เห็นลม: การออกแบบศาลาที่ท้องนารังสิตคลองสิบ

นายวิทวัส ประภาสะวัต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Seeing the Wind: Pavilion Design in a Rice Field along Rangsit Canal Number Ten

Mr. Witthawat Prabhasawat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | เห็นลม: การออกแบบศาลาที่ท้องนารังสิตคลองสิบ |
| โดย | นายวิทวัส ประภาสะวัต |
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หม่อมหลวงจิตตวดี จิตรพงศ์ |

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หม่อมหลวงจิตตวดี จิตรพงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.พินัย สิริเกียรติกุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทวัส ประภาสะวัต : เห็นลม: การออกแบบศาลาที่ท้องนารังสิตคลองสิบ (Seeing the Wind: Pavilion Design in a Rice Field along Rangsit Canal Number Ten) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. มล.จิตตวดี จิตรพงศ์, 90 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ชื่อเรื่อง “เห็นลม: การออกแบบศาลาที่ท้องนารังสิตคลองสิบ” เป็นงานวิจัยเชิงออกแบบที่ไม่ได้เริ่มต้นจากการพิจารณาถึงประโยชน์ใช้สอยในการวางผังอาคาร วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ การพัฒนาโครงสร้างที่สามารถเคลื่อนไหว โครงสร้างดังกล่าวเป็นเครื่องมือเพื่อทำให้มองเห็นลมที่มองไม่เห็น

วิทยานิพนธ์เริ่มต้นจากการทบทวนงานเขียนของ วิทรูเวียส เพื่อศึกษาวิธีการที่สถาปนิกและวิศวกรชาวโรมันออกแบบอาคารด้วยลม ในมุมมองของเขา ควรจะปิดกั้นไม่ให้ลมไหลผ่านอาคาร อันเนื่องมาจากทฤษฎีอากาศเป็นพิษ ในเชิงโครงสร้าง ลมเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ โครงสร้างค้ำจุนถูกออกแบบเพื่อป้องกันอาคารไม่ให้สั่นไหวด้วยแรงลมในโบสถ์ยุคโกธิค ขั้นตอนการออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้ มีข้อกำหนดในการออกแบบศาลาคือ 1) โครงสร้างเสาต้องเคลื่อนไหวและกลับมาตั้งตรงได้ 2) พื้นผิวบนโครงสร้างเสาต้องมีปริมาณน้อยที่สุด ที่ทำให้เกิดแรงกดจากลมได้มากที่สุด 3) น้ำหนักของโครงสร้างควรน้อยที่สุด เพื่อที่ลูกตุ้มถ่วงคอนกรีตจะไม่ใหญ่เกินความสามารถในการขนส่ง 4) ใช้ข้อต่อตลับลูกปืนตาเหลือก เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ 360 องศา จากนั้นวิเคราะห์รูปแบบผังของศาลาด้วยโปรแกรมจำลองอุโมงค์ลม เพื่อออกแบบรูปทรงของอาคาร พื้นผิวรูปทรงกากบาทสี่เหลี่ยมมีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นทำการก่อสร้างศาลาเห็นลม ณ ท้องนาที่รังสิตคลองสิบ โครงสร้างสีขาวค่อย ๆ ไหวไปตามแรงลม และกลับมาในทิศทางที่ตั้งตรง คำถามต่อไปคือ งานออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้ทำให้เกิดประโยชน์แก่สถาปัตยกรรมเคลื่อนไหวได้อย่างไร ข้อเสนอแนะคือการพับพื้นผิวผ้าใบไวนิลและการใช้ข้อต่อสปริงจะเพิ่มศักยภาพของโครงสร้างเคลื่อนไหว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5873367525 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: PAVILION / SEEING THE WIND / KINETIC ARCHITECTURE / STRUCTURE

WITTHAWAT PRABHASAWAT: Seeing the Wind: Pavilion Design in a Rice Field along Rangsit Canal Number Ten. ADVISOR: ASST. PROF. M.L.CHITTAWADI CHITRABONGS, Ph.D., 90 pp.

This thesis entitled “Seeing the Wind: Pavilion Design in a Rice Field along Rangsit Canal Number Ten” is a design/research project that does not take the functional approach toward planning a building. The objective of the study is the development of swayable structures. These structures are the tools to visualise the invisibility of the wind.

The thesis begins with the reviewing of Vitruvius’s book in order to see how a Roman engineer/architect designed a building with the wind. To him, no wind should be allowed to ventilate buildings due to the Miasma Theory. Structurally, the wind was undesirable. Flying buttresses were designed to protect the Gothic cathedrals from swaying. In the design phase, the constraints for designing the pavilion are 1) the columns should sway and return to the upright position. 2) the columns should have the minimal surfaces, and that surfaces should be able to receive the maximum wind pressures. 3) the weight of the columns should be minimal so that the concrete counterweight would not be too big to be transported from a factory to the construction site. 4) Ball joints are chosen because of the 360-degree movement. Then, the pavilion’s layouts are analysed through the computational wind simulation program in order to identify a form of the columns. The crossed rectangles are chosen. Then, the construction begins. In a rice field along Rangsit Canal Number Ten, the white structures slightly move and return to the upright posture. However, one doubts how far this design can improve the kinetic architecture. The suggestions for improving the movement of the structure are to fold the vinyl sheets and to replace the counterweight with a steel spring.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2016

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณาจารย์และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มล.จิตตวดี จิตรพงศ์ ที่คอยให้คำแนะนำ พร้อมทั้งความช่วยเหลือต่าง ๆ เพื่อให้ได้ทำการศึกษาในหัวข้อที่ผู้วิจัยสนใจและคิดว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อื่น

ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ประกอบด้วย ผศ.ดร.เทิดศักดิ์ เตชะกิจขจร, รศ.ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล, อ.ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์, อ.ดร.พินัย สิริเกียรติกุล และ ผศ.บุญเสริม เปรมธาดา ที่ให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัว สำหรับการที่สนับสนุนด้านเงินทุนที่ใช้ในการศึกษา การทดลอง และก่อสร้างศาลาเห็นลมในวิทยานิพนธ์นี้จนสามารถสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญ ..... 1

จุดประสงค์ของงานวิจัย ..... 2

สมมติฐานงานวิจัย ..... 2

ระเบียบวิธีการวิจัย ..... 2

ขอบเขตของงานวิจัย ..... 3

ประโยชน์ของงานวิจัย ..... 4

บทที่ 2 ลม บริบทที่มองไม่เห็น ..... 5

แนวความคิดด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์อันเกี่ยวเนื่องกับลม ..... 5

แนวความคิดจากความเร็วลม ..... 7

อาคาร Space Block: กรณีศึกษาอาคารที่ออกแบบจากบริบทลม ..... 11

ลมเอกลักษณ์ของพื้นที่ ..... 14

ลมในประเทศไทย ..... 14

สุนทรียภาพที่ไม่หยุดนิ่ง ..... 16

การออกแบบอาคารจากลม ..... 17

กระบวนการออกแบบจากภูมิอากาศ ..... 18



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 3 วิธีการออกแบบศาลาเห็นลม ..... 22
โครงสร้าง (structure) ..... 23
1.รูปแบบโครงสร้าง ..... 23
2. รูปแบบการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง ..... 24
3. หลักการคำนวณโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง ..... 31
ข้อต่อ (joint) ..... 38
1. ชนิดของข้อต่อ ..... 38
2. รูปแบบการเคลื่อนไหวจากข้อต่อ ..... 39
พื้นผิวอาคาร (surface) ..... 39
1. ชนิดของพื้นผิวอาคาร ..... 39
2. รูปทรงของพื้นผิว ..... 40
บทที่ 4 การออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลม ..... 41
ขอบเขตของการออกแบบศาลาเห็นลม ..... 41
ขั้นตอนการออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลม ..... 42
พื้นที่ตั้งและการศึกษาบริบท ..... 42
การพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหว ..... 49
การออกแบบพื้นที่ศาลาเห็นลม ..... 59
แบบก่อสร้างศาลาเห็นลม ..... 72
การก่อสร้างศาลาเห็นลม ..... 77
ภาพถ่ายศาลาเห็นลม ..... 81
ประสบการณ์ในศาลาเห็นลม ..... 84
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ ..... 85
ประเมินผลการพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหว ..... 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

1. การออกแบบพัฒนาพื้นผิว ..... 85
2. การออกแบบพัฒนาข้อต่อ ..... 86
3. การออกแบบพัฒนาโครงสร้างเสา ..... 86
4. การประยุกต์ใช้โครงสร้างที่เคลื่อนไหวในเชิงออกแบบ ..... 86
ข้อเสนอแนะวิธีการออกแบบจากบริบท ..... 87
รายการอ้างอิง ..... 88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

ตาราง 3-1 การจำแนกประเภทอาคาร ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม .....32

ตาราง 3-2 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ($C_e$) .....34

ตาราง 3-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $C_pC_g$ .....36

ตาราง 4-1 การเปรียบเทียบแรงกดที่เกิดขึ้นและจำนวนเสาที่เคลื่อนไหวในผังแต่ละรูปแบบ .....68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญภาพ

รูป 2-1 แรงลมที่กระทำกับโบสถ์สมัยโกธิค....7
รูป 2-2 ความเร็วลมในแต่ลักษณะของพื้นที่ ....8
รูป 2-3 ภาพแสดงระดับของโบฟอร์ท สเกล ....9
รูป 2-4 รูปทรงอาคาร Space Block ....11
รูป 2-5 การลดทอนรูปทางอาคารด้วยวิธีการรูพรุน ....12
รูป 2-6 การจำลองลมในอาคารด้วยโปรแกรม CFD ....13
รูป 2-7 พื้นที่ภายในอาคาร Space Block ....13
รูป 2-8 ผลงานศิลปะ Antennae with Red and Blue Dots ....16
รูป 2-9 ผลงานประติมากรรม Strandbeest ....17
รูป 2-10 วิธีการออกแบบอาคารจากบริบทภูมิอากาศ ....18
รูป 3-1 ทัศนียภาพภายในอาคารลิตเติ้ล ฮิลท๊อป ....22
รูป 3-2 รายละเอียดโครงสร้างอาคารลิตเติ้ล ฮิลท๊อป....23
รูป 3-3 การเคลื่อนไหวที่ของโครงสร้างในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ....25
รูป 3-4 การเคลื่อนไหวแบบทิศทางแบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน....26
รูป 3-5 การเคลื่อนไหว 0-90 องศาแบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน ....26
รูป 3-6 การเคลื่อนไหว 0-180องศาแบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน....26
รูป 3-7 การเคลื่อนไหว0-270 องศาแบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน....27
รูป 3-8 การเคลื่อนไหว 0-360 องศาแบบ 3 มิติ ในแนว 1 แกน ....27
รูป 3-9 การเคลื่อนไหว 0 องศา แบบ 2 มิติ ในแนว 2 แกน....27
รูป 3-10 การเคลื่อนไหว 0-90 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน....28
รูป 3-11 การเคลื่อนไหว0-180 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน....28
รูป 3-12 การเคลื่อนไหว 0-270 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน....29

รูป 3-13 การเคลื่อนไหว 360 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน .....29
รูป 3-14 การเคลื่อนไหว 0 องศา (ทิศทาง) แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน.....29
รูป 3-15 การเคลื่อนไหว0-90 องศา แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน .....30
รูป 3-16 การเคลื่อนไหว 0-180 องศา แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน.....30
รูป 3-17 การเคลื่อนไหว0-270องศา แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน .....30
รูป 3-18 การเคลื่อนไหว 0-360 องศา แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน.....31
รูป 3-19 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคาน.....37
รูป 3-20 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเสาศาลาเห็น.....38
รูป 3-21 เปรียบเทียบความเร็วและแรงกดของลมบนพื้นผิว เมื่อพัดผ่านรูปทรงต่าง ๆ .....40
รูป 4-1 ท้องนาที่รังสิตคลองสิบ.....43
รูป 4-2 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณ อำเภอหนองเสือ.....44
รูป 4-3 แบบผังอำเภอเมืองหนองเสือ.....45
รูป 4-4 แบบผังถนนในบริเวณอำเภอหนองเสือ.....46
รูป 4-5 Figure and Ground .....47
รูป 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างลมกับการทำนา.....48
รูป 4-7 รูปทรงของพื้นผิวที่นำมาจำลองแรงลม.....50
รูป 4-8 การจำลองแรงกดจากลมในแต่ละรูปทรงของพื้นผิว.....51
รูป 4-9 การทดลองทำจุดหมุนโดยการใช้ลูกบอลอะลูมิเนียม.....52
รูป 4-10 การทดลองทำจุดหมุนโดยการใช้ตลับลูกปืนตาเหลือก.....53
รูป 4-11 เปรียบเทียบผลการทดลองความสัมพันธ์ของจุดหมุน และขนาดของพื้นผิวรับลมของโครงสร้างผ่านหุ่นจำลอง.....55
รูป 4-12 วิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเสาศาลาเห็นลม เมื่อเคลื่อนไหว.....58
รูป 4-13 การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวในรูปร่างผัง 6 แบบ .....60
รูป 4-14 การจัดเรียงรูปแบบ A และการจำลองแรงกดจากลม.....61

รูป 4-15 การจัดเรียงรูปแบบ B และการจำลองแรงกดจากลม .....62
รูป 4-16 การจัดเรียงรูปแบบ C และการจำลองแรงกดจากลม .....63
รูป 4-17 การจัดเรียงรูปแบบ D และการจำลองแรงกดจากลม .....64
รูป 4-18 การจัดเรียงรูปแบบ E และการจำลองแรงกดจากลม .....65
รูป 4-19 การจัดเรียงรูปแบบ F และการจำลองแรงกดจากลม .....66
รูป 4-20 การเปรียบเทียบแรงกดจากลมในผังแต่ละรูปแบบ .....67
รูป 4-21 รูปแบบแผ่นพื้นที่แยกส่วนกันได้ในศาลาเห็นลม .....70
รูป 4-22 การจำลองแรงกดจากลมในแต่ละรูปทรงของพื้นผิว .....71
รูป 4-23 ผังพื้นอาคาร สำหรับการก่อสร้างศาลาเห็นลม .....72
รูป 4-24 รูปด้านอาคาร สำหรับการก่อสร้างศาลาเห็นลม .....73
รูป 4-25 รูปด้าน การถอดประกอบอาคาร สำหรับการก่อสร้างศาลาเห็นลม .....74
รูป 4-26 ทัศนียภาพรูปตัดอาคาร .....75
รูป 4-27 ทัศนียภาพอาคาร .....76
รูป 4-28 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนของศาลาเห็นลม .....77
รูป 4-29 ขั้นตอนการเตรียมโครงพื้นส่วนใช้งานของศาลาเห็นลม .....78
รูป 4-30 ขั้นตอนการขนส่งศาลาเห็นลม .....78
รูป 4-31 ขั้นตอนการเตรียมติดตั้งศาลาเห็นลมบนคันนา .....79
รูป 4-32 ขั้นตอนการติดตั้งศาลาเห็นลมบนคันนา .....80
รูป 4-33 ขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้างศาลาเห็นลม .....80
รูป 4-34 ศาลาเห็นลม .....81
รูป 4-35 พื้นที่นั่งในศาลาเห็นลม .....82
รูป 4-36 พื้นผิวรับลมของอาคารเห็นลม .....82
รูป 4-37 การเคลื่อนไหวของศาลาเห็นลม .....83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญ

ในวิธีการออกแบบอาคารไม่ได้มีเพียงแค่การเริ่มต้นจากการพิจารณาประโยชน์ใช้สอย ดังเช่นแนวความคิดของสถาปัตยกรรมในช่วงยุคโมเดิร์น แต่ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อในการออกแบบอาคาร โดยในช่วงกลางของยุคโมเดิร์น เป็นจุดเริ่มต้นของแนวความคิดในการออกแบบอาคารที่พิจารณาถึงบริบท โดยกลุ่มสถาปนิกชาวอิตาลี เออร์เนส โตโรเจอร์ (Ernesto Rogers) สถาปนิกและนักวิจารณ์ ได้เสนอแนวความคิดในการพิจารณาถึงพื้นรอบ ๆ และประวัติศาสตร์ของพื้นที่[1] ซึ่งเป็นหนึ่งในบริบทของอาคาร บริบทสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ บริบทเชิงสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ยกตัวอย่าง เช่นสภาพภูมิอากาศ แสงแดด ลม ฝน เป็นต้น และบริบทเชิงวัฒนธรรม ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์คิดค้นขึ้น หมายรวมทั้งสิ่งที่จับต้องได้อย่างเช่น อาคาร บ้านเรือน เป็นต้น และสิ่งที่จับต้องไม่ได้อย่างเช่น วัฒนธรรม วิถีชีวิต ประวัติศาสตร์ เป็นต้น

ผู้วิจัยต้องการนำเสนอวิธีการออกแบบที่เป็นทางเลือกโดยเริ่มต้นจากการพิจารณาบริบทลม ซึ่งเป็นหนึ่งในบริบทสภาพแวดล้อม โดยลมมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางสถาปัตยกรรมศาสตร์มาตั้งแต่ในอดีต ลมทำให้เกิดภาวะน่าสบายในอาคาร จากคุณสมบัติของการไหลเวียนของลม การระบายอากาศ และการนำพาความร้อน เป็นต้น ในแต่ละยุคสมัยมีความเข้าใจต่อลมที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีผลต่อแนวความคิดและกระบวนทัศน์ต่าง ๆ ในการออกแบบอาคาร นอกจากนั้นลมในแต่ละภูมิภาคมีเอกลักษณ์ที่แตกต่างกัน เพราะลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ล้วนมีผลต่อความเร็ว อุณหภูมิของลม ซึ่งทำให้การพิจารณาถึงลมจะทำให้เกิดการออกแบบอาคารที่มีเอกลักษณ์แตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น ลมเกิดจากความกดอากาศที่แตกต่างกัน พื้นที่ที่ความกดอากาศสูงจะไหลไปสู่ความกดอากาศต่ำทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ ลมเป็นบริบททางสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสอย่างอื่นได้ ตัวอย่างเช่น การรับรู้ลมโดยตรงเมื่อลมพัดผ่านผิวสัมผัส

---

[1] Adrian Forty. *Words and Buildings:* A Vocabulary of Modern Architecture. London: Thames & Hudson, 2004, pp.132-135.

การรับรู้ลมที่เกิดจากการรับรู้โดยมีสิ่งอื่นเป็นสื่อกลางเช่น การได้กลิ่นของดอกไม้เมื่อลมพัดผ่าน การได้ยินเสียงลมพัดจนใบไม้เสียดสีกัน และการเห็นทุ่งหญ้าปลิวไสวไปตามแรงลม

ในวิทยานิพน์นี้ผู้วิจัยมุ่งประเด็นไปที่การมองเห็นลมผ่านประสาทสัมผัสของมนุษย์ การมองเห็นไม่ใช่เพียงแค่เป็นหนึ่งในการรับรู้ของมนุษย์เท่านั้น แต่ยังเป็นการรับรู้ที่สำคัญต่อการแสวงหาความรู้และเกิดประสบการณ์ วิธีการออกแบบเพื่อให้มองเห็นลมได้ผ่านอาคารจะสร้างให้เกิดการรับรู้ในอาคารที่ต่างออกไป และเป็นการสร้างให้เกิดมุมมองในการออกแบบที่แตกต่างออกไป จากสิ่งที่มนุษย์อาจจะมองข้าม ซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการคิดค้นที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ไม่ใช่เพียงแค่การมองเห็นลมผ่านอาคารเพียงอย่างเดียว

**จุดประสงค์ของงานวิจัย**

จุดมุ่งหมายของการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ คือการพัฒนาโครงสร้าง (structure) ข้อต่อ (joint) พื้นผิว (surface) ของอาคารที่ทำงานประสานกัน ทำให้โครงสร้างเสาเกิดการเคลื่อนไหวด้วยแรงลมธรรมชาติได้ เพื่อตอบสนองต่อแนวความคิดของการทำให้มองเห็นลมผ่านอาคาร นอกจากนั้นคือการนำเสนอและศึกษาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากวิธีการออกแบบที่เป็นทางเลือกที่เริ่มต้นจากการพิจารณาบริบท

**สมมติฐานงานวิจัย**

องค์ประกอบของอาคารที่จะเคลื่อนไหวจนสามารถมองเห็นลมได้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่ทำงานประสานกันกล่าวคือ พื้นผิวของอาคาร ทำหน้าที่รับแรงลมทำให้เกิดแรงกดเพื่อผลักให้โครงสร้างเคลื่อนไหว ข้อต่อ ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนที่เอื้อให้โครงสร้างเคลื่อนไหวไปตามทิศทางและขอบเขตที่ กำหนด และโครงสร้างเสาที่มีระยะ ขนาด และสัดส่วน ซึ่งจะทำให้แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเหมาะสมเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหว

**ระเบียบวิธีการวิจัย**

ระเบียบวิธีการวิจัยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นไปตามลำดับตามของบท ประกอบด้วยระเบียบขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. **การศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**

ในบทที่ 2 “ลมบริบทที่มองไม่เห็น” คือ การศึกษาวรรณกรรมอันเกี่ยวเนื่องกับลมและแนวความคิดทางด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์ จากหนังสือ 1) Ten Books on Architecture เขียนโดยวิทรูเวียส สถาปนิกและวิศวกรชาวโรมัน 2) *City and Wind : Climate as an architectural*

*instrument* ซึ่งเขียนโดยสถาปนิก นักวิจัยชื่อ Marrieke Krautheim และคณะผู้เขียน 3) หนังสือชื่อ *Wind, and Structure : The mystery of the master builders* เขียนโดยศาสตราจารย์ด้านวิศวกรรม แห่งมหาวิทยาลัยพริสซ์ตัน ชื่อโรเบิร์ต มาร์ค (Robert Mark)

**2. ศึกษาและนำเสนอวิธีการออกแบบศาลาเห็นลม**

ในบทที่ 3 “วิธีการออกแบบศาลาเห็นลม” วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษางานวิจัยเชิงออกแบบ ผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการออกแบบศาลาเห็นลม ที่มีเป็นโครงสร้างพิเศษที่เคลื่อนไหวได้ จึงศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างที่เคลื่อนไหว โดยตั้งเกณฑ์ของการศึกษาจากอาคารกรณีศึกษา อาคารลิตเติ้ล ฮิลท็อป ออกแบบโดยสถาปนิกชาวญี่ปุ่น ชินโกะ มัตสึดะ (Shingo Masuda) ซึ่งได้แบ่งออกเป็นการออกแบบในส่วนของโครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิว เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาถึงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบศาลาเห็นลม

**3. การออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลม**

บทที่ 4 “การออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลม” ผู้วิจัยพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหวผ่านการออกแบบเชิงวิจัย โดยการออกแบบเชิงทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้ของโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดที่จะเคลื่อนไหวเพื่อให้สามารถมองเห็นลมได้ ก่อนที่จะนำมาพัฒนาออกแบบรายละเอียดในส่วนของโครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิว ก่อนที่จะสรุปเป็นแบบก่อสร้างที่จะนำไปก่อสร้างจริงในพื้นที่กรณีศึกษา ที่บริเวณท้องทุ่งนาบริเวณรังสิตคลองสิบ อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี เพื่อทำการประเมินผลถึงความเป็นไปได้จริงของโครงสร้างที่เคลื่อนไหว และผลลัพธ์ของการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นจากการออกแบบองค์ประกอบของอาคาร

**4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ**

ในท้ายที่สุดคือ บทที่ 5 “สรุปผลและเสนอแนะ” ที่ทำการประเมินผลการพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหวจากแรงลมในแต่ละส่วน กล่าวคือการออกแบบโครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิว พร้อมทั้งนำเสนอข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนารายละเอียดต่าง ๆ ของโครงสร้างที่เคลื่อนไหวต่อไป

**ขอบเขตของงานวิจัย**

ผู้วิจัยพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหวเพื่อทำให้เกิดการรับรู้ผ่านประสาทสัมผัสการมองเห็นด้วยแรงลมธรรมชาติเท่านั้น โดยเป็นการออกแบบส่วนโครงสร้างเสาของอาคารให้เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะต้องกลับมาตั้งตรงได้ดังเดิมเมื่อไม่มีลมพัดด้วยแรงโน้มถ่วงธรรมชาติ จากวิธีการถ่วงน้ำหนักที่โครงสร้างของอาคาร

การออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลมในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาองค์ประกอบที่ทำให้อาคารเคลื่อนไหวได้ ในอาคารลิตเติ้ล ฮิลท๊อป ที่ออกแบบโดยสถาปนิกชาวญี่ปุ่นชื่อ ชินโกะ มัตสึดะ เพื่อนำมาเป็นขอบเขตของการศึกษา ซึ่งผู้วิจัยพบว่า โครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิว มีผลต่อการเคลื่อนไหวของอาคารดังกล่าว การออกแบบศาลาเห็นลมจึงพิจารณาองค์ประกอบทั้งสามในการออกแบบเพื่อทำให้โครงสร้างเสาเกิดการเคลื่อนไหว

**ประโยชน์ของงานวิจัย**

การพัฒนาโครงสร้างอาคารที่เป็นสื่อกลางในการมองเห็นลม ทำให้เกิดมุมมองของการออกแบบโครงสร้างในแนวความคิดที่แตกต่างออกไป กล่าวคือโครงสร้างที่เคลื่อนไหวได้ ซึ่งทำให้เกิดการรับรู้ที่เกิดขึ้นจากการมองเห็นพื้นที่ (space) และปริมาตรของอาคาร (volume) ที่เปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละช่วงเวลาจากลมที่พัดมา ซึ่งจะให้เกิดทางเลือกในการออกแบบองค์ประกอบของอาคาร ที่นักออกแบบนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในการสื่อสารความถึงแนวความคิดของอาคารตามที่นักออกแบบจะนำเสนอ นอกจากนั้นการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นทำให้เกิดแรงกลที่ได้จากลมธรรมชาติในอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีทิศทางและรูปแบบของแรงแตกต่างจากกังหันลม ทำให้สามารถนำแรงกลที่เกิดขึ้นไปพัฒนาเครื่องมือที่ทำให้เกิดประโยชน์ต่าง ๆ ได้

ในขั้นตอนพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหว ทำให้เกิดแนวทางการออกแบบโครงสร้าง ข้อต่อ พื้นผิว ที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งคุณสมบัติขององค์ประกอบโครงสร้างเคลื่อนไหว สามารถนำไปพัฒนาในการออกแบบอาคาร หรือโครงสร้างอาคารที่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบโครงสร้างที่เกิดการเคลื่อนไหวเมื่อโครงสร้างขยายตัวหรือสั่น เป็นต้น

ในท้ายที่สุด การออกแบบอาคารที่เป็นสื่อการที่ทำให้มองเห็นลมผ่านอาคาร จะนำเสนอถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจาก วิธีการออกแบบอาคารที่เริ่มต้นจากการพิจารณาถึงบริบท เพื่อแสดงให้เห็นแนวทางหนึ่งของวิธีการออกแบบ ที่สถาปนิก หรือนิสิต สามารถนำส่วนใดที่สนใจไปพัฒนาวิธีการออกแบบอาคารที่ตอบสนองต่อมุมมองที่มีต่องานสถาปัตยกรรมของตนเองได้

# บทที่ 2
# ลม บริบทที่มองไม่เห็น

แรงขับเคลื่อนของการทำงานวิจัยเชิงออกแบบนี้คือวลีว่า “ยืนตีนเดียวเหนี่ยวกินลม” ซึ่งเป็นบริบทลมที่อยู่ในวรรณคดีไทยเรื่อง รามเกียรติ์ โดยอธิบายถึงเหตุการณ์ที่นางสวาหะถูกพระบิดาลงโทษให้ยืนขาเดียวอ้าปากรับลม จนในที่สุดพระพาย เทพเจ้าแห่งลมและพายุได้บันดาลให้ลมหอบศาสตราวุธพัดเข้าปากนางสวาหะที่ยืนเหนี่ยวลม ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่มหัศจรรย์ คือ การให้กำเนิดหนุมาน

ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยตั้งคำถามต่อวิธีการออกแบบศาลาอันเป็นสื่อกลางต่อการเห็นลม จริงอยู่ ลมไม่มีตัวตน บริบทลมเป็นองค์ประกอบในธรรมชาติที่รับรู้โดยตรงได้ผ่านผิวสัมผัสและประสาทสัมผัสอื่นเมื่อลมพัดผ่าน เช่น การได้กลิ่นของดอกไม้โดยการพัดของลม การได้ยินเสียงต้นข้าวที่เสียดสีกันจากลมพัด และการมองเห็นลมผ่านต้นข้าวในนาที่ปลิวลู่ไปตามลม เรามองเห็นลมเพราะมีข้าวในทุ่งนาเป็นตัวกลาง นี่คือเหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกอธิบายภาพของนางสวาหะซึ่งแสดงลักษณะโครงสร้างที่รับลมและเคลื่อนไหวว่าเป็น “แรงขับเคลื่อน” ไม่ใช่ “แรงบันดาลใจ” ภาพยืนตีนเดียวเหนี่ยวกินลมของร่างกายนางสวาหะขัดแย้งกับหลักการออกแบบโครงสร้างอาคาร ความมั่นคงและความไม่เคลื่อนไหวไปตามลมเป็นประเด็นที่สำคัญต่อสถาปนิก วิศวกร และนิสิตสถาปัตยกรรมศาสตร์ ดังนั้น หน้าที่ของบทที่ 2 ชื่อ “ลม บริบทที่มองไม่เห็น” คือคำชี้แจง ผ่านการทบทวนวรรณกรรม ถึงความเป็นไปได้ของการศึกษาอดีตแห่งการออกแบบสถาปัตยกรรมอันเกี่ยวเนื่องกับลม และการศึกษาธรรมชาติของลมท้องถิ่นในประเทศไทย เพื่อการออกแบบศาลาที่เคลื่อนไหวไปตามแรงลม ณ รังสิตคลองสิบ

## แนวความคิดด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์อันเกี่ยวเนื่องกับลม

ลม เป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่พิจารณาเพื่อออกแบบสถาปัตยกรรมในแต่ละยุคสมัยแต่ละวัฒนธรรม มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ในการออกแบบอาคารจากการพิจารณาและความเข้าใจถึงลมที่แตกต่างกัน ประวัติศาสตร์สอนให้เราเห็นการปฏิรูปเมืองและสังคมผ่านการเพิ่มความสำคัญของการมองเห็นและการลดความสำคัญของกลิ่น ในบริบทของสถาปัตยกรรมศาสตร์สมัยก่อนคริสตกาล วิศวกรและสถาปนิกชาวโรมันชื่อ Marcus Vitruvius Pollio (เกิด c. 80–70 BC, ตายหลังจาก c. 15 BC) อธิบายศิลปะแห่งการก่อสร้างสถาปัตยกรรมด้วยคำว่า “Firmitas, Utilitas

et Venustas" หรือ ความมั่นคง อรรถประโยชน์ใช้สอย และความงาม "Strength, Utility and Beauty" วิทรูเวียส เขียนถึงวิธีการออกแบบถนนของเมืองจากการพิจารณาถึงบริบทลมไว้ว่า

*...They will be properly laid out if foresight is employed to exclude the winds from the alleys. Cold wind are disagreeable, hot winds enervation, moist winds unhealthy...*[2]

*...พวกเขาจะสามารถวางผังได้อย่างเหมาะสม ถ้ามีการคาดการณ์เพื่อกั้นลมให้ออกจากตรอกซอกซอย ลมเย็นเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ ลมร้อนทำให้อ่อนล้า ลมที่ชื้นไม่ดีต่อสุขภาพ...*(แปล)

วิทรูเวียสเสนอวิธีการออกแบบเมืองให้แนวอาคารปิดกั้นลมจากทิศทางที่พัดผ่าน เพื่อให้เกิดภาวะอยู่สบายในอาคารและป้องกันอากาศที่เป็นสาเหตุเกิดโรคภัยไข้เจ็บ โดยทฤษฎีอากาศเป็นพิษ (miasma theory) เป็นที่ยอมรับในยุโรป ทำให้แนวทางการออกแบบผังเมืองของวิทรูเวียสพยายามที่จะปิดกั้นลมเพื่อป้องกันเชื้อโรค ในสมัยกลางศตวรรษที่ 19 Louis Pasteur และ Robert Koch เขียนผลงานที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความคิดนี้ อากาศไม่ใช่ตัวกลางนำเชื้ออหิวาตาโรค โรคระบาดที่คร่าชีวิตคนเมืองจำนวนมากเกิดจากเชื้อโรคแพร่ทางน้ำ (germ theory of disease) ผลของความรู้ใหม่ในสมัยคริสศวรรษที่ 1880s ก่อให้เกิดการปฏิรูปสังคม การออกแบบอาคาร สาธารณูปการของเมืองอันจะป้องกันสุขภาพของคนเมือง การลดกลิ่นเหม็นของเมืองโดยการสร้างระบบถ่ายเทบำบัดน้ำเสียสอดคล้องกับการเพิ่มความสำคัญของสิ่งที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เช่น แบคทีเรีย

เมื่อแนวความคิดเกี่ยวกับ "ลม" เปลี่ยนแปลง ความต้องการใช้ประโยชน์จากลมมีเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอาคารได้ใช้ลมในการระบายอากาศ (ventilation) เพื่อพัดพาความเย็นและความร้อนที่สร้างให้เกิดภาวะอยู่สบายในอาคาร จึงมีการศึกษาและออกแบบช่องเปิดเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศภายในอาคาร ในกรณีศึกษาอาคาร Space block ที่จะกล่าวในส่วนต่อไปจะแสดงให้เห็นถึงการพิจารณาการระบายอากาศทำให้เกิดแนวความคิดโครงสร้างที่มีลักษณะรูพรุน (porous structure)[3]

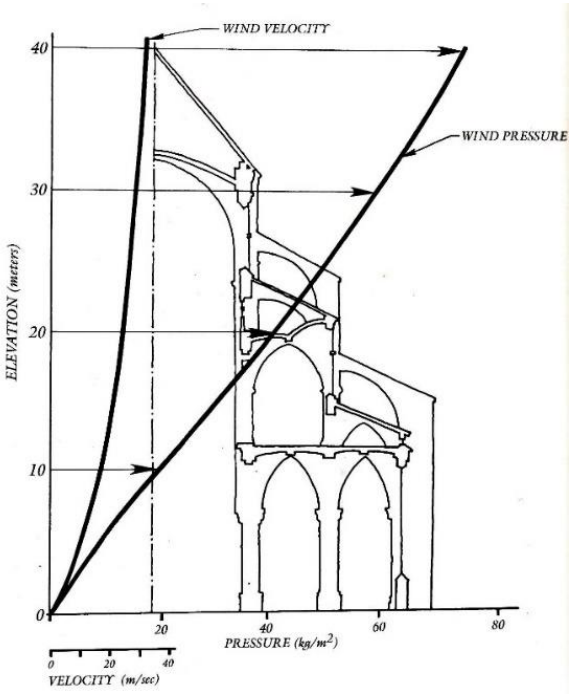
---

[2] Marcus Vitruvius Pollio, The Ten Books On Architecture, *trans. Morris Hicky Morgan.* New York: Dover Publication, 1960. pp.24-25

[3] โครงสร้างรูพรุน (porous structure) คือ รูปแบบโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ลมสามารถแทรกผ่านได้

ลมมีผลต่อการคิดค้นเทคโนโลยีโครงสร้างของอาคาร[4] อาจารย์ด้านวิศวกรรรม แห่งมหาวิทยาลัยพริ้นซ์ตัน ชื่อโรเบิร์ต มาร์คอธิบายปัญหาในการออกแบบโครงสร้างและการก่อสร้างอาคารโอเปร่า เฮ้าส์ (Opera house) ที่เมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ว่าอาคารมีรูปทรงคล้ายกับประติมากรรม ที่ใช้ระบบโครงสร้างแบบโค้ง (arch) และโครงสร้างเปลือกแบบรวมจุด (point shell) มีความสูงถึง 60 เมตร แต่โครงสร้างดังกล่าวมีลักษณะของการถ่ายแรงที่ไม่เป็นไปตามธรรมชาติและไม่ได้คำนึงถึงแรงลม ทำให้อาคารดังกล่าวเกิดความล่าช้าในการก่อสร้างและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

โรเบิร์ต มาร์คได้ยกตัวอย่างโบสถ์ในยุคโกธิค ที่มีลักษณะสูง ทำให้ปะทะกับแรงลม (wind load) ในปริมาณมาก รวมทั้งความเร็วลมที่มากขึ้นตามระดับความสูง ทำให้ในการออกแบบโบสถ์แบบโกธิค จะต้องคำนึงถึงแรงลมที่เข้ามาปะทะอาคาร เพื่อพิจารณาโครงสร้างที่เหมาะสม ทำให้เกิดการคิดค้นเทคโนโลยีโครงสร้างค้ำยัน (flying bustress) ที่สร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับอาคาร เมื่อรับแรงลมปริมาณมาก โครงสร้างค้ำจุนกลายเป็นเอกลักษณ์ของอาคารยุคสมัยโกธิค อย่างที่เราเห็นในปัจจุบัน ผู้วิจัยเห็นว่าแนวความคิดของโครงสร้างโบสถ์โกธิคต้องการต่อต้านแรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วลม เอกลักษณ์ของโครงสร้างจึงมีผลมาจากการพิจารณาความเร็วลม



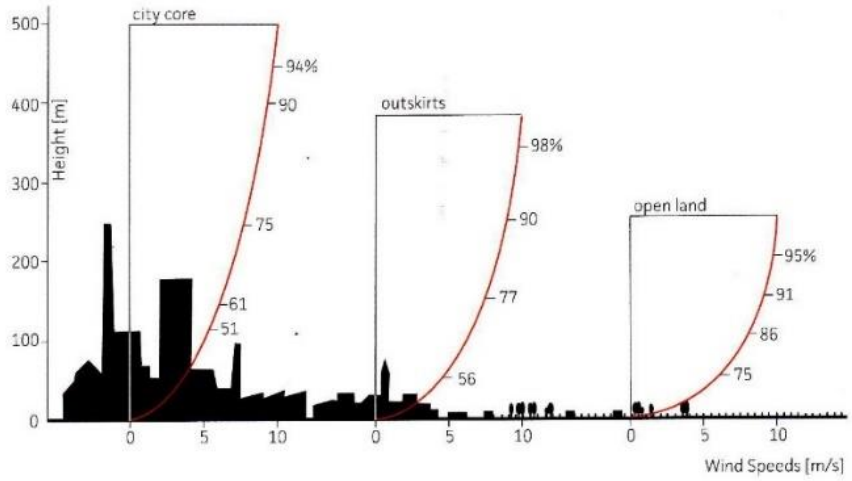

รูป 2-1 แรงลมที่กระทำกับโบสถ์สมัยโกธิค
ที่มา : Robert Mark, Light, Wind and Structure: The mystery of the master builders. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1994. p.30

**แนวความคิดจากความเร็วลม**

ความเร็วลม มีผลต่อแนวความคิดในการออกแบบโครงสร้าง เพราะนอกจากความเร็วลมที่พัดทำให้เรารู้สึกผ่านผิวสัมผัสได้ แรงลมสามารถทำให้สิ่งต่าง ๆ เกิดการเคลื่อนไหวได้ ความเร็วลมหมายถึง อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง (force) หรือความกด (pressure) ที่

[4] Robert Mark, Light, Wind and Structure: The mystery of the master builders, (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1994).

ผ่านจุดที่กำหนด ความเร็วของลมมีอิทธิพลมาจากความต่างระหว่างความกดอากาศ และอุณหภูมิ ทำให้แต่พื้นที่มีความเร็วลมที่แตกต่างกัน

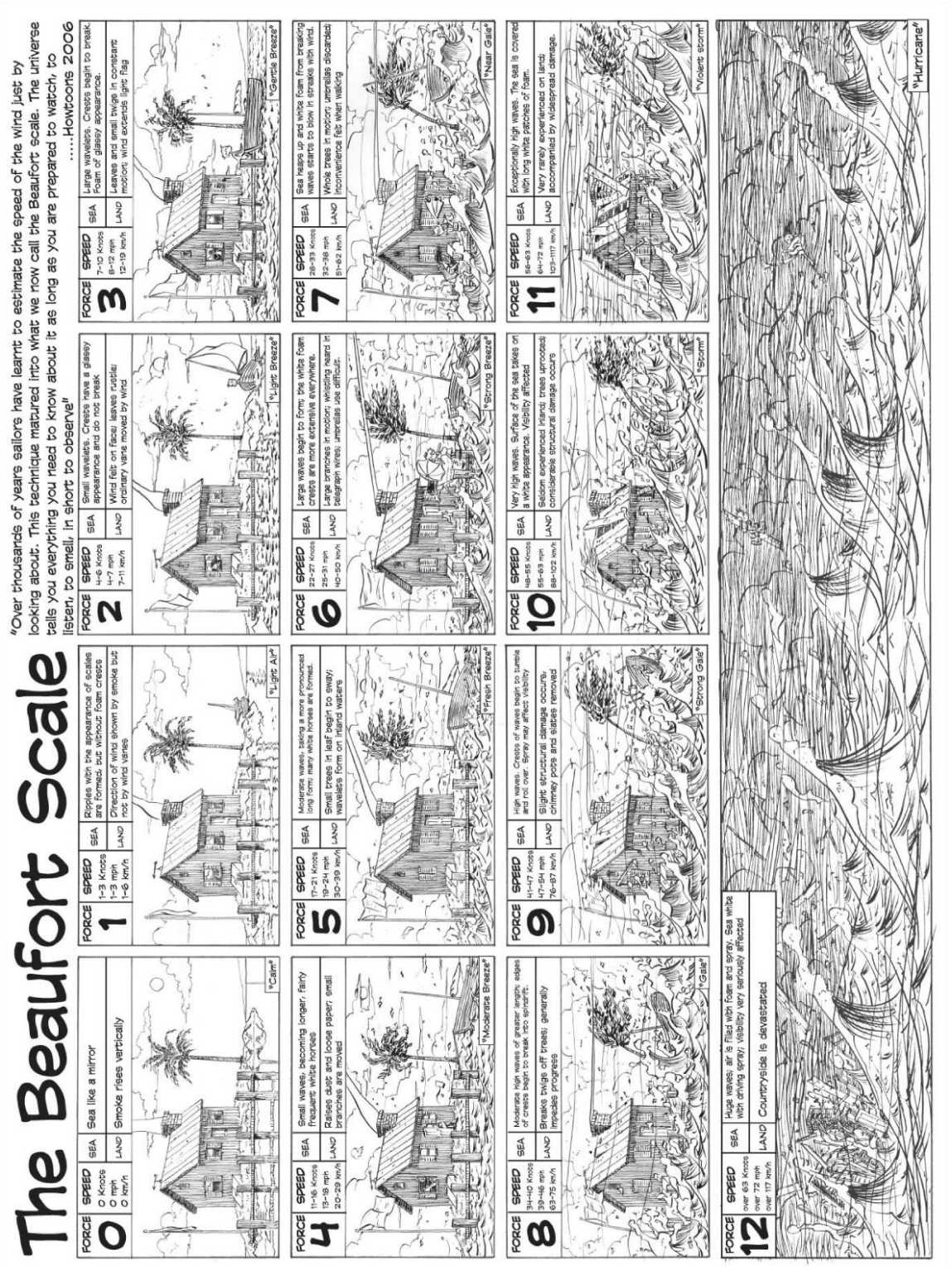



รูปที่ 2-2 ความเร็วลมในแต่ลักษณะของพื้นที่

ที่มา : Mareike Krautheim, City and wind: Climate as an architectural instrument. Berlin, Germany: Dom publishers, 2014. p. 11.

ลักษณะของพื้นที่อาคารบ้านเรือนมีผลต่อความเร็วลม พื้นที่ในใจกลางเมือง (city core) ที่มีความหนาแน่นของอาคารบ้านเรือน ความเร็วของลมจะต่ำกว่าในความสูงที่เท่ากัน เมื่อเทียบกับพื้นที่ชานเมือง (outskirts) และพื้นที่เปิดโล่ง (open land) ที่มีการกระจายตัวของอาคาร และต้นไม้มากในความสูงที่เท่ากันจะพบว่าลมในพื้นที่เปิดโล่งมีความเร็วลมมากกว่า แบบลักษณะพื้นที่ประเภทอื่น

ในการเปรียบเทียบความเร็วและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากลม ทำให้เกิดเครื่องมือที่เรียกว่า โบฟอร์ท สเกล (Beaufort scale) เป็นเครื่องมือที่แบ่งความเร็วของลมออกเป็นระดับ 0-12 คิดค้นโดย ฟรานซิส โบฟอร์ท (Francis Beaufort) ทหารเรือของประเทศอังกฤษ ในช่วงปีค.ศ. 1805 ซึ่งทำให้เกิดประโยชน์ในการจำแนกความแตกต่างของความเร็วลม และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่เป็นผลมาจากความเร็วลม




รูป 2-3 ภาพแสดงระดับของโบฟอร์ท สเกล

ที่มา : *The Beaufort Scale*. Digital image. *Howtoons*. Web. 2 June 2017.

ระดับความเร็วลมของโบฟอร์ทแบ่งออกเป็นระดับต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. **ระดับ 0** ความเร็วลม 0 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมสงบ (clam)
   สภาพบนท้องทะเล: ผืนน้ำคล้ายกระจก
   สภาพบนบก: ควันลอยในแนวดิ่ง
2. **ระดับ 1** ความเร็วลม 1-5 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมเบา (light air)
   สภาพบนท้องทะเล: ทะเลพริ้วยอดคลื่นไม่เป็นฟอง
   สภาพบนบก: ควันไหลไปตามทิศทางลม ใบไม้และใบพัดรับลมอยู่นิ่ง
3. **ระดับ 2** ความเร็วลม 6-11 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมอ่อน (light breeze)
   สภาพบนท้องทะเล: คลื่นเป็นระลอกเล็กๆ แต่ยังไม่แตกเป็นฟอง
   สภาพบนบก: สามารถรู้สึกถึงลมได้ผ่านผิวหนัง ใบไม้ และใบพัดรับลมเริ่มขยับ
4. **ระดับ 3** ความเร็วลม 12-19 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมเฉื่อย (gentle breeze)
   สภาพบนท้องทะเล: คลื่นเป็นระลอกใหญ่ขึ้น คลื่นเริ่มแตกเป็นฟองขาว
   สภาพบนบก: ใบไม้ และกิ่งไม้เล็ก ๆ เคลื่อนไหวต่อเนื่อง และธงเบา ๆ ปลิว
5. **ระดับ 4** ความเร็วลม 20-28 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมปานกลาง(moderate breeze)
   สภาพบนท้องทะเล: คลื่นขนาดเล็กใหญ่ขึ้น และแตกเป็นฟองขาวมากขึ้น
   สภาพบนบก: ฝุ่นและกระดาษปลิว กิ่งไม้เริ่มที่จะเคลื่อนไหว
6. **ระดับ 5** ความเร็วลม 29-38 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมกระโชก (fresh breeze)
   สภาพบนท้องทะเล: คลื่นขนาดปานกลางยาวมากขึ้น มีโอกาสเป็นฝอยน้ำได้บ้าง
   สภาพบนบก: กิ่งไม้ขนาดกลางเคลื่อนไหว ต้นไม้ขนาดเล็กเริ่มที่จะสั่นไหว
7. **ระดับ 6** ความเร็วลม 39-49 กม./ชม. **คำอธิบาย** ลมแรง (strong breeze)
   สภาพบนท้องทะเล: คลื่นมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่เป็นฟองขาว และเป็นฝอยมากขึ้น
   สภาพบนบก: กิ่งไม้ขนาดใหญ่เคลื่อนไหว เริ่มใช้ร่มได้ยากขึ้น
8. **ระดับ 7** ความเร็วลม 50-61 กม./ชม. **คำอธิบาย** พายุปานกลาง (near gale)
   สภาพบนท้องทะเล: น้ำทะเลสูงขึ้น และฟองพัดกระจายไปตามคลื่น หัวแตก
   สภาพบนบก: ต้นไม้ทั้งหมดเคลื่อนไหว ต้องใช้ความพยายามในการเดินต้านลม
9. **ระดับ 8** ความเร็วลม 62-74 กม./ชม. **คำอธิบาย** พายุกระโชก (gale)
   สภาพบนท้องทะเล: คลื่นค่อนข้างสูง มีช่วงคลื่นขึ้น คลื่นที่ฟองน้ำแตกเห็นได้ชัดเจน
   สภาพบนบก: กิ่งไม้เล็ก ๆ หักออกจากต้น รถยนต์บนถนนเปลี่ยนทิศทาง การเดินด้วยเท้าถูกขัดขวาง

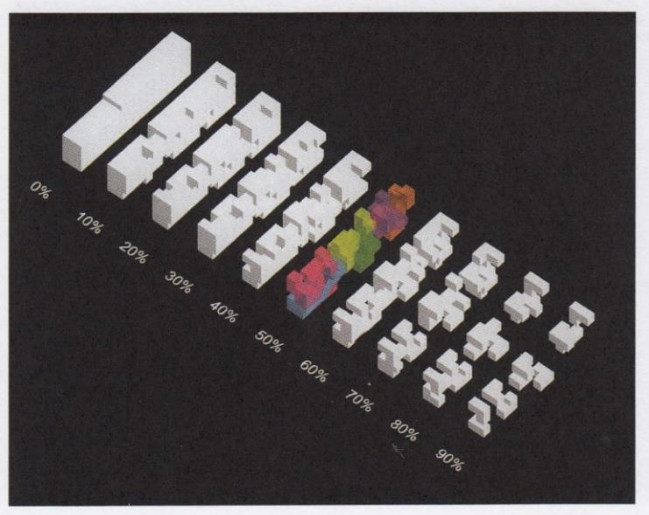
10. **ระดับ 9** ความเร็วลม 75-88 กม./ชม. **คำอธิบาย** พายุแรง (strong gale)
    สภาพบนท้องทะเล: คลื่นสูงยอดคลื่นเริ่มม้วนตัว คลื่นฟองน้ำแตกเป็นทางหนาทึบ ฝอยน้ำพัดอยู่สูงในอากาศ มีทัศนวิสัยแย่
    สภาพบนบก: กิ่งไม้หักออกจากต้นไม้ โครงสร้างชั่วคราวถูกพัดปลิว
11. **ระดับ 10** ความเร็วลม 89-102 กม./ชม. **คำอธิบาย** พายุจัด (storm)
    สภาพบนท้องทะเล: คลื่นสูงมากมียอดคลื่นที่ยื่นออก ทะเลมีฟองขาวเต็มไปหมด การม้วนตัวของคลื่นมากขึ้น และทัศนิวิสัยแย่
    สภาพบนบก: ต้นไม้หักโค่น หรือรากโค่น โครงสร้างอาคารถูกทาลาย
12. **ระดับ 11** ความเร็วลม 103-117 กม./ชม. **คำอธิบาย** พายุรุนแรง (violent storm)
    สภาพบนท้องทะเล: คลื่นสูงใหญ่มาก ทะเลมีฟองขาวเต็มไปหมด ทัศนวิสัยแย่
    สภาพบนบก: พืชพรรณปลิวกระจัดกระจาย และโครงสร้างอาคารถูกทาลาย
13. **ระดับ 12** ความเร็วลม มากกว่า 118 กม./ชม. **คำอธิบาย** เฮอร์ริเคน (Hurricane)
    สภาพบนท้องทะเล: แตกเป็นฝอยน้ำอยู่ในอากาศเต็มไปหมด ทัศนวิสัยแย่ลงมาก
    สภาพบนบก: ความเสียหายอย่างรุนแรงต่อพืชพรรณและอาคาร วัตถุปลิวลอยไปมา

**อาคาร Space Block: กรณีศึกษาอาคารที่ออกแบบจากบริบทลม**

รูป 2-4 รูปทรงอาคาร Space Block

ที่มา : Tomo Oohashi, *Space block*, 2003, *C-and-A*, Web, 2 June 2017.

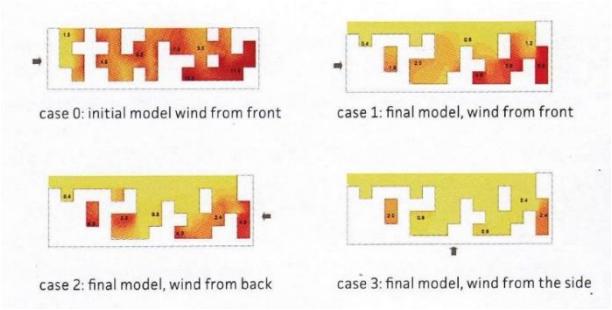
อาคาร Space Block เป็นโครงการที่พักอาศัยรวมที่เมืองฮานอย ประเทศเวียดนาม ออกแบบโดยสถาปนิกชาวญี่ปุ่นชื่อ คาซูฮิโระ โคจิมะ (Kazuhiro Kojima) เป็นตัวอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึง การเริ่มต้นจากการพิจารณาบริบทลมในออกแบบ โดยนำหลักการระบายอากาศของลมมาออกแบบรูปทรง และพื้นที่ของอาคาร โดยสถาปนิกต้องการให้อาคารสามารถระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติให้ทั่วถึงทุกห้องในอาคาร ซึ่งอาจจะไม่สามารถออกแบบได้โดยหลักการวางผังอาคารด้วยประโยชน์ใช้สอย สถาปนิกเริ่มต้นออกแบบอาคารหลังนี้จากการศึกษารูปทรงรูพรุนที่ลมสามารถไหลผ่านได้ทั่ว โดยเริ่มออกแบบจากการคิดปริมาตรอาคารทั้งหมด จากนั้นลดทอนรูปทรงอาคารเป็นส่วนย่อย ทำให้เกิดรูพรุนทั้งอาคาร ในสัดส่วนต่าง ๆ ที่ลดลงมาตามลำดับ ดังที่เห็นได้ในรูปที่ 2-5 เพื่อนำรูปทรงมาวิเคราะห์ปริมาณการไหลของลมผ่านอาคาร




รูป 2-5 การลดทอนรูปทางอาคารด้วยวิธีการรูพรุน

ที่มา : Mareike Krautheim, City and wind: Climate as an architectural instrument, Berlin, Germany: Dom publishers, 2014.

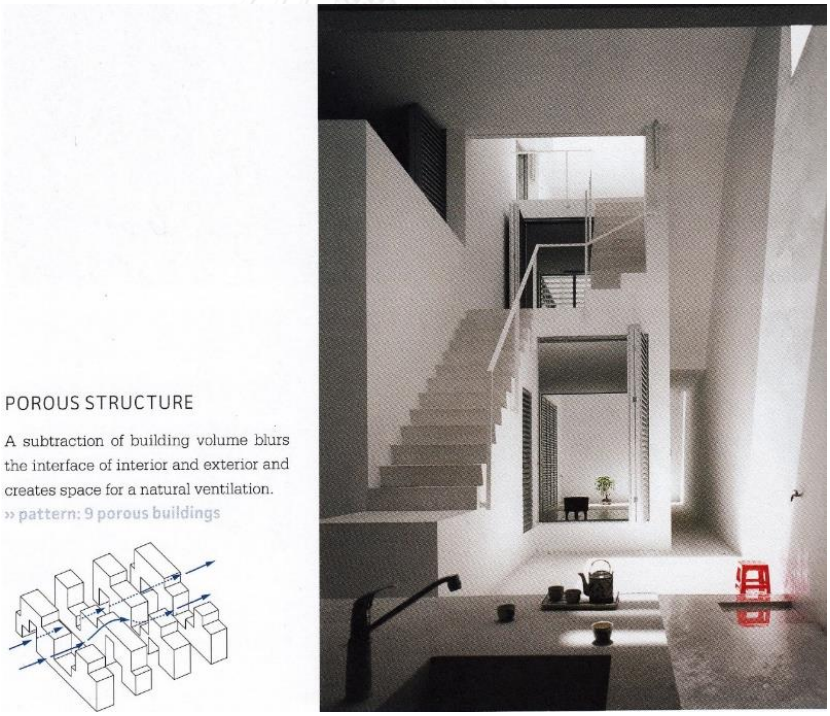
ผู้ออกแบบรูปทรงที่ลดทอนในสัดส่วนต่าง ๆ มาวิเคราะห์ปริมาณลม ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท CFD (computational fluid dynamic) ด้วยการจำลองการไหลผ่านลมในแต่ละทิศ เพื่อพิจารณาสัดส่วนการลดทอนรูปทรงอาคารที่เหมาะสม ผลสรุปสถาปนิกได้เลือกใช้การลดทอนที่ระดับ 50% ที่ลมไหลผ่านได้เหมาะสมและสัมพันธ์กับปริมาณพื้นที่ใช้สอยในอาคารที่สุด




รูป 2-6 การจำลองลมในอาคารด้วยโปรแกรม CFD

ที่มา : Mareike Krautheim, City and wind: Climate as an architectural instrument, Berlin, Germany: Dom publishers, 2014.

จากกระบวนการออกแบบจากบริบทลมทำให้อาคาร Space Block เกิดรูปทรงอาคาร และพื้นที่ภายในที่มีเอกลักษณ์ และทำให้เกิดแนวทางโครงสร้างอาคารที่เรียกว่า โครงสร้างรูพรุน (porous structure) การเริ่มต้นพิจารณาถึงลมในการออกแบบ จึงทำให้เกิดแนวความคิดใหม่ในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อรองรับวัตถุประสงค์ที่ต้องการจากการออกแบบจากบริบทของลม




รูป 2-7 พื้นที่ภายในอาคาร Space Block

ที่มา : Mareike Krautheim, City and wind: Climate as an architectural instrument, Berlin, Germany: Dom publishers. 2014

**ลมเอกลักษณ์ของพื้นที่**

แม้ว่าลมจะเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น แต่มีผลทำให้เกิดเอกลักษณ์ของอาคารได้ เพราะแต่ละพื้นที่มีลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการพิจารณาถึงรูปทรง ลักษณะช่องเปิด พื้นที่ของอาคารให้สัมพันธ์กับลมอย่างเหมาะสม ยกตัวอย่างอาคารในพื้นที่มีอากาศหนาวเย็นจะออกแบบช่องเปิดอาคารที่เล็กหรือหลังคาที่พยายามปกคลุมอาคารให้มากที่สุดเพื่อป้องกันลมหนาว จึงทำให้เกิดเอกลักษณ์ที่ของอาคาร ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยศึกษาลักษณะลมที่มีอยู่ในประเทศไทย เพื่อทำการออกแบบศาลาเห็นลม

**ลมในประเทศไทย**

แน่นอนว่าลมในประเทศไทยมีลักษณะต่างจากภูมิภาคอื่นอันเนื่องมาจากลักษณะภูมิประเทศที่มีผลต่อลม โดยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น หรือ ภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา สามารถแบ่งลมออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. **ลมประจำเวลา** คือ ลมที่พัดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งในรอบวัน จะมีความแรงไม่มาก โดยลมประจำเวลาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด

    1.1. **ลมบก** (Land Breeze) คือ ลมที่พัดตามบริเวณชายฝั่งทะเลในตอนกลางคืน พัดจากชายฝั่งลงสู่ทะเล เนื่องจากช่วงกลางคืนพื้นดินจะคลายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้อากาศเหนือพื้นน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าลอยตัวขึ้น และอากาศจากพื้นดินเข้ามาแทนที่จึงเกิดลม

    1.2. **ลมทะเล (**Sea Breeze) คือ ลมที่พัดในช่วงเวลากลางวัน ลมประเภทนี้จะเป็นลมเย็น เกิดขึ้นจากอุณหภูมิของพื้นดินที่จะสูงกว่าพื้นน้ำ ทำให้อากาศเหนือพื้นดินลอยตัวขึ้น มวลอากาศเย็นที่อยู่เหนือน้ำจึงเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลมทะเล

    1.3. **ลมภูเขา** (Mountain Base) คือ ลมที่เกิดขึ้นตามแนวลาดของหุบเขา โดยในตอนกลางคืนมวลอากาศบริเวณหุบเขา ที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่นกว่าไหล่เขาที่สูงขึ้นไป ทำให้อากาศบริเวณเหนือหุบเขาอุ่นกว่า และลอยตัวสูงขึ้น แต่บริเวณยอดเขาอุณหภูมิลดต่ำอย่างรวดเร็ว ทำให้มวลอากาศบริเวณไหล่เขาและยอดเขาเย็นและความหนาแน่น จึงเคลื่อนที่ลงสู่หุบเขาตามแรงดึงดูดของโลก ทำให้เกิดลมภูเขาพัดลงมาตามลาดเขา

    1.4. **ลมหุบเขา** (Valley Breeze) คือ ลมที่จะพัดขึ้นลาดเขา โดยเกิดจากความแตกต่างของมวลอากาศที่ บริเวณหุบเขา กับยอดเขาสูง โดยบริเวณยอดเขาสูงมีพืชพรรณปกคุลมอยู่น้อย และมีโขดหินใหญ่ทำให้ดูดซับความร้อนได้ดีกว่าบริเวณหุบเขา จึง

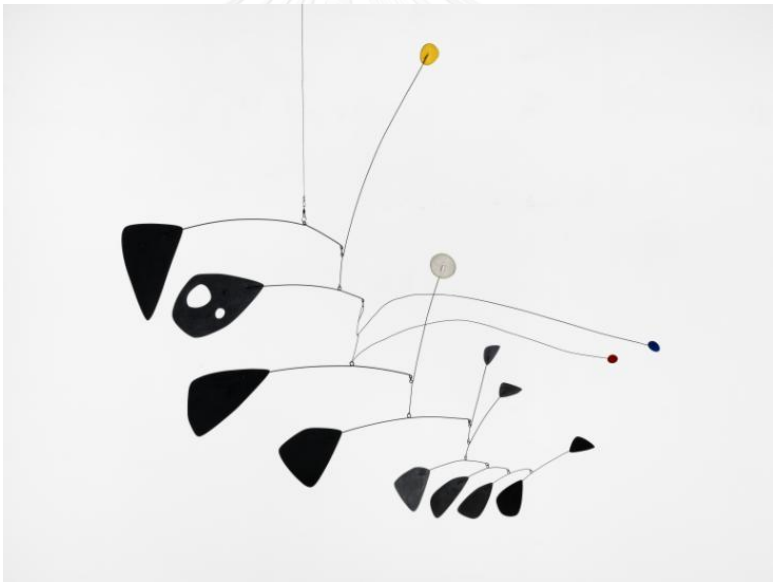
ทำให้มวลอากาศบริเวณยอดเขาลอยตัวสูงขึ้น และมวลอากาศที่เย็น และหนาแน่นต่ำกว่าจากบริเวณหุบเขาเข้ามาแทนที่

2. **ลมประจำฤดูกาล** คือ ลมที่จะพัดเด่นชัดที่สุดในแต่ละฤดูกาล โดยประเทศไทยจะอยู่ภายใต้ลม มรสม 2 ชนิด คือ
   2.1. **ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้** จะพัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงบริเวณมหาสมุทรอินเดีย ลมมรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนตกชุกทั่วไป
   2.2. **ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ** จะมีในช่วงประมาณกลางเดือนตุลาคม โดยพัดปกคลุมประเทศไทยไปจนถึงช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมประเภทนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือ แถบประเทศมองโกเลียและจีน ซึ่งจะพัดพาเอามวลอากาศที่เย็นและแห้งเข้ามาปกคุลมประเทศไทยทำให้ท้องฟ้าโปร่งและเกิดอากาศหนาวเย็น
3. **ลมประจำถิ่น** คือ ลมที่จะเกิดขึ้นในเฉพาะแต่ละท้องถิ่น โดยส่วนใหญ่ลมประจำถิ่นในประเทศไทยจะเป็นลมเย็น ลมประจำถิ่นได้แบ่งออกเป็นลมต่อไปนี้
   3.1. **ลมว่าว** คือ ลมเย็นที่พัดลงมาตามลาน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา จะพัดพานำลมมรสุมตะวันออก เฉียงเหนือ โดยเริ่มในช่วงปลายเดือนกันยายน – ตุลาคม ในช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลาที่ข้าวเบากำลังออกรวง ชาวบ้านจึงเรียกลมชนิดนี้ว่า “ลมข้าวเบา” หรือ “ลมโยกข้าวเบา”
   3.2. **ลมตะเภา** คือ ลมเย็นที่พัดจากทะเลเข้าสู่ชายฝั่ง ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเมษายน ทำให้เกิดฝนตกในภาคกลาง แบบฝนฟ้าคะนอง ลมตะเภาเกิดจาก หย่อมความกดอากาศบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือสูงขึ้น จึงทำให้เกิดลมพัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ชายฝั่ง ในสมัยก่อนลมประเภทนี้ช่วยนำพาเรือสาเภาที่มาค้าขายเข้าเทียบท่าเรือบริเวณอ่าวไทย ชาวบ้านจึงเรียกลมนี้ว่า “ลมตะเภา”

**สุนทรียภาพที่ไม่หยุดนิ่ง**

เมื่อลมพัดผ่านวัตถุต่าง ๆ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว สามารถทำให้เกิดสุนทรียภาพที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงมีศิลปินบางกลุ่มใช้ลมในการนำเสนองานศิลปะประเภทจลน์ศิลป์ (Kinetic art)[5] ทำให้เกิดประสบการณ์ในการรับรู้งานงานศิลปะที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา

สุนทรียภาพเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบศิลปะจากการเคลื่อนไหว ในผลงานศิลปะประเภทจัดวางของ อเล็กซานเดอร์ คาร์ลเดอร์ (Alexander Calder) ปี 1953 ผลงาน *Antennae with Red and Blue Dots* แสดงให้เห็นถึงลม มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของงานศิลปะ โดยผลงานนี้มีลักษณะคล้ายโมบายที่นำรูปทรงไปถ่วงบนคานของโมบายสร้างให้เกิดองค์ประกอบศิลปะ เมื่อจัดแสดงศิลปินได้ปล่อยให้ลมที่พัดผ่าน ทำให้องค์ประกอบของรูปทรงบนโมบายเปลี่ยนไปอย่างคาดเดาไม่ได้ เพื่อให้คนเกิดประสบการณ์กับงานศิลปะของเขาในมุมมองที่เปลี่ยนไปเสมอ



รูป 2-8 ผลงานศิลปะ Antennae with Red and Blue Dots

ที่มา : *Antennae with Red and Blue Dots*, **Tate**, London, *Tate*. Web. 2 June 2017.

---

[5] Frank Popper, *Origins and Development of Kinetic Art*, (New York: New York Graphic Society), p.196 จลน์ศิลป์ (Kinetic art) คือ รูปทรงของงานศิลปะที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่สามารถทำให้มองเห็นได้ด้วยสายตา จะพบงานศิลปะแนวทางนี้ในงานประเภทประติมากรรม งานศิลปะประเภทจัดวาง และงานศิลปะประเภทที่เคลื่อนที่ได้ โดยการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นเกิดจากแรงลม หรือมอเตอร์ เป็นต้น

ลม ยังทำให้เกิดสุนทรียภาพจากการเคลื่อนไหว เพราะแรงลมสามารถทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ ในงานประติมากรรมชื่อ *Strandbeest* ของศิลปินชาวเนเธอร์แลนด์ ทีโอ เจนเซ่น (Theo Jansen) ที่นำเสนอผลงานที่มีรูปร่างคล้ายสัตว์ประหลาด โครงสร้างของประติมากรรมนี้ถูกออกแบบให้มีกลไกขับเคลื่อนเพื่อให้ผลงานเคลื่อนที่ได้เมื่อได้รับลม ทำให้เกิดแนวความคิดโครงสร้างประติมากรรมที่ผสมผสานการเคลื่อนไหวของกลไกและสร้างให้เกิดประสบการณ์ที่ได้จากงานศิลปะที่เคลื่อนไหว

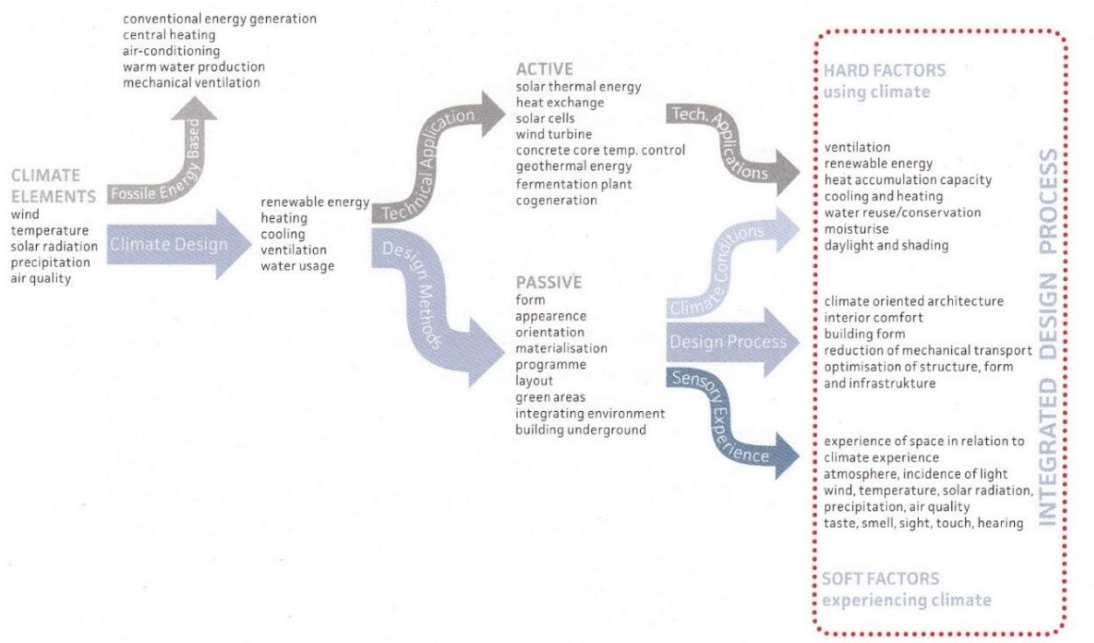
รูป 2-9 ผลงานประติมากรรม Strandbeest
ที่มา : Loek van der Klis, *Animaris Umerus*, 2009 (Image: Courtesy of Theo Jansen)

งานศิลปะประเภทจลน์ศิลป์ แสดงให้เห็นเด่นชัดถึง การทำให้เกิดสุนทรียภาพจากการเคลื่อนไหวในงานศิลปะ ผู้วิจัยพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงทั้งสองมิติ และสามมิติ มีความพิเศษที่เกิดการรับรู้ที่คาดเดาไม่ได้ สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ซึ่งการออกแบบศาลาเพื่อทำหน้าที่เป็นสื่อกลางให้มองเห็นลม ก็มีโอกาสทำให้เกิดสุนทรียภาพที่ไม่สามารถคาดเดาได้ในลักษณะเดียวกัน

**การออกแบบอาคารจากลม**

กระบวนการออกแบบจากลมในหนังสือ *City and Wind: Climate as an architectural instrument* อธิบายการใช้ประโยชน์ของลมในธรรมชาติด้วยวิธีการต่าง ๆ และยกตัวอย่าง วิธีการประยุกต์ลมในการออกแบบอาคาร ทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น ชาวเนเธอร์แลนด์ใช้แรงลม แปลงเป็นพลังงานกล เพื่อหมุนกังหันวิดน้ำ ในอาคารที่ใช้ลมระบายความร้อนออกจากอาคาร (Ventilation) ด้วยวิธีการออกแบบช่องเปิดของอาคารให้ลมไหลผ่านได้ เป็นต้น หนังสือเล่มนี้สรุปและนำเสนอวิธีการออกแบบอาคารจากบริบทลม[6] ผ่านแผนภาพแสดงการออกแบบจากภูมิอากาศ ดังรูป 2-10

[6] Mareike Krautheim, City and wind: Climate as an architectural instrument, (Berlin, Germany: Dom publishers, 2014), p. 11.




รูปที่ 2-10 วิธีการออกแบบอาคารจากบริบทภูมิอากาศ

ที่มา : Mareike Krautheim, City and wind: Climate as an architectural instrument, Berlin, Germany: Dom publishers, 2014, p. 11.

**กระบวนการออกแบบจากภูมิอากาศ**

วิธีการออกแบบจากภูมิอากาศ แบ่งแยกให้เห็นถึงองค์ประกอบของภูมิอากาศ ว่าประกอบไปด้วย ลม อุณหภูมิ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ฝน และคุณภาพของอากาศ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบได้สองแบบ คือ

1. **กระบวนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล** (fossil energy based) คือ วิธีการที่นำองค์ประกอบของธรรมชาติผ่านกระบวนการที่มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ

   **1.1.** การใช้พลังงานแบบดั้งเดิม (conventional energy generation)

   **1.2.** ระบบทำความร้อนให้อาคาร (central heating)

   **1.3.** การปรับอากาศ (air-conditioning)

   **1.4.** การทำน้ำอุ่น (warm water production)

   **1.5.** การระบายอากาศด้วยวิธีกล (mechanical ventilation)

2. **การออกแบบจากภูมิอากาศ (**climate design) คือ กระบวนการออกแบบที่นำภูมิอากาศมาใช้ประโยชน์ในวิธีการต่าง ๆ คือ

**2.1.** พลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ (renewable energy)

**2.2.** การทำความร้อน (heating)

**2.3.** การทำความเย็น (cooling)

**2.4.** การระบายอากาศ (ventilation)

**2.5.** การใช้น้ำ (water usage)

2.5.1.การประยุกต์ใช้เชิงเทคนิค (technical application)

2.5.1.1. พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (solar thermal energy)

2.5.1.2. การถ่ายเทความร้อน (heat exchange)

2.5.1.3. กังหันลม (wind turbine)

2.5.1.4. การควบคุมอุณหภูมิคอนกรีต (concrete core temperature control)

2.5.1.5. พลังงานจากพื้นพิภพ (geothermal energy)

2.5.1.6. การทำโรงหมัก (fermentation plant)

2.5.1.7. ระบบผลิตพลังงานร่วม (cogeneration)

2.5.2.วิธีการออกแบบ (design method)

2.5.2.1. รูปทรง (form)

2.5.2.2. รูปลักษณ์ (appearance)

2.5.2.3. การจัดวางอาคาร (orientation)

2.5.2.4. การทำให้เกิดรูปร่าง (materialization)

2.5.2.5. โปรแกรมการใช้สอย (program)

2.5.2.6. การวางผัง (layout)

2.5.2.7. พื้นที่สีเขียว (green areas)

2.5.2.8. การประสานสิ่งแวดล้อม (integrating environment)

2.5.2.9. อาคารใต้ดิน (building underground)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. **การบูรณาการวิธีออกแบบ** (integrated design process) คือ การนำวิธีการออกแบบจากบริบทของลมทั้งวิธีการทางตรง และทางอ้อม โดยนำหลากหลายวิธีมาบูรณาการรวมกัน เพื่อทำให้เกิดวิธีการออกแบบที่ใช้ประโยชน์จากบริบทหลาย ๆ วิธีเข้าด้วยกัน แบ่งออกตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ

   **3.1. การคำนึงสภาวะภูมิอากาศ** (climate conditions)

   3.1.1.ระบายอากาศ (ventilation)

   3.1.2.นำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ (renewable energy)

   3.1.3.การสะสมความร้อน (heat accumulation capacity)

   3.1.4.การทำให้เย็นและร้อน (cooling and heating)

   3.1.5.การอนุรักษ์และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (water reuse/conservation)

   3.1.6.ความชื้น (moisture)

   3.1.7.แสงกลางวันและการปิดบัง (daylight and shading)

   **3.2. กระบวนการออกแบบ** (design process)

   3.2.1.การจัดวางอาคารตามลักษณะภูมิอากาศ(climate oriented architecture)

   3.2.2.ภาวะอยู่สบายภายในอาคาร (interior comfort)

   3.2.3.รูปทรงอาคาร (building form)

   3.2.4.ลดการใช้เครื่องมือกล (reduction of mechanical support)

   3.2.5.การความเหมาะสมของโครงสร้าง รูปทรง และสาธารณูปโภค (optimization of structure, form and infrastructure)

   **3.3. ประสบการณ์การรับรู้** (sensory experience)

   3.3.1.การสร้างประสบการณ์รับรู้พื้นที่ ๆ ตอบสนองต่อภูมิอากาศ (experience of space in relation to climate experience) คือ การที่ใช้ภูมิอากาศมาสร้างให้เกิดบรรยากาศ จากลม อุณหภูมิ ความร้อน ความชื้น ต่าง ๆ ผ่านการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสของมนุษย์ คือ มองเห็น สัมผัส ได้ยิน ได้กลิ่น เป็นต้น

จากการศึกษาวิธีการออกแบบจากภูมิอากาศ ผู้วิจัยพบว่าสามารถทำได้สองวิธีคือ การออกแบบในทางตรง คือ การออกแบบเพื่อนำองค์ประกอบเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ เช่น การใช้ลมช่วยในการพัดใบของกังหันเพื่อสร้างพลังงาน เป็นต้น วิธีทางอ้อม คือการนำองค์ประกอบเหล่านี้มา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิจารณาในการออกแบบอาคาร เช่น การออกแบบเพื่อควบคุมสภาพอากาศในอาคาร หรือการพิจารณาแรงลมเพื่อออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม เป็นต้น

การออกแบบศาลาเห็นลมในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการออกแบบจากลม โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติการไหลของลม (flow) ที่ความเร็วลมทำให้เกิดแรงกดที่จะทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว โดยการออกแบบจะพิจารณาถึงลม เพื่อออกแบบรูปทรงของพื้นผิว ที่จะต้องต้านลมมากที่สุดเพื่อให้เกิดแรงต้าน เพื่อทำให้มองเห็นลมผ่านโครงสร้างอาคารได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

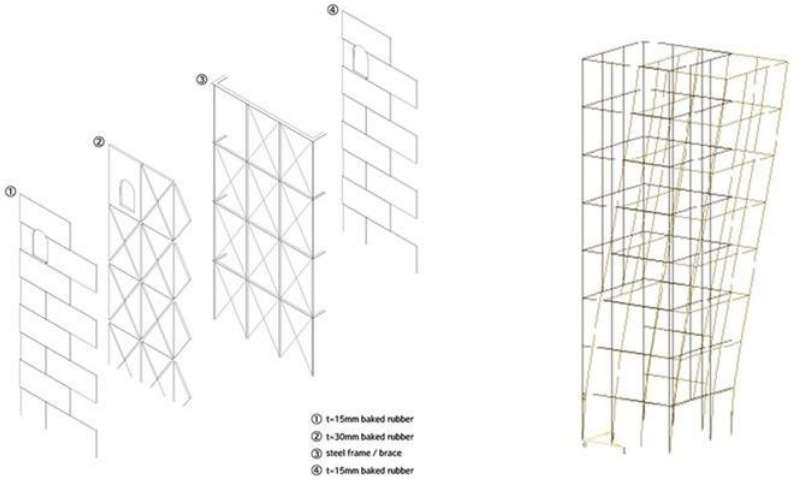
# บทที่ 3
# วิธีการออกแบบศาลาเห็นลม

วัตถุประสงค์ของการเขียนบทที่ 3 “วิธีการออกแบบศาลาเห็นลม” คือ การแสดงกระบวนการออกแบบศาลาอันมีหน้าที่เป็นสื่อกลางให้ผู้คนสามารถมองเห็นลม ผู้วิจัยเสนอวิธีการออกแบบด้วยการศึกษาเกณฑ์และขอบเขตผ่านกรณีศึกษาอาคารลิตเติ้ล ฮิลท๊อป ที่ออกแบบโดยสถาปนิกชาวญี่ปุ่นชื่อชินโกะ มัตสึดะ (Shingo Masuda) ที่เคลื่อนไหวได้จริงเมื่อลมพัดมา โดยอาคารตั้งอยู่บนเนินเขาที่เมืองยามากูชิ ประเทศญี่ปุ่น จากการศึกษาทำให้กำหนดขอบเขตของการศึกษาและออกแบบศาลาเห็นลม แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ คือ โครงสร้าง พื้นผิว และข้อต่อ

รูป 3-1 ทัศนียภาพภายในอาคารลิตเติ้ล ฮิลท๊อป
แสดงการรับรู้ระหว่างภายในกับภายนอกเมื่ออาคารได้เกิดการเคลื่อนไหวจากแรงลม
ที่มา : Shingo Masuda, Little Hilltop, *Architecture-Review*, Web, 4 June 2017.

อาคารหลังนี้เกิดการเคลื่อนไหวจาก 3 องค์ประกอบของอาคารที่ทำงานผสานกัน กล่าวคือ **โครงสร้าง** ซึ่งทำจากเหล็กมีลักษณะโครงสร้างแบบกรอบ (steel frame) โดยส่วน**ข้อต่อ** เชื่อมลวด Rod ช่วยยึดโครงสร้างและรับแรงประเภทแรงดึง โดยสามารถมองเห็นการเคลื่อนไหวได้ จากการที่

โครงสร้างเคลื่อนไหวจากการยอมเสียรูปในทิศทางแรงที่ลวดไม่เกิดแรงดึง ส่วน**พื้นผิวอาคาร** ด้านนอกสุดและด้านในสุดเป็นยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยม ความหนา 15 มิลลิเมตร สามารถยืดหยุ่นได้เมื่อโครงสร้างเคลื่อนไหว ชั้นกลางเป็นยางพารา ความหนา 30 มิลลิเมตร ตัดแบ่งตามช่องว่างของโครงสร้างเหล็กที่อยู่ในชั้นถัดไป




รูป 3-2 รายละเอียดโครงสร้างอาคารลิตเติ้ล ฮิลท็อป

ที่มา : Shingo Masuda, Little Hilltop, *Architecture-Review*, Web, 4 June 2017.

**โครงสร้าง (structure)**

โครงสร้างอาคาร นอกจากทำหน้าที่กำหนดรูปทรงและสร้างพื้นที่อาคาร ในโครงสร้างของศาลาเห็นลมจะสามารถเคลื่อนไหวเพื่อเป็นตัวกลางที่ทำให้มองเห็นลมเมื่อลมพัดผ่าน

**1.รูปแบบโครงสร้าง**

ผู้วิจัยได้แบ่งออกโครงสร้างที่เคลื่อนไหวออกเป็นสองแบบ คือ แบบโครงสร้างชนิดแข็ง และชนิดยืดหยุ่น โดยโครงสร้างทั้งสองประเภทจะมีวิธีการออกแบบเพื่อให้เห็นลมได้ด้วยวิธีที่ต่างกัน

**โครงสร้างชนิดยืดหยุ่น** คือ รูปแบบของโครงสร้างที่องค์ประกอบชิ้นส่วนของโครงสร้างเป็นวัสดุที่สามารถยืดหยุ่นได้ ยกตัวอย่าง เช่น พลาสติก ไม้ไผ่ เป็นต้น ที่สามารถเคลื่อนไหวได้จากคุณสมบัติของวัสดุ มีความยืดหยุ่นและยอมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรง หากไม่เกินจุดครากของวัสดุก็จะสามารถคืนกลับรูปทรงเดิมได้

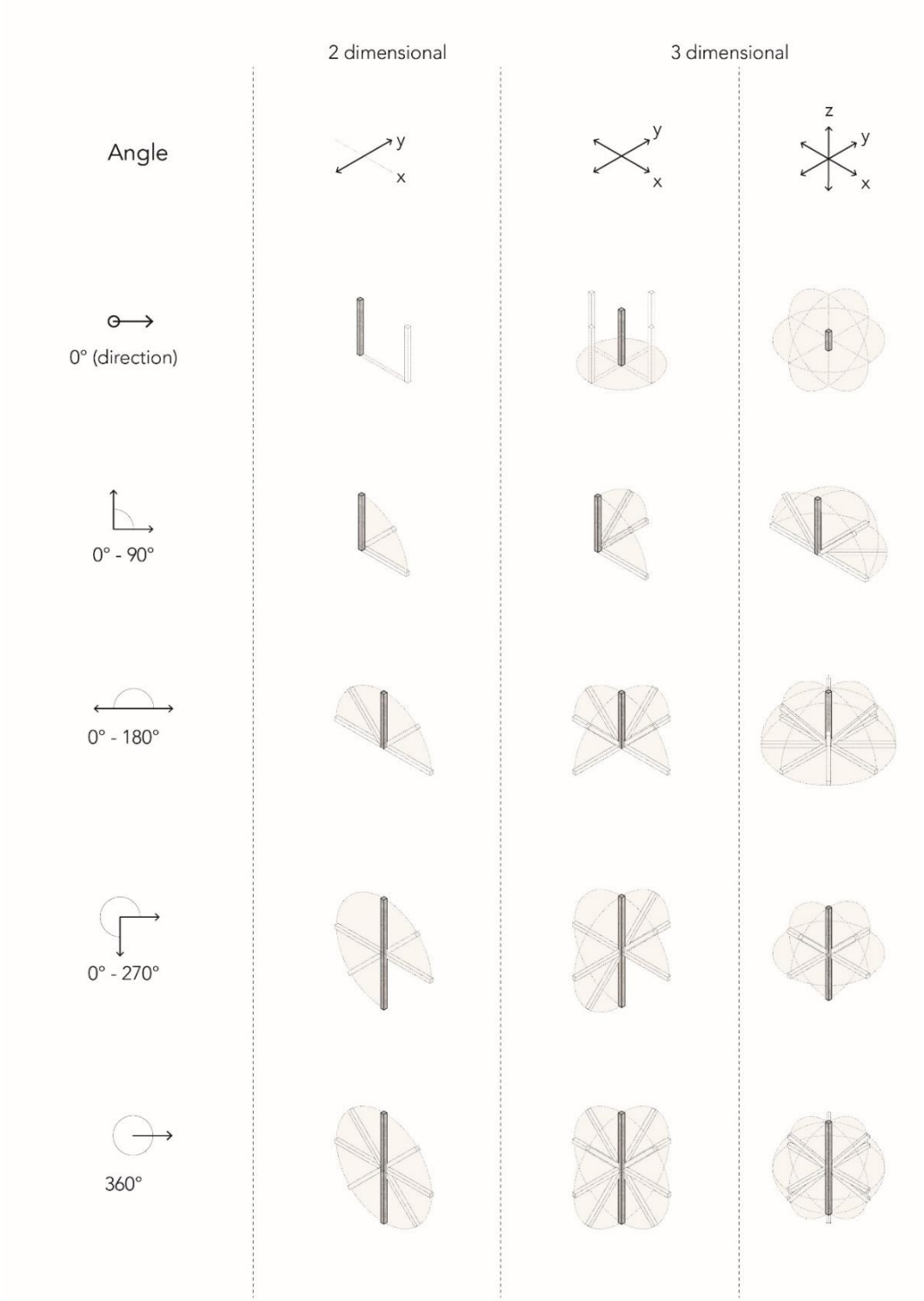
การออกแบบโครงสร้างชนิดยืดหยุ่นสามารถเห็นการเคลื่อนไหวผ่านวัสดุโครงสร้างได้อยู่แล้ว แต่ต้องทำการพิจารณาข้อต่อของชิ้นส่วนโครงสร้าง เพราะทำให้เกิดทิศทางของการเคลื่อนไหว เช่น ทิศทางการเคลื่อนไหวที่เกิดจากข้อต่อแบบยึดติดจะแตกต่างกับข้อต่อยืดหยุ่นได้

**โครงสร้างชนิดแข็ง** คือ โครงสร้างที่มีวัสดุองค์ประกอบเป็นชนิดแข็ง เช่น เหล็ก ไม้ เป็นต้น จะสามารถเคลื่อนไหวด้วยคุณสมบัติวัสดุได้น้อยมาก หรือหากเกิดการเคลื่อนไหวเกินจุดคราก ทำให้โครงสร้างไม่สามารถรักษารูปทรงเดิมของอาคารได้ การออกแบบโครงสร้างชนิดแข็งให้สามารถเคลื่อนไหว จะต้องคำนึงถึงการออกแบบข้อต่อโครงสร้างที่เชื่อมโครงแข็งเข้าด้วยกันที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหว

**2. รูปแบบการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง**

ศาลาเห็นลมจะมีโครงสร้างหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารเคลื่อนไหว เมื่อมีลมพัดผ่าน ผู้วิจัยได้พิจารณาการเคลื่อนไหวของโครงสร้างให้อยู่ในปริภูมิแบบยูคลิเดียน (Euclidean Space) ในระบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายตำแหน่งและการเคลื่อนที่ใน 3 มิติ ประกอบไปด้วยความกว้าง ความยาว และความสูง หรือ ระบบแกน XYZ ดังรูปที่ 3-3 ที่แสดงรูปแบบทิศทางการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง ทำให้เกิดได้จากข้อต่อชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แบ่งออกการเคลื่อนไหวเป็น 2 ประเภท คือการเคลื่อนไหวในสองมิติและสามมิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

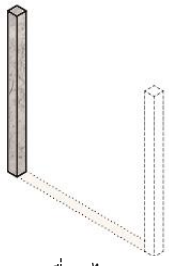



รูป 3-3 การเคลื่อนไหวที่ของโครงสร้างในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

### 1.1. การเคลื่อนไหวในสองมิติ

การเคลื่อนไหวในสองมิติ คือ การเคลื่อนไหวในระนาบเดียว โครงสร้างเอียงไปมาในระนาบ XY XZ หรือYZ เพียงอย่างเดียว โดยการเคลื่อนไหวแบบสองมิติจะมีทิศทางที่ชัดเจน ผู้ออกแบบสามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวได้ แบ่งออกเป็นรูปแบบต่าง ๆ ต่อไปนี้

**การเคลื่อนไหว 0 องศา** (เคลื่อนที่แบบทิศทาง)

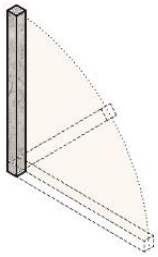


รูป3-4 การเคลื่อนไหวแบบทิศทาง แบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน

**ทิศทาง :** วัตถุเมื่อเคลื่อนที่จะไม่หมุนเอียงออกจากศูนย์กลางของวัตถุ แต่จะเคลื่อนที่ไปในแนวระนาบตามทิศทางที่ชัดเจน คล้ายกับการเคลื่อนที่ของรถยนต์

**ข้อต่อโครงสร้าง :** การเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ใช้ข้อต่อประเภท roller joint เพื่อลดการเสียดทาน ทำให้เคลื่อนที่สะดวกขึ้น

**การเคลื่อนไหว 0-90 องศา**



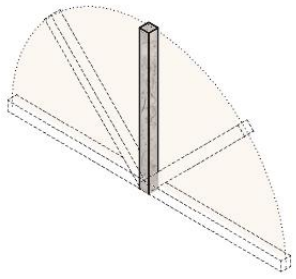
รูป3-5 การเคลื่อนไหว 0-90 องศา แบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน หมุนไปมาได้ ไม่เกิน 90 องศา ในหนึ่งแนวแกน มีลักษณะคล้ายบานพับประตู

**ข้อต่อโครงสร้าง :** การเคลื่อนไหวในลักษณะหมุนที่ 0-90 องศา เกิดขึ้นได้เมื่อมีจุดหมุนที่มีลักษณะเป็น pin joint และ hinge joint

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ULALONGKORN UNIVERSITY

**การเคลื่อนไหว 0-180 องศา**

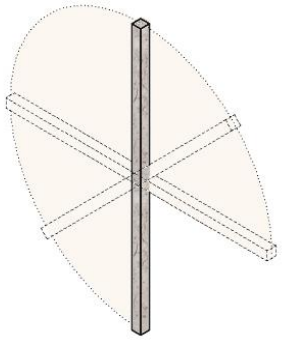


รูป3-6 การเคลื่อนไหว 0-180องศา แบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน สามารถหมุนไปมาได้ไม่เกิน 180 องศา ในหนึ่งแนวแกน

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท pin joint และ hinge joint เพื่อบังคับองศาการเคลื่อนไหว

**การเคลื่อนไหว 0-270 องศา**

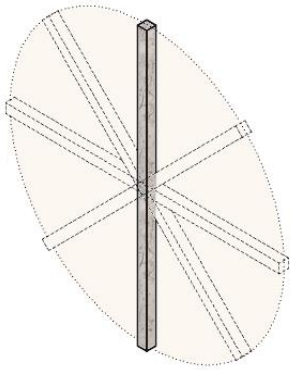


รูป3-7 การเคลื่อนไหว0-270 องศา
แบบ 2 มิติ ในแนว 1 แกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน หมุนไปมาได้ ไม่เกิน 0-270 องศา ในหนึ่งแนวแกน

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ออกแบบจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท pin joint และ hinge joint เพื่อบังคับองศาที่เคลื่อนไหว

**การเคลื่อนไหว 360 องศา**



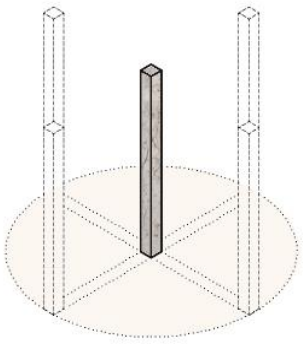
รูป 3-8 การเคลื่อนไหว 0-360 องศา
แบบ 3 มิติ ในแนว 1 แกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุนได้ 360 องศา ลักษณะคล้ายกับใบพัดของกังหันลม

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ออกแบบจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท pin joint

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การเคลื่อนไหว 0 องศา (เคลื่อนที่ในระนาบ XY)**



รูป 3-9 การเคลื่อนไหว 0 องศา
แบบ 2 มิติ ในแนว 2 แกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหว ในทิศทางที่อิสระ ในแนวขนานกับระนาบ XY

**ข้อต่อโครงสร้าง :** การเคลื่อนที่ในแนวระนาบ จะต้องออกแบบข้อต่อประเภท roller joint เพื่อลดการเสียดทาน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกขึ้น

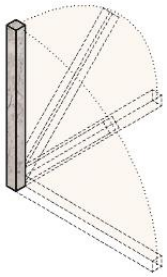
**การเคลื่อนไหวในสามมิติ**

การเคลื่อนไหวในสามมิติเกิดขึ้นในแนวแกน X Y และ Z พร้อมกัน แบ่งได้เป็นสองชนิด คือ การเคลื่อนไหวใน 2 แกน X กับ Y จะกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของวัตถุได้ และการเคลื่อนไหวอิสระตามแนว 3 แกน X Y Z ไม่สามารถกำหนดทิศทางที่แน่นอนได้ แต่จะกำหนดขอบเขตการเคลื่อนไหวได้

**เคลื่อนไหว 2 แนวแกน**

การเคลื่อนไหวในรูปแบบสามมิติแนวแกน X กับ Y เป็น มีทิศทางเคลื่อนไหวที่แน่นอน สามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของวัตถุได้

**การเคลื่อนไหว 0-90 องศา**

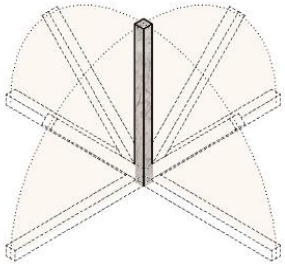


รูป3-10 การเคลื่อนไหว 0-90 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน สามารถเอียงไปมาได้ไม่เกิน 90 องศา ในทั้งสองแนวแกน

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท hinge joint หรือ pin joint ในทั้งสองแกนที่สามารถเคลื่อนไหวได้ และกำหนดองศาของการเคลื่อนไหวผ่านการออกแบบข้อต่อ

**การเคลื่อนไหว 0-180 องศา**

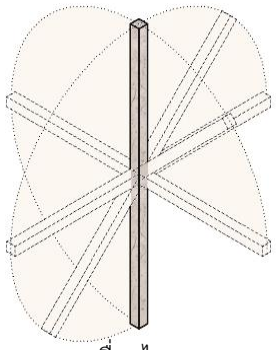


รูป3-11 การเคลื่อนไหว0-180 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน สามารถเอียงไปมา ได้ไม่เกิน 180 องศา ในทั้งสองแนวแกน

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อโครงสร้างทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท hinge joint หรือ pin jointในทั้งสองแกนที่สามารถเคลื่อนไหวได้ และกำหนดองศาของการเคลื่อนไหวผ่านการออกแบบข้อต่อ

**การเคลื่อนไหว 0-270 องศา**

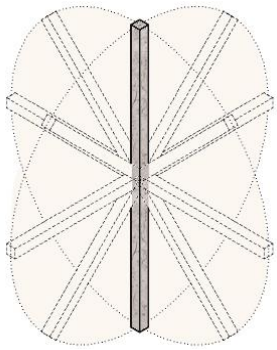


รูป3-12 การเคลื่อนไหว0-270องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวโดยผ่านจุดหมุน สามารถเอียงไปมา ได้ไม่เกิน 270 องศาในทั้งสองแนวแกน

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อโครงสร้างทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท hinge joint หรือ pin jointในทั้งสองแกนที่สามารถเคลื่อนไหวได้ และกำหนดองศาของการเคลื่อนไหวผ่านการออกแบบข้อต่อ

**การเคลื่อนไหว 360 องศา**



รูป 3-13 การเคลื่อนไหว 360 องศา แบบ 3 มิติ ใน 2 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน ในทิศทั้งสองแนวแกนได้ 360 องศา ลักษณะคล้ายกับใบพัดของกังหันลม

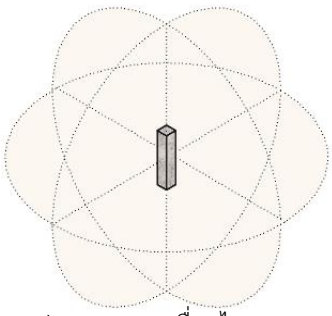
**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท pin joint เพื่อช่วยให้สามารถหมุนได้สะดวกในทั้งสองแกน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การเคลื่อนไหว 3 แนวแกน**

การเคลื่อนไหวในรูปแบบสามมิติใน 3 แนวแกน X Y และ Z เป็น ไม่สามารถกำหนดทิศทางที่เคลื่อนไหวแน่นอนได้ แต่สามารถที่จะกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของวัตถุได้

**การเคลื่อนไหว 0 องศา** (การเคลื่อนที่แบบทิศทาง)

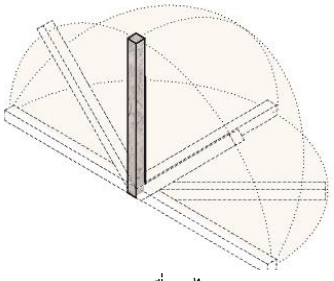


รูป 3-14 การเคลื่อนไหว 0 องศา (ทิศทาง) แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุไม่หมุนเอียงออกจากแนวแกน แต่จะเคลื่อนที่อย่างอิสระในทิศทางทั้ง 3 แกน

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อต้องสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ในทั้งสามแนวแกน ยกตัวอย่างเช่น การยึดติดวัตถุ กับโครงสร้างแบบขึง ที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหวอิสระได้ในทุกทิศทางได้

**การเคลื่อนไหว 0-90 องศา**

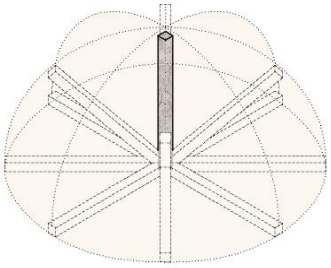


รูป 3-15 การเคลื่อนไหว0-90 องศา
แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวเอียงผ่านจุดหมุนในทิศทางทั้ง 3 แกน โดยองศาที่หมุนเอียงไม่เกิน 90 องศา

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อโครงสร้างทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท hinge joint, ball joint หรือ pin joint โดยกำหนดขอบเขตองศาของการเคลื่อนไหวผ่านการออกแบบข้อต่อ

**การเคลื่อนไหว 0-180 องศา**

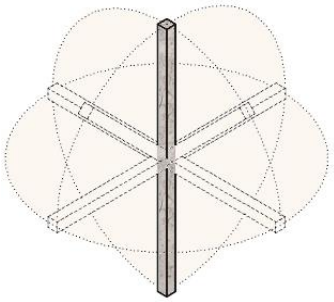


รูป3-16 การเคลื่อนไหว 0-180 องศา
แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวเอียงผ่านจุดหมุน ในทิศทางทั้ง 3 แกน โดยเคลื่อนไหวได้อิสระในองศาที่หมุนเอียงไม่เกิน 180 องศา

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อโครงสร้างทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท hinge joint ในทั้งสามแกน หรือ ball joint ที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ และกำหนดองศาของการเคลื่อนไหวผ่านการออกแบบข้อต่อ

**การเคลื่อนไหว 0-270 องศา**

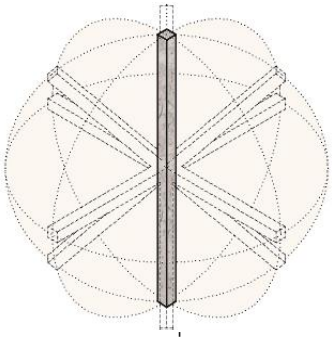


รูป3-17 การเคลื่อนไหว0-270องศา
แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวเอียงผ่านจุดหมุน ในทิศทางทั้ง 3 แกน โดยสามารถเคลื่อนไหวอิสระในองศาที่หมุนเอียงไม่เกิน 270 องศา

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อโครงสร้างทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท hinge joint ในทั้งสามแกน หรือ ball joint ที่สามารถเคลื่อนไหวได้อิสระ และกำหนดองศาของการเคลื่อนไหวผ่านการออกแบบข้อต่อ

**การเคลื่อนไหว 360 องศา**



รูป3-18 การเคลื่อนไหว 0-360 องศา แบบ 3 มิติ ใน 3 แนวแกน

**ทิศทาง :** วัตถุเคลื่อนไหวเอียงผ่านจุดหมุน ในทิศทางทั้ง 3 แกน โดยสามารถเคลื่อนไหวได้อิสระได้ทุกทิศทาง

**ข้อต่อโครงสร้าง :** ข้อต่อโครงสร้างทำหน้าที่เป็นจุดหมุน โดยใช้ข้อต่อประเภท ball joint ที่สามารถเคลื่อนไหวได้อิสระ

**3. หลักการคำนวณโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง**

การออกแบบโครงสร้างให้เคลื่อนไหวตามแรงลม ส่วนหนึ่งใช้วิธีการคำนวณเพื่อออกแบบ โดยปกติวิศวกรออกแบบโครงสร้างโดยพิจารณาลมว่าคือแรงที่มากระทำกับอาคารเพื่อให้เสียรูป จึงออกแบบโครงสร้างเพื่อให้มั่นคงต้านทานลม แต่การออกแบบศาลาเห็นลม วิธีการออกแบบให้โครงสร้างมั่นคง แต่เคลื่อนไหวได้ จึงเป็นหนึ่งในวิธีต่อยอดจากหลักการของวิศวกร

ผู้วิจัยเลือกวิธีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง จากเอกสาร*มาตรการคำนวณแรงลมและตอบสนองอาคาร* จัดทำโดย กรมโยธาธิการและผังเมือง ในปีพ.ศ.2550 ที่ได้อธิบายมาตรฐานการคำนวณออกแบบโครงสร้างของอาคารเพื่อการตอบสนองต่อแรงลมในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ

**1.2. แรงลมออกแบบ**

การคำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำบริเวณพื้นผิวภายนอกอาคารในทิศทางลม สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

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

$I_w$ = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม (reference velocity factor) ดูที่หัวข้อ 1.2.2

$q$ = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure) ตามที่กำหนดในหัวข้อ 1.2.3

$C_e$ = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor)

$C_g$= ค่าประกอบเนื่องจากผลกรรโชกของลม (gust effect factor)

$C_p$= ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร (external pressure coefficient

**1.3. ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม**

| ประเภทของอาคาร | ประเภทความสำคัญ |
|---|---|
| อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อย เมื่อเกิดการพังทลายของอาคาร หรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น<br>- อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร<br>- อาคารชั่วคราว<br>- อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ | น้อย |
| อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญน้อย มาก และสูงมาก | ปกติ |
| อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น<br>- อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน<br>- โรงเรียนประถม หรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน<br>- มหาวิทยาลัย หรือ วิทยาลัยที่มีความจุมากกว่า 500 คน<br>- สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้<br>- เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ | มาก |
| อาคาร และส่วนโครงสร้างที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชนเป็นอย่างมาก หรืออาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุเป็นอย่างมาก เช่น<br>- โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้<br>- สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ<br>- โรงไฟฟ้า | สูงมาก |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลง<br>- อาคารศูนย์สื่อสาร<br>- อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย<br>- ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน<br>- อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ<br>อาคารหรือส่วนโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เช่น เชื้อเพลง หรือสารเคมี อันก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ | |

| ประเภทความสำคัญของอาคาร | ค่าประกอบความสำคัญชองแรงลม | |
|---|---|---|
| | สภาวะจำกัดด้านกำลัง | สภาวะจำกัดด้านใช้งาน |
| น้อย | 0.8 | 0.75 |
| ปกติ | 1 | 0.75 |
| มาก | 1.15 | 0.75 |
| สูงมาก | 1.15 | 0.75 |

ตารางที่ 3-1 การจำแนกประเภทอาคาร ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง. มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, 2550.

### 1.4. หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q)

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$q=\frac{1}{2}(\frac{\rho}{g})V^2$$

$q$ = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม หน่วยที่คำนวณได้เป็นกิโลกรัม(แรง) ต่อตร.ม.

$\rho$ = ความหนาแน่นของมวลอากาศ (ซึ่งมีค่าคงที่โดยประมาณเท่ากับ *1.25* กิโลกรัม (มวล) ต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับความดันบรรยากาศปกติ และอุณหภูมิของอากาศประมาณ *15* องศาเซลเซียส ถึง *45* องศาเซลเซียส

$g$ = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ *9.806* ม./วินาที$^2$

$v$ = ความเร็วลมอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วอ้างอิงได้จากการวัดความเร็วลมผ่านแอนีโมมิเตอร์ หรือ จากสถิติความเร็วลมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา

### 1.5. ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ($C_e$)

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลมให้ แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดิน และสภาพภูมิประเทศ โดยสามารถหาค่าได้จากการคำนวณ หรือ ใช้ค่าจากตารางค่าประกอบกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ($C_e$) ในการทดลองออกแบบศาลาเห็นลม จะใช้วิธีการใช้ค่าจากตารางซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่าย

สภาพภูมิประเทศแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศโล่งซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่าง ๆ กัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล โดยใช้ค่า $C_e$ จากตาราง 3-2

สภาพภูมิประเทศแบบ B เป็นสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ ๆ มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก โดยค่า $C_e$ ใช้ค่าจากตาราง 3-2

| 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 20เมตร | 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 |

ตารางที่ 3-2 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ($C_e$)

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง. มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, 2550.

### 1.6. ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ($C_g$)

ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ย ค่าประกอบ$C_g$ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

สำหรับค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ที่กระทำพื้นผิวภายนอกอาคาร $C_g$ เท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักต้านทางแรงลม

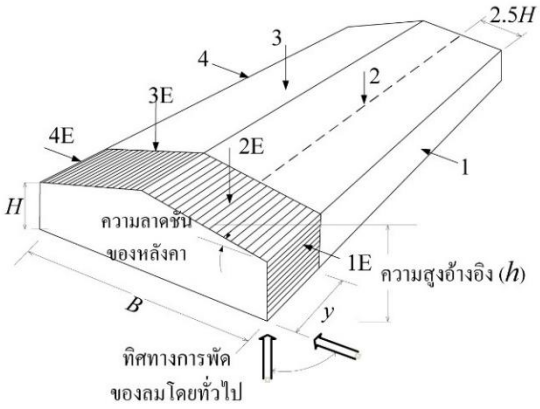
สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า $C_g$ เท่ากับ 2.5 ในการออกแบบโครงสร้างรอง และผนังภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก

**1.7. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ($C_p$)**

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก ขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคาร ทิศทางลม และลักษณะการแปรเปลี่ยนของความเร็วลม ตามความสูงอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคาร และระบบโครงสร้างหลักของอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 3 หมวด คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารเตี้ย อาคารสูง และโครงสร้างพิเศษ โดยในการทดลองออกแบบศาลาเห็นลม จะพิจารณาออกแบบอาคารในลักษณะอาคารเตี้ย ที่ ความสูงต่อความกว้าง น้อยกว่า 1 (คือ ความกว้างด้านที่แคบที่สุด) และมีความสูงอ้างอิง น้อยกว่า 23 เมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์ ได้แสดงในตาราง 3-3

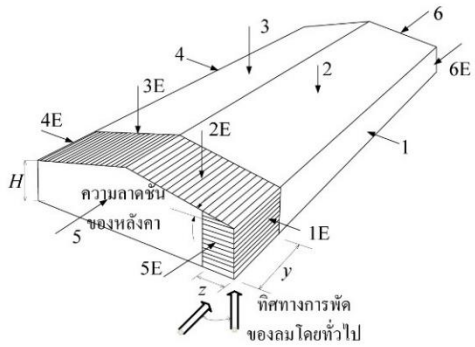
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แรงกระทำกรณีที่ 1 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไป อยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา




| ความลาดชันของ | พื้นที่ผิวของอาคาร | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| หลังคา | 1 | 1E | 2 | 2E | 3 | 3E | 4 | 4E |
| 0° ถึง 5° | 0.75 | 1.15 | -1.3 | -2.0 | -0.7 | -1.0 | -0.55 | -0.8 |
| 20° | 1.0 | 1.5 | -1.3 | -2.0 | -0.9 | -1.3 | -0.8 | -1.2 |
| 30° ถึง 45° | 1.05 | 1.3 | 0.4 | 0.5 | -0.8 | -1.0 | -0.7 | -0.9 |
| 90° | 1.05 | 1.3 | 1.05 | 1.3 | -0.7 | -0.9 | -0.7 | -0.9 |

แรงกระทำกรณีที่ 2 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไปอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา




| ความลาดชันของ | พื้นที่ผิวของอาคาร | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| หลังคา | 1 | 1E | 2 | 2E | 3 | 3E | 4 | 4E | 5 | 5E | 6 | 6E |
| 0° ถึง 90° | -0.85 | -0.9 | -1.3 | -2.0 | -0.7 | -1.0 | -0.85 | -0.9 | 0.75 | 1.15 | -0.55 | -0.8 |

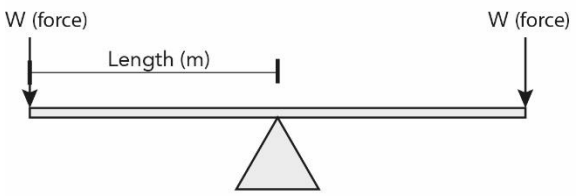
ตาราง 3-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร $C_p C_g$ สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับพื้นที่ ผิวทุกด้านของอาคารพร้อมกัน

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง. มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, 2550.

หมายเหตุ ตารางที่ 3-3

- อาคารจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านลมได้ในทุกทิศทาง โดยที่ทั้ง 4 มุมของอาคารต้องได้รับการพิจารณาให้เป็นมุมที่รับแรงลม (windward corner) ตามรูป แรงลมที่กระทำต้องพิจารณาแยกเป็นแรงกระทำกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าแรงกระทำต่าง ๆ รวมทั้งแรงบิดที่เกิดขึ้นกับระบบโครงสร้าง
- สำหรับหลังคาที่มีองศาความชันเป็นค่าอื่นที่ไม่ได้แสดงไว้ในตาราง ให้เทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อคำนวณหาค่า $C_p C_g$ จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง
- สัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าบวก แสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งเข้า และตั้งฉากกับพื้นผิว ส่วนสัมประสิทธิ์ที่ เป็นค่าลบแสดงถึงแรงกระทำที่พ่อออกและตั้งฉากกับพื้นผิว

### 1.8. หลักคำนวณโมเมนต์



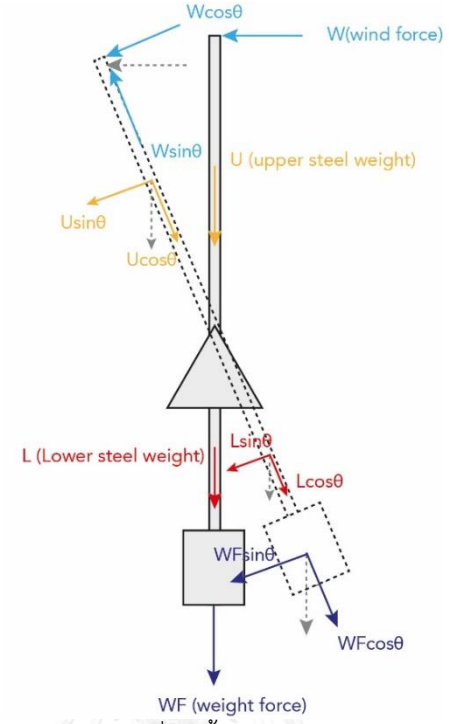

รูป 3-19 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนคาน

ศาลาเห็นลมมีส่วนของโครงสร้างที่เคลื่อนไหวได้โดยมีข้อต่อทำหน้าที่เป็นจุดหมุน การออกแบบเกี่ยวข้องกับหลักการคำนวณโมเมนต์ทางฟิสิกส์เข้ามาเกี่ยวข้อง โมเมนต์ของแรง (moment of force) หรือโมเมนต์ (moment) คือ ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุหมุนไปรอบจุดหมุน ในที่นี้ใช้หน่วยของแรงเป็น กิโลกรัม ในลักษณะที่คานสมดุลจะมีโมเมนต์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเล็มนาฬิกาเท่ากัน โดยสูตรการหาโมเมนต์ของแรง คือ

| โมเมนต์ | = | แรง x ระยะตั้งฉาก |
|---|---|---|
| (กิโลกรัม (แรง)-เมตร) | | (กิโลกรัม) (เมตร) |

โครงสร้างเสาของศาลาเห็นลมจะมีจุดหมุนอยู่ตรงกลางด้านปลายถ่วงด้วยลูกตุ้มน้ำหนักเพื่อดึงโครงสร้างให้กลับมาตั้งตรง โดยใช้การคำนวณสมดุลของโมเมนต์ทวนเข็ม และตามเข็มได้ เพื่อ

กำหนดองศาที่โครงสร้างเอียงได้มากที่สุด ดังรูป 3-20 แสดงให้เห็นถึงการแตกแรง เมื่อโครงสร้างของศาลาเอียงแรงที่นำมาคำนวณคือ แรงลม น้ำหนักตุ้มถ่วง น้ำหนักของโครงเหล็กส่วนด้านบนและล่าง




รูป 3-20 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างเสาศาลาเห็นลม

**ข้อต่อ (joint)**

ข้อต่อโครงสร้างอาคารมีหน้าที่เชื่อมต่อชิ้นส่วนประกอบของโครงสร้างเข้าด้วยกัน และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวเมื่อลมพัดผ่าน ชนิดของข้อต่อมีผลกำหนดทิศทางและเอื้อให้โครงสร้างเคลื่อนไหว ยกตัวอย่างเช่น Hinge joint ควบคุมทิศทางการเคลื่อนไหวในลักษณะเป็นทิศทาง หรือ Ball joint ที่สามารถกำหนดให้เคลื่อนไหวได้ทุกทิศทาง

**1. ชนิดของข้อต่อ**

1.1. Pivot Joint คือ ข้อต่อที่มีลักษณะเป็นแกนหรือเดือย โดยอีกชิ้นส่วนมีลักษณะคล้ายเบ้า หรือวงแหวน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวหมุนตามแนวเดือย

1.2. Hinge joint คือ ข้อต่อลักษณะแบบบานพับ มีจุดหมุนเป็นแกนที่ข้อต่อ โดยสามารถเคลื่อนไหวได้ตั้งแต่ 0-360 องศา

1.3. Ball joint คือ ข้อต่อที่มีลักษณะเป็นหัวลูกบอล ซึ่งอยู่ในเบ้าที่ขนาดใหญ่กว่า สามารถให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ในลักษณะสามมิติในลักษณะ 360 องศา ซึ่งมีอิสระในการเคลื่อนไหวสูงสุด

1.4. Pin joint คือ ลักษณะของข้อต่อที่หมุนได้ โดยสามารถใช้อุปกรณ์ลูกปืนเพื่อช่วยลดแรงเสียดทานในการหมุน

**2. รูปแบบการเคลื่อนไหวจากข้อต่อ**

ชนิดของข้อต่อทำให้เกิดรูปแบบการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน ในการพิจารณาการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นจากข้อต่อจำแนกประเภทเป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. **ข้อต่อการเคลื่อนไหวแบบทิศทาง** หมายถึง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่เป็นในลักษณะแนวระนาบ คล้าย ๆ การเคลื่อนที่ของรถยนต์ โดยการออกแบบโครงสร้างเคลื่อนไหวในแบบทิศทางจะต้องอาศัยส่วนประกอบที่ช่วยลดแรงเสียดทางระหว่างวัตถุกับพื้น ยกตัวอย่าง เช่น ล้อ รถยนต์ และข้อต่อประเภท pin joint ที่จะทำให้หมุนได้ 360 องศา
2. **ข้อต่อการเคลื่อนไหวผ่านจุดหมุน** หมายถึง การเคลื่อนไหวของวัตถุที่มีลักษณะหมุนผ่านข้อต่อ pivot joint ,ball joint ,hinge joint และ pin joint โดยลักษณะรูปแบบและทิศทางการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับประเภทของข้อต่อ

**พื้นผิวอาคาร (surface)**

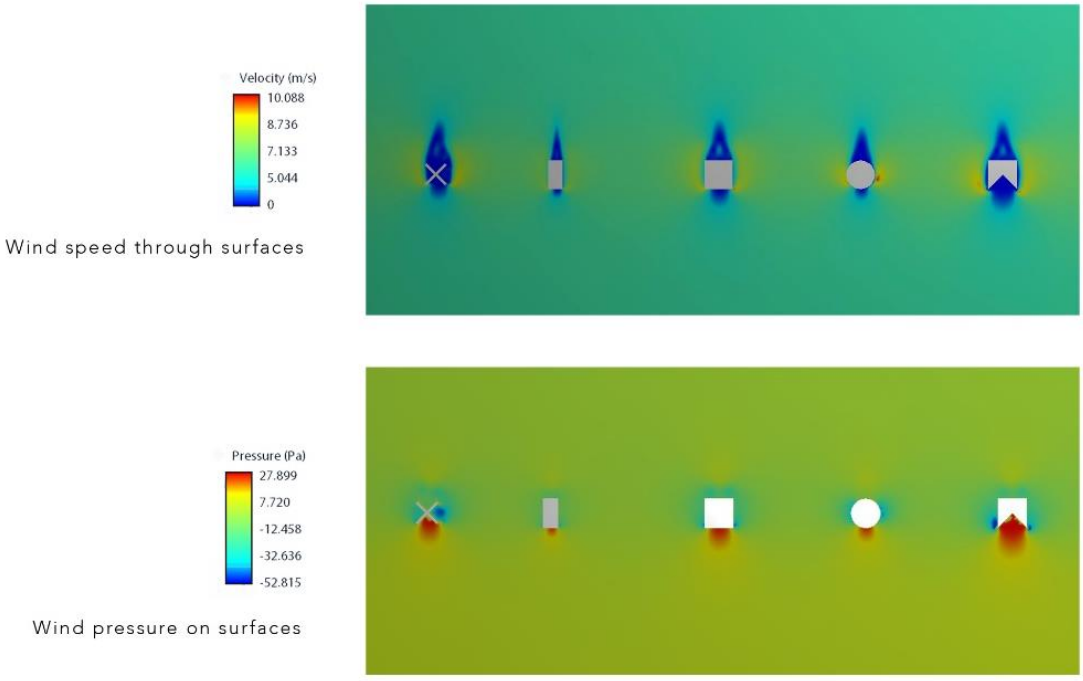
พื้นผิวอาคารโดยปกติทำหน้าที่ห่อหุ้มโครงสร้างเพื่อให้เกิดพื้นที่และรูปทรงอาคาร แต่พื้นผิวของศาลาเห็นลมจะมีหน้าที่รับแรงลม เพื่อทำให้เกิดแรงกดที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว การพิจารณาวัสดุและรูปทรงของพื้นผิวมีต่อการเกิดแรงกดจากลมที่แตกต่างกันไป โดยผู้วิจัยได้แบ่งชนิดพื้นผิวของอาคารตามลักษณะคุณสมบัติของการต้านลม

**1. ชนิดของพื้นผิวอาคาร**

1.1. **พื้นผิวแบบทึบ** คือ ชนิดของพื้นผิวที่ลมไม่สามารถผ่านได้เลย ยกตัวอย่างเช่น ผ้าใบ PVC แผ่นพลาสติก แผ่นโพลีคาบอร์เนต แผ่นซีเมนต์บอร์ด เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้ เมื่อลมเข้ามาปะทะทะลุผ่านไม่ได้จึงเกิดแรงดันที่พื้นผิวที่จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ พื้นผิวศาลาเห็นลมจะใช้วัสดุชนิดทึบเพื่อเกิดแรงกดบนพื้นผิวมากที่สุดเพื่อทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว

1.2. **พื้นผิวแบบโปร่ง** คือ ชนิดของพื้นผิวที่ลมผ่านได้ ยกตัวอย่างเช่น ผ้าโปร่ง แผ่นเหล็กฉลุลาย ระแนงไม้ เป็นต้น พื้นผิวชนิดนี้ยอมให้ลมผ่าน ทำให้ลดการต้านลม จะเกิดแรงกดที่บริเวณผิวของวัสดุได้ ทิศทางลมที่เกิดขึ้นเมื่อลมพัด

**2. รูปทรงของพื้นผิว**




รูป 3-21 เปรียบเทียบความเร็วและแรงกดของลมบนพื้นผิว เมื่อพัดผ่านรูปทรงต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปทรงของพื้นผิวทำให้เกิดแรงกดและทิศทางของลม ตามหลักของพลศาสตร์ โดยรูปทรงที่มีลักษณะต้านลมจะทำให้เกิดแรงกดที่พื้นผิวมาก และเกิดทิศทางลมที่เปลี่ยนไปเมื่อลมพัดผ่าน รูปทรงที่มีลักษณะลู่ลมจะเกิดแรงกดกดน้อยลงที่บริเวณพื้นผิว รูปที่ 3-21 แสดงการจำลองลมพัดผ่านรูปทรงชนิดต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมจำลอง CFD (computation fluid dynamic) แสดงให้เห็นถึงความเร็วและแรงกดจากลม เมื่อพัดผ่านรูปทรงต่าง ๆ

# บทที่ 4
# การออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลม

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยเชิงออกแบบ เพื่อพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหวได้ด้วยแรงลมธรรมชาติ วิธีการวิจัยอยู่ในแนวทางของการออกแบบและทดลององค์ประกอบของอาคาร ในส่วนของโครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิว เพื่อทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวไปตามแรงลมได้ ท้ายที่สุดของการทดลอง คือ การก่อสร้างศาลาเห็นลม เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้จริงของการก่อสร้าง พร้อมทั้งประเมินผลถึงวิธีการออกแบบว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่อย่างไร

**ขอบเขตของการออกแบบศาลาเห็นลม**

การออกแบบศาลาเห็นลมในวิทยานิพนธ์นี้ พัฒนาโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวได้ เมื่อลมพัดมา โดยมีขอบเขตในการออกแบบใน 3 ส่วนคือ 1). โครงสร้าง 2). ข้อต่อ และ 3). พื้นผิว กำหนดรูปแบบการเคลื่อนไหวให้เกิดในลักษณะหมุนผ่านจุดหมุน ข้อต่อที่บริเวณจุดหมุนทำหน้าที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหว ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบเคลื่อนไหวใน 3 มิติที่เอียง 0-180 องศารับลมได้ทุกทิศทาง ดังรูป 3-16 เพื่อรองรับลมที่พัดมาได้จากทุกทิศทาง และทำให้รูปทรงที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของโครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างหลากหลาย โครงสร้างจะต้องกลับมาตั้งตรงได้เมื่อไม่มีลมพัดมา ด้วยการถ่วงน้ำหนักที่โครงสร้างด้วยลูกตุ้มถ่วงที่ทำมาจากคอนกรีตหล่อ ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่จะเป็นตุ้มถ่วง เพราะมีน้ำหนักมากกว่าวัสดุชนิดอื่นในปริมาตรที่เท่ากัน

ขอบเขตของการใช้วัสดุควบคุมตัวแปรในส่วนของวัสดุโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง โครงสร้างเสาเลือกใช้เหล็กกล่อง เพราะเป็นวัสดุชนิดแข็งและน้ำหนักเบา ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยคุณสมบัติของวัสดุ ถึงแม้ว่าคนมักจะนึกถึงวัสดุไม้ไผ่ว่าทำให้เกิดการเคลื่อนไหวโดยคุณสมบัติของวัสดุได้ แต่ผู้วิจัยต้องการให้เกิดการออกแบบโครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิวที่ทำงานประสานกัน เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เหล็กกล่องจึงมีความเหมาะสม ในขั้นตอนออกแบบของวิทยานิพนธ์นี้

พื้นผิวใช้วัสดุชนิดทึบ เพื่อให้เกิดการต้านลมและทำให้เกิดแรงกดที่บริเวณพื้นผิวอาคารมากที่สุด ผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุผ้าใบไวนิลที่มีลักษณะทึบ บางและมีน้ำหนักเบา เพื่อให้เกิดแรงที่เกิดจากตัวน้ำหนักวัสดุให้น้อยที่สุด นอกจากนั้นพื้นผ้าใบไวนิลยังมีราคาถูกกว่าวัสดุผ้าใบชนิดอื่นในท้องตลาด ทำให้เป็นการลดราคาค่าก่อสร้างศาลาเห็นลม

**ขั้นตอนการออกแบบและก่อสร้างศาลาเห็นลม**

การออกแบบศาลาเห็นลม เพื่อให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวมีขั้นตอนของวิธีการออกแบบและพัฒนาดังต่อไปนี้

1. **พื้นที่ตั้งและศึกษาบริบท** ผู้วิจัยทำการเลือกพื้นที่ที่รับรู้ได้ถึงลม เพื่อใช้เป็นพื้นที่กรณีศึกษาในการวัดแรงลมและเป็นพื้นที่ตั้งของศาลาเห็นลมที่จะทำการก่อสร้าง
2. **การพัฒนาโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหว** โดยพัฒนาองค์ประกอบของศาลาเห็นลมทั้ง 3 ส่วน โดยเริ่มต้นจาก การออกแบบพื้นผิวที่ต้านลมได้มากที่สุด การออกแบบข้อต่อที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหว และ ออกแบบคำนวณโครงสร้างที่จะทำให้กลับมาตั้งตรงได้ตามลำดับ โดยการพัฒนาในแต่ละลำดับที่มีตัวแปรเกี่ยวข้องน้อยไปถึงมาก และค่อย ๆ จำกัดตัวแปรของการคำนวณโครงสร้างที่มีตัวแปรเกี่ยวข้องมาก
3. **การออกแบบพื้นที่ศาลาเห็นลม** นำโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวที่ได้ทำการพัฒนา มาออกแบบพื้นที่ของศาลาเห็นลม โดยออกแบบการจัดเรียงเสาที่เคลื่อนไหวบนผังรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพให้การรับลมได้มากที่สุด
4. **การก่อสร้างศาลาเห็นลม** นำแบบที่ได้พัฒนาและสรุปเพื่อก่อสร้างจริงในพื้นที่กรณีศึกษา เพื่อศึกษาความเป็นไปได้จริงของการก่อสร้างโครงสร้างที่เคลื่อนไหว และ พิสูจน์การคำนวณโครงสร้างที่ได้นำเสนอ
5. **ประเมินผลการทดลองออกแบบศาลาเห็นลม** ทำการประเมินผลความเป็นไปได้โครงสร้างที่เคลื่อนไหวของศาลาเห็นลม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**พื้นที่ตั้งและการศึกษาบริบท**

การออกแบบศาลาเห็นลมพิจารณาเลือกพื้นที่ที่มีลมสามารถรับรู้ได้ในประเทศไทย ตัวอย่าง เช่น ชายทะเล บนยอดเขา ท้องทุ่ง นาเกลือ ช่องว่างระหว่างอาคาร เป็นต้น ในท้องทุ่งนามีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งมีลมพัดผ่านอยู่เสมอ และมีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตคนไทย เพราะในอดีตมีการทำกสิกรรมมาอย่างยาวนาน ในปัจจุบันข้อมูลจากกรมการข้าว แสดงให้เห็นว่าในปี 2556-2557 มีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 64.4 ล้านไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 20 ของพื้นที่ประเทศไทย พื้นที่นาจึงมีความสำคัญกับคนไทย

ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ตั้งศาลาเห็นลม ที่ท้องทุ่งนา บริเวณรังสิตคลองสิบ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ในอดีตพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงมีพระราชดำริให้ขุดคลองชลประทานขึ้นในบริเวณนี้เพื่อผันน้ำสำหรับการเกษตรและการกสิกรรม เรียกว่า “คลองรังสิต” ใน *รายงานการศึกษาฉบับกลางของโครงการวาง และปรับปรุงผังเมือง หนองเสือ-คลองหวง-ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี* โดยบริษัท เออร์เบิ้น สเปซ จำกัด ได้ศึกษาข้อมูลพื้นที่บริเวณคลองรังสิต เพื่อเสนอแนวทางพัฒนาในอนาคต ได้แสดงข้อมูลว่าบริเวณอำเภอหนองเสือ คลองสิบ ยังเป็นพื้นที่ ๆ ทำเกษตรกรรมมากที่สุด เมื่อเทียบกับอำเภออื่น ผู้วิจัยจึงเลือกทุ่งนาบริเวณนี้เป็นพื้นที่กรณีศึกษาสำหรับก่อสร้างศาลาเห็นลม

รูป 4-1 ท้องนาที่รังสิตคลองสิบ

**1. ลักษณะทั่วไปของอำเภอหนองเสือ**

1.1. ขนาดพื้นที่ 413.632 ตร.กม.

1.2. จำนวนประชากร 53,061 คน (พ.ศ. 2559)

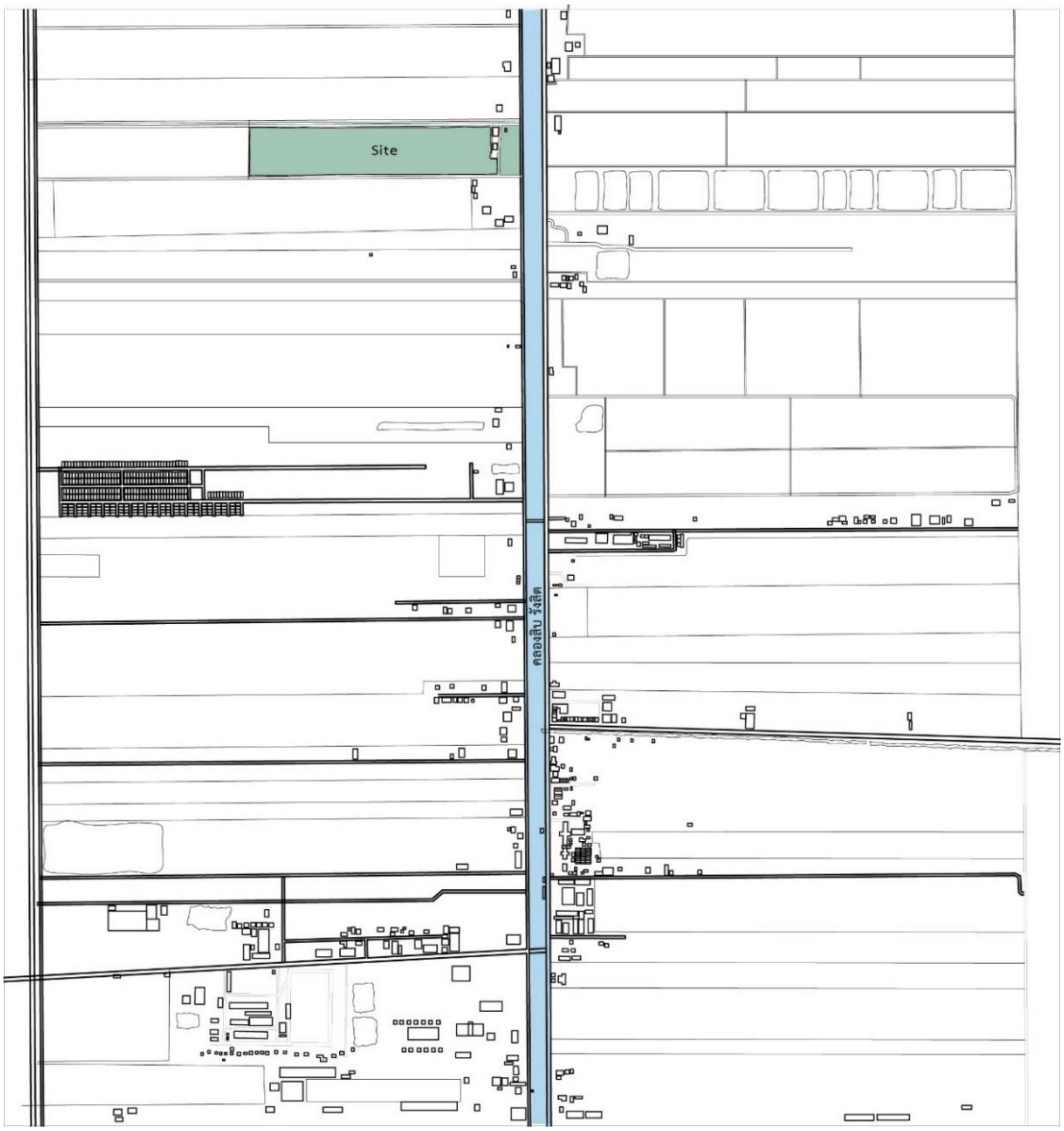
1.3. ความหนาแน่นประชากร 128.28 คน/ตร.กม.

## 2. วิเคราะห์พื้นที่ตั้ง

2.1. **ภาพถ่ายทางอากาศ** โดย Google map แสดงลักษณะกายภาพของพื้นที่

รูป 4-2 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณ อำเภอหนองเสือ

## 2.2. ผังอำเภอเมืองหนองเสือ

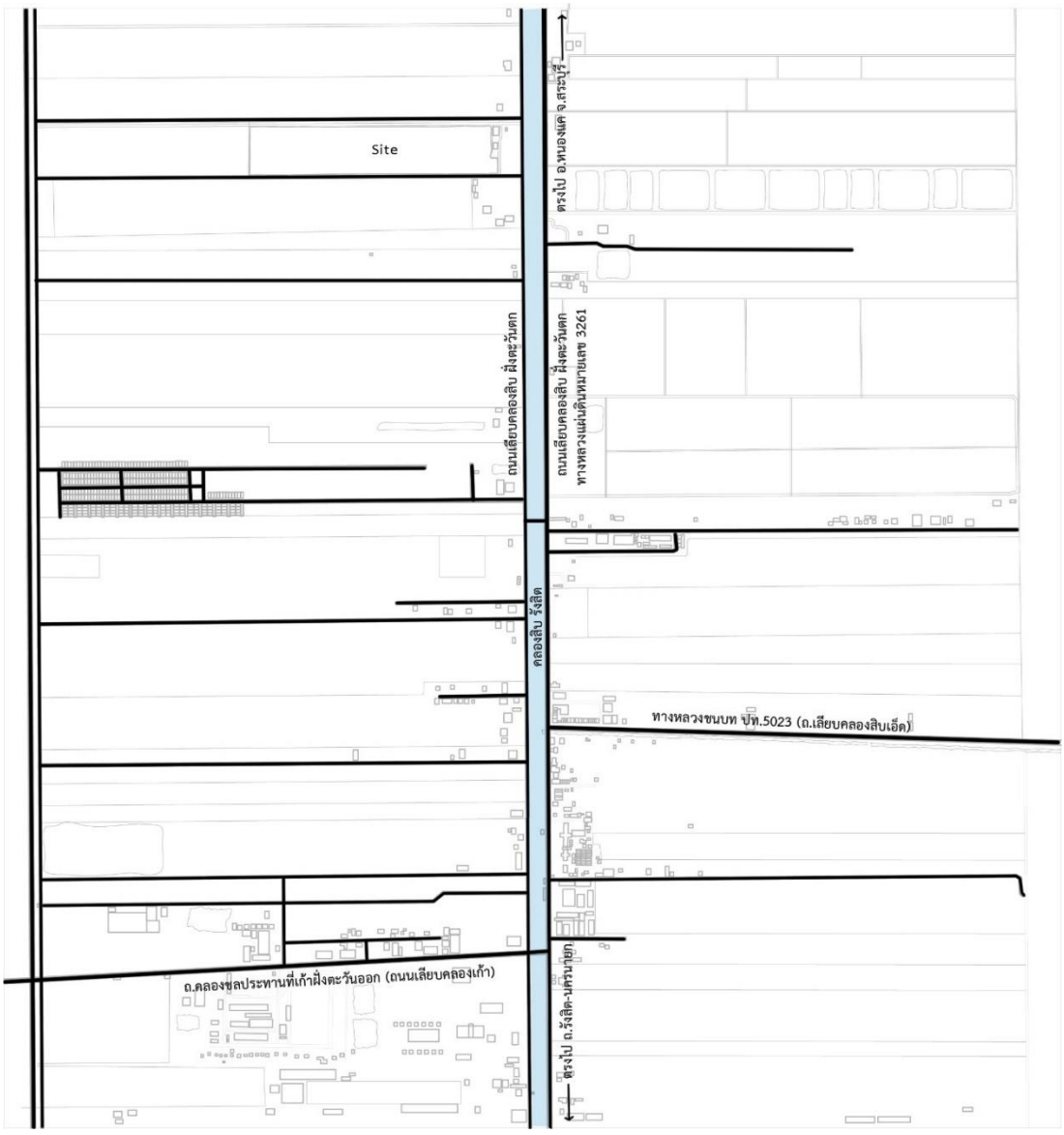



รูป 4-3 แบบผังอำเภอเมืองหนองเสือ

**2.3. แบบผังถนนในบริเวณอำเภอหนองเสือ**

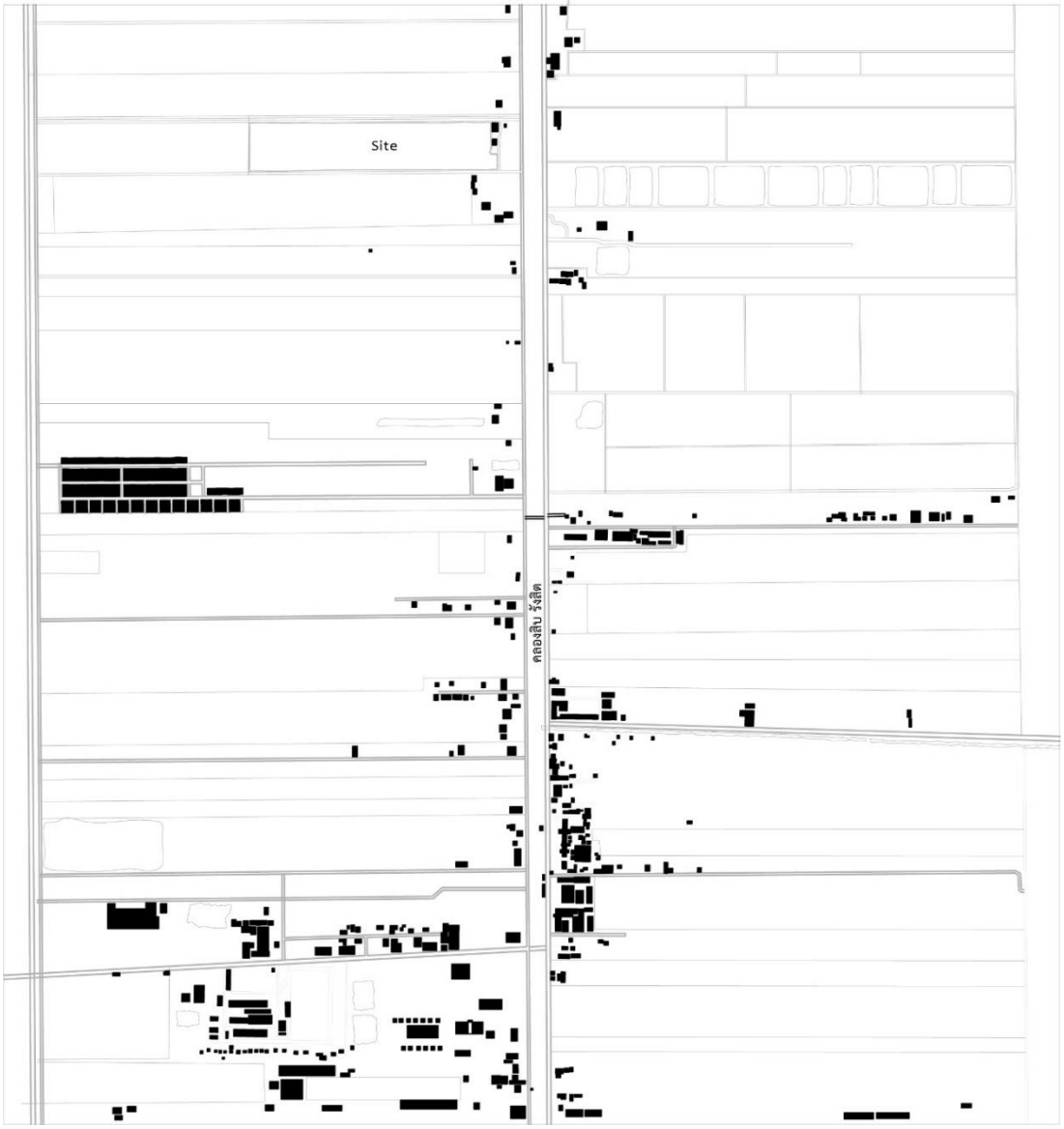
2.3.1.**ถนนสายหลัก** ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3261 (ถนนเลียบคลองสิบ)

2.3.2.**ถนนสายรอง** ถนน รพช.ปท.3221 (ถนนเลียบคลองแปด), ถนนคลองชลประทานที่เก้าฝั่งตะวันออก (ถนนเลียบคลองเก้า), ทางหลวงชนบท ปท.5023 (ถนนเลียบคลองสิบเอ็ด)



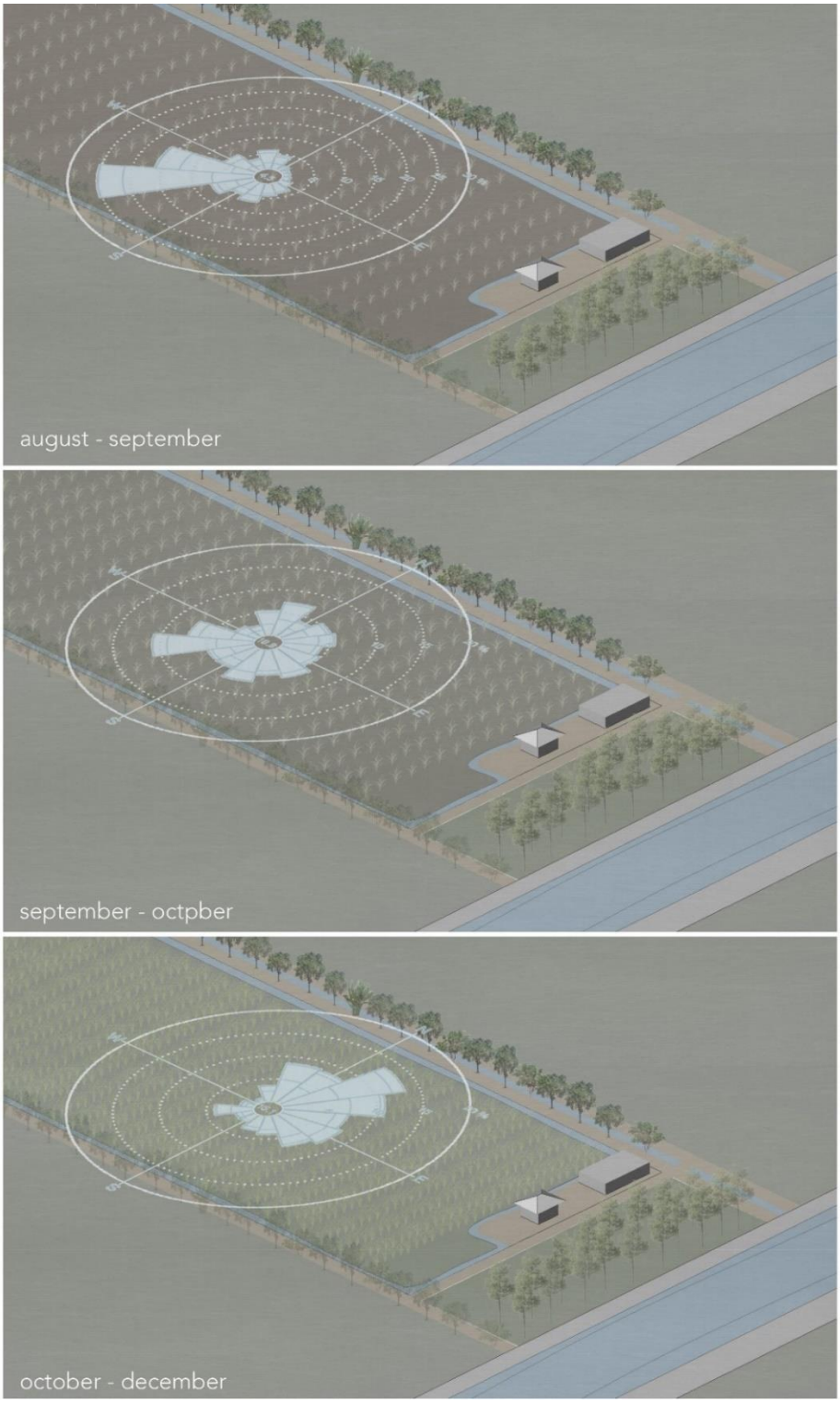

รูป 4-4 แบบผังถนนในบริเวณอำเภอหนองเสือ

## 2.4. Figure and Ground




รูป 4-5 Figure and Ground

**3. บริบทลมกับนาที่คลองสิบ**




รูป 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างลมกับการทำนา

ลม จะพัดผ่านทุ่งนาในช่วงเวลากลางวัน โดยเรารับรู้ลมได้ชัดเจน เพราะลักษณะของทุ่งนาเป็นพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการปลูกข้าวนาปี ซึ่งใช้เวลาปลูกประมาณ 120 วันกับ ปริมาณความเร็วลมโดยข้อมูลจากการสำรวจของกรมอุตุนิยมวิทยาในปี 2558 ดังในรูปที่ 4-6 ปริมาณลมที่พัดมาในช่วงเดือน สิงหาคม ถึง ธันวาคม พบว่าช่วงที่ข้าวเริ่มปลูกข้าวในเดือนสิงหาคมถึงกันยายน จะมีลมพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นส่วนใหญ่ ในเดือนกันยายนถึงตุลาคม ลมจะพัดมาเฉลี่ยในหลายทิศทาง โดยทิศตะวันตกเฉียงใต้ก็ยังเยอะที่สุด และสุดท้ายในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม ลมได้เปลี่ยนทิศทางพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นลมหนาวในช่วงเวลานั้น แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการปลูกข้าวกับทิศทางลมที่พัดมา

ศาลาเห็นลมที่จะตั้งอยู่ในท้องนาจะตอบสนองลมในแต่ละทิศทางที่พัดผ่านมาจะทำให้เกิดรูปทรงของอาคารที่เปลี่ยนไป ซึ่งเมื่อทิศทางลมในแต่ละเดือนเปลี่ยนแปลงไปก็จะมีผลต่อรูปทรงของอาคารด้วยเช่นกัน ทำให้ศาลาเห็นลมที่จะสร้างขึ้นไม่ใช่เพียงตอบสนองต่อลักษณะของพื้นที่เท่านั้น แต่ยังเป็นการตอบสนองต่อช่วงเวลา หรือฤดูกาล ที่ทำให้มีผลต่อการรับรู้สถาปัตยกรรมอีกด้วย

**การพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหว**

การออกแบบโครงสร้างที่เคลื่อนไหวพัฒนาองค์ประกอบของอาคารทั้ง 3 ส่วนที่ได้กำหนดขอบเขตไว้ โดยแต่ลงองค์ประกอบทำงานประสานกันเพื่อให้โครงสร้างเกิดการเคลื่อนไหว ส่วนพื้นผิวมีหน้าที่รับแรงลมเพื่อให้เกิดแรงกดจากลมที่จะทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว ส่วนข้อต่อ ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนเพื่อเอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหว และกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหว ส่วนของโครงสร้าง เป็นส่วนที่จะทำให้เห็นการเคลื่อนไหว ความสัมพันธ์ระหว่างระยะของโครสร้างจึงมีผลต่อการเคลื่อนไหว

ลำดับของการออกแบบองค์ประกอบ เริ่มต้นจากการออกแบบพื้นผิวอาคาร ข้อต่อ และโครงสร้าง ตามลำดับ การออกแบบพื้นผิวอาคาร เป็นจุดที่เริ่มต้น เพราะสามารถควบคุมตัวแปรได้ง่ายที่สุดเพราะมีตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้องน้อย โดยผลลัพธ์ของรูปทรงพื้นผิวที่ได้ จะนำมาเป็นตัวแปรควบคุมในการออกแบบโครงสร้างในลำดับต่อไป

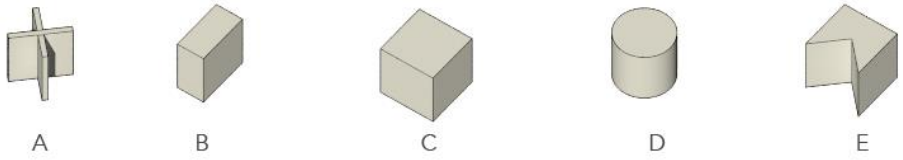
**1. การออกแบบพื้นผิวอาคาร**

พื้นผิวของศาลาเห็นลม ทำหน้าที่เป็นส่วนที่รับลมเพื่อให้เกิดแรงกดจากลม (pressure) ให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดแรงผลักที่จะทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวเมื่อลมพัดมา วิธีการออกแบบรูปทรงพื้นผิว มีเกณฑ์ในการคัดเลือกแบบที่จะนำไปพัฒนาต่อคือ จะต้องมีประสิทธิภาพในการรับลม เพื่อหา

ให้เกิดแรงกดมากที่สุด และใช้ปริมาณพื้นผิวน้อยที่สุด เพื่อลดค่าก่อสร้างของอาคาร และทำให้โครงสร้างน้ำหนักน้อยลงซึ่งจะมีผลในการคำนวณหาขนาดลูกตุ้มถ่วงต่อไป

ผู้วิจัยออกแบบรูปทรงของพื้นผิวให้อยู่ภายในขอบเขต 1x1x1 เมตร จำนวนทั้งหมด 5 แบบดังรูปที่ 4-7 เพื่อนำไปทดลองหาแรงกดจากลมที่เกิดขึ้นผ่านการจำลองอุโมงค์ลมด้วยโปรแกรม Autodesk Flow Design เพื่อเปรียบเทียบและศึกษาแรงกดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิว โดยมีตัวแปรในการทดลองดังต่อไปนี้

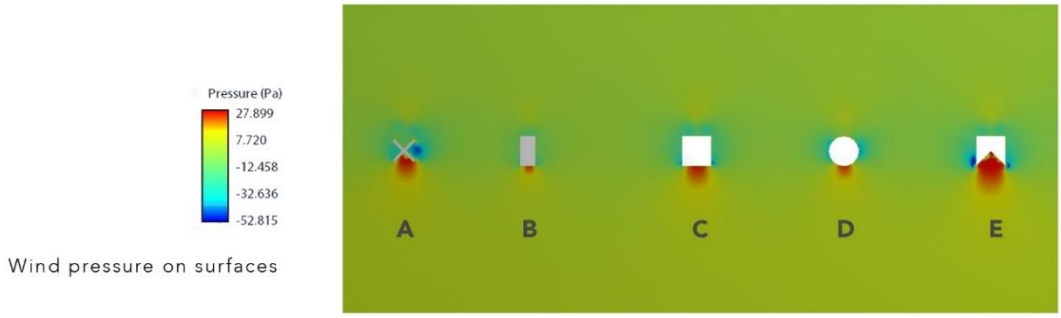
**ตัวแปรต้น** รูปทรงของพื้นผิว
**ตัวแปรตาม** แรงกดบนพื้นผิว
**ตัวแปรควบคุม** ความเร็วลมที่ 3.35 เมตรต่อวินาที, ชนิดของวัสดุพื้นผิว, ขอบเขตของพื้นผิว




รูปที่ 4-7 รูปทรงของพื้นผิวที่นำมาจำลองแรงลม

จากการทดลองจำลองอุโมงค์ลมด้วยโปรแกรม Autodesk Flow Design แสดงให้เห็นแรงกดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว ซึ่งมีหน่วยเป็น Pa[7] โดยสีแดงเกิดแรงกดมากที่สุด ส่วนสีน้ำเงินเกิดแรงดูดมากที่สุด พบว่า รูปแบบที่เกิดแรงกดที่พื้นผิวมากคือ แบบ A, C, E โดยในรูปทรงแบบ A ซึ่งมีรูปทรงที่เป็นสี่แฉก เกิดลมดูดที่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวที่รับลมทำให้เกิดการเคลื่อนไหวมากขึ้น และนอกจากนั้นแรงดูดในรูปแบบ A ที่เกิดขึ้นบริเวณด้านขวาของพื้นผิวจะทำให้เกิดการหมุนไปด้วยแรงลม รูปทรงแบบ C กล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เกิดแรงกดบริเวณผิวหน้าของรูปทรงมาก โดยเกิดแรงดูดบริเวณผิวข้างเล็กน้อย รูปแบบ B กับ D เกิดแรงกดที่พื้นผิวน้อยที่สุดเพราะ มีพื้นที่ผิวส่วนที่ปะทะกลับลมน้อย และกดแรงดูดบริเวณผิวข้างเล็กน้อยซึ่งเกิดจากรูปทรงที่ลู่ลม

[7] 1 Pa(ปาสคาล) = 0.101972 กิโลกรัม(แรง)/ตารางเมตร




รูปที่ 4-8 การจำลองแรงกดจากลมในแต่ละรูปทรงของพื้นผิว

จากเกณฑ์การคัดเลือกที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้คือ ประสิทธิภาพในการรับลมที่ทำให้เกิดแรงกด และปริมาณวัสดุของพื้นผิวที่ใช้ให้น้อยที่สุด ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้พื้นผิวรูปทรงแบบ A ที่เกิดทั้งแรงกดและแรงดูดบนพื้นผิว เพราะเกิดแรงมากที่สุดที่จะทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว เมื่อเทียบปริมาณของพื้นผิววัสดุแบบ A, C, E พบว่าเป็นรูปทรงที่ใช้พื้นที่ผิวน้อยที่สุด ทำให้รูปทรงแบบ A เหมาะสมที่สุดในการนำไปพัฒนาต่อ โดยพื้นผิวของศาลาเห็นลมที่เป็นวัสดุผ้าใบไวนิลที่ทึบ จะถูกออกแบบให้ผ้าใบยึดติดกับโครงเหล็กฉาก ขนาด ¾ นิ้ว x ¾ นิ้ว ที่เชื่อมเตรียมไว้ให้เกิดรูปทรงพื้นผิวแบบ A ที่มีลักษณะเป็น 4 แฉกเพื่อให้ดักลมได้ทุกทิศทาง

## 2. การออกแบบข้อต่อ

การออกแบบศาลาเห็นลม กำหนดขอบเขตในการใช้วัสดุโครงสร้างเป็นเหล็กกล่อง ซึ่งเป็นวัสดุประเภทแข็งที่คุณสมบัติของวัสดุไม่สามารถเคลื่อนไหวให้เห็นลมได้ ข้อต่อโครงสร้าง จึงมีหน้าที่เอื้อให้โครงสร้างเคลื่อนไหวได้ โดยผู้วิจัยกำหนดขอบเขตรูปแบบของการเคลื่อนไหวในแบบสามมิติแนวสามแกน XYZ ที่ไม่เกิน 180 องศา ดังรูป 3-16 เพราะ ทำให้เห็นการเคลื่อนไหวได้ชัดเจน และตอบสนองต่อลมได้ในทุกทิศทาง ซึ่งใช้เพียงแค่การออกแบบข้อต่อก็สามารถทำให้เคลื่อนไหวได้ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์อื่น มากำหนดองศาการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง ผู้วิจัยเลือกพัฒนาข้อต่อประเภท Ball Joint เป็นขอบเขตในการออกแบบ เพราะข้อต่อชนิดนี้ทำให้รูปแบบของการเคลื่อนไหวในลักษณะ 3 มิติในทุกทิศทางที่ได้กำหนดขอบเขตของการออกแบบเอาไว้

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการออกแบบข้อต่อ Ball Joint แบ่งออกเป็นสองประเภท กล่าวคือ ข้อต่อที่จัดทำเองโดยผู้วิจัย และข้อต่อที่ประยุกต์อุปกรณ์ที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ โดยผู้วิจัยได้ควบคุมน้ำหนักที่ถ่วงบริเวณปลายของเสาที่เชื่อมกับข้อต่อ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนไหวของโครงสร้างจากข้อต่อทั้งสองชนิด ในส่วนแรกคือข้อต่อที่จัดทำโดยผู้วิจัย ได้เริ่มจากการประดิษฐ์ข้อต่อจากลูกเหล็กอะลูมิเนียมทรงกลม ซึ่งทำให้หน้าที่เป็นลูกบอล วางบนโครงเหล็กที่มั่นคงเป็นจุดหมุน โดยนำเหล็กกล่องเจาะทะลุตรงกลางลูกบอลเพื่อเป็นโครงสร้างเสา ผลที่เกิดขึ้น คือ

ข้อต่อดังกล่าวสามารถเกิดการเคลื่อนไหวได้ แต่บริเวณข้อต่อเกิดแรงเสียดทานมาก ซึ่งเกิดจากผิวสัมผัสของลูกบอลที่วางบนโครงมีผิวสัมผัสรองรับน้อย ทำให้เกิดการกระจายแรงเพียง 4 จุดเท่านั้น ทำให้น้ำหนักของตุ้มถ่วงเพื่อให้โครงสร้างกลับมาตั้งตรงไม่สามารถชนะแรงเสียดทานได้ จึงทำให้ข้อต่อประดิษฐ์เองไม่เหมาะสมในการใช้งานจริง แต่หากต้องการพัฒนาต่อ มีความเป็นไปได้ที่จะออกแบบเบ้ารองรับลูกบอลที่เฉลี่ยน้ำหนักได้ทั่วซึ่งจะทำให้การเคลื่อนไหวลื่นขึ้น

รูป 4-9 การทดลองทำจุดหมุนโดยการใช้ลูกบอลอะลูมิเนียม

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการออกแบบข้อต่ออีกรูปแบบหนึ่ง คือ การประยุกต์อุปกรณ์ที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะ Ball Joint จากการศึกษาอุปกรณ์ที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหว ผู้วิจัยพบว่าตลับลูกปืนตาเหลือก มีหน้าที่ลดแรงเสียดทานจากการเอียงหมุนได้ในทุกทิศทางของอุปกรณ์ในเครื่องจักร ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตลับลูกปืนตาเหลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรในการออกแบบ โดยนำท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรสอดกลางช่องตลับลูกปืน แต่เนื่องจากตลับลูกปืนผลิตจากเหล็กหล่อจะแตกหากเชื่อมด้วยไฟฟ้า เนื่องจากเกิดความร้อนมากเกินไป จึงจะต้องออกแบบบ่ารองรับให้พอดีตลับลูกปืนโดยไม่ต้องเชื่อมโครงสร้างเสากับตัวลูกปืน ผลที่เกิดขึ้น คือ ข้อต่อที่ออกแบบจากตลับลูกปืนตาเหลือก สามารถลดแรงเสียดทานเมื่อโครงสร้างเคลื่อนไหวได้ดี และไม่ต้านทานต่อ

แรงจากการถ่วงด้วยลูกตุ้มถ่วง ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวตามที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ได้จริง ซึ่งจะนำไปใช้ในการก่อสร้างศาลาเห็นลมต่อไป

รูปที่ 4-10 การทดลองทำจุดหมุนโดยการใช้ตลับลูกปืนตาเหลือก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3. การออกแบบโครงสร้าง**

โครงสร้างเสาของศาลาเห็นลมคือ ส่วนที่เกิดการเคลื่อนไหว ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการออกแบบ โดยการเคลื่อนไหวจะต้องเกิดขึ้นด้วยแรงลมธรรมชาติ และกลับมาอยู่ในลักษณะที่ตั้งตรงดังเดิมเมื่อลมหยุดนิ่งด้วยโครงสร้างเสาที่ถ่วงตุ้มน้ำหนักบริเวณปลายเสา เพื่อใช้แรงโน้มถ่วงมาทำให้โครงสร้างกลับมาอยู่ในรูปแบบตั้งตรงดังเดิมโดยไม่มีพึ่งอุปกรณ์เครื่องกล

**3.1. การออกแบบโครงสร้างด้วยหุ่นจำลอง**

การออกแบบโครงสร้างด้วยหุ่นจำลองทำเพื่อศึกษา และเปรียบเทียบรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของระยะสัดส่วนของโครงสร้างและพื้นผิว โดยผู้วิจัยต้องการออกแบบเพื่อหาระยะจุดหมุนที่จะทำให้เห็นการเคลื่อนไหวได้ชัดเจนมากที่สุด โดยจุดหมุนจะต้องอยู่ห่างจากจุดที่ถ่วงน้ำหนักน้อยที่สุด ผู้วิจัยจึงศึกษาความสัมพันธ์กันความยาวของเสา ตำแหน่ง และขนาดของพื้นผิวรับลม ตำแหน่งจุดหมุน ตำแหน่งและปริมาณของน้ำหนักที่ถ่วง โดยมีตัวแปรในการทดลองดังต่อไปนี้

**ตัวแปรต้น** ตำแหน่งของจุดหมุน ความยาวของพื้นผิวรับลม

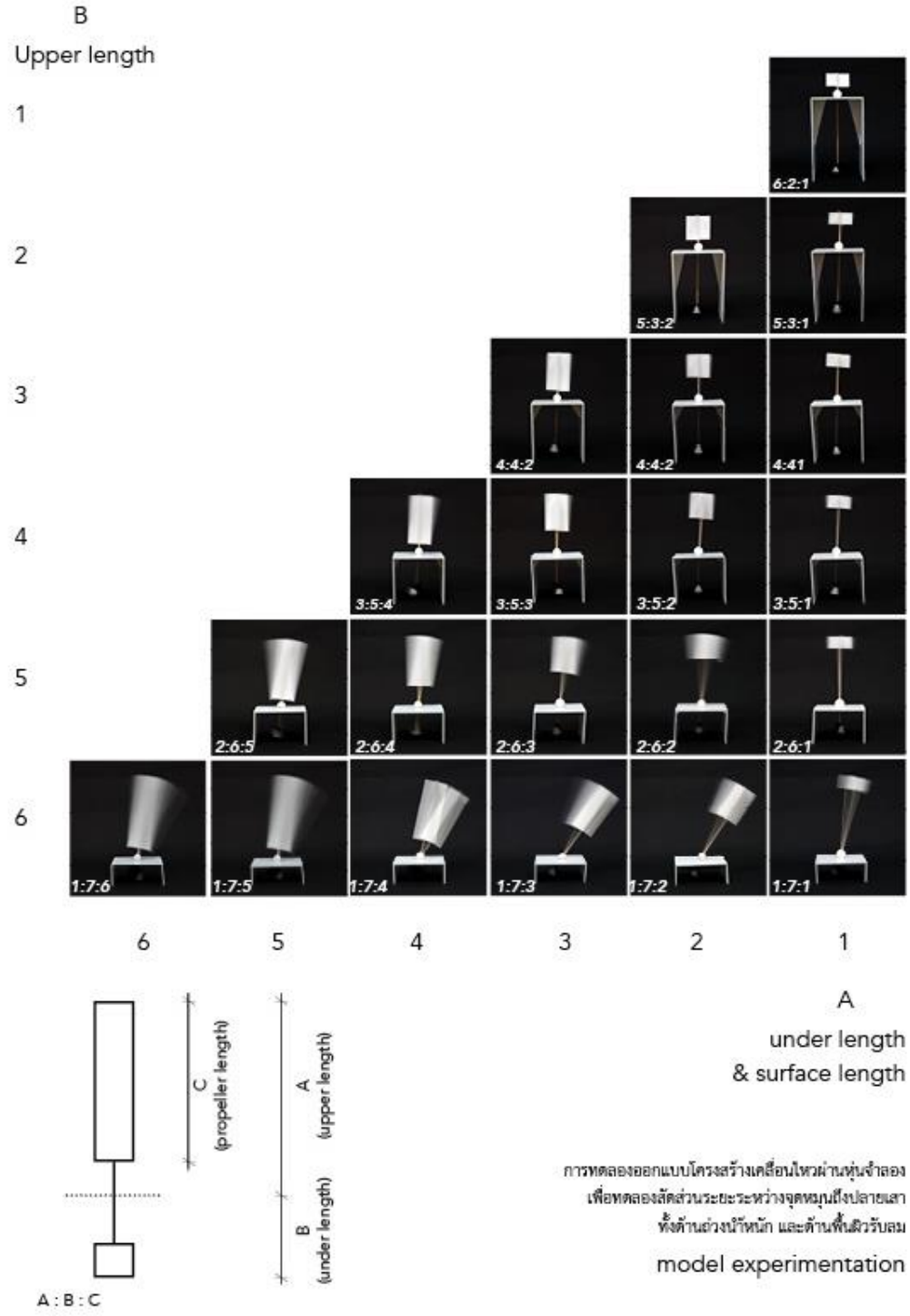
**ตัวแปรตาม** องศาการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง

**ตัวแปรควบคุม** ความยาวของเสา, น้ำหนักที่ถ่วง, ตำแหน่งตุ้มถ่วงที่บริเวณปลายเสา, ปริมาณความเร็วลมที่ 2 เมตรต่อวินาที[8], ความเร็วชัตเตอร์ในการบันทึกภาพที่ 10 วินาที

ในรูป 4-11 แสดงผลการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนความสัมพันธ์ของตำแหน่งระยะบนโครงสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[8] ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองนี้ วัดความเร็วจากพัดลมที่ผู้วิจัยใช้ในการทดลอง โดยใช้เพื่อพิจารณารูปแบบของการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นเท่านั้น ไม่ใช่การทดลองที่เกี่ยวข้องกับแรงลม จึงไม่มีการย่อขนาดของแรงลมตามการย่อขนาดของหุ่นจำลองโครงสร้าง




รูป 4-11 เปรียบเทียบผลการทดลองความสัมพันธ์ของจุดหมุน
และขนาดของพื้นผิวรับลมในโครงสร้างผ่านหุ่นจำลอง

เกณฑ์ในการเลือกสัดส่วนโครงสร้างเพื่อนำไปพัฒนาต่อ คือ โครงสร้างจะต้องเห็นการเคลื่อนไหวได้มากที่สุด หรือหมายถึงเกิดองศาที่เอียงได้มากที่สุด ทั้งนี้โครงสร้างเสาที่เอียงจะต้องกลับมาตั้งตรงได้เมื่อไม่มีลม และพื้นผิวที่ใช้ในการรับลมจะต้องน้อยที่สุดเพื่อทำให้เห็นส่วนของโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวได้มากที่สุด และช่วยลดปริมาณวัสดุของพื้นผิว

การทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนไหวของโครงสร้างศาลาเห็นลมผ่านหุ่นจำลอง พบว่ารูปแบบที่สัดส่วนของ ความยาวเสาส่วนบนกับส่วนล่างที่ 1:7 สามารถเห็นการเคลื่อนไหวของโครงสร้างได้ชัดเจนที่สุด แต่ในการทดลองจริงพบว่าบางครั้งโครงสร้างดังกล่าวไม่สามารถที่จะกลับมาตั้งตรงได้ดังเดิมด้วยการถ่วงด้วยน้ำหนักที่เท่ากันในบางครั้ง

สัดส่วนความยาวเสาส่วนบนกับส่วนล่างที่ 2:6 สามารถเคลื่อนไหวให้เกิดองศาได้มากทำให้เห็นการเคลื่อนไหวได้ชัดเจน และตุ้มน้ำหนักยังสามารถถ่วงกลับมาให้ตั้งตรงดังเดิมได้เสมอ ผู้วิจัยจึงพิจารณาว่าเป็นส่วนจึงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด ในส่วนความยาวของพื้นผิว โดยขนาดความยาวของพื้นผิวที่น้อยที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวได้ คือพื้นผิวที่มีความยาว 2 ส่วน ผู้วิจัยจึงเลือกโครงสร้างที่สัดส่วน **ความยาวเสาส่วนบน : ความยาวเสาส่วนล่าง : ความยาวพื้นผิว** ที่ **2 : 6 : 2** เพื่อนำมาพัฒนาในการออกแบบในรายละเอียดต่อไป

### 3.2. การออกแบบโครงสร้างด้วยการคำนวณ

การออกแบบโครงสร้างด้วยการคำนวณทางวิศวกรรม มีความจำเป็นในการออกแบบเพื่อคำนวณหาระยะของโครงสร้าง กำหนดขอบเขตองศาการเคลื่อนไหว และน้ำหนักตุ้มถ่วงที่เหมาะสมของศาลาเห็นลม ผ่านหลักการของการคำนวณแรงลมที่เกิดขึ้นจากความเร็วลมที่วัดมาได้ และหลักการโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง

#### 3.2.1. การคำนวณแรงลมออกแบบ

ผู้วิจัยได้ทำการวัดความเร็วลมผ่านอุปกรณ์วัดความเร็วลม หรือ แอนนิโมมิเตอร์ บนพื้นที่ตั้งศาลาเห็นลมในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 3.35 เมตรต่อวินาที โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 5.2 เมตรต่อวินาที[9] ซึ่งจะใช้ค่าความเร็วลมดังกล่าวมาใช้สำหรับการออกแบบด้วยการคำนวณ

จากสูตรหาแรงลมออกแบบ $p = I_w q C_e C_g C_p$ แทนค่า $I_w$ คือ ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3-1 ประเภทของศาลาเห็นลมเป็นอาคารที่อยู่ในหมวดประเภทของความสำคัญปกติจึงมีค่า $I_w$ อยู่ที่ 1

---

[9] จากการวัดความเร็วลมโดยผู้วิจัย ในช่วงเวลา 16.00 – 18.00 น. จำนวน 5 วันในเดือนมีนาคม บนพื้นที่กรณีศึกษา ในท้องนาบริเวณรังสิต คลองสิบ ที่จะทำการติดตั้งศาลาเห็นลม

ค่า $q$ คือหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม ในทีนี้ใช้ความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้ในพื้นที่ตั้งศาลาเห็นลม คือ 3.35 เมตร ต่อวินาที ที่ได้เลือกมาเพื่อทำการออกแบบมาทำการคำนวณด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$$q=\frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{g}\right)V^2$$

$$q=\frac{1}{2}\left(\frac{1.25}{9.806}\right)3.35^2$$

$$=\frac{1}{2}(0.127)11.22$$

$$= 0.7126 \text{ กิโลกรัม (แรง) / ตารางเมตร}$$

ค่า $C_e$ ดูค่าจากตารางที่ *3-2* มีค่าเท่ากับ *0.9*

ค่า $C_pC_g$ ดูค่าจากตาราง *3-3* โดยผู้วิจัยเลือกแรงในกรณีการพัดของลมขนาดกับแนวสันของอาคาร โดยเกิดแรงที่พื้นผิวอาคาร บริเวณ *1E* กับ *4E* ซึ่งมีค่าเท่ากับ *2.2*

โดยเมื่อนำทุกค่ามาแทนในสูตรแรงลม $p = I_w q C_e C_g C_p$ จะเป็นดังต่อไปนี้

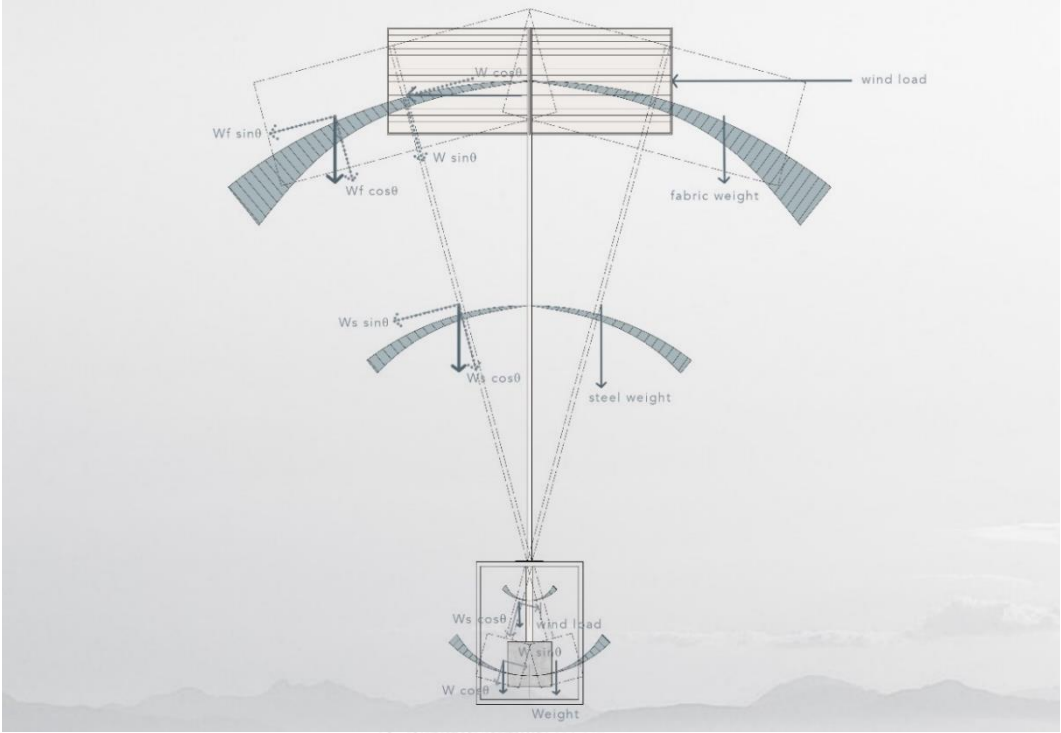
$$p = 1(0.7126)(0.9)(2.2)$$

$$= 1.411 \quad \text{กิโลกรัม (แรง) / ตารางเมตร}$$

จากการคำนวณแรงลมออกแบบสามารถหาแรงลมที่เข้ามากระทำกับอาคารทั้งหมดด้วยการนำไปคูณ กับพื้นผิวของอาคารในทิศทางที่รับลม ซึ่งมีพื้นผิว *0.96* ตารางเมตร ทำให้เกิด**แรงกดที่พื้นผิว** *1.411x0.96* **= *1.354* กิโลกรัม (แรง)** เพื่อใช้ในการคำนวณสมดุลของโมเมนต์เมื่อลมเข้ามากระทำ

โครงสร้างศาลาเห็นลมเคลื่อนไหวและกลับมาตั้งตรงด้วยการถ่วงน้ำหนักบริเวณปลายของเสา หลักการคำนวณโมเมนต์เพื่อคำนวณน้ำหนักตุ้มถ่วงที่เหมาะสม จากการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างทั้งหมด ประกอบด้วย แรงลมที่เข้ามากระทำ น้ำหนักโครงสร้าง และแรงที่เกิดจากน้ำหนักถ่วง

### 3.2.2. การคำนวณโมเมนต์




รูป 4-12 วิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเสาศาลาเห็นลม เมื่อเคลื่อนไหว

การออกแบบโครงสร้างในขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณโมเมนต์เพื่อหาน้ำหนักของตุ้มถ่วงในปริมาณที่เหมาะสม ที่จะทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว และถ่วงให้กลับมาตั้งตรงได้ จึงใช้วิธีการคำนวณโมเมนต์ทางฟิสิกส์เพื่อออกแบบ โดยควบคุมตัวแปร ความสูงของเสา,ระยะจุดหมุน,น้ำหนักเสา และองศาที่เอียงได้มากที่สุดคือ 15 องศา เพื่อควบคุมให้เกิดรูปทรงอาคารที่สามารถใช้งานได้ และแรงกดจากลมที่คำนวณได้ โดยการคำนวณจะทำให้เกิดผลลัพธ์ของการคำนวณ คือน้ำหนักของตุ้มถ่วงที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำมาคำนวณหาขนาดของตุ้มถ่วงคอนกรีต โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

โมเมนต์ทวน = โมเมนต์ตาม

(Wf sin15x2.5)+(Ws sin15 x 1.5)+(W cos15 x 2.5) = (Ws sin15 x 0.25)+(W sin15 x 0.5)

(4 x 0.25 x 25)+(4.08 x 0.25 x 1.5)+(1.354 x 0.95 x 2.5) = (0.81x0.25)+(W x 0.25 x 0.5)

2.79 + 1.58 + 3.21 = 0.063 + (W x 0.125)

W = 60.13 Kg : น้ำหนักของตุ้มถ่วง

จากการคำนวณทำให้ต้องใช้ลูกตุ้มคอนกรีตที่มีน้ำหนัก 60.13 กิโลกรัม ผู้วิจัยจึงออกแบบลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักด้วยคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ขนาด 29.5 x 29.5 x 29.5 เซนติเมตร จะทำให้มีน้ำหนักประมาณ 61.61 กิโลกรัม เพื่อใช้เป็นลูกตุ้มถ่วงในโครงสร้างศาลาเห็นลม

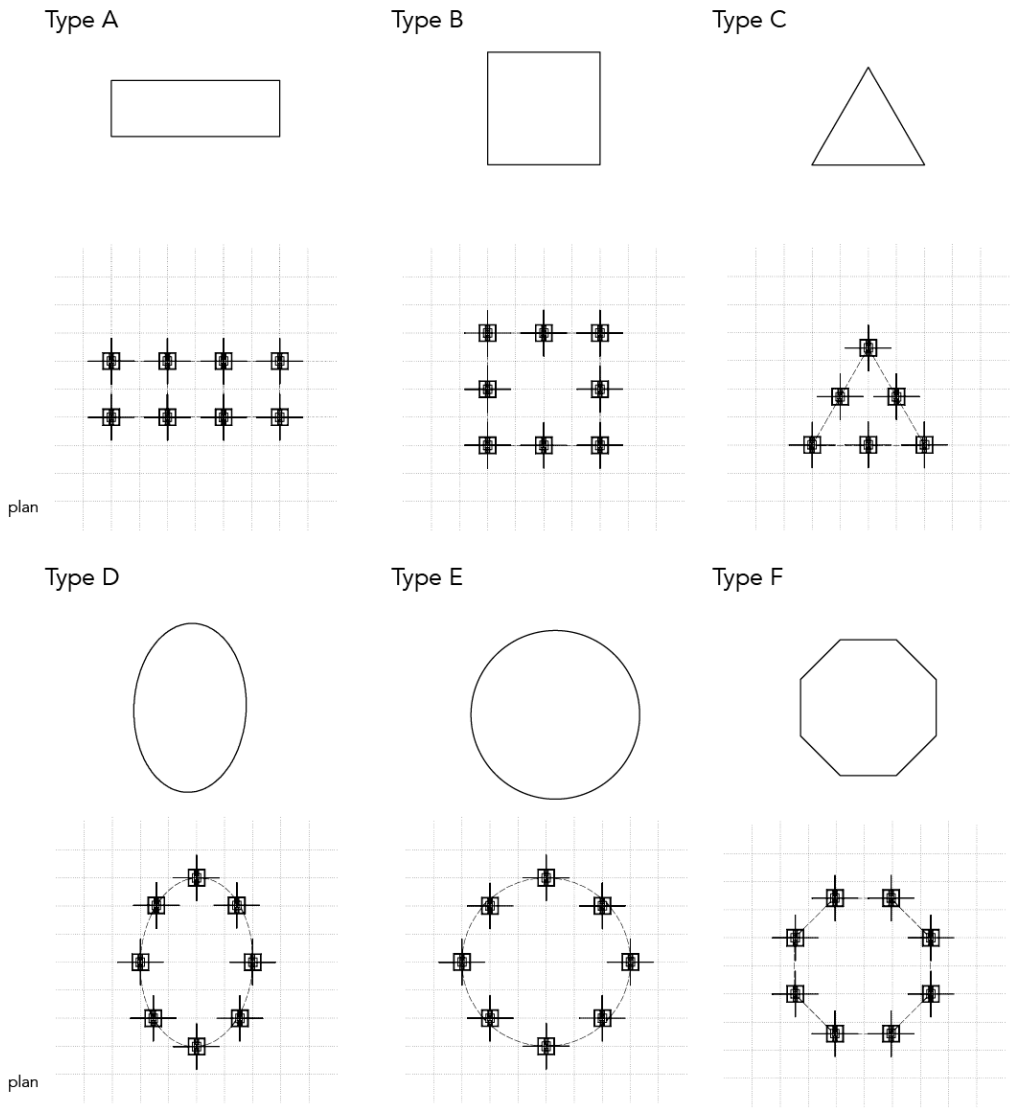
**การออกแบบพื้นที่ศาลาเห็นลม**

จากการพัฒนาส่วนโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวได้ด้วยแรงลม ในขั้นตอนนี้คือการออกแบบพื้นที่ของศาลาเห็นลม โดยพิจารณจากการจัดเรียงส่วนของเสาที่เคลื่อนไหวเพื่อกำหนดให้เกิดพื้นที่บนผังที่เป็นรูปร่างพื้นฐาน[10] คือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมผืนผ้า, สามเหลี่ยม, แปดเหลี่ยม, วงกลม, และวงรี ซึ่งเสาจะวางอยู่บนเส้นรอบรูป โดยผู้วิจัยนำการจัดเรียงบนผังแต่ละรูปแบบไปจำลองลมด้วยโปรแกรม Autodesk Flow Design ด้วยการจำลองลมที่ทำมุมกับผังรูปแบบต่าง ๆ ที่ 0, 45, 90 องศา เพื่อพิจารณาแรงกดที่เกิดขึ้นจากลมในแต่ละทิศทาง ในการออกแบบผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรเพื่อศึกษาดังต่อไปนี้

**ตัวแปรต้น** รูปทรงของผัง, ทิศทางของลมที่ทำมุม 0, 45, 90 องศา
**ตัวแปรตาม** แรงกดที่เกิดขึ้น, จำนวนเสาที่เกิดแรงกด
**ตัวแปรควบคุม** ระยะห่างของเสา 2 เมตร, ความเร็วลมที่จำลอง 3.35 เมตรต่อวินาที, จำนวนเสา 8 ต้น

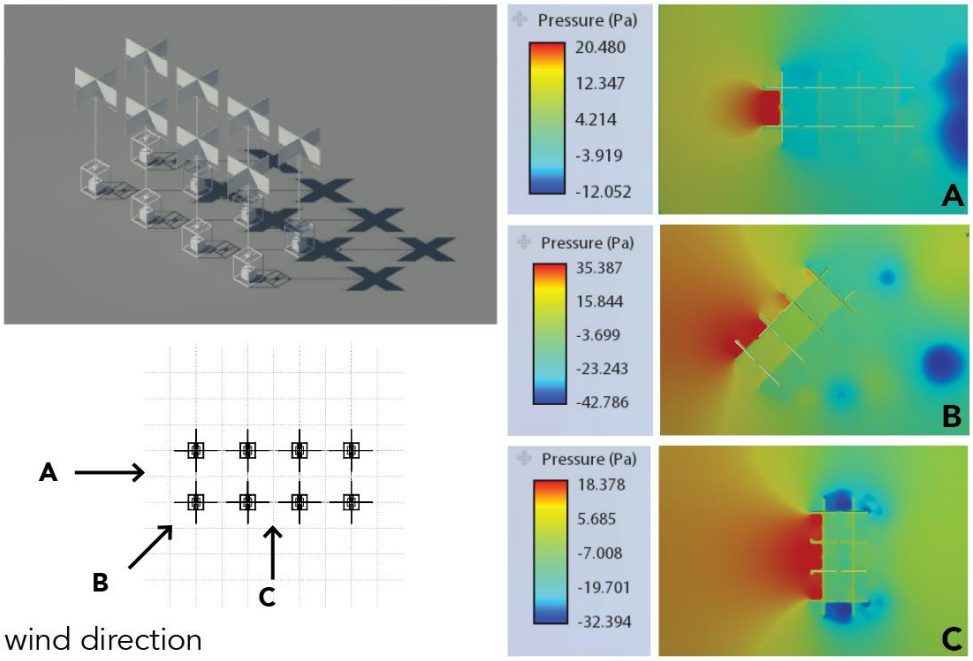
จากรูป 4-13 แสดงให้เห็นการจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวตามผังอาคารแต่ละชนิดจำนวน 6 แบบ โดยผู้วิจัยนำผังแต่ละแบบไปจำลองในอุโมงค์ลมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาหาแรงกดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว และจำนวนของโครงสร้างที่เคลื่อนไหวเมื่อลมพัดมาในแต่ละทิศ โดยผู้วิจัยพิจารณาว่าโครงสร้างเสาแต่ละอันเคลื่อนไหวหรือไม่ จากการพิจารณาแรงกดจากลมน้อยที่สุดที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวได้ในส่วนของการคำนวณ ซึ่งเกิดแรงกดที่ 1.41 กิโลกรัม(แรง) ต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 13.82 Pa ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาผลจำลองลมว่าแบบใดเกิดแรงกดที่พื้นผิวเกิน 13.82 Pa จึงจะนับจำนวนว่าเป็นโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวได้

[10] ผู้วิจัยได้อ้างอิงรูปแบบของรูปทรงพื้นฐาน ในเชิงการออกแบบผังจากหนังสือ *Architecture, Form, Space & Order* เขียนโดย Francis D. K. Ching




รูป 4-13 การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวในรูปร่างผัง 6 แบบ

**1. รูปแบบ A : ผังสี่เหลี่ยมผืนผ้า**



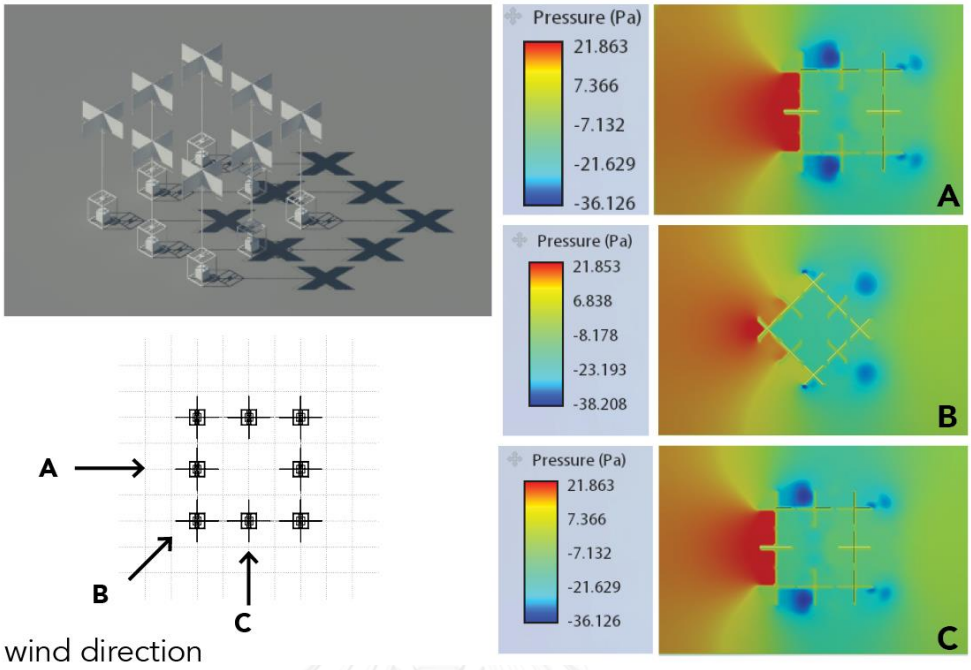

รูป 4-14 การจัดเรียงรูปแบบ A และการจำลองแรงกดจากลม

**1.1. คำอธิบาย** การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวให้อยู่บริเวณเส้นรอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

**1.2. การจำลองแรงกดจากลม**

- แรงลมที่ 0 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บริเวณพื้นผิว 20.480 Pa และเกิดแรงดูดเล็กน้อยที่ด้านหลังของพื้นผิว โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดได้จำนวน 2 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 45 องศา เกิดแรงกดสูงสุดบนพื้นผิว 35.387 Pa และเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของพื้นผิวเล็กน้อย โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 8 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 90 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บนพื้นผิว 18.378 Pa และเกิดแรงดูดที่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวมาก โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 4 ต้น

**2. รูปแบบ B : ผังสี่เหลี่ยมจัตุรัส**



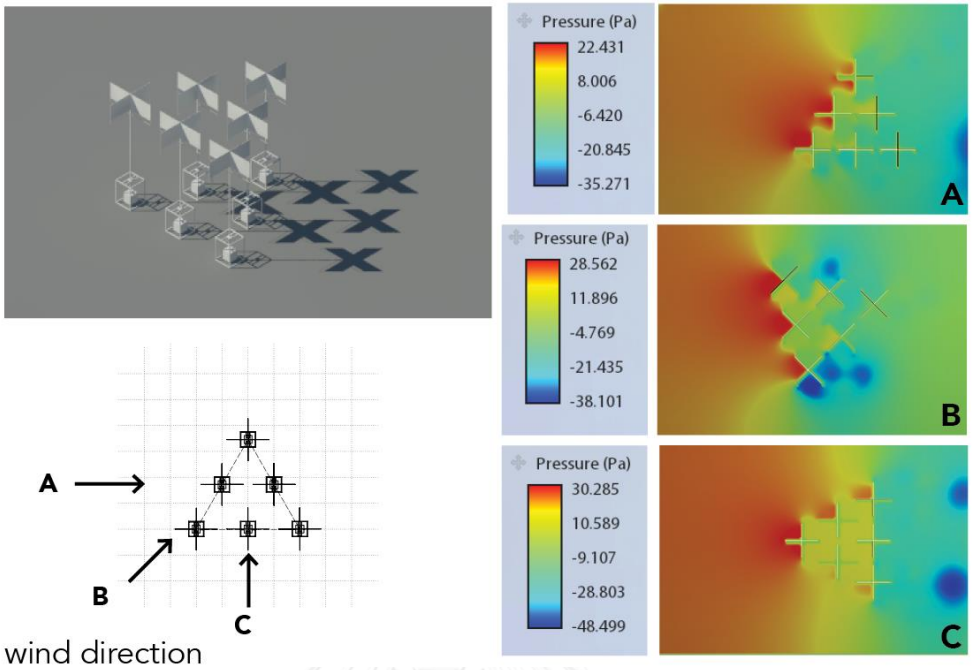

รูป 4-15 การจัดเรียงรูปแบบ B และการจำลองแรงกดจากลม

**2.1. คำอธิบาย** การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวให้อยู่บริเวณเส้นรอบรูปผังสี่เหลี่ยมจัตุรัส

**2.2. การจำลองแรงกดจากลม**

- แรงลมที่ 0 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บริเวณพื้นผิว 21.863 Pa และเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของพื้นผิวมาก โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดได้จำนวน 4 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 45 องศา เกิดแรงกดสูงสุดบนพื้นผิว 21.853 Pa และเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของพื้นผิวเล็กน้อย แต่เกิดแรงดูดที่ด้านหลังของอาคารในประมาณมาก โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 5 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 90 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บนพื้นผิว 21.863 Pa และเกิดแรงดูดที่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวมาก โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 4 ต้น

### 3. รูปแบบ C : ผังสี่เหลี่ยมผืนผ้า[11]




รูป 4-16 การจัดเรียงรูปแบบ C และการจำลองแรงกดจากลม

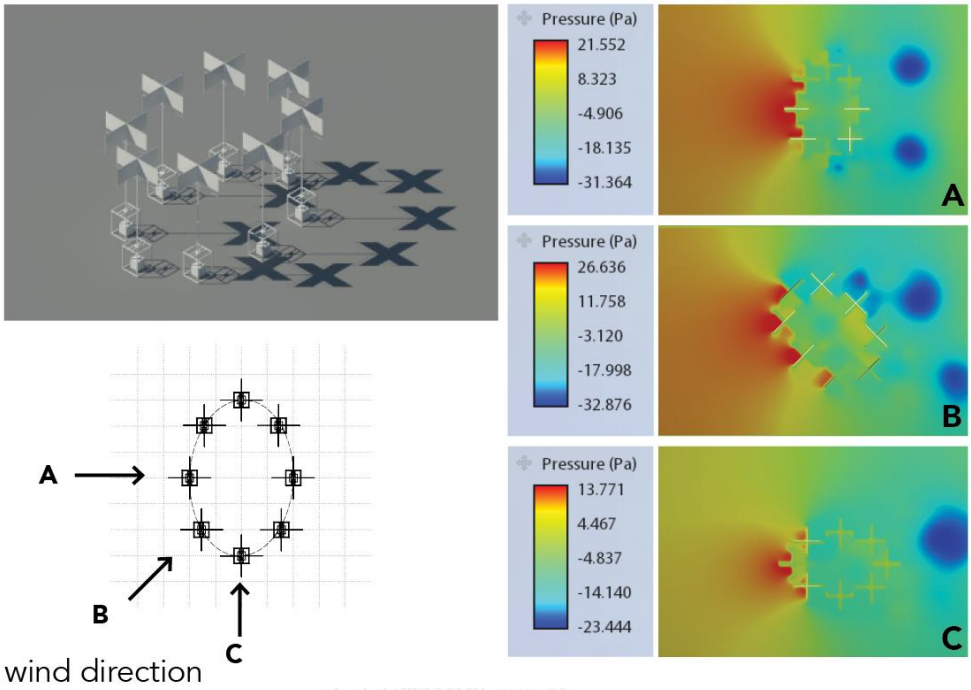
**3.1. คำอธิบาย** การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวให้อยู่บริเวณเส้นรอบรูปผังสามเหลี่ยม

**3.2. การจำลองแรงกดจากลม**

- แรงลมที่ 0 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บริเวณพื้นผิว 22.431 Pa และเกิดแรงดูดเล็กน้อยที่ด้านหลังของพื้นผิว โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดได้จำนวน 3 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 45 องศา เกิดแรงกดสูงสุดบนพื้นผิว 28.562 Pa และเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของพื้นผิวที่มาก โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 5 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 90 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บนพื้นผิว 30.285 Pa และเกิดแรงดูดที่พื้นผิวบริเวณด้านหลังของอาคารเล็กน้อย โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 6 ต้น

[11] ในรูปแบบ C ซึ่งมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า ไม่สามารถวางจำนวนเสาให้เป็นไปตามตัวแปรควบคุมที่กำหนดให้มีจำนวนเสา 8 ต้น โดยในรูปแบบนี้จะมีเพียงเสา 6 ต้น แต่ผู้วิจัยต้องการนำเสนอผลลัพธ์ในการจำลองลมของผังประเภทสามเหลี่ยมด้านเท่า

**4. รูปแบบ D : ผังสี่เหลี่ยมผืนผ้า**



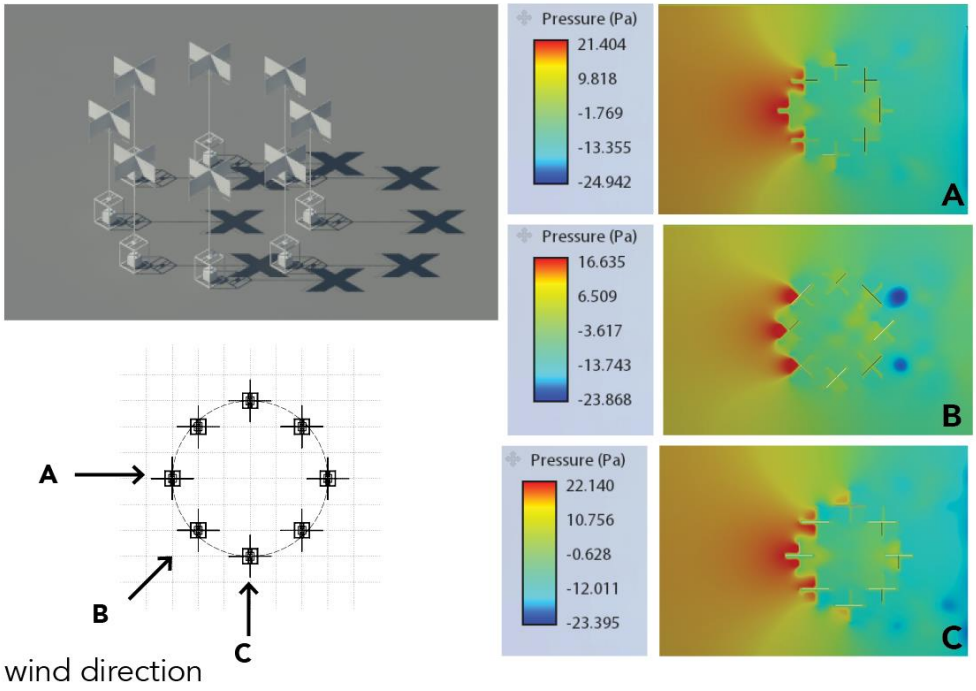

รูป 4-17 การจัดเรียงรูปแบบ D และการจำลองแรงกดจากลม

**4.1. คำอธิบาย** การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวให้อยู่บริเวณเส้นรอบรูปผังวงรี

**4.2. การจำลองแรงกดจากลม**

- แรงลมที่ 0 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บริเวณพื้นผิว 21.552 Pa และเกิดแรงดูดเล็กน้อยที่ด้านหลังของพื้นผิว โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดได้จำนวน 6 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 45 องศา เกิดแรงกดสูงสุดบนพื้นผิว 26.635 Pa และเกิดแรงดูดมากที่บริเวณด้านหลังของอาคารโดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 7 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 90 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บนพื้นผิว 13.717 Pa และเกิดแรงดูดที่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวปานกลาง โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 3 ต้น

**5. รูปแบบ E : ผังสี่เหลี่ยมผืนผ้า**



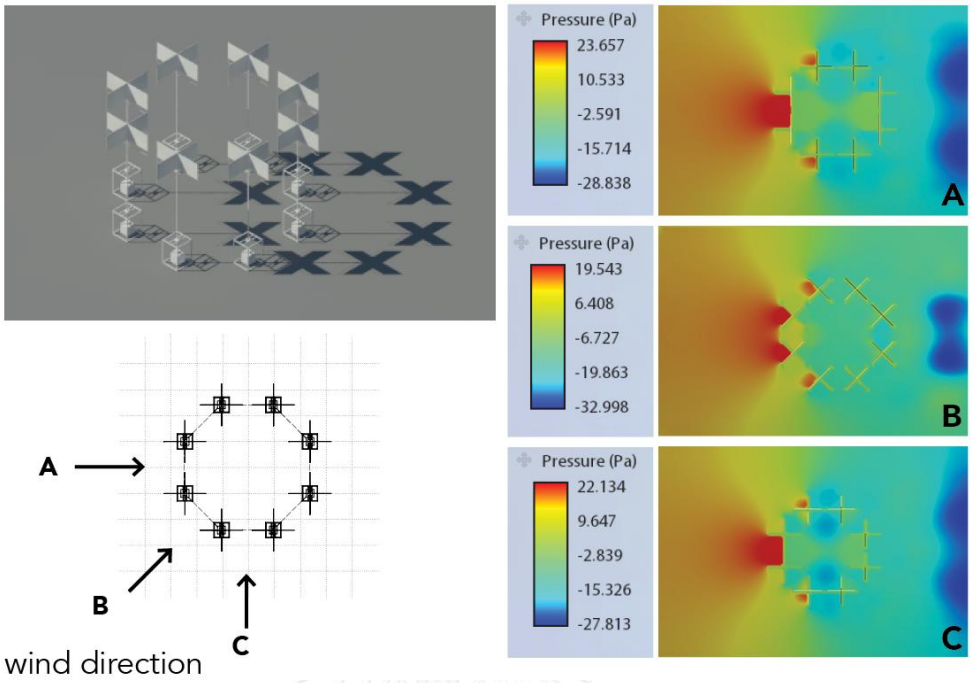

รูป 4-18 การจัดเรียงรูปแบบ E และการจำลองแรงกดจากลม

**5.1. คำอธิบาย** การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวให้อยู่บริเวณเส้นรอบรูปบนผังวงกลม

**5.2. การจำลองแรงกดจากลม**

- แรงลมที่ 0 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บริเวณพื้นผิว 21.404 Pa และเกิดแรงดูดเล็กน้อยที่ด้านหลังของพื้นผิว โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดได้จำนวน 6 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 45 องศา เกิดแรงกดสูงสุดบนพื้นผิว 16.635 Pa และเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของอาคาร โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 5 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 90 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บนพื้นผิว 22.140 Pa และเกิดแรงดูดที่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวปานกลาง โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 6 ต้น

## 6. รูปแบบ F : ผังสี่เหลี่ยมผืนผ้า

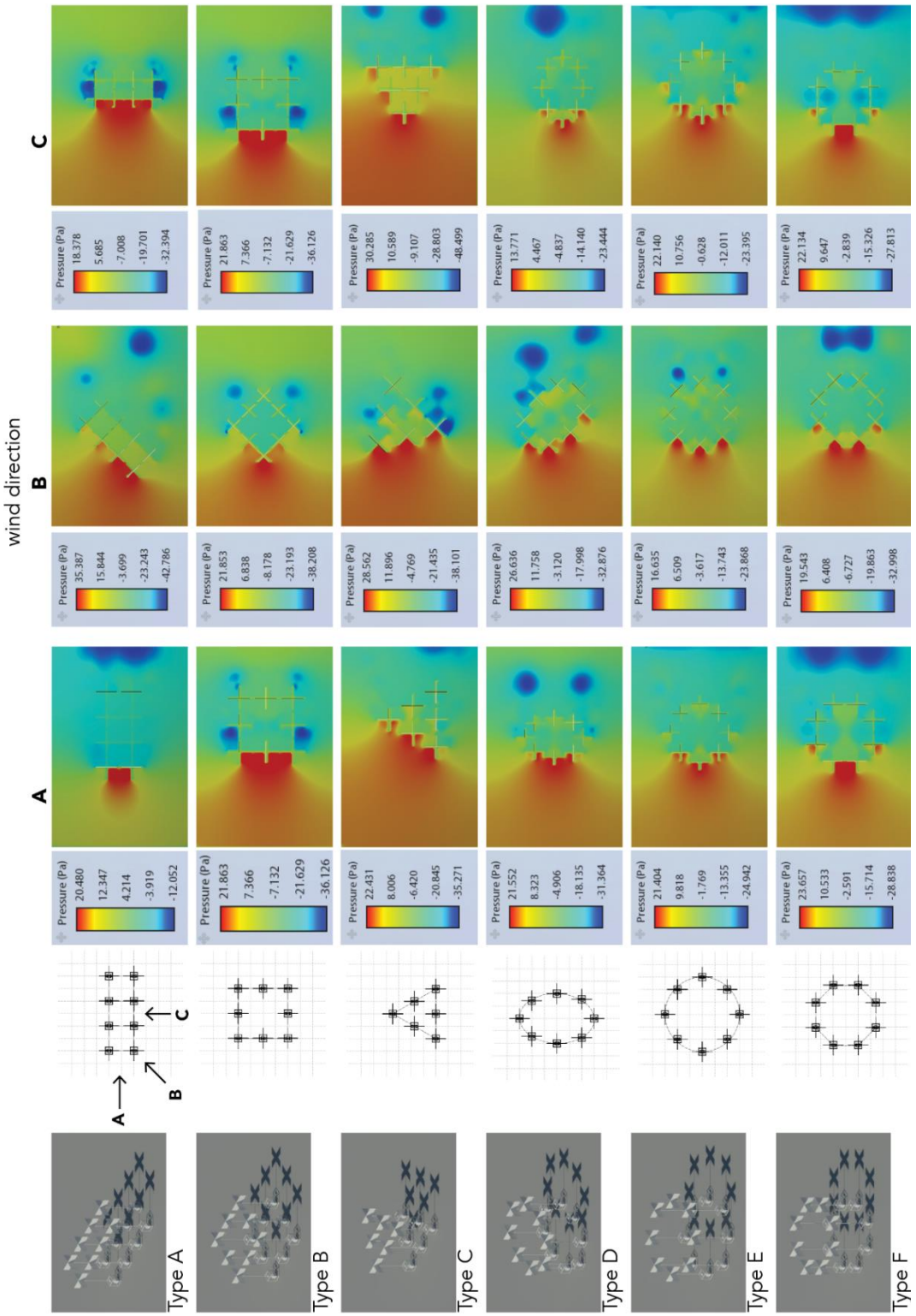



รูป 4-19 การจัดเรียงรูปแบบ F และการจำลองแรงกดจากลม

**6.1. คำอธิบาย** การจัดเรียงโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวให้อยู่บริเวณเส้นรอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

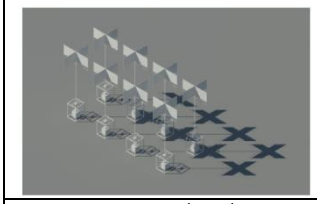
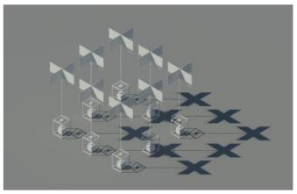
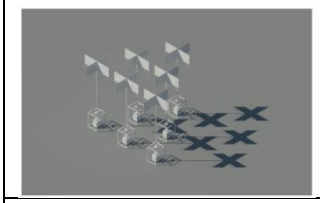
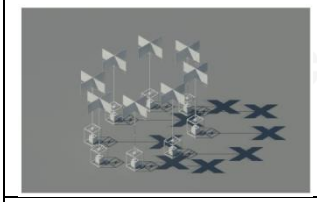
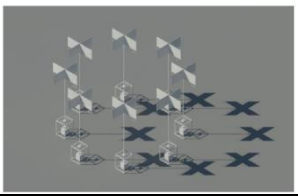
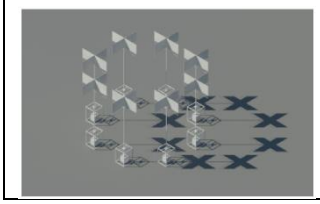
**6.2. การจำลองแรงกดจากลม**

- แรงลมที่ 0 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บริเวณพื้นผิว 23.657 Pa และเกิดแรงดูดมากด้านหลังของพื้นผิวเกือบทุกชิ้น โดยเฉพาะเสาสองต้นด้านบน และสองต้นด้านล่างแสดงแรงดูดที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวในทิศทางที่ตั้งฉากกับลมี่พัดมา โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดได้จำนวน 6 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 45 องศา เกิดแรงกดสูงสุดบนพื้นผิว 19.543 Pa และเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของพื้นผิวเล็กน้อย โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 4 ต้น
- แรงลมที่ทำมุม 90 องศา เกิดแรงกดสูงสุดที่บนพื้นผิว 22.134 Pa และเกิดแรงดูที่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวมาก โดยเฉพาะเสาสองต้นด้านบน และสองต้นด้านล่างแสดงแรงดูดที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหวในทิศทางที่ตั้งฉากกับลมี่พัดมา โดยมีพื้นผิวบนเสาที่เกิดแรงกดจำนวน 6 ต้น




รูป 4-20 การเปรียบเทียบแรงกดจากลมในผังแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบแรงกดเกิดที่เกิดขึ้นและจำนวนเสาที่เคลื่อนไหวในผังแต่ละรูปแบบ

| **รูปแบบ** | **แรงกดที่เกิดขึ้นสูงสุด (Pa)** | | | **จำนวนเสาที่เคลื่อนไหว (ต้น)** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0° | 45° | 90° | 0° | 45° | 90° |
| 1. รูปแบบ A: สี่เหลี่ยมพื้นผ้า  | 20.480 | 35.387 | 18.378 | 2 | 8 | 4 |
| 2. รูปแบบ B: สี่เหลี่ยมจัตุรัส  | 21.863 | 21.853 | 21.863 | 4 | 5 | 4 |
| 3. รูปแบบ C: สามเหลี่ยม  | 22.431 | 28.562 | 30.285 | 5 | 5 | 6 |
| 4. รูปแบบ D: วงรี  | 21.552 | 26.636 | 13.771 | 6 | 7 | 3 |
| 5. รูปแบบ E: วงกลม  | 21.404 | 16.635 | 22.140 | 6 | 5 | 6 |
| 6. รูปแบบ : แปดเหลี่ยม  | 23.657 | 19.543 | 22.134 | 6 | 4 | 6 |

**การพิจารณาเลือกรูปแบบศาลาเห็นลม**

การพิจารณารูปแบบของพื้นที่ในศาลาเห็นลม จะใช้เกณฑ์ในการตัดสินสองส่วน คือ **1) แรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้น** โดยพิจารณาถึงแรงกดที่เกิดขึ้นที่สูงที่สุดในแต่ละรูปแบบ เพราะรูปร่างของผังที่มีประสิทธิภาพในการต้านลมได้ดี ทำให้เกิดแรงกดมากที่จะทำให้โครงสร้างสามารถเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ถึงแม้จะมีลมน้อย **2) จำนวนของเสาต้นที่เคลื่อนไหวได้** ผังแต่ละรูปแบบมีผลต่อการเคลื่อนไหวของเสา ผู้วิจัยต้องการให้เกิดการเคลื่อนไหวที่โครงสร้างเสามากที่สุดในเวลาเดียวกัน จึงใช้จำนวนของเสาที่เคลื่อนไหวเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาด้วย

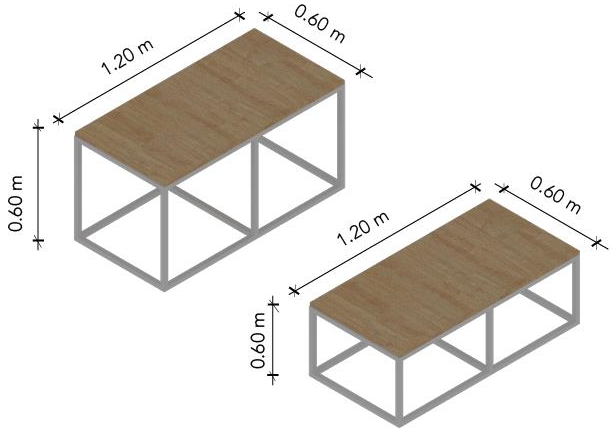
โดยพบว่ารูปแบบที่เกิดแรงกดสูงสุด โดยแรงลมที่ทำมุม 0 องศา คือรูปแบบที่ F ผังรูปทรงแปดเหลี่ยม เกิดแรงกด 23.657 Pa ส่วนแรงลมที่พัดทำมุม 45 องศา คือ รูปแบบที่ A เกิดแรงกดมากที่สุดคือ 35.387 Pa และแรงลมที่พัดทำมุม 90 องศา คือรูปแบบ C เกิดแรงกด 30.285 Pa โดยรูปแบบที่เกิดการเคลื่อนไหวได้มากที่สุดคือ เสาทั้ง 8 เคลื่อนไหวด้วยแรงลมได้ ซึ่งเป็นรูปแบบ A ในทิศทางที่ลมพัดทำมุม 45 องศา

จากเกณฑ์ที่ผู้วิจัยตั้งไว้ว่า พิจารณารูปแบบที่เกิดแรงกดที่พื้นผิวมากที่สุด และจำนวนเสาที่เคลื่อนไหวพร้อมกันเมื่อโดนแรงลม พบว่าใน**รูปแบบ A** มีความเหมาะสมที่สุด เพราะในลักษณะที่ลมทำมุม 45 องศาทำให้เกิดแรงกดบนพื้นผิวมากที่สุด และยังสามารถทำให้พื้นผิวบนเสาทุกต้นเกิดแรงกดได้ จึงมีความเหมาสมที่สุดในการนำไปพัฒนาศาลาเห็นลมต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

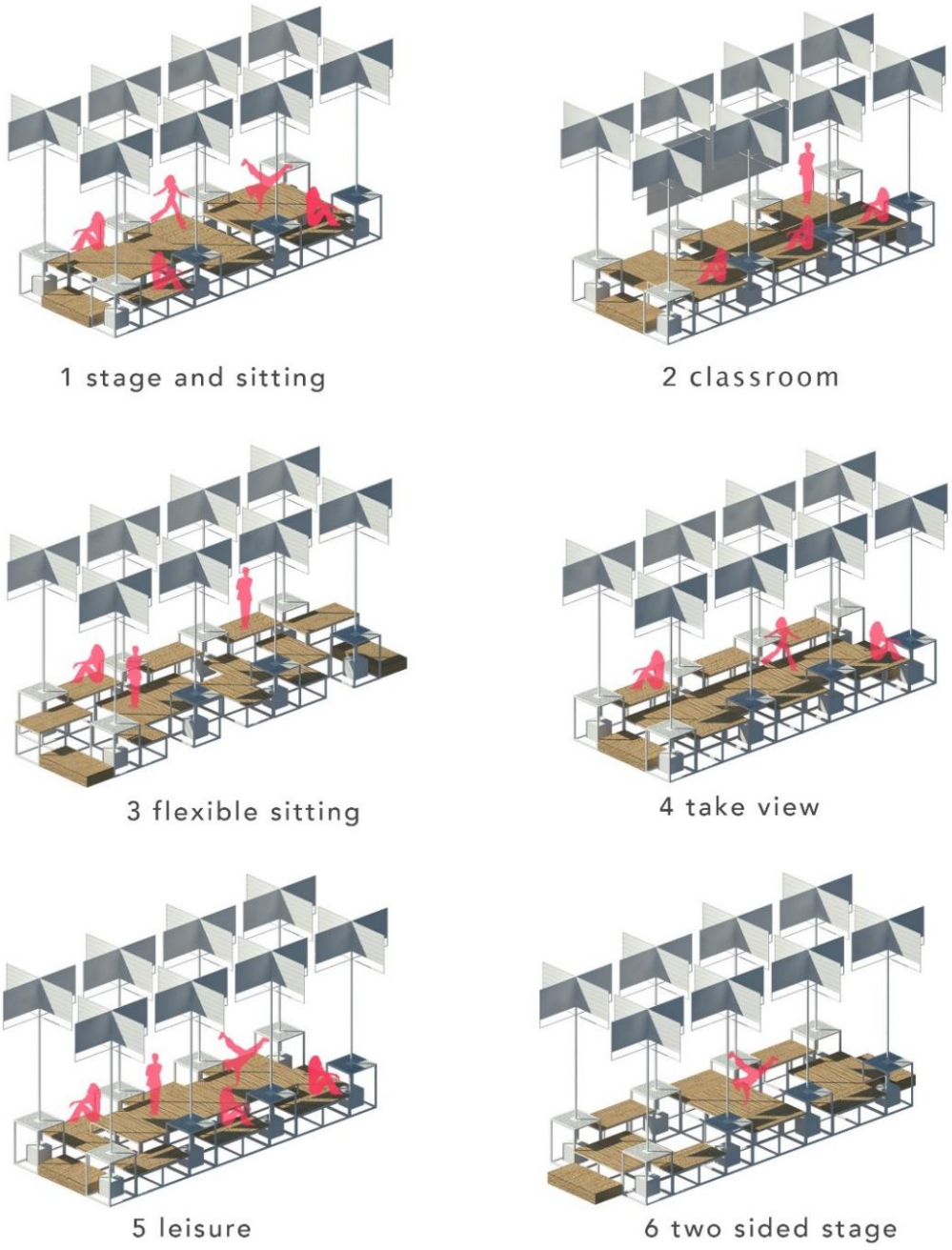
**กิจกรรมในศาลาเห็นลม**

ขั้นตอนออกแบบกิจกรรมในศาลาเห็นลมนี้เป็นส่วนที่เพิ่มเติม ซึ่งอยู่นอกเหนือจากการทดลองโครงสร้าง เพื่อทำให้เกิดกิจกรรมในศาลาเห็นลมที่จะทำการก่อสร้าง บนคันนาดินที่เป็นทางเดินสำหรับชาวนา ผู้วิจัยออกแบบให้เกิดการใช้กิจกรรมในอาคารอย่างยืดหยุ่น โดยผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานจากการย้ายตำแหน่งของพื้นที่แยกส่วนจากกัน




รูปที่ 4-21 รูปแบบแผ่นพื้นที่แยกส่วนกันได้ในศาลาเห็นลม

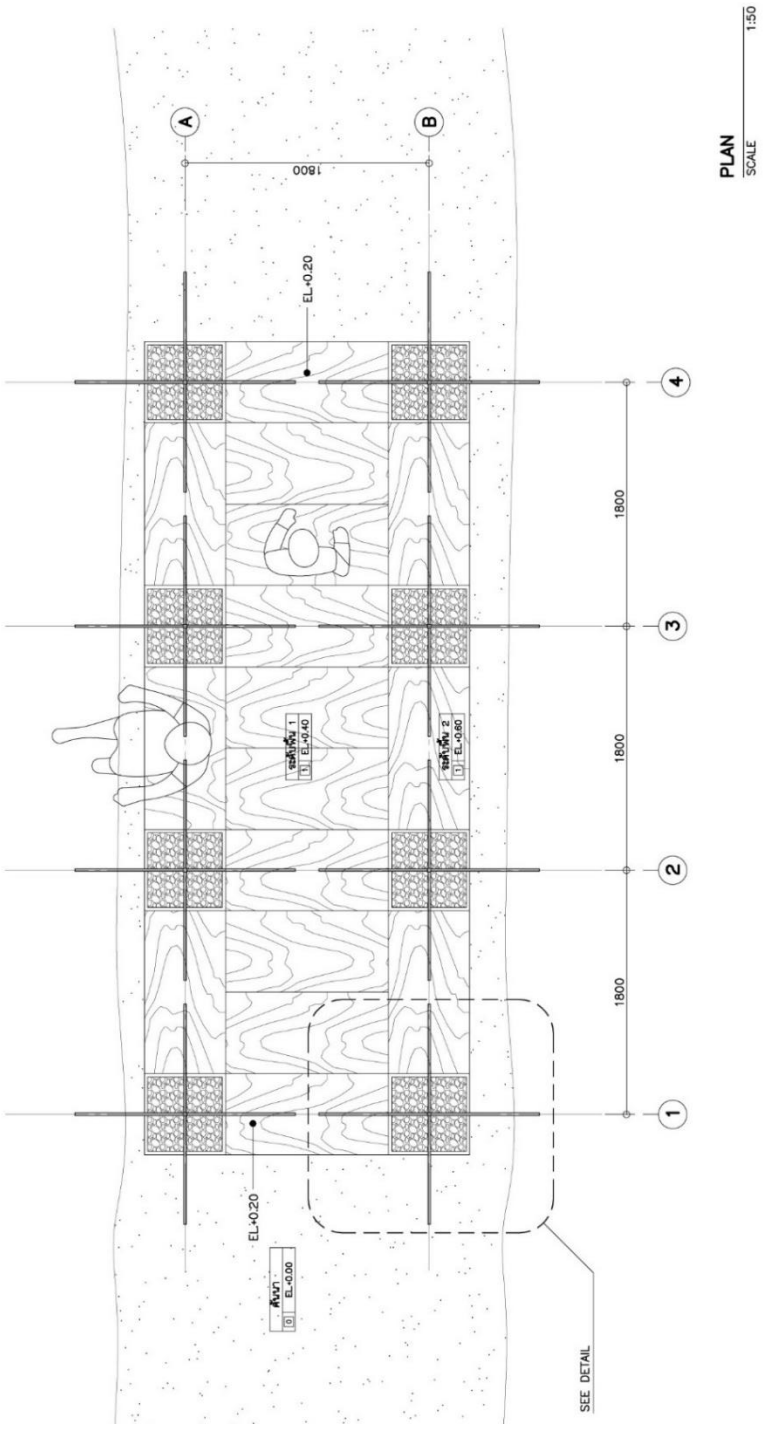
ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีความสูง 2 ระดับ คือ 40 กับ 60 เซนติเมตร ขนาด 1.2 เมตร x 0.6 เมตร โดยกำหนดกิจกรรมต่าง ๆ ได้จากการเรียงรูปแบบพื้นให้เกิดกิจกรรมต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่นในรูป 4-22 การจัดเรียงแบบที่ 1 เกิดเวทีและพื้นที่นั่งเล่นสำหรับมองทุ่งนา แบบที่ 2 เป็นรูปแบบห้องเรียนเพื่อรองรับการเรียนรู้พื้นที่ทุ่งนา แบบที่ 3 พื้นที่มีรูปแบบที่ไม่เป็นระบบ ทำให้ผู้ใช้เลือกพื้นที่นั่งพักผ่อนที่เหมาะสมกับตนเอง แบบที่ 4 ศาลาทำหน้าที่ทางเดินผ่าน โดยมีพื้นที่นั่งสำหรับมองทุ่งนา แบบที่ 5 ทำให้เกิดพื้นที่พักผ่อนได้ในหลายกรณี แบบที่ 6 พื้นที่เวทีอยู่กลางศาลาโดยผู้ชมสามารถมองได้จากทั้งสองข้าง จากการเรียงรูปแบบพื้นที่กล่าวเป็นตัวอย่างของการกำหนดกิจกรรมจากพื้นที่ทำกิจกรรมที่ยืดหยุ่นของศาลาเห็นลม



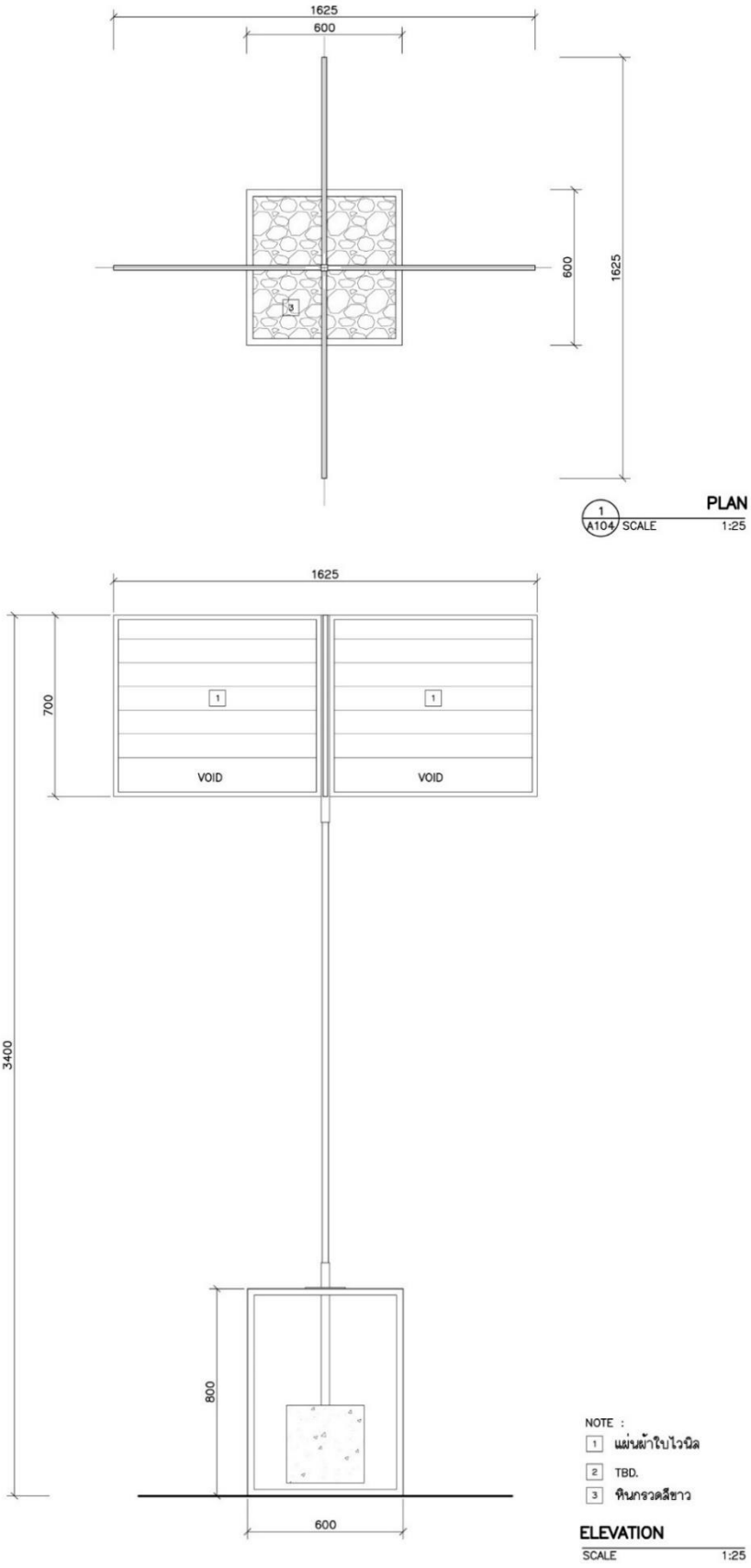

รูปที่ 4-22 การจำลองแรงกดจากลมในแต่ละรูปทรงของพื้นผิว

**แบบก่อสร้างศาลาเห็นลม**

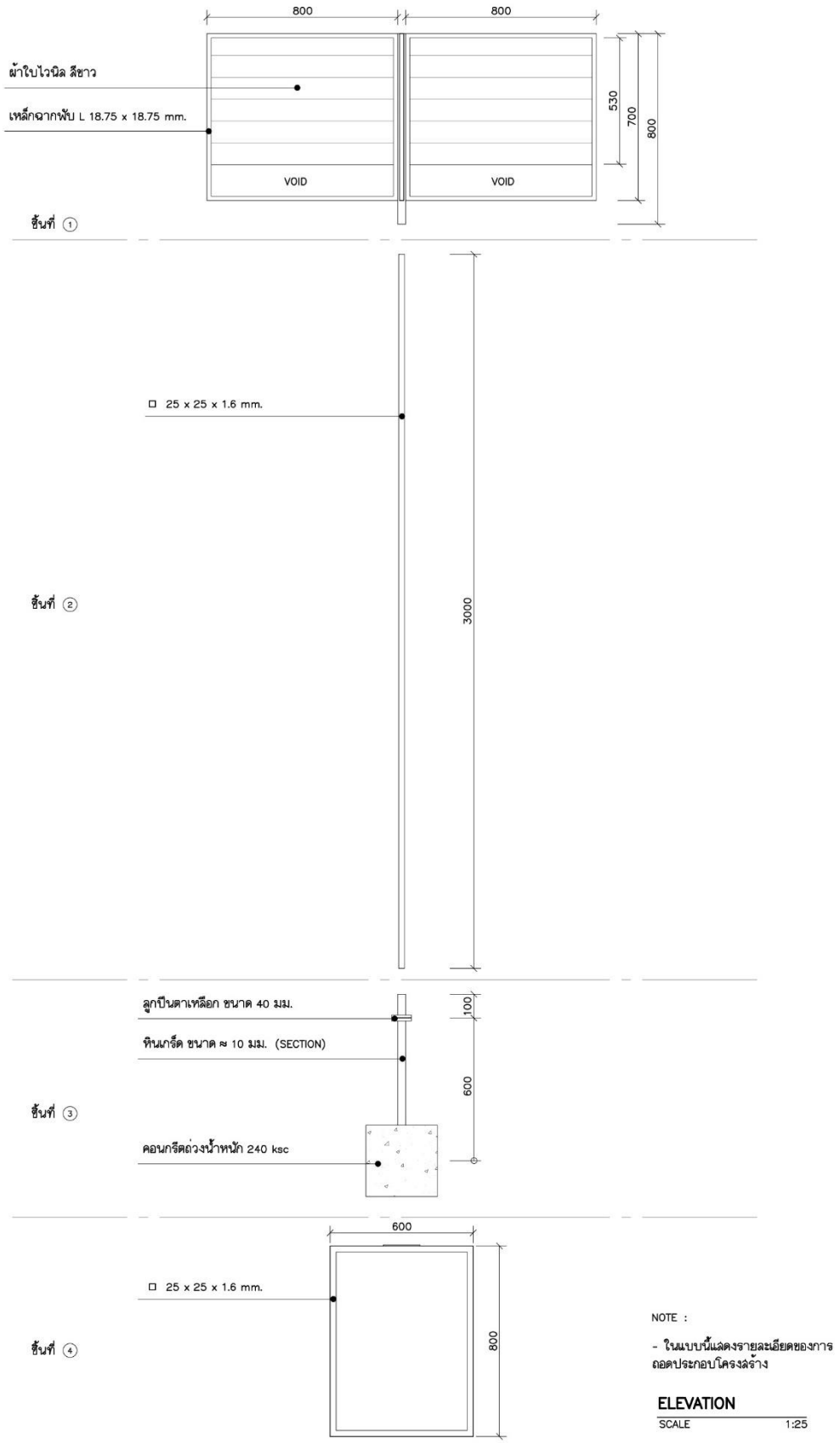
ผู้วิจัยได้สรุปแบบจากการพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหว และรูปแบบของผังอาคารที่ได้ทำการทดลองออกแบบ ด้วยการจัดทำแบบก่อสร้างสำหรับการสื่อสารกับช่าง ในขั้นตอนของการก่อสร้างศาลาเห็นลมต่อไป



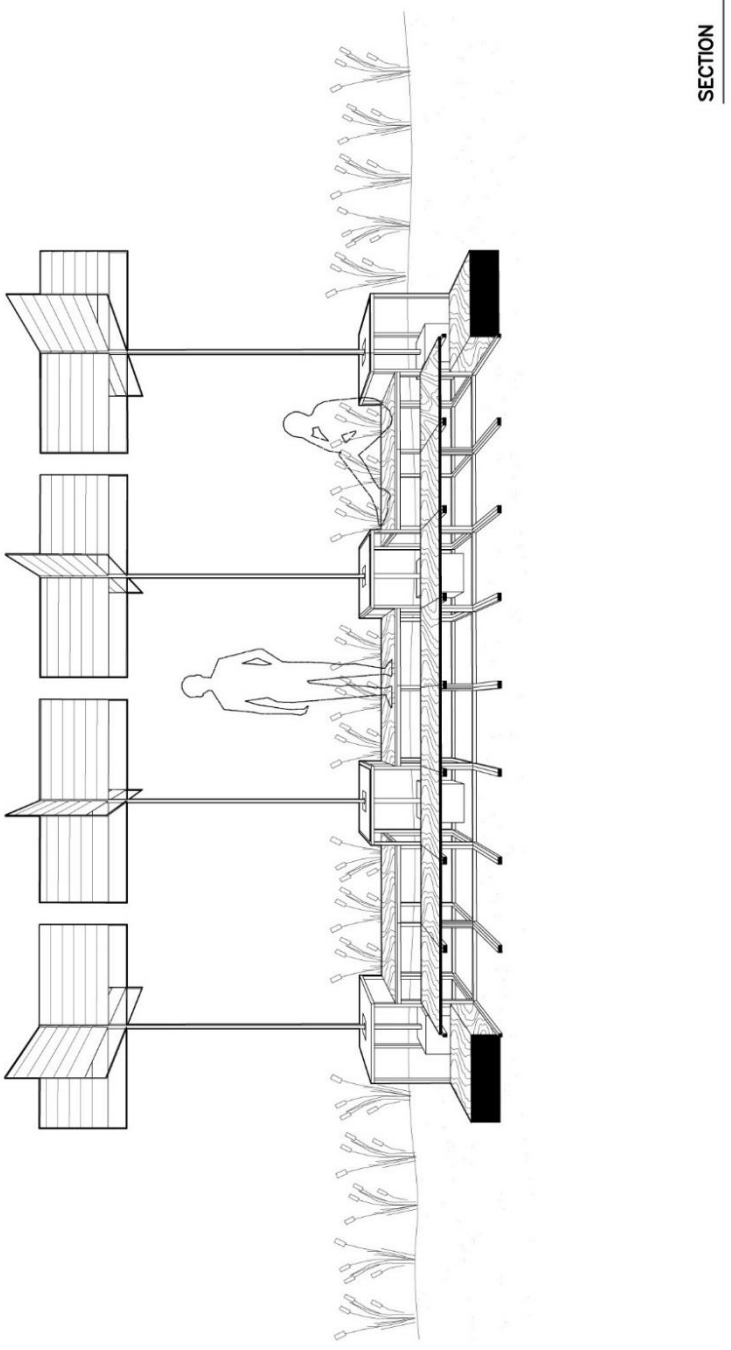

รูป 4-23 ผังพื้นอาคาร สำหรับการก่อสร้างศาลาเห็นลม



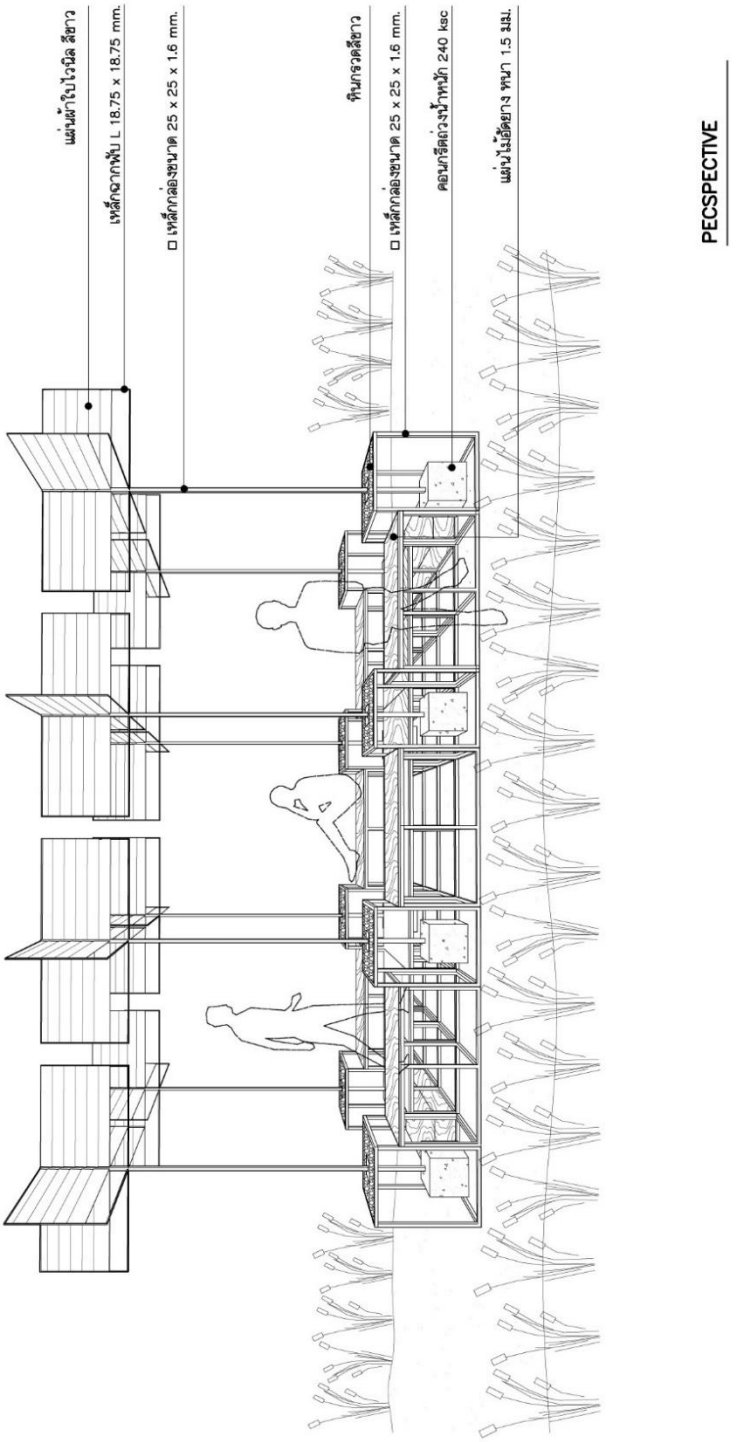

รูป 4-24 รูปด้านอาคาร สำหรับการก่อสร้างศาลาเห็นลม




รูป 4-25 รูปด้าน การถอดประกอบอาคาร สำหรับการก่อสร้างศาลาเห็นลม




รูป 4-26 ทัศนียภาพรูปตัดอาคาร




รูป 4-27 ทัศนียภาพอาคาร

**การก่อสร้างศาลาเห็นลม**

การก่อสร้างศาลาเห็นลมทำเพื่อศึกษาความเป็นไปได้จริงของโครงสร้างที่เคลื่อนไหว และประเมินผลลัพธ์ของการออกแบบโครงสร้าง ข้อต่อ พื้นผิวอาคาร โดยหลักออกแบบโครงสร้างศาลาเห็นลมต่างจากการออกแบบอาคารโดยปกติทั่วไปที่ออกแบบเพื่อให้มั่นคงต้านลม แต่ศาลาเห็นลมโครงสร้างที่เคลื่อนไหวเอนไปตามแรงลม ทำให้พิจารณาวิธีการออกแบบโครงสร้างที่แตกต่างไป การก่อสร้าง จะทำให้เห็นความเป็นไปได้ของศาลาเห็นลมในการก่อสร้างจริง และเข้าไปใช้พื้นที่เพื่อสังเกตุการณ์สิ่งที่เกิดขึ้นได้

**1. ขั้นตอนการก่อสร้าง**

**1.1. การจัดทำโครงสร้างที่โรงงาน**

การก่อสร้างศาลา เริ่มจากการได้จัดทำชิ้นต้นแบบโครงสร้างที่โรงงาน เพื่อตรวจสอบว่าตามที่ออกแบบคำนวณโครงสร้างไว้หรือไม่ โดยเมื่อพบว่าโครงสร้างสามารถก่อสร้างและเคลื่อนไหวได้เมื่อลมพัดผ่านตามที่ได้ออกแบบไว้ จึงก่อสร้างส่วนที่เหลือโดยแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้เพื่อให้สามารถขนย้ายไปยังพื้นที่ก่อสร้างได้ด้วยการขนส่งด้วยรถบรรทุก

รูป 4-28 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนของศาลาเห็นลม

รูป 4-29 ขั้นตอนการเตรียมโครงพื้นส่วนใช้งานของศาลาเห็นลม

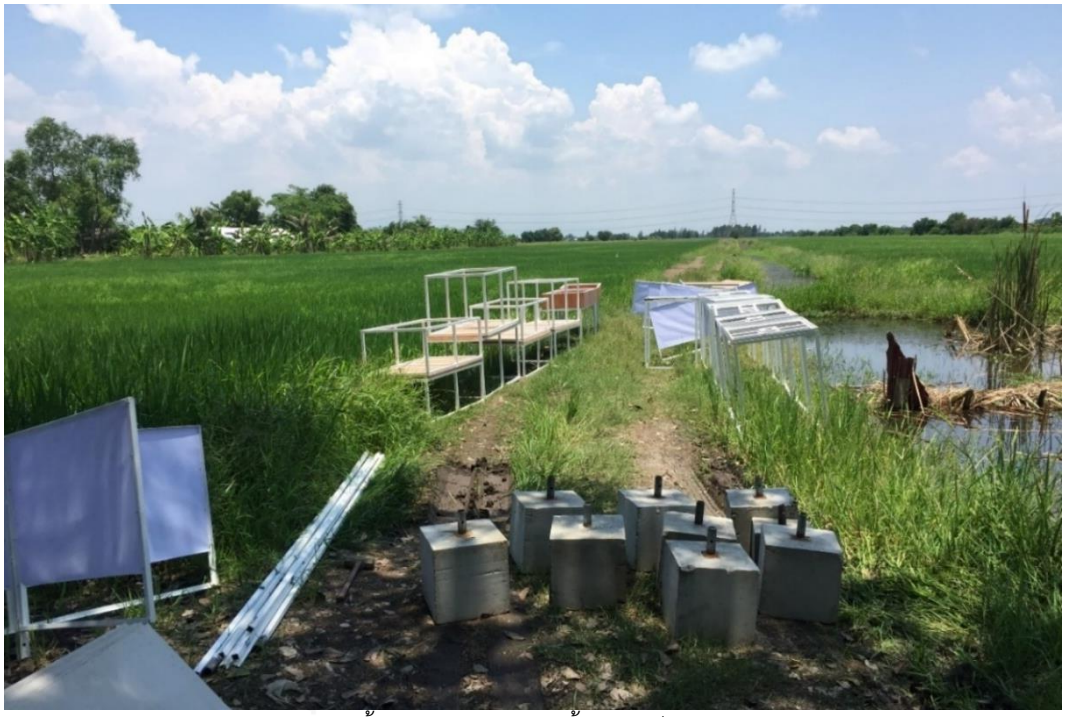
**1.2. การขนส่ง**

เมื่อเตรียมชิ้นส่วนของศาลาเห็นเรียบร้อย ได้ทำการขนส่งชิ้นส่วนของศาลาเห็นลมด้วยรถบรรทุก จากพื้นที่โรงงานสู่พื้นที่ติดตั้งอาคารที่ท้องนา บริเวณรังสิตคลองสิบ

รูป 4-30 ขั้นตอนการขนส่งศาลาเห็นลม

### 1.3. การติดตั้งบนคันนา

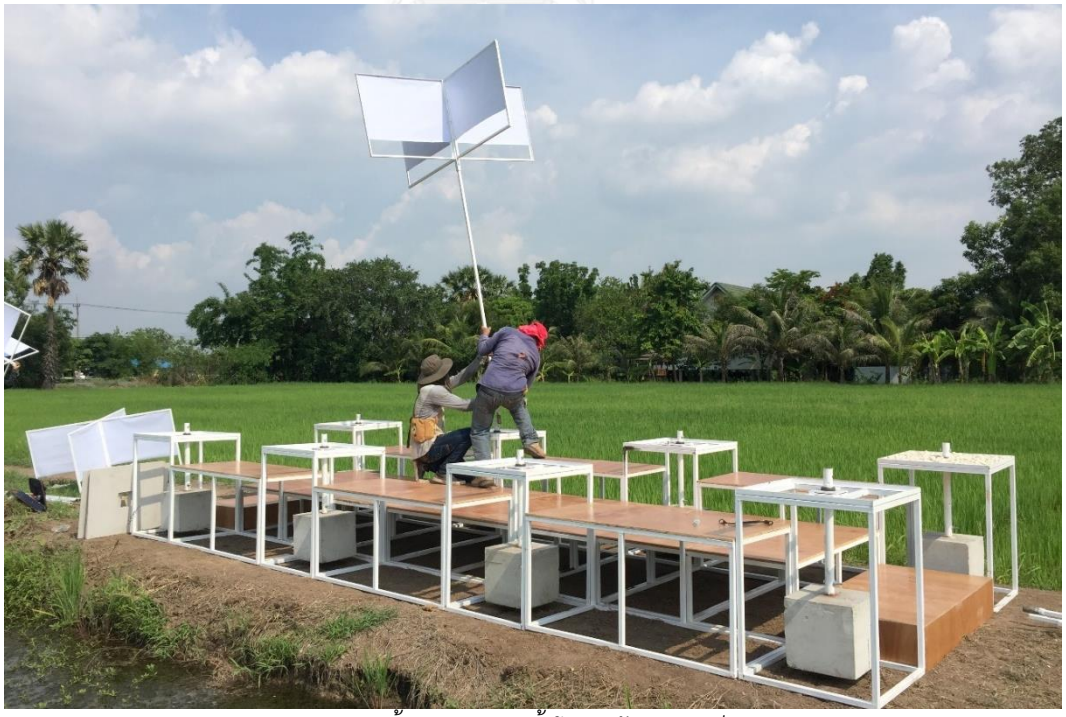
การติดตั้งอาคารบนคันนา เริ่มจากการหาตำแหน่งบนคันนา โดยพิจารณาจากมุมมองของอาคาร โดยเริ่มจากการกำหนดตำแหน่งเพื่อวางโครงสร้างส่วนที่เคลื่อนไหวก่อนเพื่อกำหนดตำแหน่งเสาของอาคาร หลักจากนั้นนำโครงสร้างพื้นส่วนที่ใช้งานในอาคารมาวางตามตำแหน่งของกิจกรรมที่ต้องการจะใช้



รูป 4-31 ขั้นตอนการเตรียมติดตั้งศาลาเห็นลมบนคันนา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

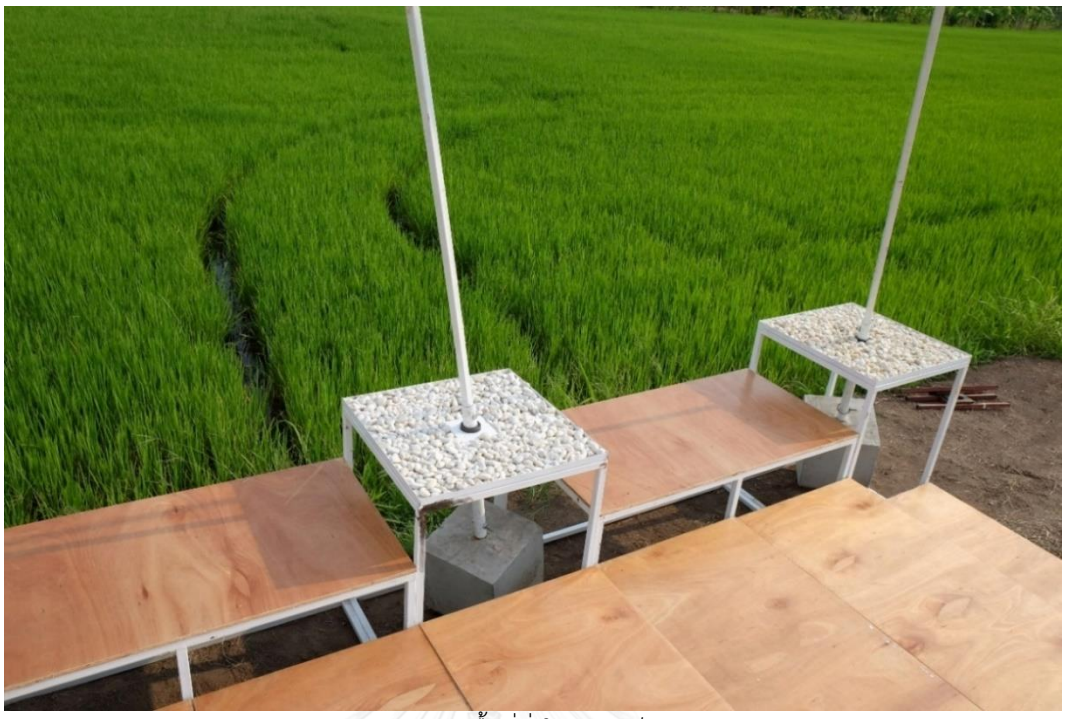
รูป 4-32 ขั้นตอนการติดตั้งศาลาเห็นลมบนคันนา



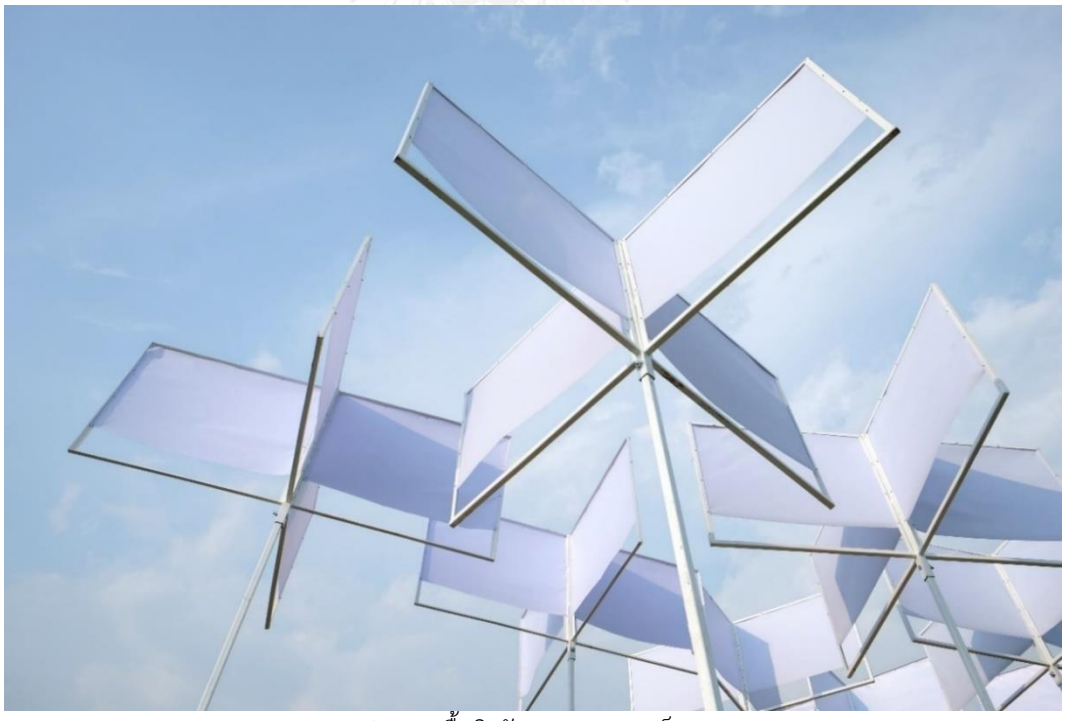
รูป 4-33 ขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้างศาลาเห็นลม

**ภาพถ่ายศาลาเห็นลม**

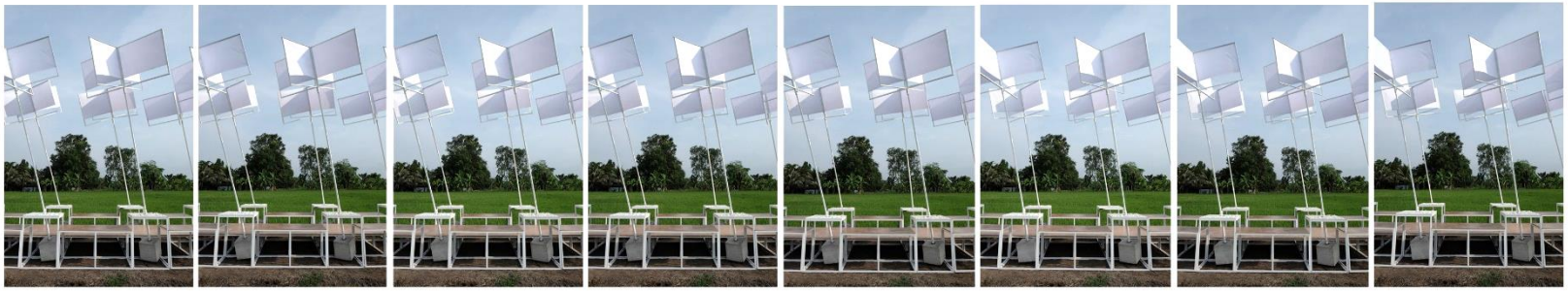
รูป 4-34 ศาลาเห็นลม



รูป 4-35 พื้นที่นั่งในศาลาเห็นลม



รูป 4-36 พื้นผิวรับลมของศาลาเห็นลม



รูป 4-37 การเคลื่อนไหวของศาลาเห็นลม

**ประสบการณ์ในศาลาเห็นลม**

เมื่อโครงสร้างเห็นลมได้ก่อสร้างในพื้นที่กรณีศึกษา ในท้องนาบริเวณรังสิตคลองสิบ ผู้วิจัยสังเกตการณ์และบันทึกถึงประสบการณ์ที่เกิดขึ้นผ่านมุมมองของผู้วิจัย โดยอธิบายถึงประสบการณ์ไปในแนวทางเดียวกับการอธิบายพื้นที่ทางสถาปัตยกรรม ในหนังสือ *Understanding Architecture* ของโรเบิร์ต แมคคาร์เตอร์ (Robert McCarter) และจูฮานี พาลาสม่า (Juhani Pallasma) เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนึกภาพถึงบรรยากาศที่เกิดขึ้นในศาลาเห็นลมได้

“ณ ท้องทุ่งนารังสิต คลองสิบ เวลาประมาณห้าโมงเย็น ผู้วิจัยได้ยืนอยู่ด้านหน้าทุ่งนาอันเป็นที่ตั้งของศาลาเห็นลม แสงแดดในยามเย็นที่ค่อย ๆ อ่อนแรงลง ประกอบกับลมที่พัดมาเป็นจังหวะทำให้รู้สึกอากาศกำลังสบายและผ่อนคลายไม่ร้อนดังที่คาดการณ์ไว้ คันนาดินทอดตรงยาวอยู่กลางทุ่งนาไปสุดสายตา ส่งคำเชื้อเชิญให้ผู้ที่เดินทางมาถึงให้เดินเข้าไป เพื่อที่จะได้ฝังตัวอยู่ท่ามกลางทุ่งข้าวสีเขียวชอุ่มที่ตัดกับสีของท้องฟ้า ศาลาเห็นลม โครงสร้างเหล็กสีขาวขนาดไม่ใหญ่มากเมื่อเทียบกับความกว้างของทุ่งนา กำลังไหวไปมาจากแรงลม สามารถมองเห็นได้ทันทีจากทางเข้า โดยมีทางเดินบนคันนานำสายตาไปสู่อาคาร เมื่อเริ่มเดินบนคันนา พื้นที่ทั้งสองฝั่งเป็นต้นข้าวซึ่งยังไม่ออกรวงข้าว โตสูงประมาณครึ่งแข้ง กำลังเคลื่อนไหวลู่ไปตามลมโอบล้อมผู้วิจัยในขณะที่กำลังเดินอยู่ เมื่อยืนอยู่บนศาลาเห็นลม โครงสร้างเสาทุกต้น ไหวลู่ตามลมไปในทิศทางเดียวกันจากลมที่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ มองเห็นโครงสร้างเสาสีขาวไหวไปมากำลังเคลื่อนไหว เด่นออกมากฉากหลังที่เป็นทุ่งนาสีเขียว เมื่อเงยหน้าขึ้นพื้นผิวสีขาวของอาคารวางเรียงต่อกันที่ให้เกิดลวดลายที่ทำหน้าเป็นกรอบรูปที่รูปทรงเปลี่ยนตลอดเวลา โดยมีภาพเป็นก้อนเมฆ และท้องฟ้า ผู้วิจัยนั่งลงบนศาลาโดนหันหน้าออกไปมองทุ่งนาปลิวลู่ไปพร้อม ๆ กับโครงสร้าง นอกจากจะประทับใจการเคลื่อนไหวของเสาสีขาวกับทุ่งนาที่เคลื่อนไหวไปพร้อมกัน แต่เสียงของต้นข้าวที่เสียดสีกันขับกล่อมให้เกิดบรรยากาศ โดยมีเสียงนกที่บินไปมาแทรกเป็นจังหวะทำให้เกิดความประทับใจในบรรยากาศ สิ่งที่มองเห็นจากศาลาเห็นลมเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา องค์ประกอบของอาคารและบรรยากาศรอบข้างที่เปลี่ยนทำให้เกิดความประทับใจในบรรยากาศที่ไม่สามารถคาดเดาได้ ศาลาเห็นลมทำให้มองเห็นรับรู้ถึงลมในทุ่งนาที่เราอาจจะละเลยสิ่งที่มองไม่เห็นอย่างเช่นลมไป ได้กระตุ้นให้ผู้วิจัยให้รับรู้ลมในประสาทสัมผัสอื่นด้วย เมื่อเกิดประสบการณ์รับรู้ลมผ่านหลาย ๆ ประสาทสัมผัสประสานกันจึงทำให้เกิดความรู้สึกยินดีในพื้นที่นา”

# บทที่ 5
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้คือ การพัฒนาโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวโดยแรงลมธรรมชาติ เพื่อทำหน้าที่เป็นสื่อกลางให้สามารถมองเห็นลม ในส่วนของการออกแบบได้พัฒนาโครงสร้างส่วนที่เคลื่อนไหวในแต่ละส่วน เริ่มจากพื้นผิว ข้อต่อ และการออกแบบคำนวณโครงสร้างเสา ก่อนศึกษาการผังพื้นของศาลาเห็นลมในรูปแบบต่าง ๆ ในท้ายที่สุด ผู้วิจัยได้ก่อสร้างศาลาเห็นลม เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้จริงของโครงสร้างที่เคลื่อนไหว และใช้ในการประเมินผลต่อความถูกต้องของเกณฑ์ต่าง ๆ ในการออกแบบที่ได้นำเสนอ

ศาลาเห็นลมเมื่อได้ก่อสร้างเสร็จบนคันนา ในท้องทุ่ง บริเวณรังสิตคลองสิบ ผู้วิจัยสังเกตุการณ์ พบว่าโครงสร้างของศาลาเห็นลมเคลื่อนไหวไปตามแรงลมที่พัดมา และดังกลับมาตั้งตรงในตำแหน่งปกติเมื่อไม่มีลมพัดมาด้วยการถ่วงของตุ้มน้ำหนักคอนกรีต ในบทนี้จะอธิบายการประเมินผลและข้อเสนอแนะของการพัฒนาองค์ประกอบของโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหว การออกแบบจัดเรียงโครงสร้างในผังรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งการก่อสร้างศาลาเห็นลม

## ประเมินผลการพัฒนาโครงสร้างที่เคลื่อนไหว

### 1. การออกแบบพัฒนาพื้นผิว

พื้นผิวซึ่งทำหน้าที่ต้านลมเพื่อทำให้เกิดแรงผลักให้เสาเกิดการเคลื่อนไหว เป็นส่วนแรกที่ทำการพัฒนา ผลลัพธ์คือ พื้นผิวรับลมได้จริง แรงกดจากลมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเพียงพอที่ทำให้โครงสร้างเคลื่อนไหว รูปทรงที่ต้านลมได้ดีที่สุดและใช้ปริมาณพื้นผิวน้อยที่สุดคือ พื้นผิวที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกากบาท เพราะมีรูปทรงที่กักลมได้ดี และยังเกิดแรงดูดที่ด้านหลังของพื้นผิวด้านในด้านหนึ่ง ซึ่งเห็นได้จากการจำลองอุโมงค์ลม จากการวิเคราะห์พบว่าแรงดูดที่ไม่เท่ากันมีโอกาสที่ทำให้พื้นผิวและโครงสร้างเสาเกิดการหมุนได้ แต่ในศาลาเห็นลมที่ได้ก่อสร้างขึ้น พื้นผิวไม่เกิดการหมุนเพราะ ตุ้มถ่วงที่มีน้ำหนักมากถ่วงไว้จึงเกิดแรงเสียดทานที่ทำให้โครงสร้างไม่สามารถหมุนได้

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการออกแบบพื้นผิวคือ การทำให้เห็นการเคลื่อนไหวมากขึ้นในทิศทางของการหมุนจากแรงดูดที่เกิดขึ้น ทำได้โดยติดตั้งตลับลูกปืนเพิ่มเติมเพื่อลดแรงเสียดทาน นอกจากนั้นมีความเป็นได้ในศึกษาถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านลมของส่วนของพื้นผิวด้วยการออกแบบ วิธีการพับ (folding) เพื่อให้เกิดรูปทรงของพื้นผิวที่กักลมได้มากขึ้น

**2. การออกแบบพัฒนาข้อต่อ**

ในส่วนของข้อต่อโครงสร้างศาลาเห็นลม มีหน้าที่สำคัญที่เอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะ 360 องศาทุกทิศทาง ข้อต่อแบบ ball joint สร้างได้จริงด้วยการนำตลับลูกปืนตาเหลือกมาประยุกต์ ซึ่งสามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างเสาในศาลาเห็นลมนี้ได้ คุณสมบัติการลดแรงเสียดทานของตลับลูกปืนทำให้โครงสร้างสามารถเคลื่อนไหวได้ดี

ปัญหาที่พบในการใช้ตลับลูกปืนตาเหลือกคือ ไม่สามารถเชื่อมไฟฟ้ากับตลับลูกปืนได้ เนื่องจากจะทำให้ร้อนจนแตก ทำให้การเชื่อมต่อกับโครงสร้างเหล็กทำได้ยาก จึงต้องใช้ออกแบบบ่ารองรับที่มีขนาดพอดีกับตลับลูกปืนโดยไม่ใช้การเชื่อมในการยึดติด ข้อต่อจากตลับลูกปืนตาเหลือกสามารถนำไปพัฒนาในออกแบบโครงสร้างที่ต้องการข้อต่อที่ยืดหยุ่นเอื้อให้เกิดการเคลื่อนไหวในในลักษณะหมุน 360 องศาได้ ในประเภทโครงสร้างที่เกิดการสั่นหรือเกิดการขยายตัว เป็นต้น ที่สามารถประยุกต์ใช้วิธีการติดตั้งข้อต่อของศาลาเห็นลมนี้ได้

**3. การออกแบบพัฒนาโครงสร้างเสา**

การออกแบบโครงสร้างเสาที่เคลื่อนไหวผ่านหุ่นจำลองและการคำนวณโครงสร้างพบว่า ในศาลาเห็นลมที่ก่อสร้างเสร็จ โครงสร้างเสาเคลื่อนไหวและกลับมาตั้งตรงได้ แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของวิธีการคำนวณโครงสร้างที่ผู้วิจัยเสนอ และสามารถนำมาออกแบบโครงสร้างที่เคลื่อนไหวที่มีลักษณะของการถ่วงด้วยตุ้มน้ำหนัก เพื่อทำให้โครงสร้างตั้งตรง

ปัญหาที่เกิดขึ้นของโครงสร้างประเภทถ่วงน้ำหนักคือ จุดหมุนของโครงสร้างต้องอยู่ห่างจากตุ้มถ่วงน้ำหนักในระยะหนึ่ง เพื่อให้ด้านที่ลูกตุ้มถ่วงเกิดโมเมนต์ที่มากกว่าโมเมนต์โครงสร้างส่วนบน จึงเห็นโครงสร้างส่วนที่เคลื่อนไหวได้ไม่ทั้งหมด ซึ่งตุ้มถ่วงน้ำหนักยังเป็นเหตุให้เกิดความลำบากในการขนส่งจากโรงงานผลิตสู่พื้นที่ตั้ง นอกจากนั้นผู้วิจัยได้พยายามคำนวณให้โครงสร้างเคลื่อนไหวสามารถรับน้ำหนักคนได้ ซึ่งมีผลทำให้ลูกตุ้มมีน้ำหนักมาก เกินกว่าความสามารถในการขนส่งจากโรงงานผลิตไปสู่ที่ติดตั้งศาลา ข้อเสนอแนะคือ การแทนที่ลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักโดยการใช้สปริงเหล็กยึดโครงสร้างเสาด้านล่างแทน โดยสปริงสามารถยืดออกเพื่อยอมให้โครงสร้างเคลื่อนไหว และเมื่อไม่มีลมสปริงจะหดตัวเพื่อดึงให้กลับมาตั้งตรง ซึ่งสามารถนำหลักการคำนวณสปริงมาผนวกกับการคำนวณโมเมนต์ในการออกแบบนี้ มีโอกาสทำให้ระยะโครงสร้างส่วนของลูกตุ้มถ่วงมองเห็นโครงสร้างที่เคลื่อนไหวได้มากขึ้น ขนส่งได้สะดวกยิ่งขึ้น และมีความเป็นไปได้ที่จะรองรับน้ำหนักคนให้ขึ้นไปใช้งานบนโครงสร้างได้

**4. การประยุกต์ใช้โครงสร้างที่เคลื่อนไหวในเชิงออกแบบ**

ในศาลาเห็นลมที่ก่อสร้างเสร็จ ผู้วิจัยได้สังเกตการณ์ และพบว่าโครงสร้างเคลื่อนไหวไปตามแรงลมที่พัดมาในแต่ละทิศทาง ทำให้รูปทรงของอาคารเปลี่ยนแปลงไปตามแช่วงเวลาหรือฤดูกาล ทำให้เกิดการตระหนักถึงแนวทางการออกแบบพื้นที่และรูปทรงทางสถาปัตยกรรมที่สามารถเคลื่อนไหว

เปลี่ยนรูปทรงได้ (kinetic space) ทำให้เกิดประสบการณ์ต่อพื้นที่ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ซึ่งสามารถเป็นองค์ประกอบประเภทหนึ่งที่สถาปนิก ประยุกต์ใช้ในการสื่อสารแนวความคิดในการออกแบบอาคารได้ยกตัวอย่างเช่น การสื่อสารถึงความไม่มั่นคง ความรู้สึกกดดัน หรือ ความรู้สึกระมัดระวัง เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการตีความของผู้ออกแบบต่อไป

**ข้อเสนอแนะวิธีการออกแบบจากบริบท**

การศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ ทำให้เห็นถึงผลลัพธ์ของวิธีการออกแบบจากบริบทลม ศาลาเห็นลม ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้ แสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดแนวความคิดของการออกแบบโครงสร้าง ข้อต่อ และพื้นผิวอาคารได้ โดยสถาปนิก หรือนิสิตที่สนใจในการพัฒนาวิธีการออกแบบเพื่อให้ตอบสนองต่อมุมมองในงานสถาปัตยกรรมของตนเอง สามารถประยุกต์ส่วนที่สนใจในวิธีการออกแบบนี้นำไปพัฒนาได้ โดยสามารถนำบริบทอื่นมาเป็นจุดตั้งต้น ในการออกแบบทั้งบริบทเชิงสภาพแวดล้อม หรือบริบทเชิงวัฒนธรรม

โดยพิจารณาบริบทอื่น ๆ มาเป็นจุดเริ่มต้นในการออกแบบสามารถทำได้ 3 วิธีคือ 1). วิธีการทางตรงคือ การนำคุณสมบัติของบริบทนั้นมาใช้ประโยชน์ ยกตัวอย่างเช่น การพิจารณาถึงบริบทแสงแดด ซึ่งมีคุณสมบัติของความร้อน สามารถประยุกต์ในการออกแบบให้แสงส่องเข้าอาคาร เพื่อทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิของห้อง 2). วิธีการทางอ้อมคือ ออกแบบโดยพิจารณาบริบทเป็นองค์ประกอบที่กำหนด รูปทรง การวางผัง เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น การพิจารณาถึงความร้อนจากแสงแดดในการวางตำแหน่งอาคาร เป็นต้น 3). วิธีการบูรณาการระหว่างทางตรงและทางอ้อม เพื่อให้เกิดแนวทางการพิจารณาการใช้บริบทที่เหมาะสมกับสถานการณ์

ในท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการออกแบบจากบริบทลม โดยการออกแบบโครงสร้างให้เคลื่อนไหวเมื่อลมพัดผ่าน ทำให้เกิดแนวความคิดและมุมมองต่อการออกแบบโครงสร้างอาคารในวิธีการที่แตกต่างไป ดังเช่น “โครงสร้างที่เคลื่อนไหว” ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นเปิดมุมมองหนึ่งของสถาปัตยกรรมที่เคลื่อนไหว (kinetic architecture) ที่องค์ประกอบของอาคารไม่ใช่เพียงพื้นผิว หรือ Façade ของอาคารที่เคลื่อนไหว แต่เป็นโครงสร้างของอาคาร ซึ่งมีโอกาสที่จะนำไปสู่การพัฒนาและประยุกต์ใช้ ในการออกแบบตามสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลายในอนาคต

# รายการอ้างอิง

## ภาษาอังกฤษ


Ching, F. D. (2014a). *Architecture, form, space & order*. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Ching, F. D. (2014b). *Building Construction Ilustrated*. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Engel, H. (1997). *Structure system*. Ostfildern-Ruil: Gerd Hatje.

Forty, A. (2004). *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*. London: Thames & Hudson.

Krautheim, M., & Schultz-Granberg, R. P. S. P. J. (2014). *City and Wind: Climate as an Architectural Instrument*. Berlin: DOM publishers.

Mark, R. (1994). *Light, Wind and Structure: The mystery of the master builders*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

McCarter, R., & Pallasmaa, J. (2012). *Understanding Architecture*. London: Phaidon Press.

Nesbitt, K. (1996). *Theorizing A New Agenga For Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.

Popper, F. (1968). *Origins and Development of Kinetic Art*. New York: New York Graphic Society.

Vitruvius, V. M. P. (1960). *The Ten Books On Architecture*. New York: Dover Publication.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY


## ภาษาไทย


กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2550). มาตรฐานการคำนวณแรงลมและตอบสนองของอาคาร. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส พี เอ็ม การพิมพ์ จำกัด.

บริษัท เออเบิ้น เสปซ จำกัด. (2559). โครงการวางและปรับปรุงผังเมืองรวมเมือง หนองเสือ- คลองหลวง-ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี. Retrieved from กรุงเทพมหานคร:

วิรัช มณีสาร. (2538). ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศตามฤดูกาลของภาคต่าง ๆ ในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ (กรมอุตุนิยมวิทยา) *;* เลขที่ *551.582-02-2538*.

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายวิทวัส ประภาะสะวัต พักอาศัยอยู่ที่ บ้านเลขที่ 62 ซ.รัชดาภิเษก 66 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับ ในปี พ.ศ. 2556 สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมหลัก จากมหาวิทยาลัยศิลปากร หลังจากสำเร็จการศึกษาเข้าทำงานในตำแหน่ง สถาปนิก ที่บริษัท Department of Architecture จำกัด ในช่วงปี พ.ศ.2556-2558 ผู้วิจัยเข้าศึกษาต่อระดับสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีพ.ศ. 2558



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University