความสูง โดยปกติแล้วค่าความเร็วลมเฉลี่ยและความหนาแน่นของลมปั่นป่วนสำหรับลมที่จำลองในอุโมงค์ลม ต้องใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงตามธรรมชาติ

2. ขนาดของลมปั่นป่วนจะต้องได้รับการจำลองอย่างถูกต้อง โดยใช้มาตราส่วนเดียวกันกับที่ใช้ในการจำลองมิติความยาวของอาคาร โดยทั่วไปแล้วขนาดโดยรวมของลมปั่นป่วน (integral length scale of the longitudinal turbulence) ต้องใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงตามธรรมชาติ

3. แบบจำลองอาคารหรือโครงสร้างที่ต้องการทดสอบ ตลอดจนถึงปลุกสร้างและสภาพภูมิประเทศโดยรอบ ต้องจำลองให้มีรูปร่างเหมือนจริง และมีความถูกต้องมากที่สุด โดยใช้มาตราส่วนที่เหมาะสม นอกจากนี้รายละเอียดทางด้านสถาปัตยกรรมที่สำคัญ เช่น ระเบียงและแผงกันแดด เป็นต้น ที่มีขนาดตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป ควรได้รับการจำลองในแบบจำลองอาคารด้วย สำหรับแบบจำลองของปลุกสร้างและสภาพภูมิประเทศโดยรอบ ควรจำลองให้มีความถูกต้องสมจริง

4. พื้นที่หน้าตัดบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (projected area) ของอาคารและปลุกสร้างโดยรอบทั้งหมดรวมกัน ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 8 ของพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ลม ณ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ มิเช่นนั้นต้องทำการปรับแก้ผลการทดสอบโดยคำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นจากการปิดกั้นของลม นอกจากนี้แบบจำลองอาคารที่ทำการทดสอบควรมีความสูงไม่เกินครึ่งหนึ่งของความสูงอุโมงค์ลม และติดตั้งอยู่ตรงกลางหรือในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของระบบพื้นหมุนภายในอุโมงค์ลม

5. ต้องคำนึงถึงผลที่เกิดจากความแตกต่างของความดันตลอดความยาวของอุโมงค์ลม อันเป็นผลมาจากผนังและเพดานของอุโมงค์ลม

6. ผลกระทบของ Reynolds number ที่มีต่อแรงลมและความดันลมที่วัดได้จากการทดสอบต้องมีน้อยที่สุด โดยทั่วไปแล้วการทดสอบควรกระทำที่ค่า Reynolds number ไม่ต่ำกว่า  $5 \times 10^4$  โดยคำนวณจากด้านที่แคบที่สุดของแบบจำลองและความเร็วลมเฉลี่ยที่ยอดขอแบบจำลอง

7. คุณสมบัติของเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ร่วมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการทดสอบ ต้องมีประสิทธิภาพที่ดี สามารถวัดค่าแรงหรือความดันพลศาสตร์ที่อยู่ในช่วงความถี่ต่างๆ ตั้งแต่ความถี่ต่ำไปจนถึงความถี่ที่สูงที่สุดที่จำเป็นต่อการออกแบบในแต่ละกรณี โดยไม่มีความผิดเพี้ยนทั้งในเรื่องของขนาดและการเหลื่อมกันของเวลา (phase distortions) ซึ่งอิทธิพลของการเหลื่อมกันของเวลานี้ จะมีผลกระทบอย่างมากต่อค่าแรงลมลัพธ์ที่เกิดจากการเฉลี่ยค่าความดันลมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ

บนอาคารหรือองค์อาคารที่ออกแบบ นอกจากนี้ระบบการวัดจะต้องให้ผลการทดสอบที่ปราศจากการรบกวนจากคลื่นเสียง คลื่นไฟฟ้า การสั่นไหวของอุโมงค์ลมและอุปกรณ์ ตลอดจนการแปรปรวนของความดันลมที่เกิดจากการหมุนของใบพัดลม การเปิด-ปิดของประตู และการแปรเปลี่ยนของความดันบรรยากาศ ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องมีการปรับแก้ผลที่เกิดเนื่องจากอุณหภูมิด้วย

### 2.7.1 การตอบสนองพลศาสตร์

การทดสอบเพื่อหาค่าการตอบสนองพลศาสตร์ของอาคารหรือโครงสร้าง จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ นอกจากนี้ แบบจำลองโครงสร้างและการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะต้องคำนึงถึงการกระจายตัวของมวล สติฟเนส และความหน่วงของอาคารหรือโครงสร้าง (สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการ และผังเมือง, 2550.)

### 2.7.2 ชนิดของการทดสอบในอุโมงค์ลม

#### 1) High-Frequency Force Balance

วัดแรงที่กระทำ ที่ฐานของแบบจำลอง เพื่อนำไปประมาณค่าแรง และการตอบสนองที่เกิดขึ้นของโครงสร้างจริงโดยแบบจำลองที่ใช้ต้องสร้างให้มีความถี่ธรรมชาติสูงเพื่อไม่ให้มีผลของการตอบสนองแบบกำทอน (resonance) ต่อการแปรปรวนของลมในช่วงความถี่ที่สนใจ

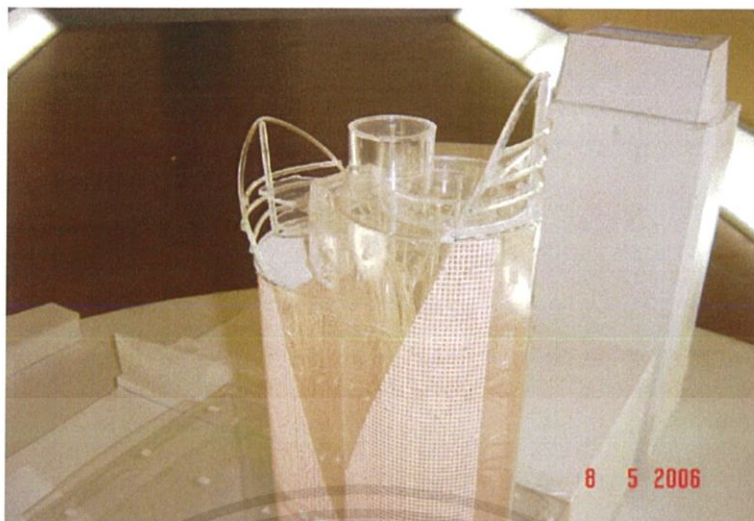
#### ข้อมูลที่ได้

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ค่าผลตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างค่า spectra ของแรงลมที่กระทำเมื่อสามารถทราบค่าการตอบสนองแบบกำทอน (resonance)

วิธี High-Frequency Force Balance มักนิยมใช้ในการหาค่าแรงที่กระทำสำหรับกาโก่งตัวด้านข้างและการบิดสำหรับรูปแบบการสั่นไหวพื้น ฐานของอาคารสูงสามารถนำ แรงที่ได้จากการทดสอบนำไปวิเคราะห์หาผลตอบสนองของอาคารเช่น การโก่งตัวด้านข้างและอัตราเร่ง



รูป 2.18 แบบจำลองย่อส่วนของอาคารและอาคารข้างเคียงในอุโมงค์ลม



รูป 2.19 แบบจำลองแข็ง ที่ติดตั้งท่อส่งแรงดัน เพื่อวัดความดันลมที่จุดต่างๆ  
ของผนังโดยรอบอาคาร

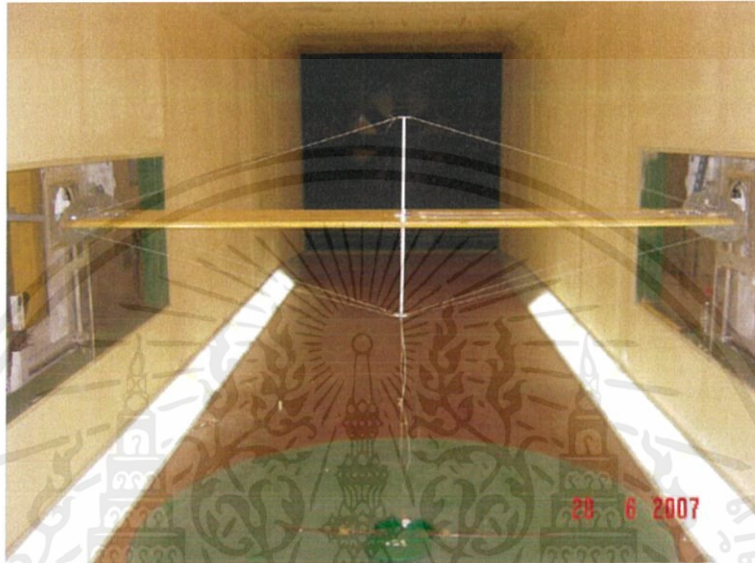
## 2) Sectional Model Test

ทดสอบแบบจำลองหน้าตัดบางส่วนของโครงสร้างที่ติดตั้งอยู่บนสปริงซึ่งเป็นการจำลองคุณสมบัติทางด้านพลศาสตร์มักใช้กับหน้าตัดโครงสร้างของสะพานช่วงยาว เช่น สะพานขึง และ สะพานแขวน

### ข้อมูลที่ได้

ค่าแรงลมและการตอบสนองทั้งแบบเฉื่อยและแบบพลศาสตร์

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงที่เกิดจากการกระตุ้นของโครงสร้างเองภายใต้แรงลม (aerodynamic derivatives) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางด้าน aero-elastic (การทดสอบแบบจำลอง อุโมงค์ลมโดยวิธี HFFB เพื่อการประมาณค่าแรงลมและการสั่นไหวของอาคาร ดร.สุกิตย์ เทพมังกร, 2543.)



รูป 2.20 แบบจำลองหน้าตัดสะพานบางส่วนในอุโมงค์ลม



รูป 2.21 แบบจำลองหน้าตัดสะพานที่ติดตั้งอยู่บนสปริง เพื่อจำลองคุณสมบัติทางด้านพลศาสตร์

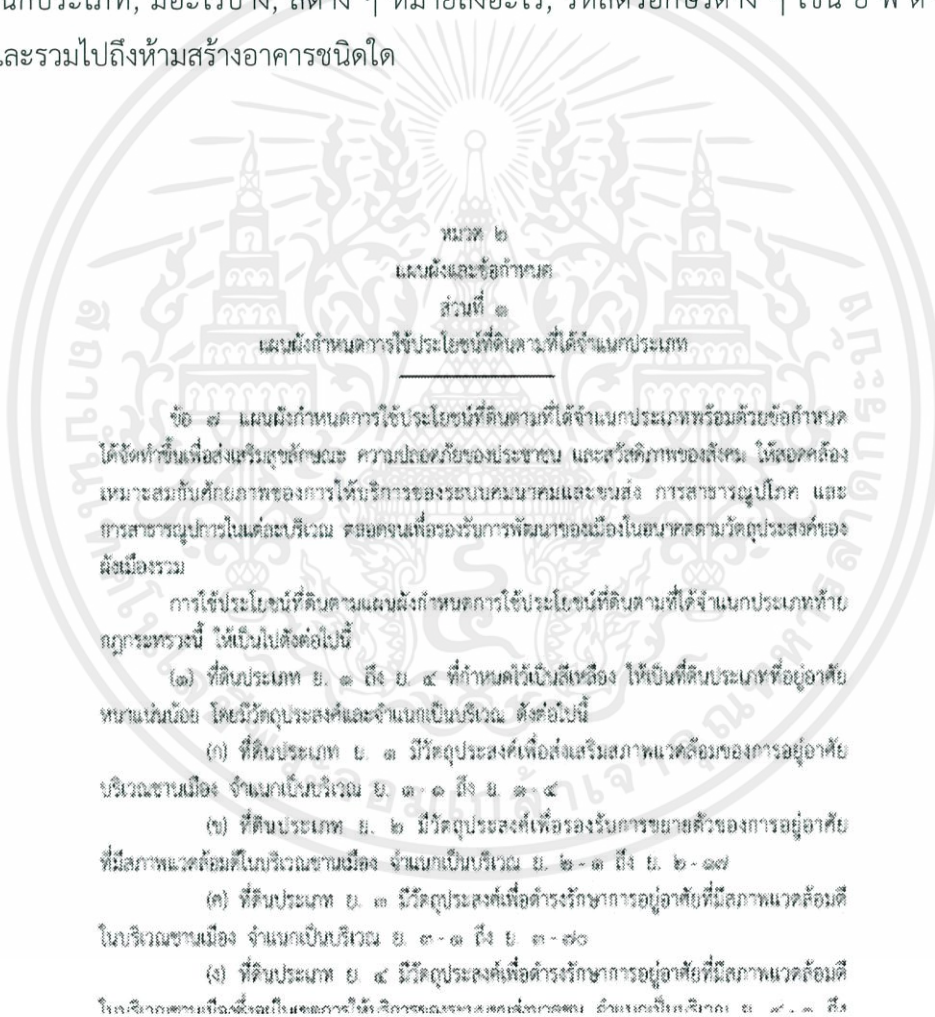
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 กฎหมายควบคุมอาคาร

### 2.8.1 กฎหมายผังเมือง

กฎหมายผังเมืองในประเทศไทยมีขึ้นเพื่อกำหนดพื้นที่ใช้สอยโดยรวมของประเทศ ให้เป็นระเบียบและเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของทุกคน หากไม่มีกฎหมายผังเมืองแล้วจะเกิดปัญหา เช่น ชุมชนแออัด อากาศเป็นพิษ หรือไม่มีที่ดินเหลือทำเกษตร โดยกฎหมายจะกำหนดไว้ว่าพื้นที่ไหนสร้างอะไรได้บ้าง ห้ามสร้างอะไรบ้าง หรือสร้างได้แต่จำกัดความสูง โดยตัวกฎหมายผังเมืองจะมี 3 ส่วนด้วยกัน คือ

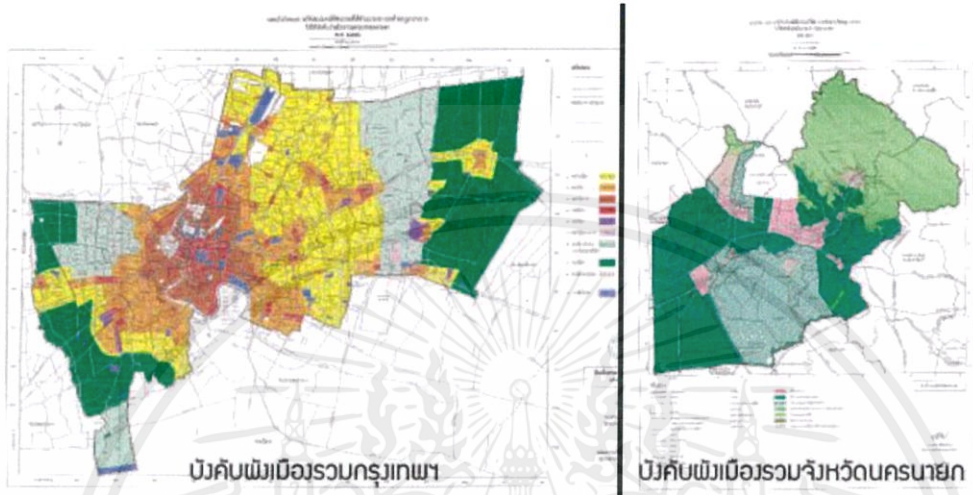
1. เนื้อหากฎหมายผังเมือง (กฎกระทรวง) เป็นลายลักษณ์อักษร ผังเมืองแต่ละจังหวัดจะอยู่กันคนละฉบับ ในตัวกฎหมายจะอธิบายถึง ความหมายคำต่าง ๆ, ประเภทของที่ดิน แบ่งเป็นกี่ประเภท, มีอะไรบ้าง, สีต่าง ๆ หมายถึงอะไร, รหัสตัวอักษรต่าง ๆ เช่น ย พ ต หมายถึงอะไร และรวมไปถึงห้ามสร้างอาคารชนิดใด



รูป 2.22 แสดงเนื้อหากฎหมายผังเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แผนผังกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผังสีจะแนบท้ายตัวกฎหมาย เพื่อแสดงสีของที่ดินต่างๆ ซึ่งแต่ละจังหวัดก็จะมีข้อกำหนดแตกต่างจากกรุงเทพฯ ยกตัวอย่างมาเทียบให้ดู 2 จังหวัด คือ จังหวัดกรุงเทพฯ และจังหวัดนครนายก ซึ่งก็จะเห็นว่ากรุงเทพฯ มีสีสันเยอะกว่านครนายก ซึ่งก็เป็นเพราะในกรุงเทพฯ มีงานใช้งานที่ดินที่หลากหลายประเภทกว่าในจังหวัดนครนายก



รูป 2.23 ผังสีกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน

๓๐	๑. เขตสีเหลือง	ย.๑-ย.๕	ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย
	๒. เขตสีส้ม	ย.๕-ย.๗	ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง
	๓. เขตสีน้ำตาล	ย.๗-ย.๑๑	ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก
	๔. เขตสีแดง	พ.๑-พ.๕	ที่ดินประเภทพาณิชยกรรม
๒๕	๕. เขตสีม่วง	ว.๑-ว.๒	ที่ดินประเภทอุตสาหกรรม
	๖. เขตสีเม็ดมะปราง	อ.๓	ที่ดินประเภทคลังสินค้า
	๗. เขตสีขาวมีกรอบและเส้นทแยงสีเขียว	ก.๑-ก.๓	ที่ดินประเภทอนุรักษ์ชนบทและเกษตรกรรม
๒๐	๘. เขตสีเขียว	ก.๔-ก.๕	ที่ดินประเภทชนบทและเกษตรกรรม
	๙. เขตสีน้ำตาลอ่อน	ศ.๑-ศ.๒	ที่ดินประเภทอนุรักษ์เพื่อส่งเสริมเอกลักษณ์ศิลปวัฒนธรรมไทย
๑๕	๑๐. เขตสีน้ำเงิน	ส.	ที่ดินประเภทสถาบันราชการ การสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ

รูป 2.24 รายละเอียดผังสีซึ่งกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

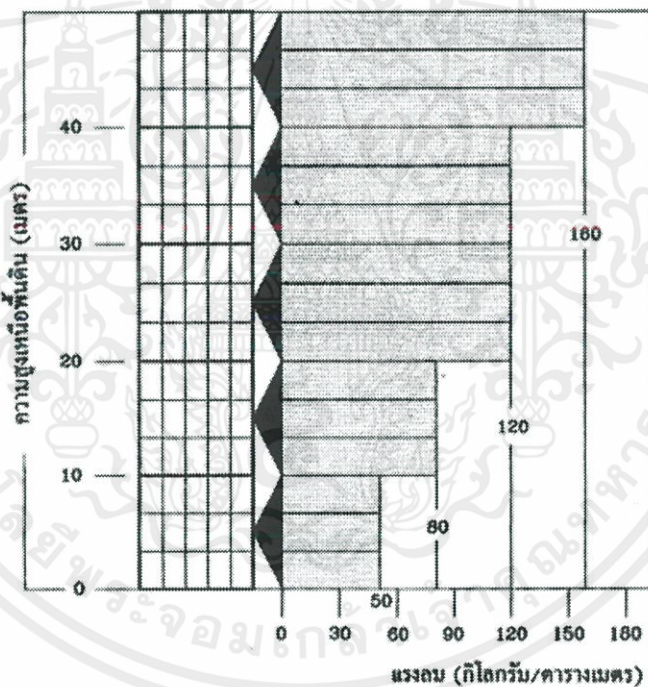


### 2.8.2 ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคาร ให้คำนึงถึงแรงลมด้วย หากจำเป็นต้องคำนวณและไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ ให้ใช้หน่วยแรงลมตามตาราง ดังต่อไปนี้

ตาราง 2.5 ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544

ความสูงของอาคารหรือส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลมอย่างน้อยกิโลปาสกา (กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)
(1) ส่วนของอาคารสูงไม่เกิน 10 เมตร	0.5(50)
(2) ส่วนของอาคารสูง 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	0.8(80)
(3) ส่วนของอาคารสูง 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.2(120)
(4) ส่วนของอาคารสูง 40 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.6(160)
(5) ส่วนของอาคารสูง 80 เมตร	2.0(200)



รูป 2.26 ค่าแรงตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544

### 2.8.3 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2552 ข้อ 48 กฎของกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543)

ระยะห่างระหว่างบ้านหรืออาคารในที่ดินเจ้าของเดียวกัน จะมี กฎหมายกำหนดให้พิจารณาจาก 2 เงื่อนไข คือ 1) ความสูงของอาคารทั้งสองหลัง และ 2) ผนังของอาคารทั้งสองหลังด้านที่ใกล้กันนั้นเป็นผนังทึบหรือมีช่องเปิด-ช่องแสง-ระเบียง แยกเป็น 3 กรณี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กรณีที่ 1** เมื่อผนังอาคารด้านที่ใกล้กันเป็นผนังที่มีช่องเปิด-ช่องแสงหรือมีระเบียง ทั้งสองหลัง ผนังของอาคารด้านที่มี หน้าต่าง ประตู ช่องระบายอากาศหรือช่องแสงหรือระเบียงของอาคาร ต้องมีระยะห่างจากผนังของอาคารอื่นด้านที่มีหน้าต่าง ประตู ช่องระบายอากาศหรือช่องแสง หรือ ระเบียงของอาคาร ดังต่อไปนี้

(ก) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 9 เมตร ผนังหรือระเบียงของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือ ระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงไม่เกิน 9 เมตร ไม่น้อยกว่า 4 เมตร

(ข) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 9 เมตร ผนังหรือระเบียงของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือ ระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ไม่น้อยกว่า 5 เมตร

(ค) อาคารที่มีความสูงเกิน 9 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ผนังหรือระเบียงของอาคารต้องอยู่ห่าง จากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ไม่น้อยกว่า 6 เมตร

**กรณีที่ 2** เมื่อผนังอาคารด้านที่ใกล้กัน มีหลังหนึ่งเป็นผนังทึบ และอีกหลังเป็นผนังที่มีช่อง เปิด-ช่องแสง หรือมีระเบียงผนังของอาคารด้านที่เป็นผนังทึบต้องมีระยะห่างจากผนังของอาคารอื่น ด้านที่มี หน้าต่าง ประตู ช่องระบายอากาศหรือช่องแสง หรือระเบียงของอาคาร ดังต่อไปนี้

(ก) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของ อาคารอื่นที่มีความสูงไม่เกิน 9 เมตร ไม่น้อยกว่า 2 เมตร

(ข) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของ อาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ไม่น้อยกว่า 3 เมตร

(ค) อาคารที่มีความสูงเกิน 15 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือ ระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงไม่เกิน 9 เมตร ไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร

(ง) อาคารที่มีความสูงเกิน 15 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือ ระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร

**กรณีที่ 3** เมื่อผนังอาคารด้านที่ใกล้กัน เป็นผนังทึบทั้งสองหลัง และทั้งสองหลังมีความสูงเกิน 15 เมตรแต่สูงไม่ถึง 23 เมตร ผนังของอาคารที่มีความสูงเกิน 15 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ด้านที่เป็น ผนังทึบต้องอยู่ห่างจากผนังของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 15 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร ด้านที่เป็นผนัง ทึบไม่น้อยกว่า 1 เมตร

กรณีที่ 3 นี้ ถ้าเป็นอาคารที่ก่อสร้างอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ระยะห่างจะต้องไม่น้อยกว่า 2 เมตร เนื่องจากมีข้อกำหนดเรื่องที่ว่างโดยรอบอาคารที่สูงเกิน 15 เมตรไว้

สำหรับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ถ้าหากมีอาคารหลังใดหลังหนึ่งหรือทั้งสองหลังชั้นบนสุดทำเป็น ดาดฟ้าขึ้นไปใช้สอยได้ กฎหมายยังได้กำหนดอีกว่า ผนังของดาดฟ้าของอาคารด้านที่อยู่ใกล้กับอาคาร อื่นต้องสร้างเป็นผนังทึบสูงจากพื้นดาดฟ้าไม่น้อยกว่า 1.80 เมตรอีกด้วย

ตาราง 2.6 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2552 ข้อ 48 กฎของกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543)

ประเภทผนัง	ความสูงอาคาร A	ความสูงอาคาร B	ระยะห่างขั้นต่ำ
ช่องเปิด	ไม่เกิน 9 เมตร	ไม่เกิน 9 เมตร	4 เมตร
	ไม่เกิน 9 เมตร	มากกว่า 9 เมตร แต่ไม่เกิน 23 เมตร	5 เมตร
	มากกว่า 9 เมตร แต่ไม่เกิน 23 เมตร	มากกว่า 9 เมตร แต่ไม่เกิน 23 เมตร	6 เมตร
ช่องเปิด และผนังทึบ ถ้ามีคานาดาดฟ้า ต้องสร้างผนังทึบสูง มากกว่า 1.8 เมตรด้วย	ไม่เกิน 9 เมตร	ไม่เกิน 15 เมตร	2 เมตร
	แต่ไม่เกิน 9 เมตร	15.1-22.9 เมตร	2.5 เมตร
	มากกว่า 9 เมตร แต่ไม่เกิน 23 เมตร	ไม่เกิน 15 เมตร	3 เมตร
	มากกว่า 9 เมตร แต่ไม่เกิน 23 เมตร	มากกว่า 15 เมตร แต่ไม่ถึง 23 เมตร	3.5 เมตร
ผนังทึบ ถ้ามีคานาดาดฟ้า ต้องสร้างผนังทึบสูง มากกว่า 1.8 เมตรด้วย	มากกว่า 15 เมตร	มากกว่า 15 เมตร	1 เมตร
	แต่ไม่ถึง 23 เมตร	แต่ไม่ถึง 23 เมตร	2 เมตร ในกทม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทความที่เกี่ยวข้อง

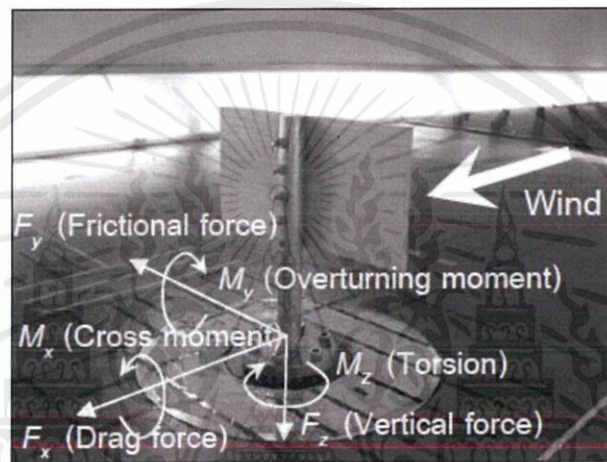
จากการทำโครงการเกี่ยวกับการทดสอบในอุโมงค์ลมและแรงลม กลุ่มวิจัยได้ทำการศึกษาและหาข้อมูลจากงานวิจัยและบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาต่อยอดความรู้และประยุกต์ใช้ในการกำหนดตัวแปลที่เหมาะสม ซึ่งได้มีงานวิจัยและบทความต่างๆ ที่ได้ศึกษา ดังเช่น

นายทวีโชค กุณาศล, นายธนบดี รินรดา (2013) งานวิจัยหลักการทำงานของอุโมงค์ลมแบบเปิด เพื่อออกแบบ และสร้างอุโมงค์ลมแบบเปิดที่สามารถปรับค่าความเร็วลมได้ โดยในส่วนของระบบควบคุมความเร็วลมใช้ Inverter ควบคุมการจ่ายความถี่ไฟฟ้าขนาด 3 Phase ของเครื่องกำเนิดลม สามารถปรับค่าความถี่ไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 20.00 ถึง 50.00 Hertz และได้คำนวณแรงดันสูงสุดเท่ากับ 90.31 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งอุโมงค์ลมนี้ไปใช้ในการออกแบบอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 20 เมตร ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 (ทวีโชค กุณาศล, ธนบดี รินรดา. 2013. “การออกแบบและสร้างแบบจำลองอุโมงค์ลม เพื่องานวิศวกรรม.” ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.)



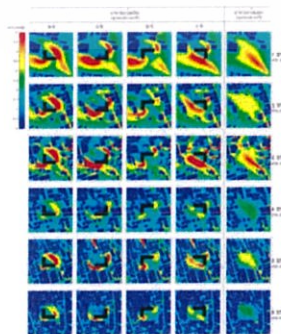
รูป 2.27 อุโมงค์ลมแบบเปิด

นายธีรวัฒน์ ธีรสุขสกุล (2006) งานวิจัยเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของอาคารข้างเคียงต่อแรงลมสำหรับป้ายโฆษณา โดยการทดสอบในอุโมงค์ลมที่มีการจำลองสภาพลมตามธรรมชาติ (Boundary Layer Wind Tunnel) แรงที่กระทำกับโครงสร้างป้ายในทิศทางตามลมมีค่าลดลงหากมีอาคารวางอยู่ด้านต้นลมและแรงนี้อาจจะกลับทิศทางจากแรงดันเป็นแรงดูดกระทำต่อป้ายได้เมื่ออาคารมีขนาดใหญ่ขึ้น และหากอาคารวางอยู่ด้านท้ายลมแรงที่กระทำกับโครงสร้างป้ายในทิศทางตามลมอาจมีค่าเพิ่มขึ้นจากป้ายที่ไม่มีอาคารข้างเคียงในหลายกรณี (ธีรวัฒน์ ธีรสุขสกุล. 2006. “การทดสอบในอุโมงค์ลมสำหรับแรงลมต่อป้ายโฆษณาที่มีอาคารข้างเคียง.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.)



รูป 2.28 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบและนิยามทิศทางของแรงลม

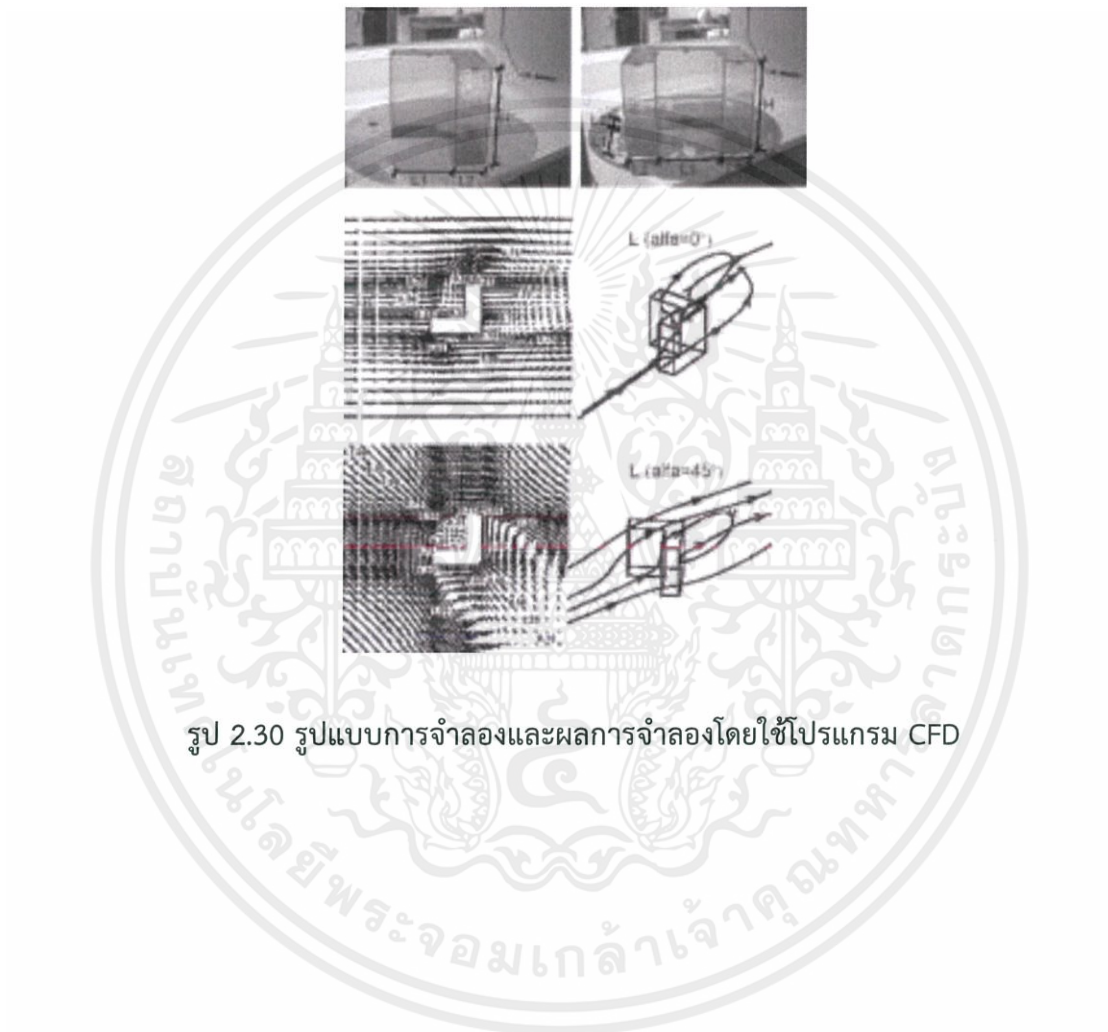
นางสาวสิริลักษณ์ วรรณธีระเดช (2017) งานวิจัยศึกษาผลกระทบของรูปทรงและทิศทางการวางอาคารต่อสภาพแวดล้อมเมือง โดยแบ่งตามความหนาแน่นของบริบทโดยรอบอาคาร หรืออัตราส่วนพื้นที่ปกคลุมดิน 6 ระดับ (GCR10-60%) (สิริลักษณ์ วรรณธีระเดช. 2017. “ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคารต่อสภาพแวดล้อมเมืองด้านกระแสลม.” การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.)



รูป 2.29 ผลการจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายภุชพงค์ ทองศรี งานวิจัยศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มความเร็วและการเปลี่ยนทิศทางของกระแสลมจากปัจจัยต่างๆ ต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร โดยนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและกำหนดพื้นที่ใช้สอยต่างๆ โดยรอบอาคารให้เกิดความเหมาะสม รวมถึงเสริมสร้างให้เกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้พื้นที่ภายนอกอาคาร (ภุชพงค์ ทองศรี. “การศึกษาผลกระทบของกระแสลมต่อผู้ใช้พื้นที่ภายนอกอาคาร.” ปริญญาโทสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.)



รูป 2.30 รูปแบบการจำลองและผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม CFD

## บทที่ 3

# วิธีดำเนินงาน

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงวิธีดำเนินงานการซ่อมแซมอุโมงค์ลม การทดสอบการทำงานของอุโมงค์ลม การออกแบบและสร้างแบบจำลองรูปทรงของอาคาร และการทดสอบแบบจำลองกับอุโมงค์ลมโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การซ่อมแซม
2. การทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม
3. การออกแบบและสร้างแบบจำลอง
4. การทดสอบแบบจำลอง

### 3.1 การปรับปรุงซ่อมแซมอุโมงค์ลมจำลอง

เนื่องจากอุโมงค์ลมมีความเสียหาย ไม่มั่นคงและไม่สามารถใช้งานทดสอบได้ จึงต้องทำการบำรุงรักษา เสริมความมั่นคงของตัวอุโมงค์ลมโดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. น็อต & สกรู



รูป 3.1 ตัวอย่างน็อตและสกรูที่ใช้

2. ประแจไขน็อตขนาดต่างๆ



รูป 3.2 ประแจไขน็อตขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. ซิลิโคนพร้อมปืนฉีด



รูป 3.3 ซิลิโคนพร้อมปืนฉีด

## 4. สว่านสำหรับเจาะ



รูป 3.4 สว่านสำหรับเจาะ

## 5. ไม้สำหรับเสริมฐานรองรับอุโมงค์ลม



รูป 3.5 ไม้สำหรับเสริมฐานรองรับอุโมงค์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. กาวสำหรับติดอะคริลิก



รูป 3.6 กาวสำหรับติดอะคริลิก

## 7. อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความเร็วลม



รูป 3.7 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. เหล็กฉาก



รูป 3.8 เหล็กฉาก

## 9. ยางสำหรับเปลี่ยนยางเก่าที่เสื่อมสภาพ



รูป 3.9 ยางสำหรับเปลี่ยนยางเก่าที่เสื่อมสภาพ

## 10. ฉากเหล็กกอนกประสงค์ไว้สำหรับยึดโครงอุโมงค์ลม



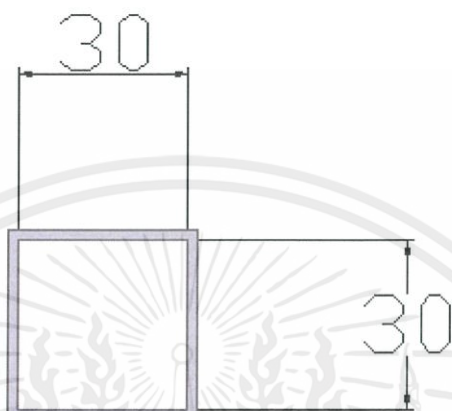
รูป 3.10 ฉากเหล็กกอนกประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

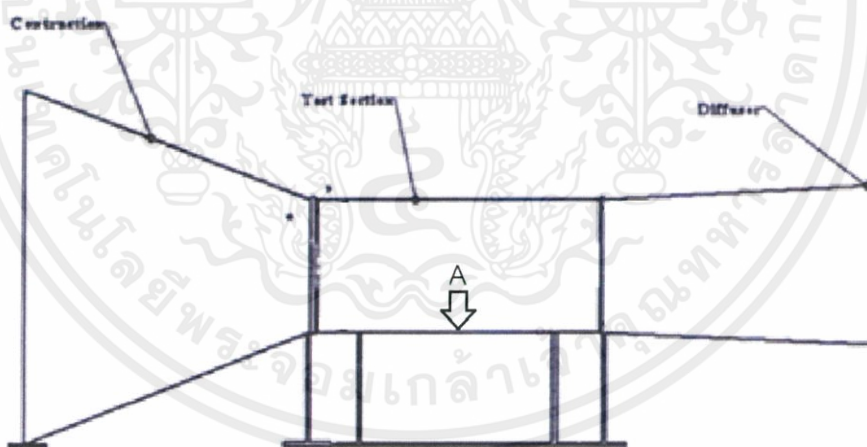
### 3.2 การทดสอบการวัดความเร็วช่วงหน้าตัดทดสอบ

ทดสอบความเร็วในหน้าตัดทดสอบเพื่อดูว่าความเร็วในส่วนหน้าตัดทดสอบมีความเร็วเท่าใดในการปรับความเร็วลมโดยใช้ Inverter จ่ายกระแสไฟ

การทดสอบความเร็วในช่วงหน้าตัดทดสอบ



รูป 3.11 แสดงภาคตัดด้านหน้า



รูป 3.12 แสดงภาคตัดด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วางเครื่องวัดความเร็วที่กึ่งกลางหน้าตัดทดสอบ
  2. วัดความเร็วลมที่ค่าความถี่ไฟฟ้าต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความเร็วลม โดยจะปรับค่าความถี่ขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นบันทึกความเร็วเมื่อการจ่ายกระแสไฟเพิ่มขึ้นทุกๆ 2 เฮิร์ตซ์ (ไม่ควรจ่ายกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 20 เฮิร์ตซ์เนื่องจากอาจทำให้มอเตอร์เครื่องใหม่และชำรุด)
  3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง
  4. ทำการเปรียบเทียบความเร็วลมของทั้งสองครั้งการทดลอง
- ตัวอย่างตารางแสดงค่าความเร็วลมที่วัดได้จากเครื่องวัดความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ

ตาราง 3.1 ตัวอย่างตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้

กระแสไฟที่จ่าย (Hertz)	ความเร็วลม (m/s)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
20			
22			
24			
26			
28			
30			
32			
34			
36			
38			
40			

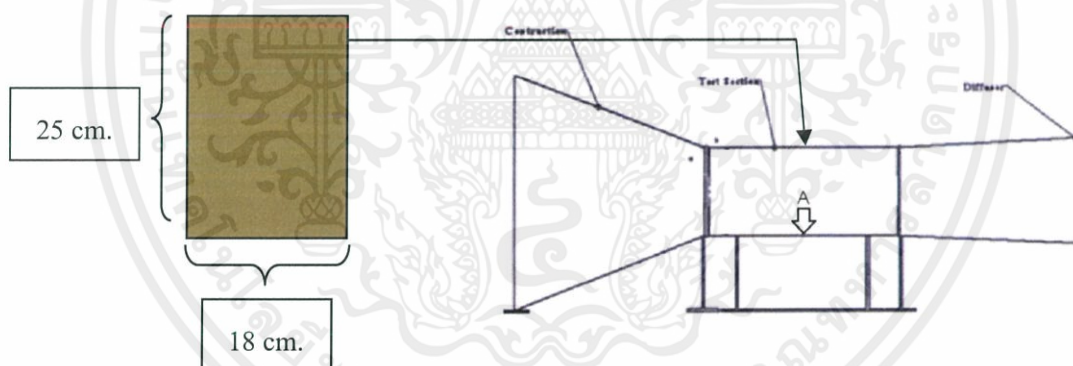
### 3.3 การออกแบบและสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลอง นั้นต้องคำนึงถึงค่า Constrain High 20 m. อ้างอิงจากงานวิจัยการออกแบบและสร้างอุโมงค์ มีความสามารถในการใช้ทดสอบอาคารได้ในช่วงความสูงไม่เกิน 0-20 เมตร และช่องใส่วัสดุทดสอบมีช่องเปิดกว้าง 18 cm. และยาว 25 cm.

และสำหรับการทดสอบในอุโมงค์ลม โดยอ้างอิงจาก มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองต่ออาคาร โดยกรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2550 บทที่ 5 การทดสอบในอุโมงค์ลม เรื่องการทดสอบ

ภายใต้เงื่อนไข ข้อที่ 4 พื้นที่หน้าตัดบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (projected area) ของอาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบทั้งหมดรวมกัน ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 8 ของพื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ลม ณ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ มิเช่นนั้นต้องทำการปรับแก้ผลการทดสอบโดยคำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นจากการปิดกั้นของลม นอกจากนี้แบบจำลองอาคารที่ทำการทดสอบควรมีความสูงไม่เกินครึ่งหนึ่งของความสูงอุโมงค์ลม และติดตั้งอยู่ตรงกลางหรือในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของระบบพันทุนภายในอุโมงค์ลม

ดังนั้น หน้าตัดของแบบจำลองระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางลมจะต้องไม่เกิน  $72 \text{ cm}^2$ . (พื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ลม ณ ตำแหน่งทดสอบมีค่า  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ .) โดยกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองมีระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางลมเท่ากับทุกแบบจำลอง คือ  $72 \text{ cm}^2$ .



รูป 3.13 รูปแปลนขยาย ช่องใส่วัสดุ





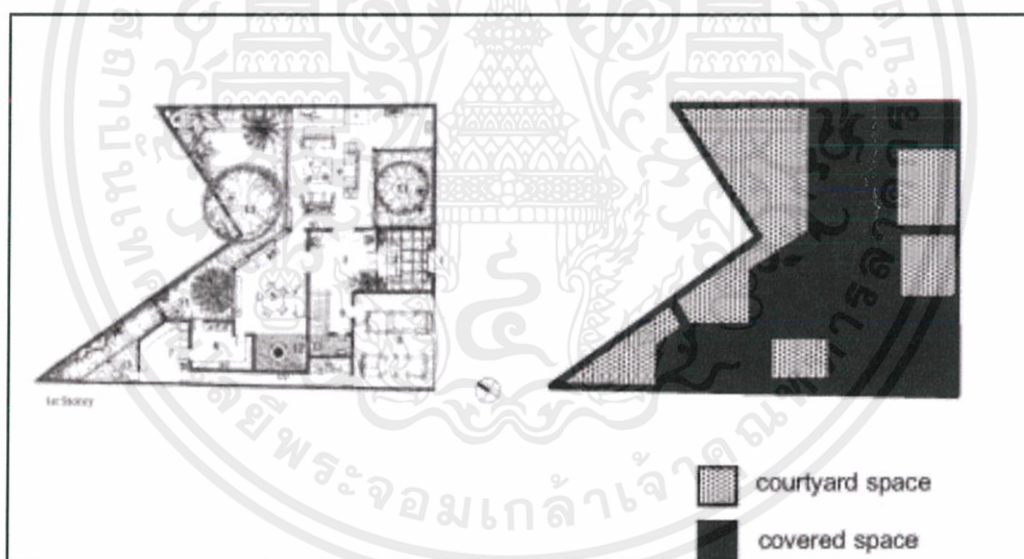
## 5. บ้านเดี่ยว แบบบ้าน THE SPACE 6 (รูปทรงตัว L)



รูป 3.18 รูปแปลนอาคาร E

## 6. โครงการ Jayakody House ออกแบบโดยสถาปนิก Geoffrey Bawa: ฝั่งพื้นที่

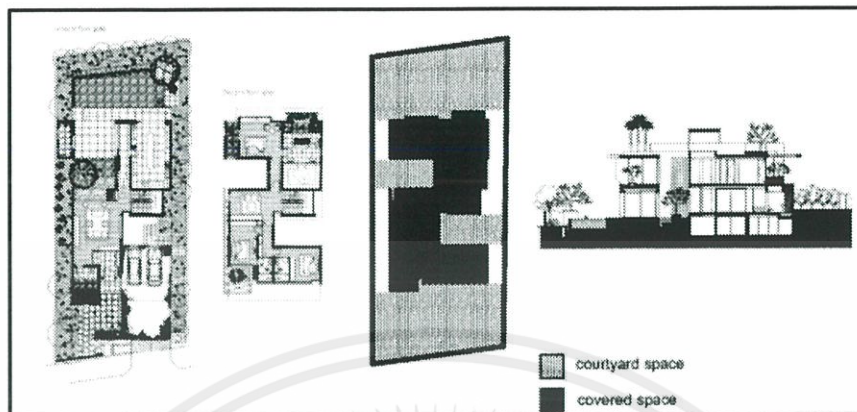
ที่ 1 แผนภูมิแสดงพื้นที่คอร์ตโล่ง



รูป 3.19 รูปแปลนอาคาร F

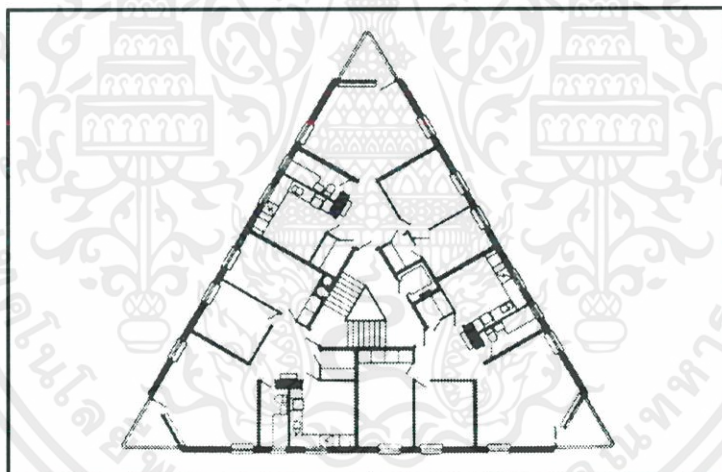
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โครงการ Sunset Vale House ออกแบบโดยสถาปนิก WOW Architects: ฝั่ง  
 พื้นชั้น 1 และ 2 แผนภูมิแสดงพื้นที่คอร์ทโถ่ง และรูปตัดตามยาวแสดงการเลื่อนไหลของที่ว่างแนวตั้ง  
 และแนวนอน



รูป 3.20 รูปแปลนอาคาร G

8. แปลนจาก SVEN BROLID AND JAN WALLINDER, TRIANGULAR  
 RESIDENTIAL BLOCK, PLAN, KORTEDALA, GOTHENBURG, SWEDEN, 1957

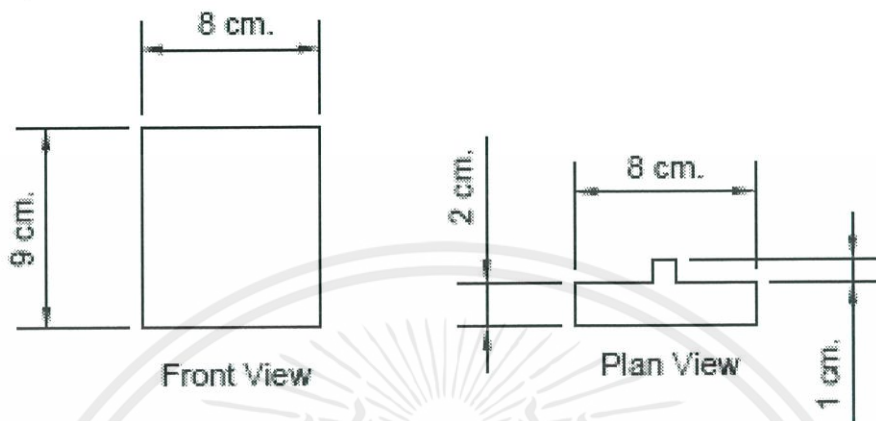


รูป 3.21 รูปแปลนอาคาร H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบแปลนอาคารข้างต้น สามารถนำมาออกแบบแบบจำลอง โดยมีอัตราส่วนเป็น 1:200 ภายใต้การเงื่อนไขการทดสอบในอุโมงค์ลม ได้ดังนี้

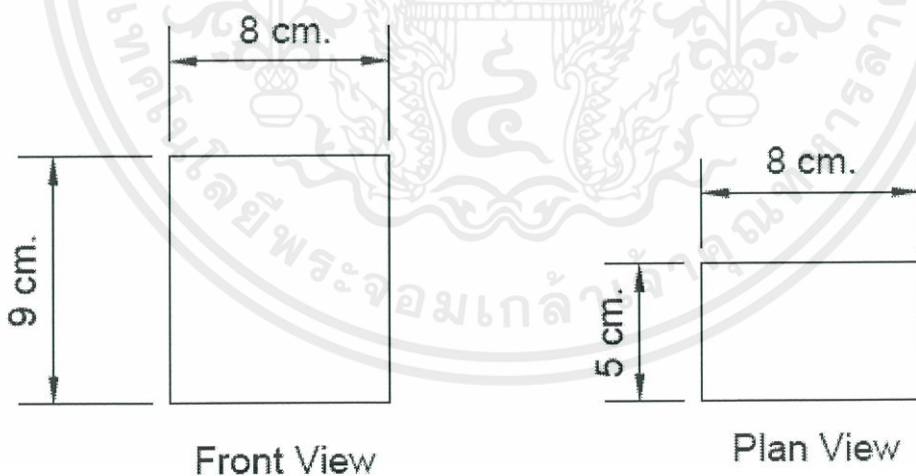
1. แบบอาคาร A



## แบบอาคาร A

รูป 3.22 รูปแปลนแบบจำลอง A

2. แบบอาคาร B

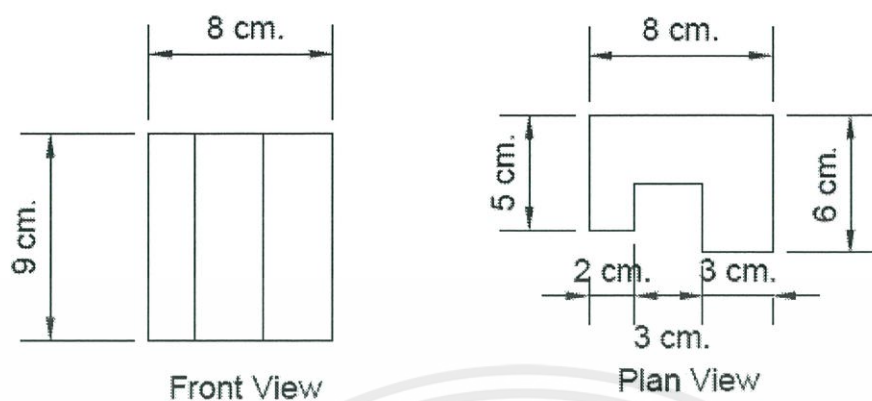


## แบบอาคาร B

รูป 3.23 รูปแปลนแบบจำลอง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

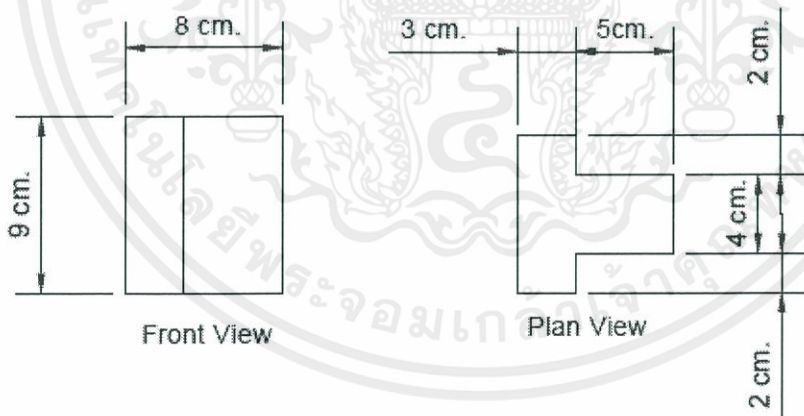
## 3. แบบอาคาร C



## แบบอาคาร C

รูป 3.24 รูปแปลนแบบจำลอง C

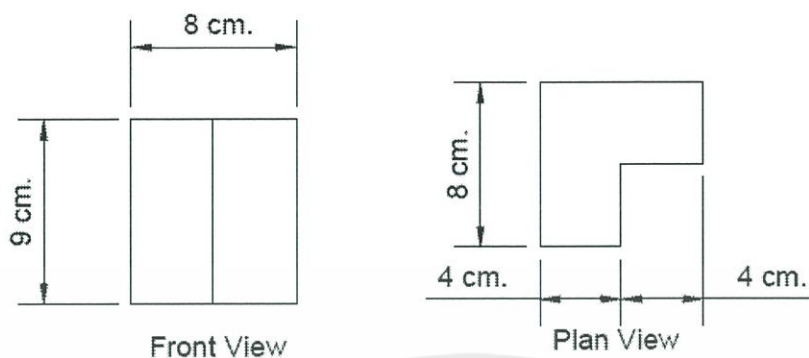
## 4. แบบอาคาร D



## แบบอาคาร D

รูป 3.25 รูปแปลนแบบจำลอง D

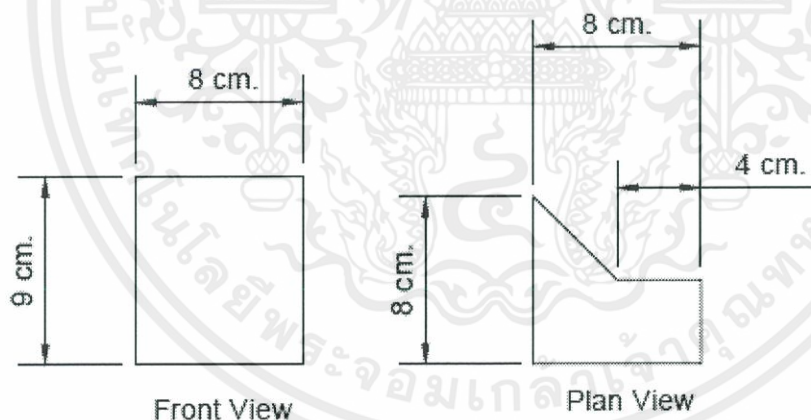
## 5. แบบอาคาร E



## แบบอาคาร E

รูป 3.26 รูปแปลนแบบจำลอง E

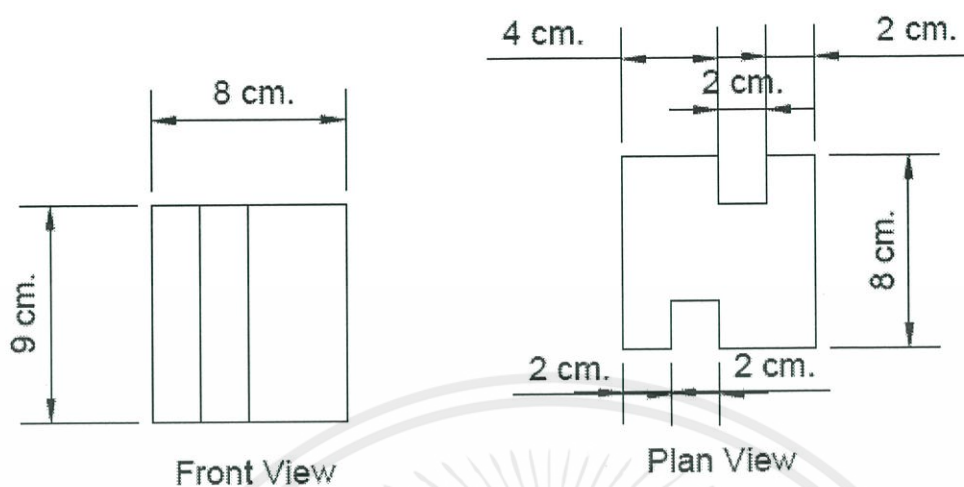
## 6. แบบอาคาร F



## แบบอาคาร F

รูป 3.27 รูปแปลนแบบจำลอง F

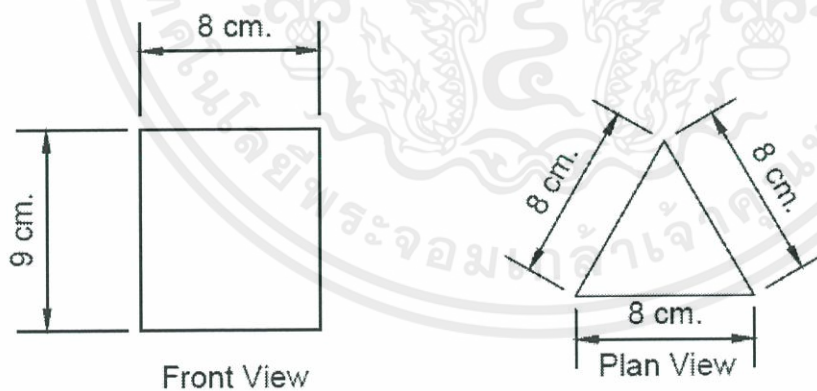
## 7. แบบอาคาร G



## แบบอาคาร G

รูป 3.28 รูปแปลนแบบจำลอง G

## 8. แบบอาคาร H



## แบบอาคาร H

รูป 3.29 รูปแปลนแบบจำลอง H

การสร้างแบบจำลอง วัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ปูนซีเมนต์



รูป 3.30 ปูนซีเมนต์

2. ทราย



รูป 3.31 ทรายอบแห้ง

3. ไม้แบบ



รูป 3.32 ไม้แบบ

4. ตะปู



รูป 3.33 ตะปู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. ค้อนตีตะปู



รูป 3.34 ค้อนตีตะปู

## 6. เลื่อยฉลุไฟฟ้า



รูป 3.35 เลื่อยฉลุไฟฟ้า

## 6. กาวร้อน



รูป 3.36 กาวร้อน

## 6. ซิลิโคน ปัดรอยร้าว



รูป 3.37 ซิลิโคนพร้อมปืนยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

จากแบบแปลนอาคารที่ได้กล่าวมา นำมาสร้างแบบจำลองโดยจำกัดพื้นที่ระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางลมคือ  $72 \text{ cm}^2$ . ( $9 \times 8 \text{ cm}$ .) ด้วยวัสดุ มอร์ตาร์ และต้องคำนึงถึง ขนาดของช่องใส่วัสดุทดสอบ ซึ่งมีขนาด ความกว้าง 18 cm. ยาว 25 cm.

1. ทำการเข้าแบบโดยการตีให้แบบ ให้เข้ารั้งกับรูปทรงของแบบอาคาร



รูป 3.38 แสดงการเข้าไม้แบบ

2. ใช้ silicon ปิดรอยร้าว ของแบบหล่อ
3. ผสมปูนทราย และน้ำ ให้เข้ากัน



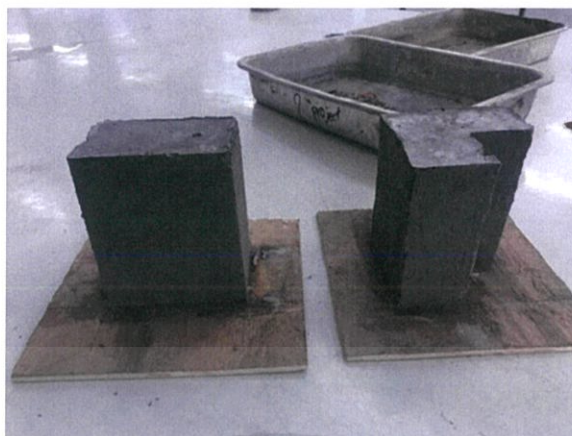
รูป 3.39 การผสมปูน

4. เทปูนเข้าแบบหล่อ ใช้เหล็กเสียบเพื่อป้องกันฟองอากาศ



รูป 3.40 การเทปูนเข้าแบบหล่อ

### 5. ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงและทำการถอดไม้แบบ



รูป 3.41 หลังจากถอดไม้แบบ

### 6. นำแบบจำลองไปบ่มน้ำ รอ 7 วันให้กำลังของ มอร์ตาร์ถึง 80%



รูป 3.42 การบ่มแบบจำลอง

### 7. ได้ชิ้นงานสำหรับทดสอบ

## 3.4 การทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม

### 3.4.1 การทดสอบในเชิงกายภาพ

ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงานมีดังนี้

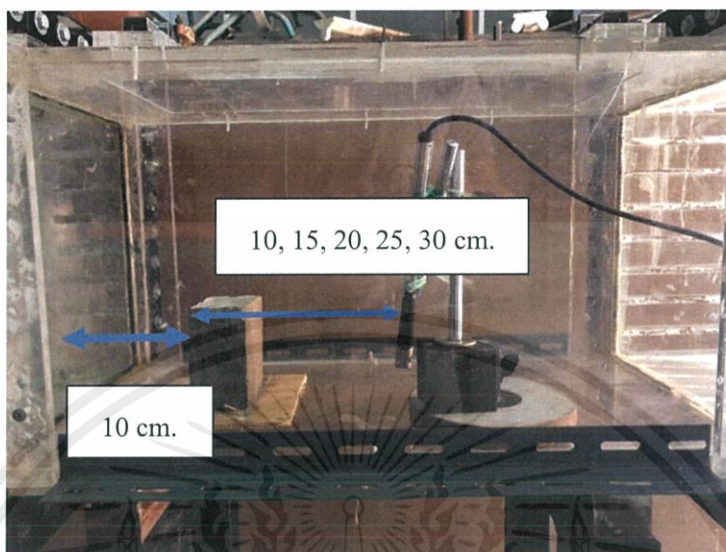
1. วางแบบจำลองไว้กึ่งกลางหน้าของหน้าตัดทดสอบ
2. เตรียมน้ำแข็งแห้ง พร้อมภาชนะ และน้ำอุ่น
3. นำน้ำแข็งแห้งวางขวางทางลมก่อนปะทะกับแบบจำลอง เติมน้ำร้อนเพื่อให้เกิดควัน
4. เปิดเครื่องวัดลม 10 hertz (เมื่อเปิดที่ความเร็วลมสูงเกินไปจะทำให้มองไม่เห็นควัน)
5. สังเกตทิศทางการลม จากด้านข้างและด้านบน ของแบบจำลอง
6. บันทึกผลโดยการบันทึกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข

ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงานมีดังนี้

1. นำแบบจำลอง วางห่างจากหน้าต่างทดสอบ เป็นระยะ 10 cm.



รูป 3.43 การทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์

2. ติดตั้งเครื่องวัดลมวางไว้ที่ระยะห่างจากหน้าต่างปะทะของแบบจำลองเป็นระยะ 10, 15, 20, 25, 30 cm.
3. Set เครื่องกำเนิดลม โดยจ่ายไฟที่ความถี่ 20, 30 Hz.
4. วัดความเร็วลมด้านหลังชิ้นงานทดสอบ ด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (Anemometers) ยี่ห้อ (testo 4W รุ่น 416) โดยติดเครื่องไว้ที่กึ่งกลางหน้าต่างทดสอบ และที่ความสูง ประมาณกึ่งกลางความสูงของชิ้นงาน
5. บันทึกผลค่าความเร็วลมที่อ่านได้ใน ตาราง 3.2

สมมติฐาน ความเร็วลมที่ต่ำที่สุดที่วัดได้ด้านหลังแบบจำลอง จะอยู่ในระยะห่างจากด้านหลังลมของตัวอาคารน้อยที่สุด (จุดอับลม)

ตาราง 3.2 ตัวอย่างตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้เมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบพฤติกรรมของแรงลมที่กระทำต่ออาคาร

ระยะห่างของ เครื่องวัดลมกับ หน้าปะทะ (cm)	ความเร็วลมที่ เฮิร์ตซ์ (m/s)	แบบ A	แบบ B	แบบ C	แบบ D	แบบ E	แบบ F	แบบ G	แบบ H
10									
15									
20									
25									
30									

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลม ที่กระทำต่อรูปทรงของอาคารรูปแบบต่างๆ โดยการใช้ข้อมูลลม และการวัดความเร็วลมในช่วงด้านหลังอาคาร

โดยได้ผลการทดสอบตามหัวข้อต่อไปนี้

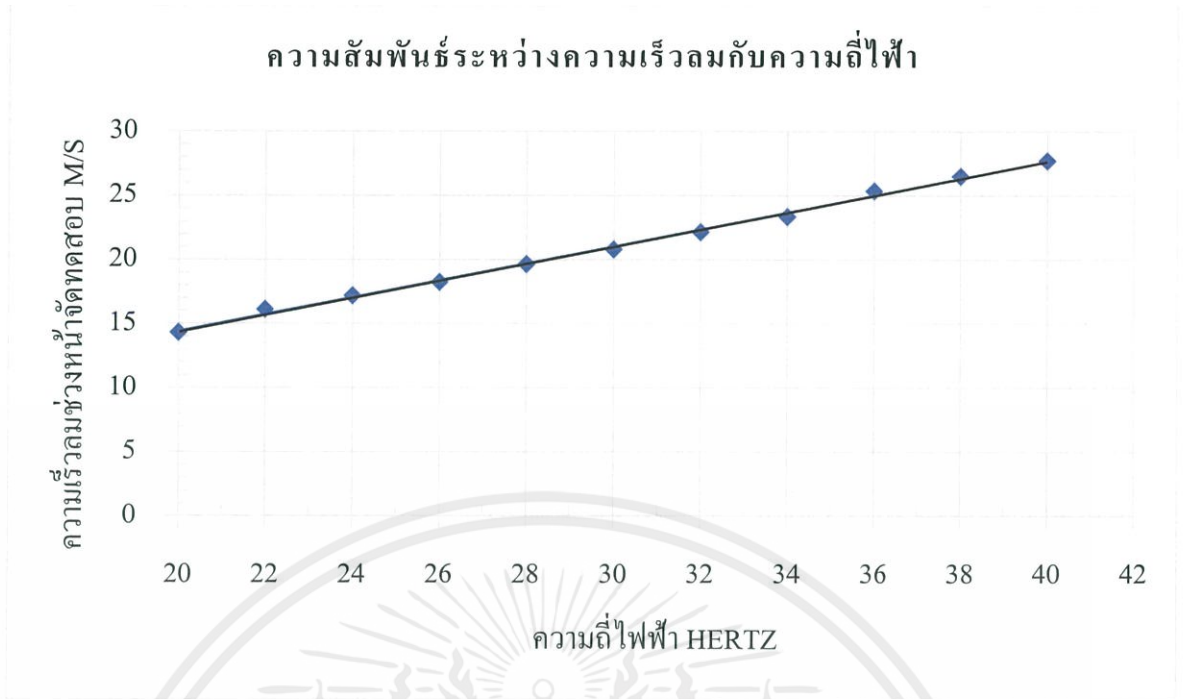
1. การทดสอบลักษณะทางกายภาพ
2. การทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข

#### 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของอุโมงค์ลม

ผลการทดสอบการทำงานของอุโมงค์ลมนี้เป็นการทดสอบการหาความเร็วลมช่วงหน้าตัดทดสอบ โดยการปรับค่าความถี่ไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ ในการใช้ตัวปรับไฟฟ้าของพัดลม Inverter เพื่อทดสอบดูว่าในแต่ละความถี่ไฟฟ้าตั้งแต่ 20-40 เฮิร์ตซ์ ช่วงหน้าตัดทดสอบมีความเร็วลมมากน้อยเพียงใดซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบที่กึ่งกลางหน้าตัดทดสอบพอดี

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้

กระแสไฟฟ้าที่จ่าย (Hertz)	ความเร็วลม (m/s)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
20	14.5	14.1	14.3
22	16.8	15.4	16.1
24	17.8	16.6	17.2
26	18.8	17.7	18.25
28	19.6	19.7	19.65
30	20.9	20.7	20.8
32	22	22.3	22.15
34	23.3	23.4	23.35
36	25.5	25.2	25.35
38	26.9	26.1	26.5
40	27.8	27.6	27.7



รูป 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับค่าความถี่ไฟฟ้า  
จะได้เป็นกราฟเป็นลักษณะของกราฟเชิงเส้น หากความสัมพันธ์ของสมการกราฟเชิง  
เส้นได้คือ

$$Y=(0.6625 \times (X-20))+14.4048 \quad (4.1)$$

โดย Y คือค่าความเร็วลมช่วงหน้าตัดทดสอบ และ X คือค่าความถี่ไฟฟ้า

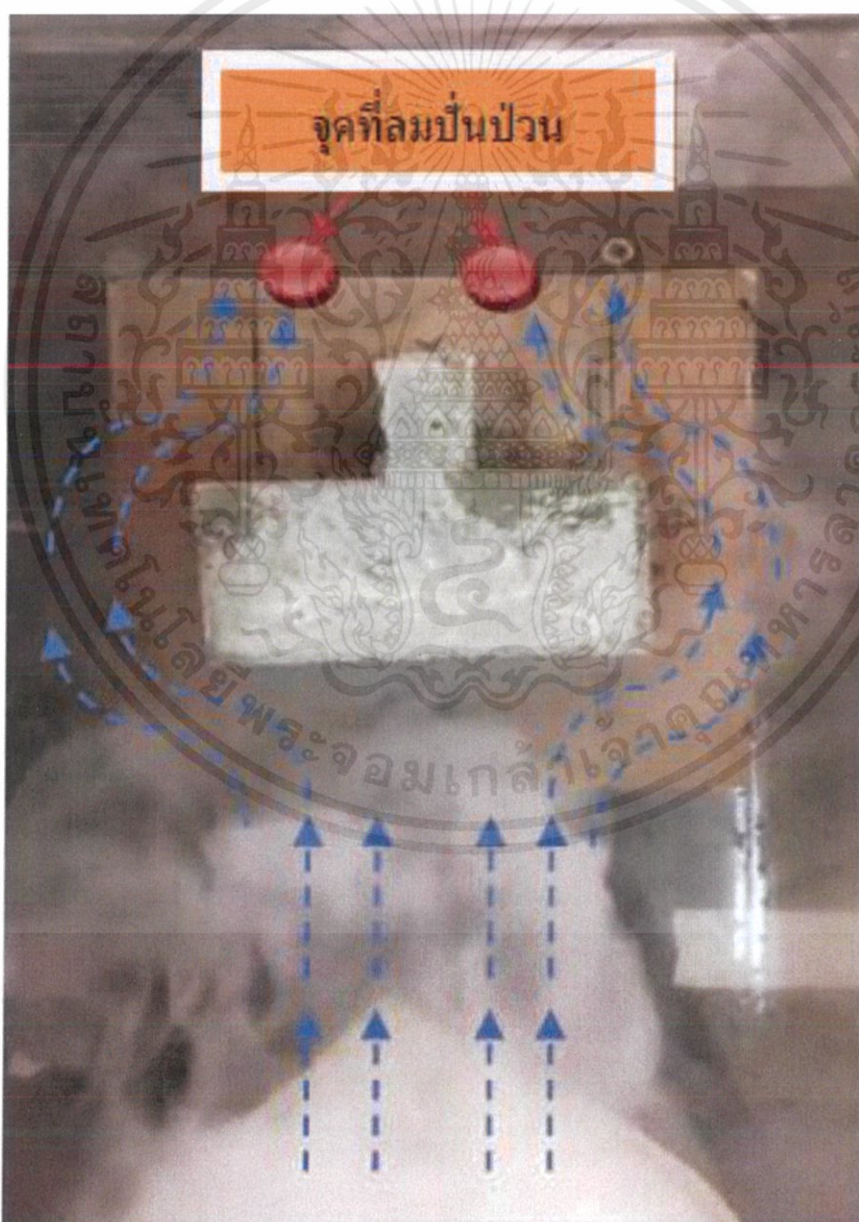
## 4.2 การทดสอบลักษณะทางกายภาพ

จากการทดสอบโดยใช้ควันทันน้ำแข็งแห้ง เพื่อสังเกตลักษณะการไหลของลมที่เคลื่อนผ่านแบบจำลองของอาคาร ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

### รูปทรง A

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าตัดซึ่งอยู่ในระนาบเดียวกันทำให้ลมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด มีจุดอับอยู่บริเวณมุมด้านหลังของอาคาร และมีลมที่พัดจากด้านข้าง มารวมตัวกันในด้านหลังอาคาร ทำให้เกิดการหมุนวน (มีความปั่นป่วน)

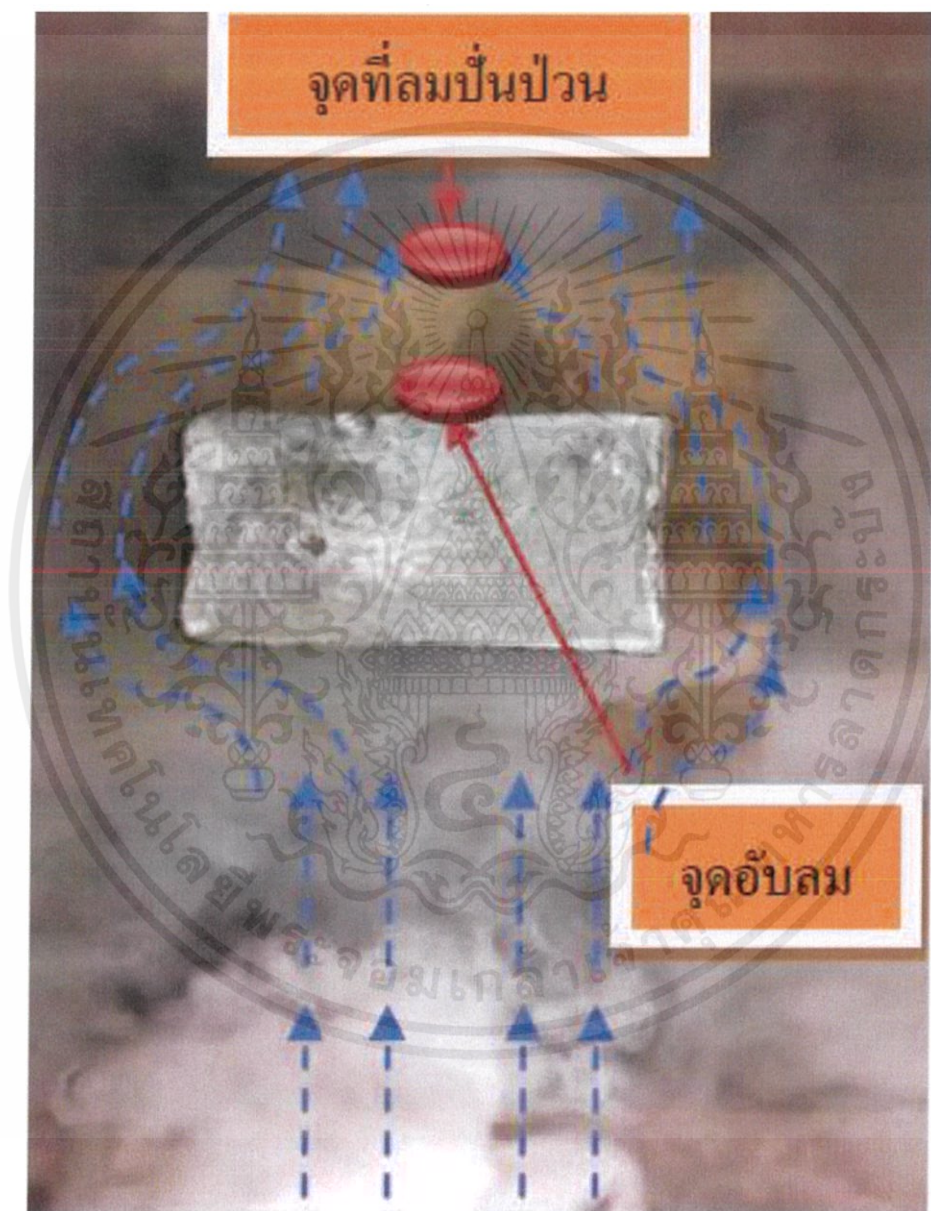


รูป 4.2 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง B

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าตัดซึ่งอยู่ในระนาบเดียวกันทำให้ลมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด มีจุดอับอยู่บริเวณด้านหลังอาคาร และมีลมที่พัดจากด้านข้าง มารวมตัวกันในด้านหลังอาคาร ทำให้เกิดการหมุนวน (มีความปั่นป่วน)



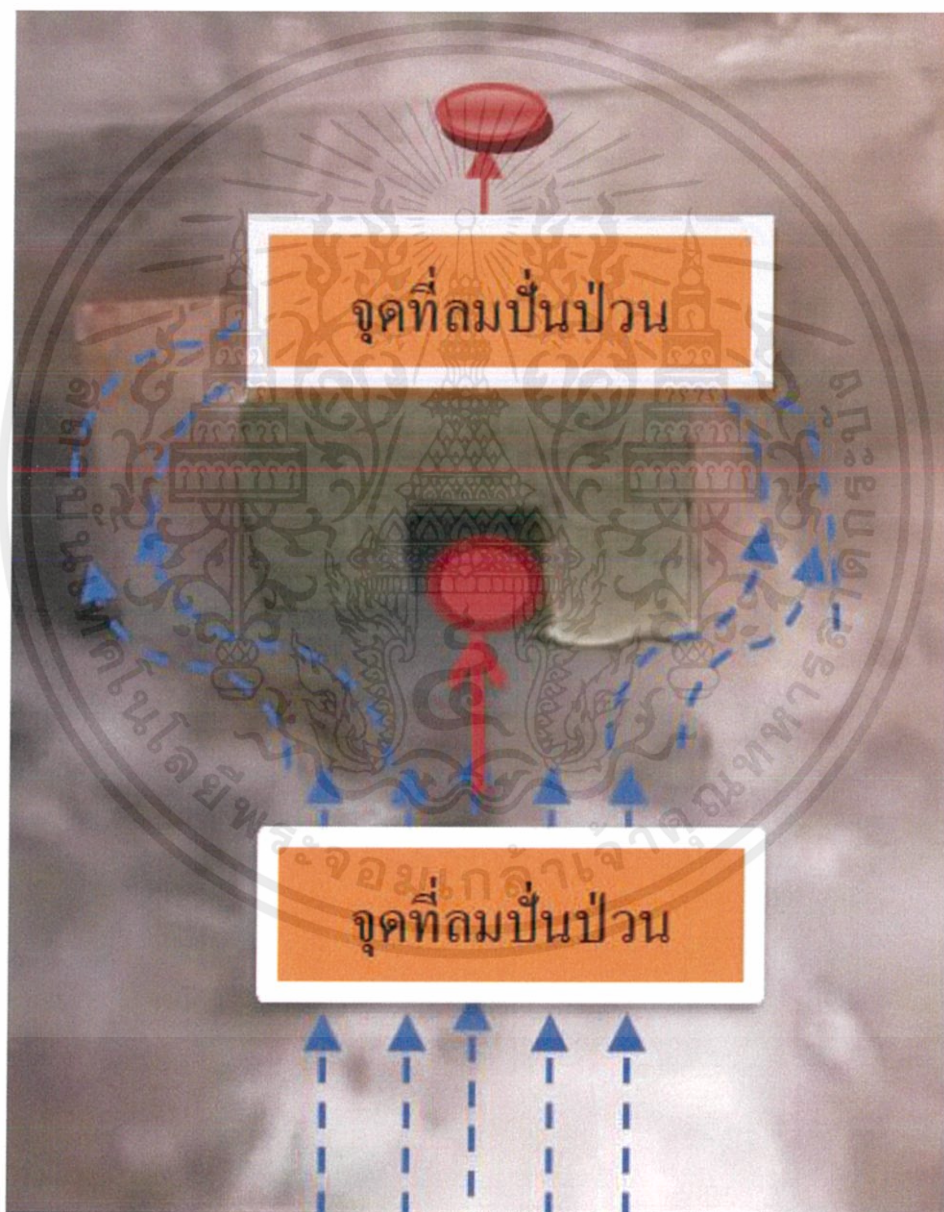
รูป 4.3 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง C

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าต่างซึ่งไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกันและมีจุดกักลม ทำให้ลมที่พัดเข้าไปในบริเวณนี้จะทำให้ลมในช่วงนั้น เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนขนานกับตัวอาคาร โดยลมส่วนที่เหลือที่ไม่ได้เข้ามาในจุดกักลม จะเคลื่อนตัวกระจายออกด้านข้าง

- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด มีจุดอับอยู่บริเวณด้านหลังอาคาร และมีลมที่พัดจากด้านข้างมารวมตัวกันในด้านหลังอาคาร ทำให้เกิดการหมุนวน (มีความปั่นป่วน)

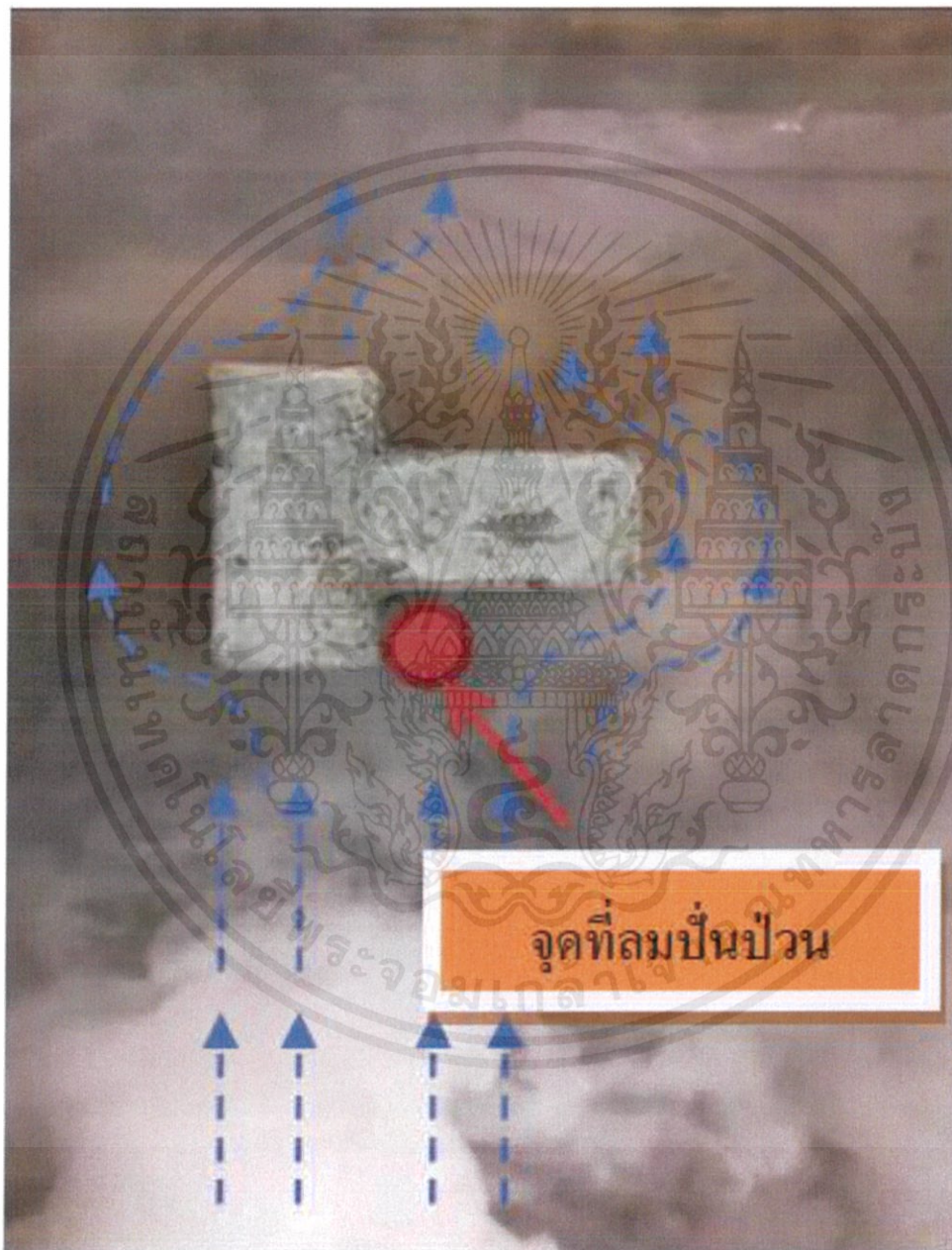


รูป 4.4 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง D

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าตัดซึ่งไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน ลมจึงเคลื่อนที่ไปในฝั่งที่ลึกกว่าและเคลื่อนที่ออกไปด้านข้าง
- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด ลมที่เคลื่อนที่ผ่านด้านข้างมา จะวกกลับมาเป็นแรงดูดจนถึงด้านมุมของอาคาร มีจุดอับที่ด้านหลังอาคาร



รูป 4.5 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง E

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าต่างซึ่งไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกันลมจึงเคลื่อนที่ไปในฝั่งที่ลึกกว่า และมีการปั่นป่วนที่มุมหน้าต่างอาคาร
- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด ลมที่เคลื่อนที่ผ่านด้านข้างมา จะวกกลับมาเป็นแรงดูดจนถึงด้านมุมของอาคาร มีจุดอับที่มุมด้านหลังอาคาร และจุดปั่นป่วนที่ด้านหลังอาคาร



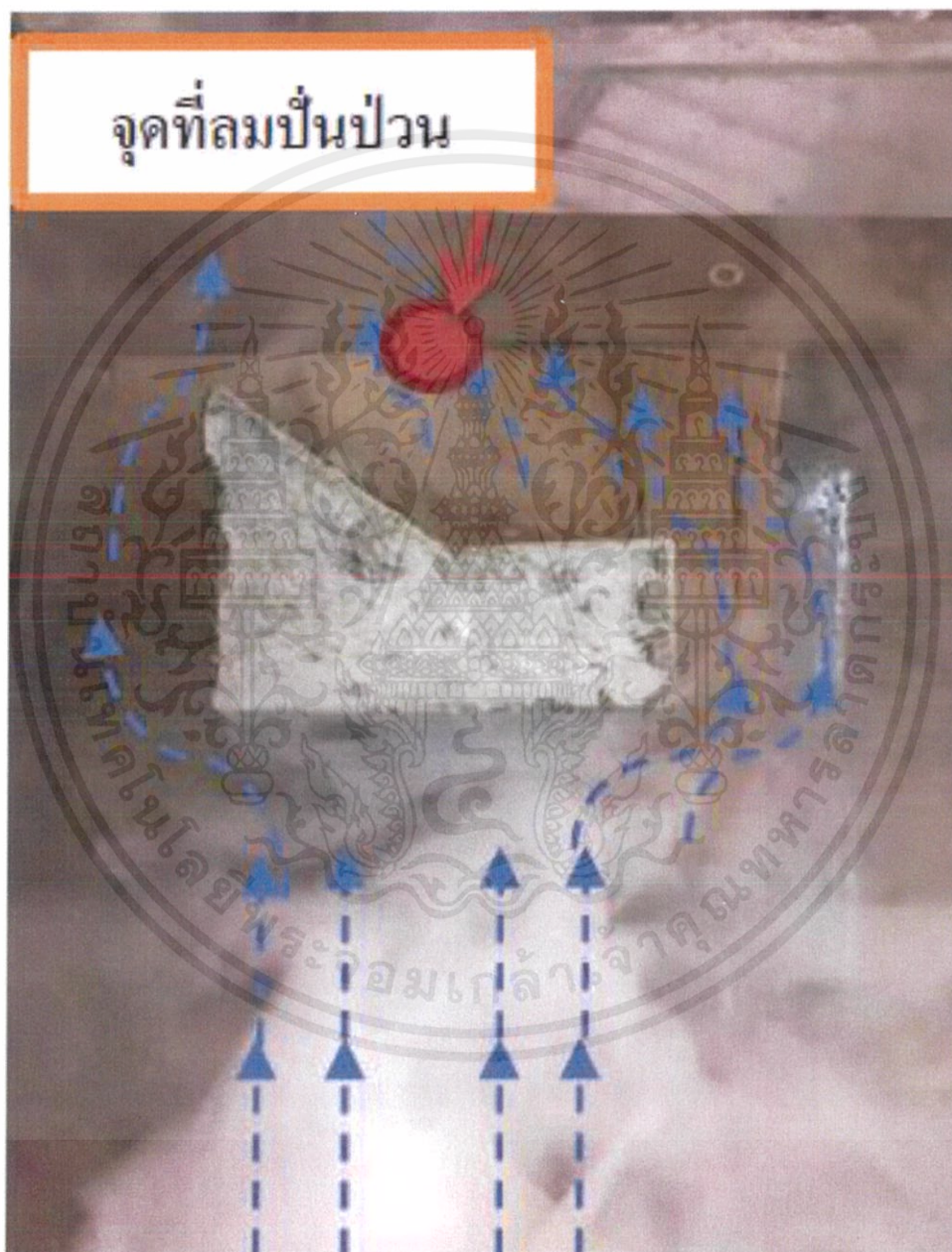
รูป 4.6 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง F

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าตัดซึ่งอยู่ในระนาบเดียวกันทำให้ลมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด ลมที่เคลื่อนที่ผ่านด้านข้างมา จะวกกลับมาเป็นแรงดูดจนถึงด้านมุมของอาคาร มีจุดอับที่มุมด้านหลังอาคาร และจุดปั่นป่วนที่ด้านหลังอาคาร



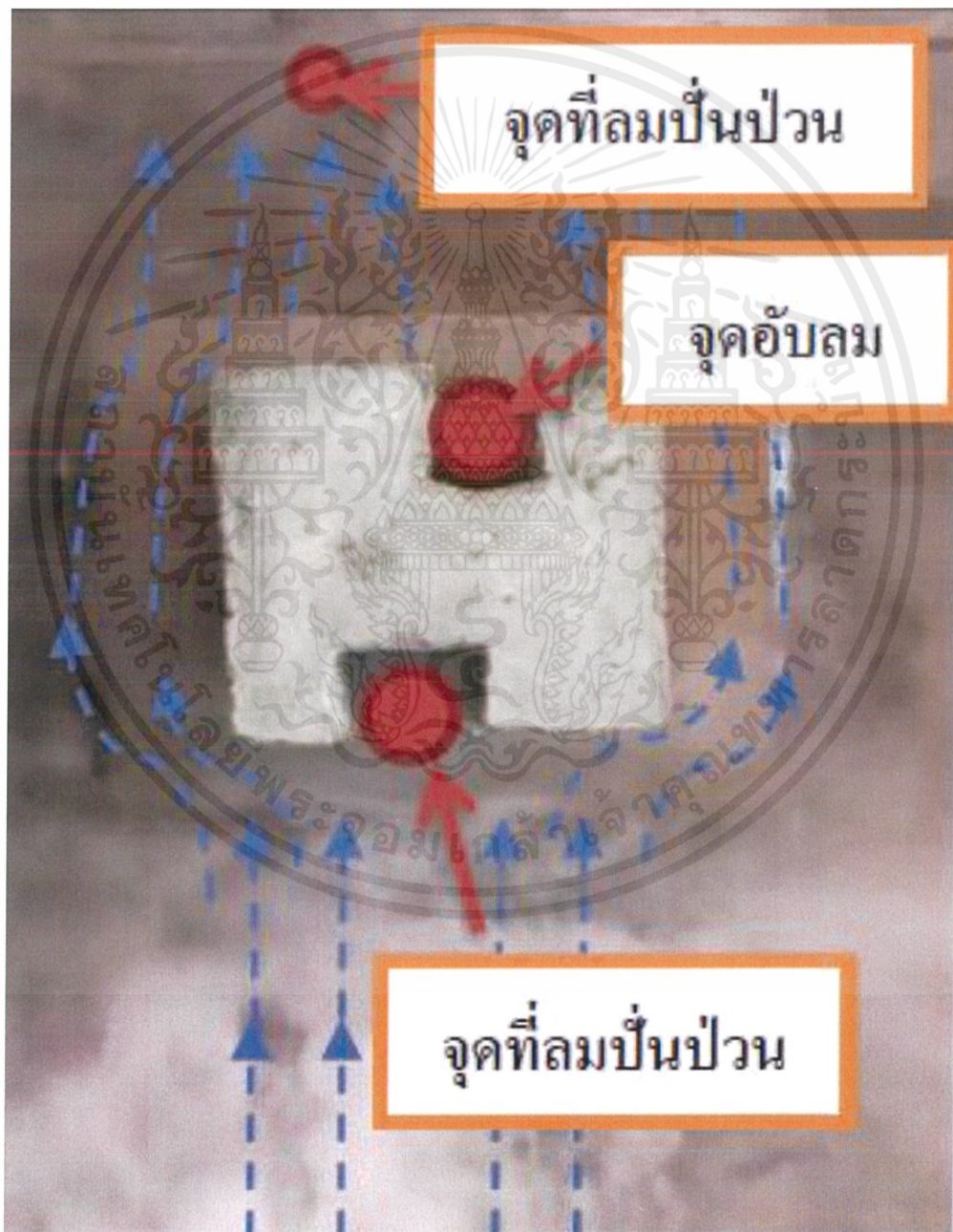
รูป 4.7 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง G

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าตัดซึ่งไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกันและมีจุดกักลม ทำให้ลมที่พัดเข้าไปในบริเวณนี้จะทำให้ลมในช่วงนั้น เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนขนานกับตัวอาคาร โดยลมส่วนที่เหลือที่ไม่ได้เข้ามาในจุดกักลม จะเคลื่อนตัวกระจายออกด้านข้าง

- ด้านหลบลม (Leeward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงดูด ลมที่เคลื่อนที่ผ่านด้านข้างมา จะวกกลับมาเป็นแรงดูดจนถึงด้านมุมของอาคาร มีจุดอับที่มุมด้านหลังอาคาร และจุดปั่นป่วนที่ด้านหลังอาคาร

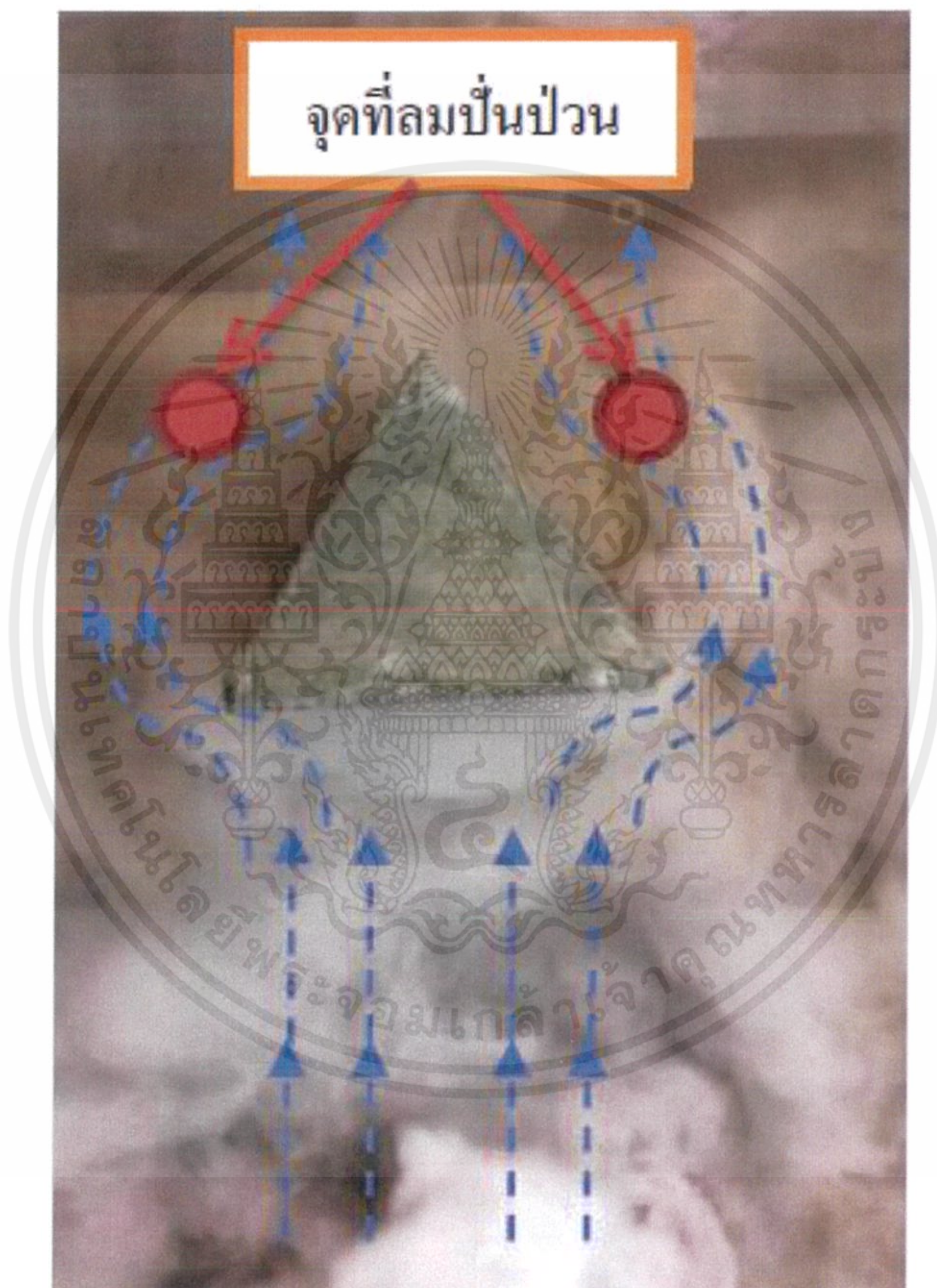


รูป 4.8 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปทรง H

- ด้านปะทะลม (Windward Face) แรงลมที่กระทำจะเป็นแรงอัด และหน้าตัดซึ่งอยู่ในระนาบเดียวกันทำให้ลมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
- ด้านข้าง มีลมปั่นป่วนตลอดหน้าตัดไปจนถึงมุมด้านหลัง (ไม่มีด้านหลบลมเนื่องจากเป็นมุมแหลม)



รูป 4.9 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข

ซึ่งได้จำลองขั้นตอนการทดสอบอุโมงค์ลมกับแบบจำลองโดยการวัดความเร็วลมจากเครื่องวัดลม กับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบอาคารทั้ง 8 แบบ เป็นระยะ 10, 15, 20, 25 และ 30 เซนติเมตร ที่ความถี่ 20 และ 30 เฮิรตซ์ สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตาราง

ตาราง 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข จากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์

ระยะห่างของเครื่องวัดลมกับหน้าปะทะ (cm)	ความเร็วลมที่ 20 เฮิรตซ์ (m/s)	รูปทรง A (m/s)	รูปทรง B (m/s)	รูปทรง C (m/s)	รูปทรง D (m/s)	รูปทรง E (m/s)	รูปทรง F (m/s)	รูปทรง G (m/s)	รูปทรง H (m/s)
10	14.3	1.1	3.3	4.3	4.5	3.9	4	2	1.9
15	14.3	2.7	2.3	1.7	2.3	3.8	4.7	3.5	6.6
20	14.3	8.5	4.5	3.5	5.8	2.2	9.5	1.9	7.2
25	14.3	10.4	8.4	9.8	9.3	8.7	11.2	9.2	9.2
30	14.3	11.5	10.2	11.5	10.6	10.2	11.7	11.4	9.6

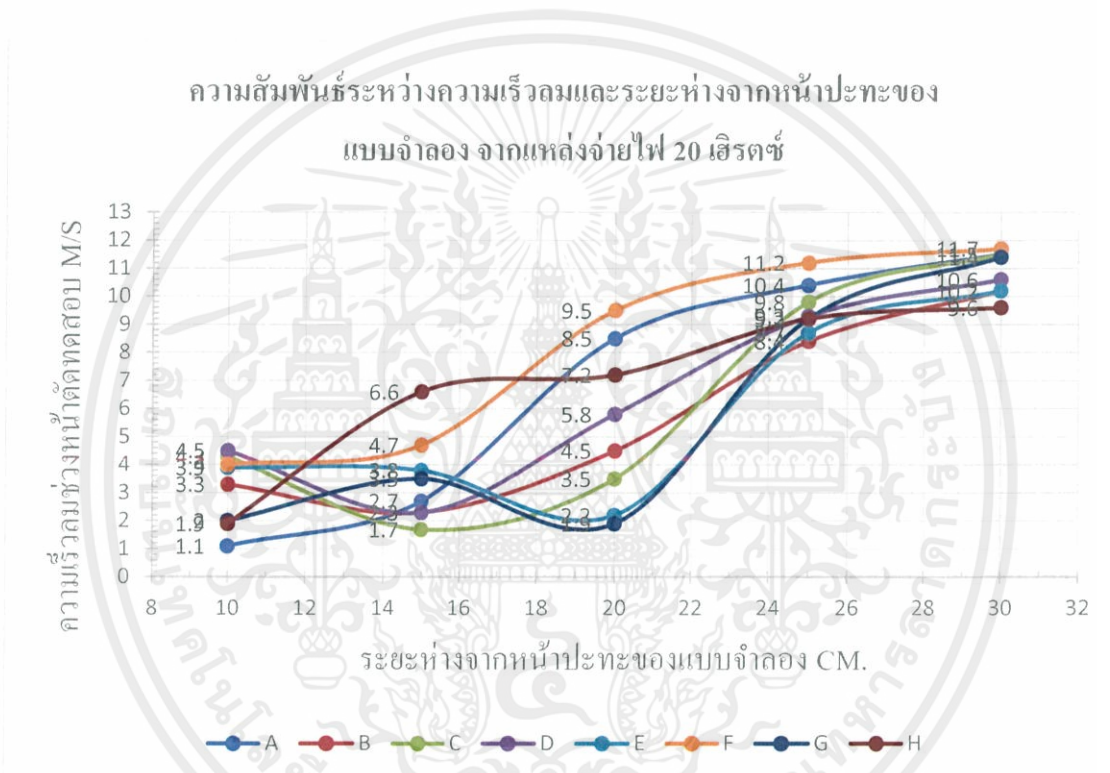
ตาราง 4.3 ตารางแสดงผลการทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข จากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์

ระยะห่างของเครื่องวัดลมกับหน้าปะทะ (cm)	ความเร็วลมที่ 30 เฮิรตซ์ (m/s)	รูปทรง A (m/s)	รูปทรง B (m/s)	รูปทรง C (m/s)	รูปทรง D (m/s)	รูปทรง E (m/s)	รูปทรง F (m/s)	รูปทรง G (m/s)	รูปทรง H (m/s)
10	20.8	1.7	4.8	6.1	6.2	5.9	4.7	2.9	2.4
15	20.8	3.2	3.3	2	2.9	5	7	4.1	9.9
20	20.8	12.9	5.8	5.4	7.9	2.7	14.4	3.4	10.6
25	20.8	15.5	11.7	14.7	14	11.7	16	12.5	12.4
30	20.8	15.9	15.5	16.9	15	14.8	17.2	16.9	14

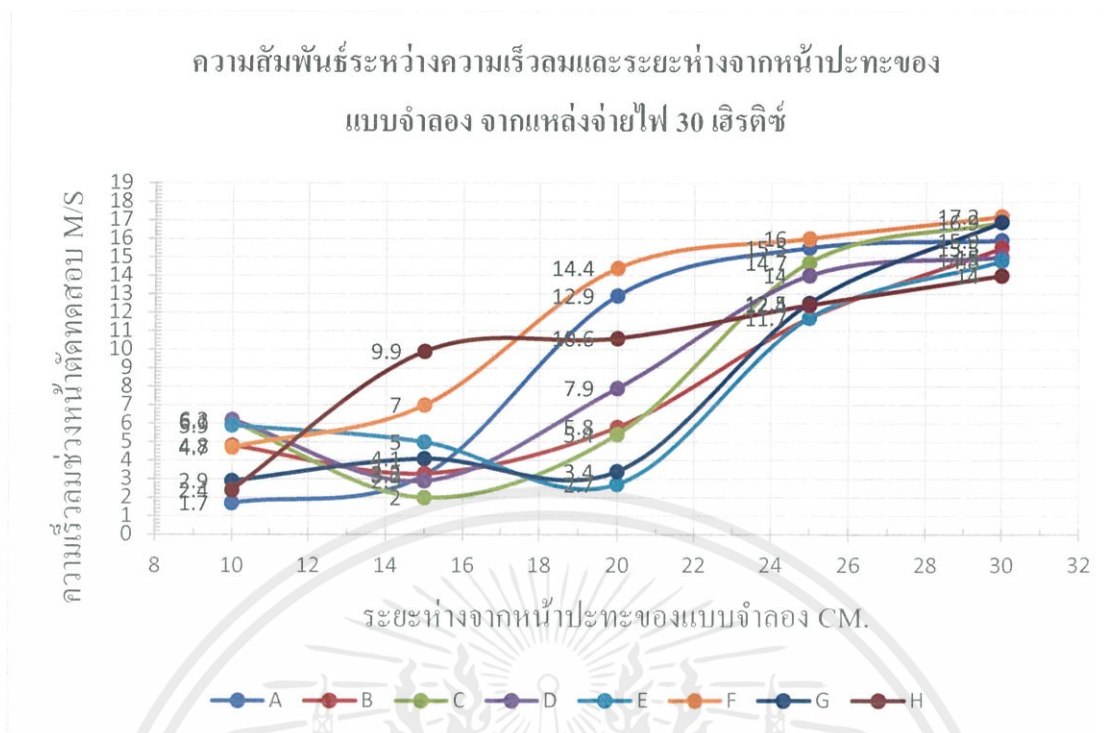
จากสมมติฐาน ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้คาดการณ์ผลการทดสอบ คือ ความเร็วลมที่ต่ำที่สุดที่วัดได้ด้านหลังแบบจำลอง จะอยู่ในระยะห่างจากด้านหลังของตัวอาคารน้อยที่สุด (จุดอับลม)

แต่จะเห็นว่าจากผลการทดสอบที่ได้ ระยะห่างจากด้านหลังของตัวอาคารที่มีความเร็วลมต่ำที่สุดไม่ได้อยู่ที่ใกล้กับตัวอาคารมากที่สุดทุกรูปแบบอาคาร แต่ขึ้นอยู่กับรูปทรงของตัวอาคารด้วย

ดังนั้นการนำเสนอผลศึกษาวิจัยจึงจัดทำเป็นแผนภูมิในลักษณะที่รวมผลการวิเคราะห์รูปทรงอาคารทั้ง 8 แบบ อันเกิดจาก ความถี่ 20 และ 30 เฮิร์ตซ์ เพื่อความยืดหยุ่นในการนำไปประยุกต์ใช้ จึงทำการพิจารณาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลมที่วัดได้ กับ ระยะห่างของเครื่องวัดลมกับหน้าปะทะของแบบจำลอง ได้ดังนี้



รูป 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบจำลองจากแหล่งจ่ายไฟ 20 เฮิร์ตซ์



**รูป 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบจำลอง  
แหล่งจ่ายไฟ 30 เฮิร์ตซ์**

การทดสอบเชิงตัวเลขสามารถวิเคราะห์แรงลมทางด้านหลังอาคารทั้ง 8 แบบ ซึ่งพิจารณา รูปแบบและทิศทางอาคารในแง่ของผลกระทบด้านกระแสลมด้านหลังอาคาร โดย ด้านปะทะลมของ รูปแบบ A, B, F, H นั้นอยู่ในระนาบเดียวกัน และด้านปะทะลมของรูปแบบ C, D, E, G นั้นไม่ได้อยู่ใน ระนาบเดียวกัน ซึ่งจากผลการทดสอบนั้น จะทราบค่าความเร็วลมที่ด้านหลังอาคารหลังจากปะทะลม และพิจารณาที่ค่าความเร็วลมต่ำที่สุดของแต่ละรูปทรงอาคาร สามารถสรุปได้สามกลุ่ม กล่าวคือ ความเร็วลมที่วัดได้ต่ำที่สุดของรูปแบบอาคารนั้นแบ่งเป็น ระยะที่ 10 cm. (20 m. จาก scale 1:200) คือ รูปแบบ (A, F, H) จุดอับลมนั้นเกิดขึ้นใกล้กับตัวของ ระยะที่ 15 cm. (30 m. จาก scale 1:200) คือรูปแบบ (B, C, D) และ ระยะที่ 19 cm. (38 m. จาก scale 1:200) คือรูปแบบ (E, G) จุดอับลม นั้นเกิดขึ้นห่างจากตัวอาคารมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ (A,B,C,D,F,H)

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงต่างๆ มีการทดสอบทั้งหมด 2 แบบคือ การทดสอบลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตจากควันที่ผ่านแบบจำลอง และการทดสอบเชิงตัวเลขโดยการวัดความเร็วลมด้านหลังอาคาร มีระยะห่างจากหน้าตัดทดสอบ 15,20,25 และ 30 cm. โดยปรับความถี่ 20 และ 30 hertz ความเร็วลมที่ 14.3 และ 20.8 เมตรต่อวินาที สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการทดสอบการทำงานของอุโมงค์ลมแบบเปิด ซึ่งเครื่องกำเนิดลมเป็นแบบใช้ไฟ 3 Phase สามารถปรับค่าความถี่ไฟฟ้ากับตัว Inverter นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการทำงานของอุโมงค์ลม มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ไฟฟ้าและความเร็วลมช่วงหน้าตัดทดสอบ โดยให้ค่าความถี่ไฟฟ้าเป็นแกนนอน (แกน X) ความเร็วลมช่วงหน้าตัดทดสอบเป็นแกนตั้ง(แกน Y) จะได้เป็นกราฟเป็นลักษณะของกราฟเชิงเส้น หากความสัมพันธ์ของสมการกราฟเชิงเส้นได้คือ  $Y=(0.6625 \times (X-20))+14.4048$

การทดสอบทางกายภาพพบว่า ลักษณะของรูปทรงอาคารแต่ละแบบที่แตกต่างกันทั้ง 8 แบบ มีผลทำให้เกิดลมแรงหรือเกิดพื้นที่อับลม จุดปั่นป่วน ซึ่งทำให้สภาพแวดล้อมโดยรอบมีผลกระทบที่เกิดกับคนในบริเวณนั้น อันได้แก่ จำนวนฝุ่นมากๆ ที่อยู่ในที่อับไม่ถูกพัดพาออกไป กระแสลมตีมาที่ตัวบุคคล ทำให้ระคายเคืองของตาเนื่องจากฝุ่นและลม

การทดสอบเชิงตัวเลขสามารถวิเคราะห์แรงลมทางด้านหลังอาคารทั้ง 8 แบบ ซึ่งพิจารณารูปแบบและทิศทางอาคารในแง่ของผลกระทบด้านกระแสลมด้านหลังอาคาร สามารถสรุปได้สามกลุ่มคือความเร็วลมที่วัดได้ต่ำที่สุดของรูปแบบอาคารนั้นแบ่งเป็น ระยะที่ 10 cm. (20 m. จาก scale 1:200) คือ รูปแบบ (A, F, H) จุดอับลมนั้นเกิดขึ้นใกล้กับตัวของอาคาร ดังนั้นไม่ควรจะทำให้เกิดมลภาวะในบริเวณนี้ เพราะอากาศในบริเวณที่ติดกับอาคารนั้นไม่ถ่ายเทเพียงพอ ระยะที่ 15 cm. (30 m. จาก scale 1:200) คือรูปแบบ (B, C, D) และ ระยะที่ 19 cm. (38 m. จาก scale 1:200) คือรูปแบบ (E, G) จุดอับลมนั้นเกิดขึ้นห่างจากตัวอาคารมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ (A,B,C,D,F,H) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออาคารที่ใกล้เคียงที่อยู่ในระยะของจุดอับลม ไม่มีอากาศถ่ายเทหรือกลายเป็นจุดสะสมของมลพิษทางอากาศได้

ข้อมูลเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการสร้างอาคาร ไม่ว่าจะเป็นการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม การจัดการวางผังอาคารหรือการร้องเรียนจากผู้ใช้พื้นที่โดยรอบอาคาร

ดังนั้นการนำผลการวิจัยไปใช้ในการออกแบบอาคาร และการคาดการณ์ความเร็วลมด้านหลังอาคารเบื้องต้น ประกอบกับการทำให้พื้นที่โดยรอบอาคารในบริเวณนั้นสามารถปรับเปลี่ยนมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ และสามารถลดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะด้านกระแสลมได้

## 5.2 วิจัยรณัผลการทดลอง

การทดสอบในอุโมงค์ลมสำหรับแรงลมที่กระทำต่อรูปทรงอาคารต่างๆ จากผลการทดสอบวัดค่าความเร็วลมจากเครื่องวัดลมเทียบกับรูปทรงอาคารแต่ละรูปทรงจะได้ค่าความเร็วลมไม่คงที่เนื่องจากรูปทรงแต่ละรูปทรงที่ลมปะทะมีจุดที่กระแสลมปั่นป่วนต่างกัน รวมไปถึงเครื่องกำเนิดลมมีขนาดใหญ่ และมีความเร็วลมสูง กระแสลมจึงอาจมีความไม่สม่ำเสมอกันจึงทำให้ความเร็วลมที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของอาคารประเภทอื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยขั้นต่อไป
2. การวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัด หากใช้เครื่องมือเสริมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการวัดมากขึ้นกว่านี้ จะได้ค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

สิริลักษณ์ วรรณธีระเดช, ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร. 2556. ผลกระทบของรูปทรงและการวางทิศทางอาคาร ต่อสภาพแวดล้อมเมืองด้านกระแสลม. ปรินญาณิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นคร ภูวโรดม, ธีรวัฒน์ ธีรสุขสกุล. 2549. การทดสอบในอุโมงค์ลมสำหรับแรงลมต่อป้ายโฆษณาที่มีอาคารข้างเคียง. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

กฤษณพงศ์ ทองศรี, อรรจน์ เศรษฐบุตร. \_\_\_\_ . การศึกษาผลกระทบของกระแสลมต่อผู้ใช้พื้นที่ภายนอกอาคาร : กรณีศึกษาโรงพยาบาลศิริราช. ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาลินี ศรีสุวรรณ. 2544. การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร

คมกฤษ ชูเกียรติมัน. 2557. กฎหมายควรรู้เมื่อจะก่อสร้างหรือดัดแปลงบ้าน ตอนที่ 8 : ระยะห่างระหว่างอาคารกรณีอยู่ในที่ดินเจ้าของเดียวกัน. สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร (พลังงาน), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์. 2555. ทฤษฎีโครงสร้าง. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2550. มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร. สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหนึ่งใน วานิชชัย. 2552. ผลกระทบของแรงลมที่มีต่ออาคารสูงและสิ่งก่อสร้างต่างๆ. สำนักวิชา วิศวกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเอไอที.

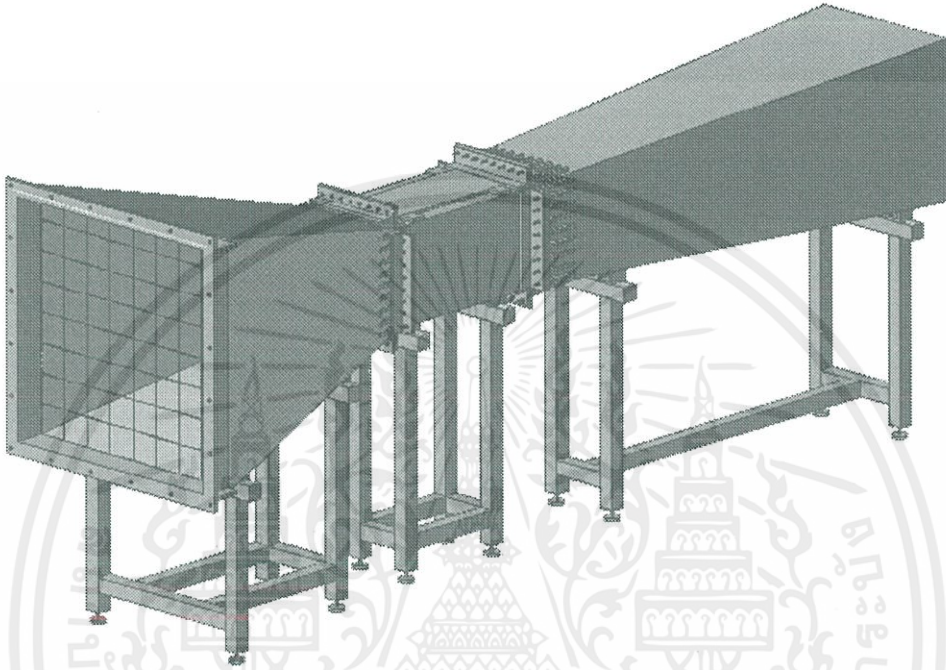
C.F. Wilson, A.L. Camilletti, S.B. Calcutt and P.M. Ligrani. 2008. A wind tunnel for the calibration of Mars wind sensors. Planetary and Space Science.



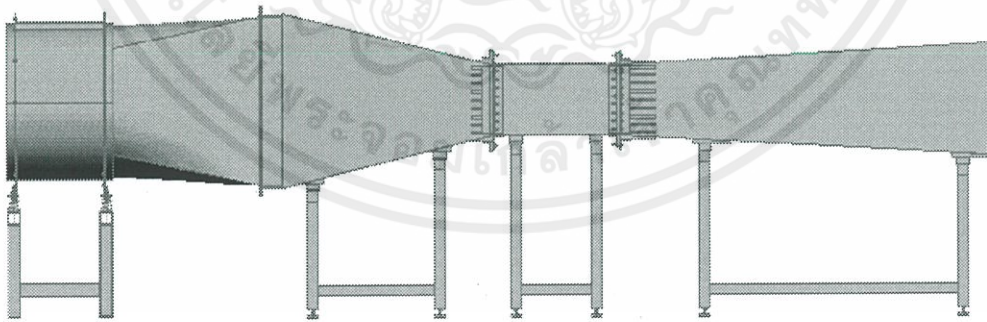
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

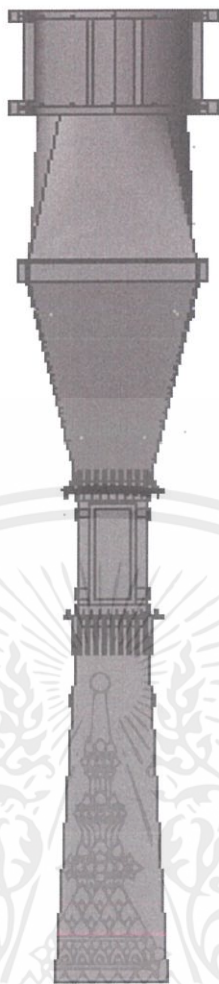
## 1. แบบของอุโมงค์ลม



รูป 1.1 ภาพอุโมงค์ลมในการออกแบบ



รูป 1.2 ภาพอุโมงค์ลมในการออกแบบด้านข้าง



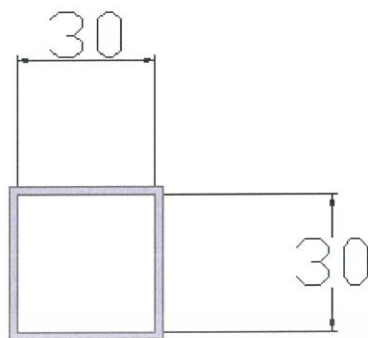
รูป 1.3 ภาพอุโมงค์ลมในการออกแบบด้านบน



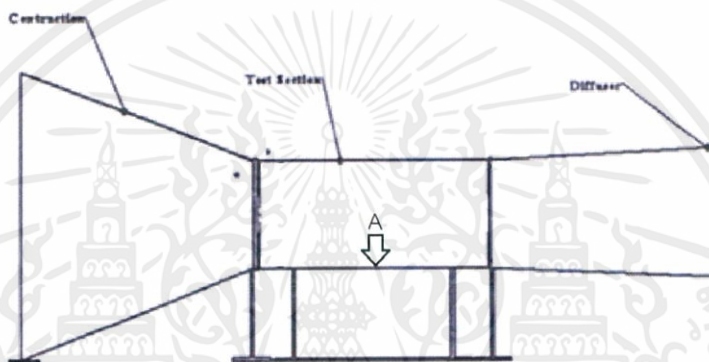
รูป 1.4 ภาพตัวอุโมงค์ลมขนาดห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบการทำงานของอิมพัลส์



รูป 2.1 แสดงภาคตัดด้านหน้า



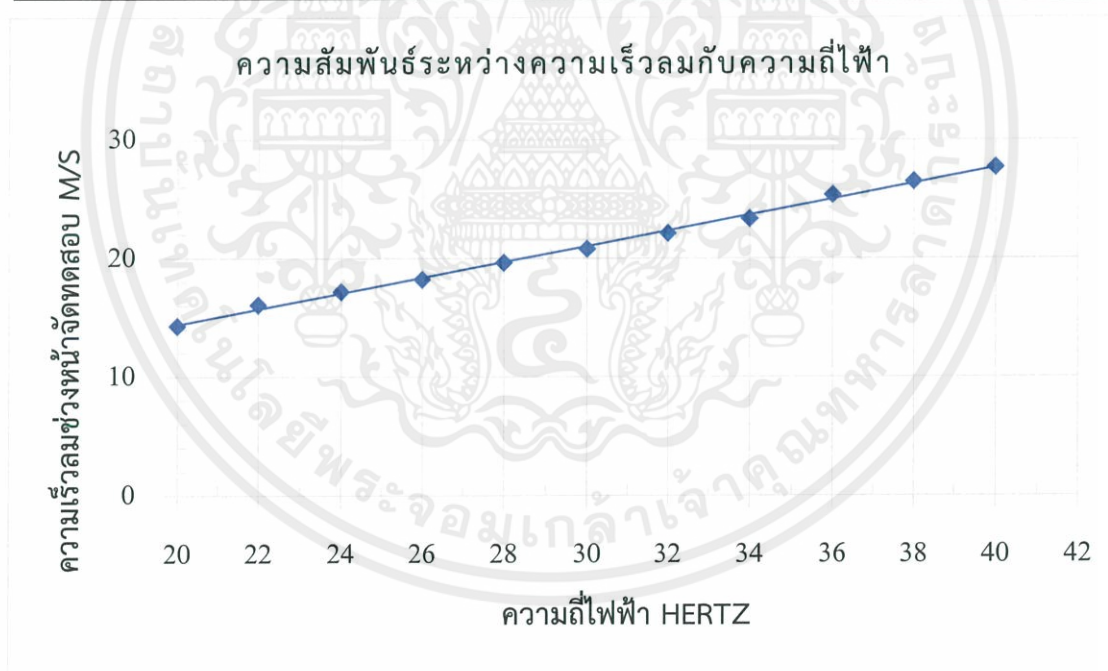
รูป 2.2 แสดงภาคตัดด้านข้าง

ตาราง 2.1 ตัวอย่างตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้

กระแสไฟที่จ่าย (Hertz)	ความเร็วลม (m/s)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
20			
22			
24			
26			
28			
30			
32			
34			
36			
38			
40			

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมที่วัดได้

กระแสไฟฟ้าที่จ่าย (Hertz)	ความเร็วลม (m/s)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
20	14.5	14.1	14.3
22	16.8	15.4	16.1
24	17.8	16.6	17.2
26	18.8	17.7	18.25
28	19.6	19.7	19.65
30	20.9	20.7	20.8
32	22	22.3	22.15
34	23.3	23.4	23.35
36	25.5	25.2	25.35
38	26.9	26.1	26.5
40	27.8	27.6	27.7



รูป 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับค่าความถี่ไฟฟ้า

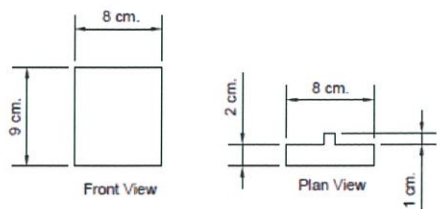
จะได้เป็นกราฟเป็นลักษณะของกราฟเชิงเส้น หากความสัมพันธ์ของสมการกราฟเชิงเส้นได้คือ

$$"Y=(0.6625 \times (X-20))+14.4048"$$

โดย Y คือค่าความเร็วลมช่วงหน้าตัดทดสอบ และ X คือค่าความถี่ไฟฟ้า

### 3. การออกแบบและสร้างแบบจำลอง

#### 1. อาคาร A

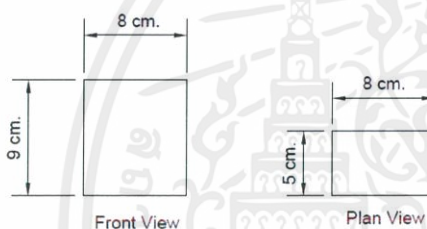


แบบอาคาร A



รูป 3.1 รูปแปลนและแบบจำลอง A

#### 2. อาคาร B

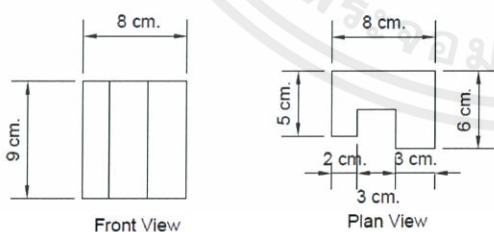


แบบอาคาร B

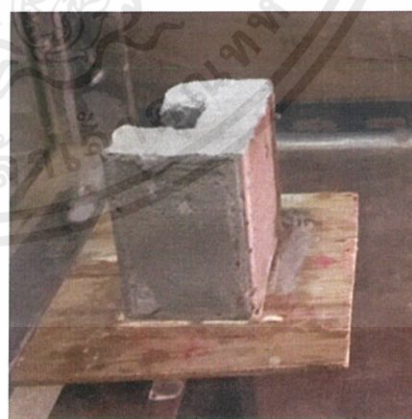


รูป 3.2 รูปแปลนและแบบจำลอง B

#### 3. อาคาร C

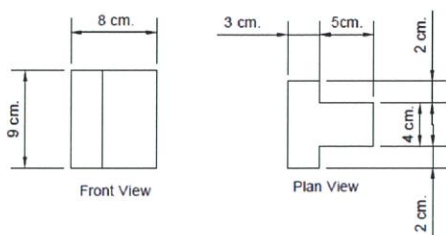


แบบอาคาร C



รูป 3.3 รูปแปลนและแบบจำลอง C

4. อาคาร D

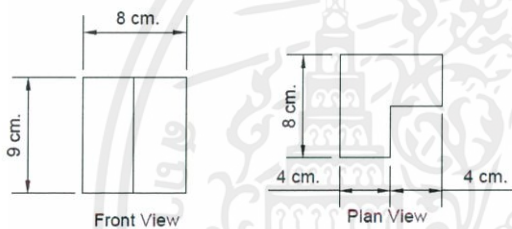


แบบอาคาร D



รูป 3.4 รูปแปลนและแบบจำลอง D

5. อาคาร E

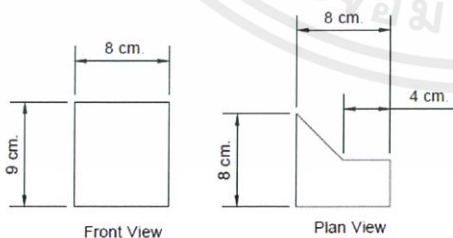


แบบอาคาร E



รูป 3.5 รูปแปลนและแบบจำลอง E

6. อาคาร F



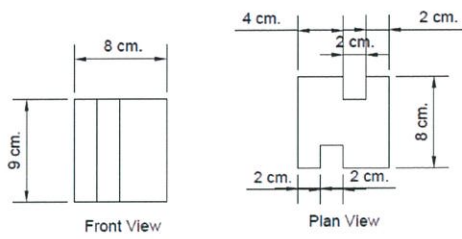
แบบอาคาร F



รูป 3.6 รูปแปลนและแบบจำลอง F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. อาคาร G

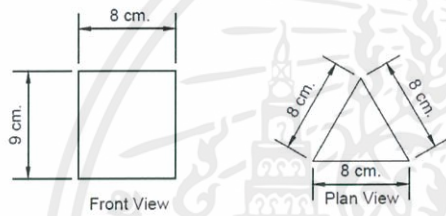


แบบอาคาร G



รูป 3.7 รูปแปลนและแบบจำลอง G

## 8. อาคาร H



แบบอาคาร H



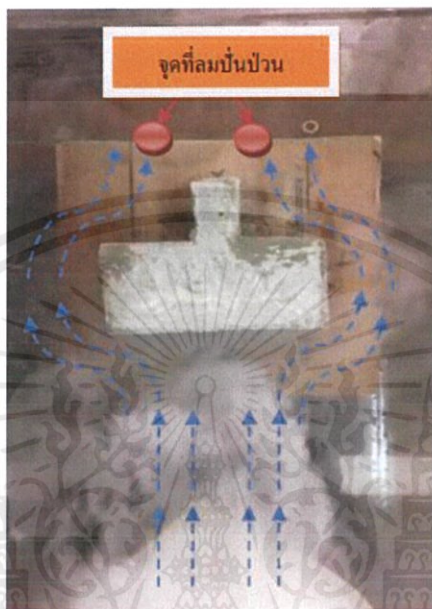
รูป 3.8 รูปแปลนและแบบจำลอง H

#### 4. การทดสอบแบบจำลอง

##### 4.1 การทดสอบลักษณะทางกายภาพ

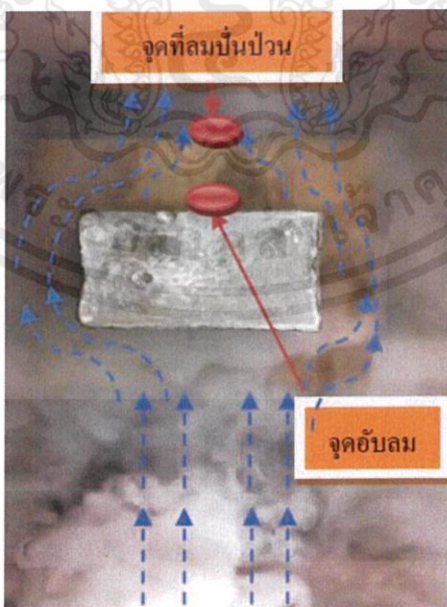
จากการทดสอบโดยใช้ควันจากน้ำแข็งแห้ง เพื่อสังเกตลักษณะการไหลของลมที่เคลื่อนผ่านแบบจำลองของอาคาร ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

##### รูปทรง A



รูป 4.1 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง A

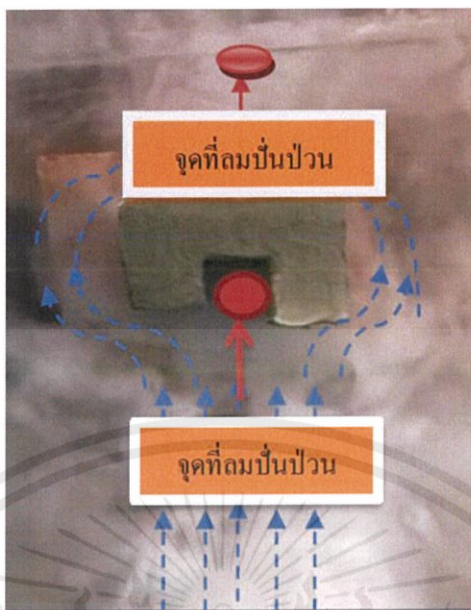
##### รูปทรง B



รูป 4.2 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง B

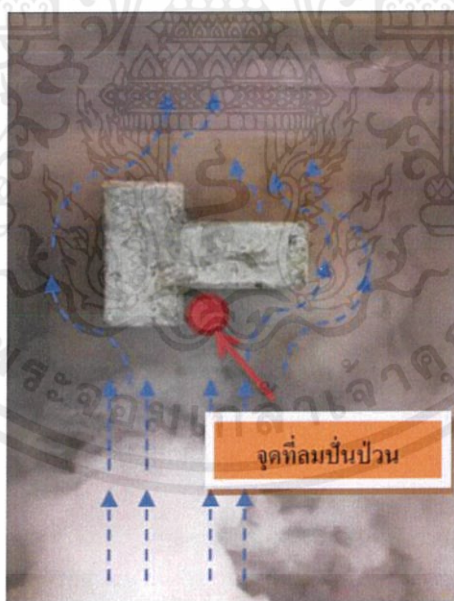
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรง C



รูป 4.3 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง C

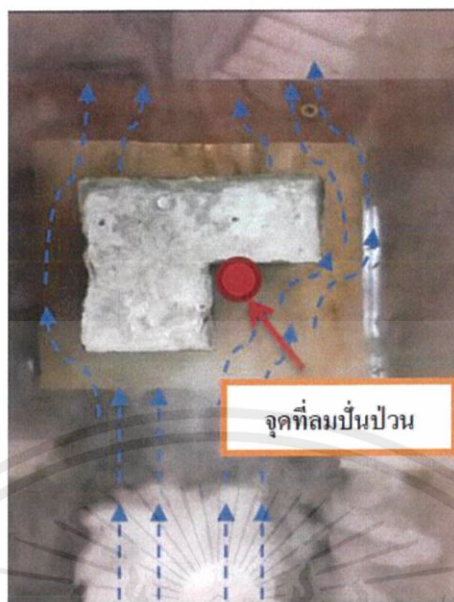
รูปทรง D



รูป 4.4 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง D

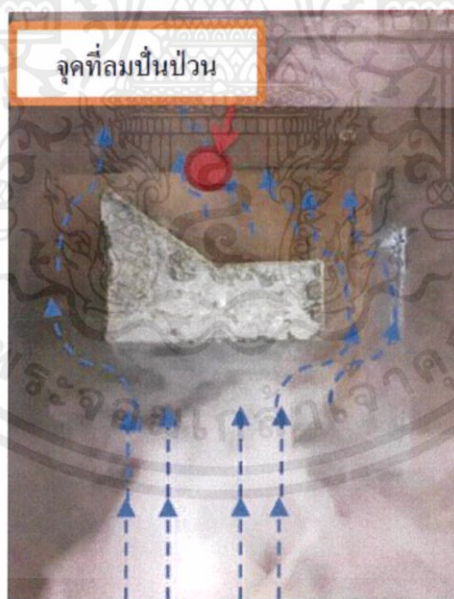
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรง E



รูป 4.5 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง E

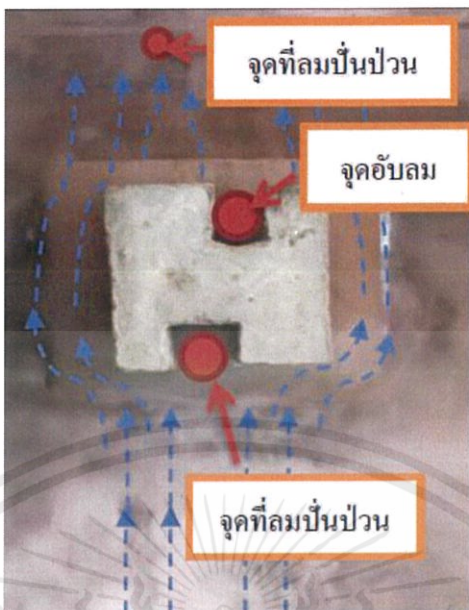
รูปทรง F



รูป 4.6 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง F

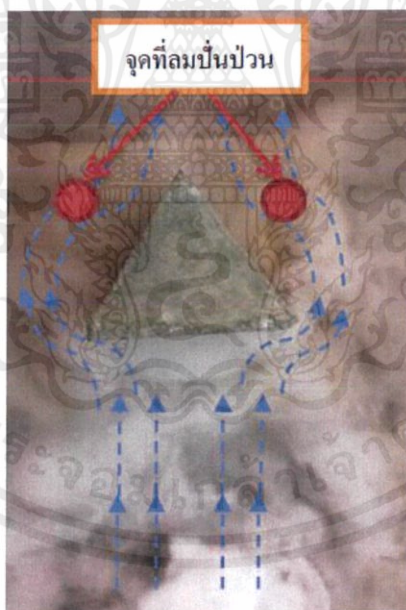
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรง G



รูป 4.7 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง G

รูปทรง H



รูป 4.8 การเคลื่อนตัวของลมผ่านรูปทรง H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

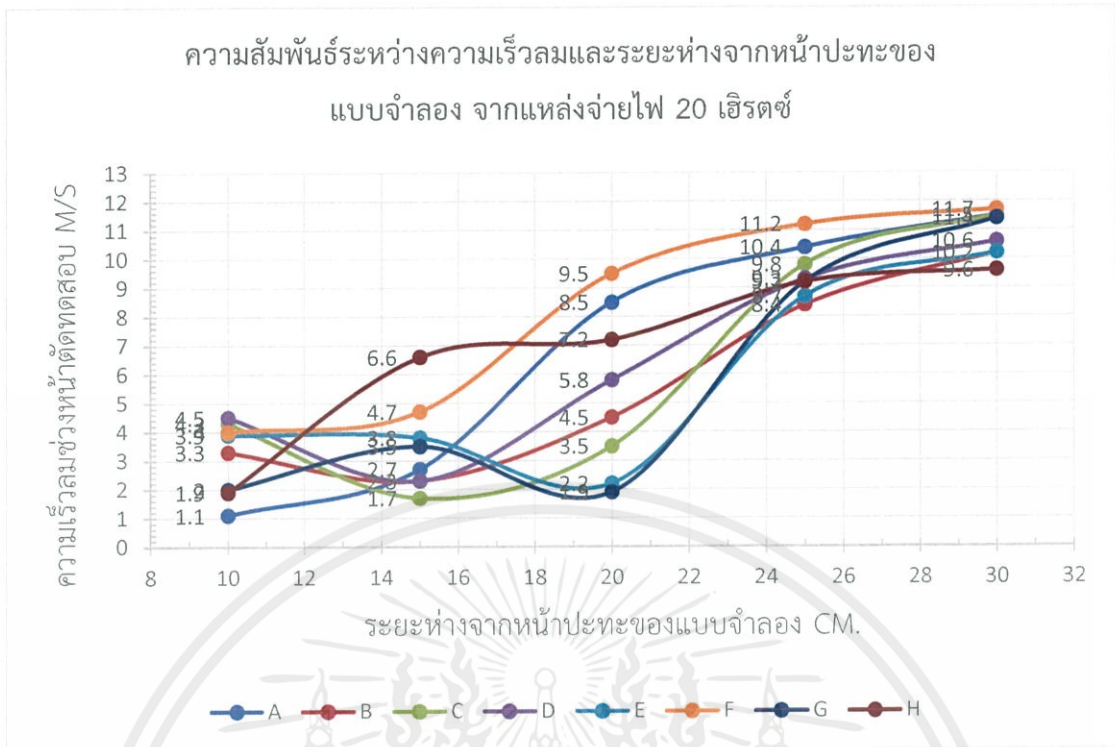
## 4.2 การทดสอบลักษณะเชิงตัวเลข

ตาราง 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข จากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์

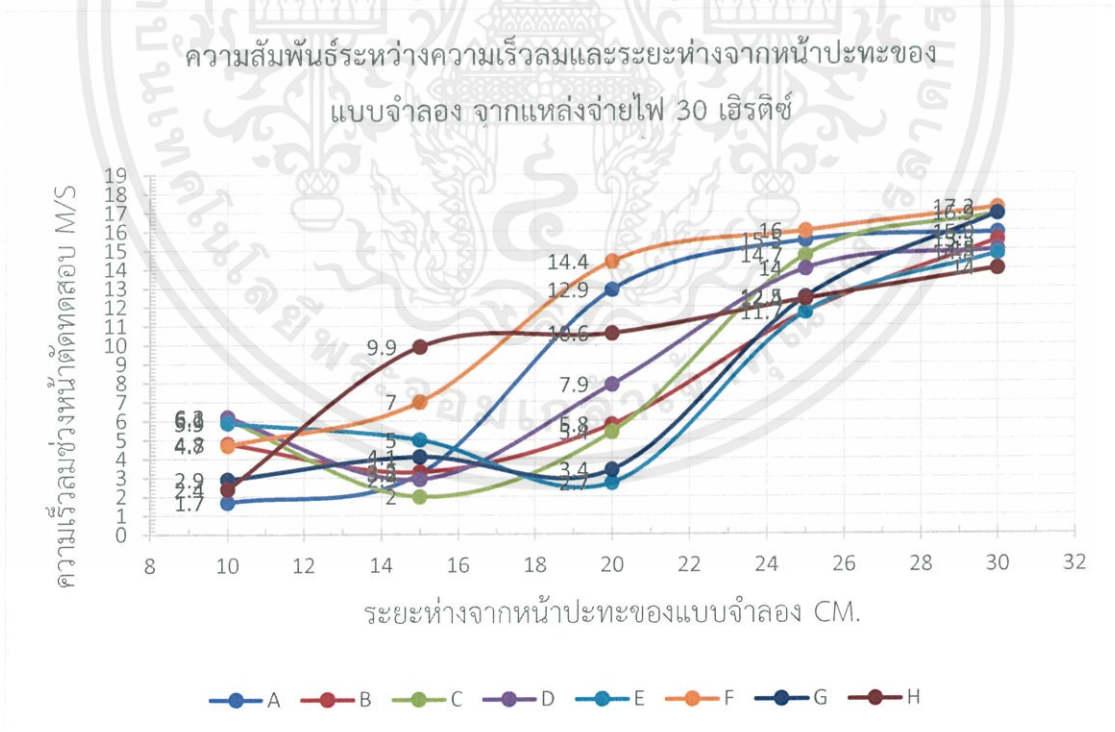
ระยะห่างของ เครื่องวัดลมกับ หน้าปะทะ (cm)	ความเร็วลมที่ 20 เฮิร์ตซ์ (m/s)	รูปทรง A (m/s)	รูปทรง B (m/s)	รูปทรง C (m/s)	รูปทรง D (m/s)	รูปทรง E (m/s)	รูปทรง F (m/s)	รูปทรง G (m/s)	รูปทรง H (m/s)
10	14.3	1.1	3.3	4.3	4.5	3.9	4	2	1.9
15	14.3	2.7	2.3	1.7	2.3	3.8	4.7	3.5	6.6
20	14.3	8.5	4.5	3.5	5.8	2.2	9.5	1.9	7.2
25	14.3	10.4	8.4	9.8	9.3	8.7	11.2	9.2	9.2
30	14.3	11.5	10.2	11.5	10.6	10.2	11.7	11.4	9.6

ตาราง 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบลักษณะในเชิงตัวเลข จากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์

ระยะห่างของ เครื่องวัดลมกับ หน้าปะทะ (cm)	ความเร็วลมที่ 30 เฮิรตซ์ (m/s)	รูปทรง A (m/s)	รูปทรง B (m/s)	รูปทรง C (m/s)	รูปทรง D (m/s)	รูปทรง E (m/s)	รูปทรง F (m/s)	รูปทรง G (m/s)	รูปทรง H (m/s)
10	20.8	1.7	4.8	6.1	6.2	5.9	4.7	2.9	2.4
15	20.8	3.2	3.3	2	2.9	5	7	4.1	9.9
20	20.8	12.9	5.8	5.4	7.9	2.7	14.4	3.4	10.6
25	20.8	15.5	11.7	14.7	14	11.7	16	12.5	12.4
30	20.8	15.9	15.5	16.9	15	14.8	17.2	16.9	14



รูป 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบจำลองจากแหล่งจ่ายไฟ 20 เฮิร์ตซ์



รูป 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะห่างจากหน้าปะทะของแบบจำลองจากแหล่งจ่ายไฟ 30 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้