

การวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจาก  
น้ำหนักบรรทุกจร และแรงลม ตามมาตรฐาน มขพ.1311-50

ANALYSIS THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TRUSSLESS ROOFING  
SYSTEM UNDER THE EFFECTS OF WIND AND LOAD ACCORDING  
TO DESIGN STANDARDS OF THAILAND



นายอนุบาท เหมะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

การวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจาก  
น้ำหนักบรรทุกจร และแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

ANALYSIS THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TRUSSLESS ROOFING  
SYSTEM UNDER THE EFFECTS OF WIND AND LOAD ACCORDING  
TO DESIGN STANDARDS OF THAILAND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2556

ANALYSIS THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TRUSSLESS ROOFING  
SYSTEM UNDER THE EFFECTS OF WIND AND LOAD ACCORDING  
TO DESIGN STANDARDS OF THAILAND



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
2013

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบ  
จากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50  
(มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง)

ANALYSIS THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TRUSSLESS  
ROOFING SYSTEM UNDER THE EFFECTS OF WIND AND LOAD  
ACCORDING TO DESIGN STANDARDS OF THAILAND

นักศึกษา นายณัฐนาท เหมะ รหัสนักศึกษา 53010815  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อภิวุฒิย์ สุจริตพงศ์  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ. สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์	
ดร. อาทิตย์ เพชรศิริธร	
อ. ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ดร. อภิวุฒิย์ สุจริตพงศ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 19 กุมภาพันธ์ 2557 เวลา 13.00 - 14.00 น.  
สถานที่สอบ CV-202

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารองรับแล้ว

  
(รศ.สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง)		
นักศึกษา	นายณัฐนาท	หเมะ	รหัสนักศึกษา 53010815
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อภิญญาวิทย์ สุจริตพงศ์		
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2556		

### บทคัดย่อ

การวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง) โครงสร้างนี้มีความได้เปรียบคือไม่ต้องมีโครงถักมารองรับอยู่ด้านล่าง ปราศจากการเจาะยึดด้วยสกรู ทำให้สามารถลดต้นทุนและระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างได้ ตัวหลังคาจะต้องออกแบบให้สามารถรับแรงกระทำจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรได้ด้วยตัวเองทั้งหมด ซึ่งสามารถทำได้โดยการผลิตชิ้นส่วนตัวหลังคาพับขึ้นรูปแบบเย้น ที่มีหน้าตัดเป็นรูปร่างน้ำคล้ายตัววี ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมโดยโปรแกรม SAP2000 ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติ และแบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติ โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์เป็น 2 กรณีคือ

- 1) ทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวโปรแกรม โดยทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ตามงานวิจัยของ อ.ฉัตร สุจินดา ผลที่ได้คือลักษณะของการเคลื่อนตัวเหมือนกันแต่ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งยังมีความแตกต่างกันอยู่ เนื่องจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ไม่ได้คำนึงถึงค่า  $P-\Delta$  และ  $P-\delta$
- 2) เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง และค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเมื่อได้รับแรงกระทำตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และตามการศึกษาของ R.Bradley ผลที่ได้คือแบบจำลองแบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติ มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งมากกว่าแบบจำลองแบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติ ทั้ง 2 วิธี ค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามการศึกษาของ R.Bradley ทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	ANALYSIS THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF TRUSSLESS ROOFING SYSTEM UNDER THE EFFECTS OF WIND AND LOAD ACCORDING TO DESIGN STANDARDS OF THAILAND		
<b>Name</b>	MR. NARUNAT HEAMA	STUDENT ID	53010815
<b>Advisor</b>	DR.ATAVIT SUJARIPONG		
<b>Degree</b>	BACHELOR OF ENGINEERING		
<b>Year</b>	2013		

### ABSTRACT

Analysis of the curved trussless roofing system using the design standard had been performed in this study. This technology reduces cost and duration required for constructions by eliminating the complicated roof truss system and the roof sheets can be seamed without screws. The challenge of this type of structures is that the roof itself must withstand all of the loads. This could be achieved by using cold-form corrugated V – shape section. The analysis to the structural behavior using SAP 2000 modeled using Two -dimensional arch modeling and three-dimensional curved shell modeling. The study is divided into two steps. First, the accuracy of the program by the computer models demonstrated in Chatr Suchinda’s research will be checked. The deformed shape of the computer models conforms with that from Chatr Suchinda’s research but the deflections from computer models were not. This is because the computer models do not consider  $P-\Delta$  and  $P-\delta$  effect. Secondly, compared deflections and bending moment based on the design standard and based on the recommendation of related research are compared. The deflections from three-dimensional curved shell modelings are higher than those from two - dimensional arch modeling. The bending moments based on the recommendation of related research are higher than those based on the design standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีด้วย คำแนะนำดีชม และความอนุเคราะห์ของท่าน ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ โดยตลอดระยะเวลาในการจัดทำนั้น ท่านอาจารย์ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ให้คำปรึกษาแนวทางในการปฏิบัติงาน เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ วิธีการขั้นตอนในการทำงานที่ถูกต้อง และประสบการณ์โดยตรงในการใช้ชีวิตและการทำงาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่คณะทำงานได้รับจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ขอกล่าวคำขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและนับถือแต่ ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์

ขอขอบคุณ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และเป็นหนึ่งในคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมคำนวณทางคอมพิวเตอร์ SAP2000 และให้คำชี้แนะในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ที่เป็นประโยชน์อย่างมาก

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงแต่คณาจารย์ทุกท่าน สาขาวิชาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ทุกท่านคอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ความรู้เป็นอย่างดี จนส่งผลให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้สำหรับคุณงานความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากโครงการพิเศษนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่มอบความรักความหวังใยและให้การสนับสนุนอย่างดีเสมอมา

นายณณาท เหมะ

ผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
หน้าอนุมัติ	
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษาโครงการพิเศษ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	5
2.1 อาคารที่ใช้ทำการศึกษา	5
2.1.1 แบบโครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่	6
2.2 มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลม	7
2.2.1 ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการ และผังเมือง)	7
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณแรงลม	39
2.3 ความเร็วลมในประเทศไทย	40
2.4 แรงจากน้ำหนักบรรทุก	46
2.5 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	48
2.6.1 การวิเคราะห์หลังคาโค้งไร้โครงถักช่วงยาว 30 เมตร	48
2.7 โครงสร้างเปลือกบาง (shell structure)	54
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน</b>	<b>57</b>
3.1 กรอบและแนวคิดในการศึกษา	58
3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	59
3.2.1 งานวิจัยของ อาจารย์ฉัตร สุจินดา (Chart Suchinda)	59
3.2.2 การศึกษาของ R.Bradley	59
3.3 กำหนดมาตรฐานในการวิเคราะห์	60
3.3.1 ขอบข่ายตามมาตรฐาน มยผ.1311-50	60
3.4 ศึกษาโปรแกรม SAP2000	60
3.5 ออกแบบโมเดลในโปรแกรม SAP2000	60
3.5.1 ออกแบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมSAP2000	61
3.5.2 การออกแบบหลังคาโค้งไร้โครงถัก	61
3.6 เปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น	61
3.6.1 เปรียบเทียบแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม	61
3.6.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมของคานโค้ง (Arch) และทรงโค้งเปลือกบาง (Shell)	61
<b>บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงาน</b>	<b>62</b>
4.1 อาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์	62
4.1.1 ลักษณะของหลังคา	62
4.1.2 การผลิตชิ้นส่วน	63
4.2 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม	64
4.2.1 น้ำหนักบรรทุกจร	64
4.2.2 แรงลม	64
4.3 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ตามงานวิจัย ฉัตร สุจินดา	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น... งานวิจัย ฉัตร สุจินดา... เอกสารทุกครั้งที่มีการนำ... ใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ตามแบบอาคารอเนกประสงค์	67
4.4.1 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch)	67
4.4.2 แบบจำลองคอมพิวเตอร์แบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell)	69
<b>บทที่ 5 สรุปผลการปฏิบัติงาน</b>	<b>71</b>
5.1 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม	71
5.1.1 วิเคราะห์ผล	72
5.2 การเปรียบเทียบพฤติกรรม ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่	73
5.3 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ	77
5.4 ปัญหาและอุปสรรค	82
5.5 ข้อเสนอแนะ	82
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>84</b>
ภาคผนวก ก. การคำนวณแรงลมที่กระทำกับหลังคา ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง)	85
ภาคผนวก ข. การคำนวณแรงลมที่กระทำกับหลังคาตามการศึกษาของ R.Bradley	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม	10
2.2	หน่วยแรงลมบนอาคารตามกฎหมายกระทรวงมหาดไทย 2527	11
2.3	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) สำหรับวิธีการอย่างง่าย	11
2.4	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) สำหรับวิธีการอย่างละเอียด	14
2.5	การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารสูง	23
2.6	หน่วยน้ำหนักบรรทุกสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคารตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)	47
2.7	แสดงค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของหลังคาโค้งในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)	51
2.8	แสดงค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของหลังคาโค้งในกรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span)	51
5.1	แสดงค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของหลังคาโค้งในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span) $60 \text{ kg/m}^2$ ของ อ.ฉัตร สุจินดา	72
5.2	แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของหลังคาโค้งในกรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	74
5.3	แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของหลังคาโค้งในกรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกตามการศึกษาของ R.Bradley	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	แสดงที่ตั้งของอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่ ในจังหวัดกระบี่	5
2.2	ที่ตั้งโรงพยาบาลกระบี่	6
2.3	รูปตัดด้านข้างของอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาล กระบี่	7
2.4	แสดงการไหลของลมผ่านสิ่งกีดขวาง	8
2.5	แผนภูมิเพื่อหาค่าประกอบการตอบสนองแบบกึ่งสถิตต่อการแปรปรวนของลม (B)	17
2.6	แผนภูมิเพื่อหาค่าตัวคูณลดค่าเนื่องจากลักษณะของอาคาร ( s )	18
2.7	แผนภูมิเพื่อหาค่าอัตราส่วนพลังงานของการแปรปรวนของลม ณ ความถี่ธรรมชาติของอาคาร ( F )	18
2.8	แผนภูมิเพื่อหาค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองให้เป็นค่าสูงสุด ( g <sub>p</sub> )	19
2.9	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( C <sub>p</sub> และ * C <sub>p</sub> ) สำหรับอาคารที่มีความสูง มากกว่าความกว้าง และมีหลังคาอยู่ในแนวราบ	20
2.10	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร C <sub>p</sub> C <sub>g</sub> สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่ กระทำกับพื้นที่ ผิวด้านของอาคารพร้อมกัน	24
2.10(ต่อ)	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร C <sub>p</sub> C <sub>g</sub> สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่ กระทำกับพื้นที่ ผิวด้านของอาคารพร้อมกัน	25
2.11	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( C <sub>p</sub> C <sub>g</sub> ) สำหรับการออกแบบผนังภายนอกและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	27
2.12	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( C <sub>p</sub> C <sub>g</sub> ) ที่กระทำบนพื้นผิวของหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่า 7 องศา สำหรับการ ออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.13	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำบนหลังคาลาดระดับ (stepped roof) โดยใช้ประกอบกับรูปที่ ข.3 สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	30
2.14	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า 7 องศา สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของ โครงสร้างรอง (secondary structural members)	32
2.15	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความชันมากกว่า 10 องศาและมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วงสำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	34
2.16	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาที่มีความลาดชันด้านเดียว สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)	36
2.17	ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับหลังคาลักษณะพื้นเอียง (มีความลาดชันเพียงด้านเดียว และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วง) ที่มีความชันมากกว่า 10 องศา สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของ โครงสร้างรอง (secondary structural members)	38
2.18	แผนภูมิค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ )	40
2.19	ภูมิประเทศแบบ A ศูนย์กลางเมืองขนาดใหญ่ (ASCE, 2000)	41
2.20	ภูมิประเทศแบบ B พื้นที่รอบเมืองสำหรับอยู่อาศัย (ASCE, 2000)	41
2.21	ภูมิประเทศแบบ C พื้นที่สนามหญ้าหรือพื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย (ASCE, 2000)	42
2.22	ภูมิประเทศแบบ D พื้นที่เปิดโล่งหรือพื้นที่แนวชายฝั่งทะเล (ASCE, 2000)	42
2.23	แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี ณ ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ	44
2.24	แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี	45
2.25	รูปหน้าตัดของหลังคาโค้งไร้โครงถัก	49
2.26	ส่วนสูง รัศมีความโค้งและความยาวในแนวราบของหลังคาโค้งไร้โครงถักที่ใช้ในการทดสอบ	49

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.27 (ก)	น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบและตำแหน่งที่ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง แสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5 กรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)	50
2.27 (ข)	น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบและตำแหน่งที่ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง แสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5 กรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span)	50
2.28	แสดงรูปทรงที่เปลี่ยนไป (Deformed Shape) ในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)	53
2.29 (ก)	แสดงค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนัก บรรทุกเต็มช่วง $60 \text{ kg/m}^2$	53
2.29 (ข)	แสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง $60 \text{ kg/m}^2$	53
2.30	แสดงรูปทรงที่เปลี่ยนไป (Deformed Shape)	54
2.31 (ก)	แสดงค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนัก บรรทุกครึ่งช่วง $40 \text{ kg/m}^2$	54
2.31 (ข)	แสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง $40 \text{ kg/m}^2$	54
2.32	แสดงแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนเปลือกบาง (Shell Structure)	55
2.33 (ก)	ตัวอย่างหลังคาโครงสร้างเปลือกบาง	56
3.1	แผนผังแสดงกรอบและแนวคิดในการศึกษา	58
3.2	ระยะของหลังคาโค้งไร้โครงถัก	59
3.3	การเกิดแรงกระทำบนหลังคาทรงโค้งเนื่องจากแรงลมในทิศตั้งฉากกับความยาวของตัวอาคาร	59
4.1	รูปแสดงรายละเอียดจุดรองรับหลังคา	62
4.2	แสดงระยะห่างของจุดรองรับหลังคา	63
4.3	แสดงหน้าตัดของหลังคาโค้งไร้โครงถัก	63
4.4	แสดงทิศทางและขนาดของแรงกระทำที่ด้านบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	64
4.5	แสดงโซนของแรงกระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก	65
4.6	แสดงทิศทางและขนาดแรงกระทำที่กระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก ตามการศึกษาของ R.Bladley	65

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.7	แสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) ตามงานวิจัยของ อาจารย์ฉัตร สุจินดา บนระบบพิกัดฉาก	66
4.8	แสดงการแบ่งหน้าตัดของโครงสร้างคานโค้ง (Arch)	66
4.9 (ก)	แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด หน้าตัดทางด้านซ้าย	67
4.9 (ข)	แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด หน้าตัดทางด้านขวา	67
4.10	แสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของคานโค้ง (Arch) ตามแบบอาคารอเนกประสงค์	68
4.11 (ก)	แสดงการรับแรงกระทำตามมาตรฐาน มยผ.1311-50	68
4.11 (ข)	แสดงการรับแรงกระทำตามการศึกษาของ R.Bladley	68
4.12 (ก)	แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด หน้าตัดทางด้านซ้าย	69
4.12 (ข)	แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด หน้าตัดทางด้านขวา	69
4.13	แสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของทรงโค้งเปลือกบาง (Shell) ตามแบบอาคารอเนกประสงค์	70
5.1	แสดงแนวนหลังคาโค้ง แสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5	71
5.2	แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้ง กรณีน้ำหนักบรรทุกทุกเต็มช่วง (Full span) $60 \text{ kg/m}^2$	72
5.3	แสดงจำนวน Element และแนวการตรวจสอบระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้ง แสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5	73
5.4	ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	73
5.5	ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	74
5.6	โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	74
5.7	โมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	75

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.8	ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามการศึกษา R.Bradley	75
5.9	ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามการศึกษา R.Bradley	76
5.10	โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามการศึกษาของ R.Bradley	76
5.11	โมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามการศึกษาของ R.Bradley	77
5.12 (ก)	แสดงแรงสุทธิที่กระทำบนหลังคาค้างไร้โครงถักตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50	78
5.12 (ข)	แสดงแรงสุทธิที่กระทำบนหลังคาค้างไร้โครงถักตามการศึกษาของ R.Bradley	78
5.13	แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาค้างกรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรแบบจำลองคานโค้ง (Arch)	79
5.14	แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาค้าง กรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell)	80
5.15	แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาค้างไร้โครงถัก กรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจร	81
5.16	แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาค้าง กรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามการศึกษาของ R.Bradley	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ในอดีตการก่อสร้างหลังคาเหล็กมีกันมาอย่างแพร่หลาย เนื่องด้วยการก่อสร้างที่ รวดเร็ว มีน้ำหนัก และแข็งแรง แล้วยังสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ตามต้องการ โดยหลังคาเหล็กได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนปัจจุบันได้มีการผลิตหลังคาเหล็กที่ไม่ต้องมีโครงถักมารองรับหรือที่เรียกว่า หลังคาโค้งไร้โครงถักซึ่งมีข้อดีในด้านน้ำหนักเบาและความรวดเร็วในการก่อสร้าง ซึ่งหลังคาโค้งไร้โครงถักนี้เริ่มมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทย อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถัก เมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามมาตรฐานของประเทศไทยยังคงมีการศึกษากันอยู่น้อย ยิ่งถ้าเป็นหลังคาโค้งไร้โครงถักที่มีช่วงความยาวและมีความสูงมาก ก็จะได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลมมากขึ้น ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงสร้างความเสียหายให้กับตัวโครงสร้าง แต่ยังทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สิน และยังเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตมนุษย์ด้วย ดังนั้นวิศวกรจึงได้ให้ความสนใจในการศึกษาพฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) เนื่องจากปัญหาแรงกระทำดังกล่าวเป็นปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เมื่อทำการก่อสร้าง

### 1.2 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากหลังคาโค้งไร้โครงถักมีน้ำหนัก และความแข็งแรงน้อยกว่าหลังคาเหล็กแบบมีโครงถักรองรับ ทำให้ผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลมที่กระทำต่อตัวหลังคามีความเสี่ยงมากขึ้น ดังนั้นวิธีที่จะทำให้ผู้ศึกษาเข้าใจผลกระทบได้ดีขึ้นควรมีการทดลองให้เห็นจริง แต่ในการทดลองทางโครงสร้างนั้น ไม่อาจใช้โครงสร้างที่มีขนาดเท่าของจริงมาทำการทดสอบได้โดยสะดวก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงและมีขนาดใหญ่เกินไปดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางโครงสร้างของหลังคาโค้งไร้โครงถักเพื่อทำการทดสอบ โดยขนาดแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกในการทดลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถัก เมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และนำผลไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ พิจารณา ตลอดจนเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไข

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.3.1 เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และตามคำแนะนำของ R.Bradley

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยวิธีการวิเคราะห์แรงลมแบบสถิตเทียบเท่า อย่างง่าย ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และตามคำแนะนำของ R.Bradley

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษาโครงการพิเศษ

1.4.1 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับงานวิจัยที่เคยศึกษามาในอดีต

1.4.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และตามคำแนะนำของ R.Bradley

1.4.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยวิธีการวิเคราะห์แรงลมแบบสถิตเทียบเท่า อย่างง่าย ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และตามคำแนะนำของ R.Bradley

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการดำเนินโครงการพิเศษ

1.5.1 ทราบถึงข้อแตกต่าง พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และข้อกำหนดที่แนะนำจากงานวิจัยที่เคยศึกษามาในอดีต

1.5.2 สามารถใช้งานโปรแกรม SAP2000 ในการคำนวณแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (3 มิติ) ได้อย่างถูกต้อง

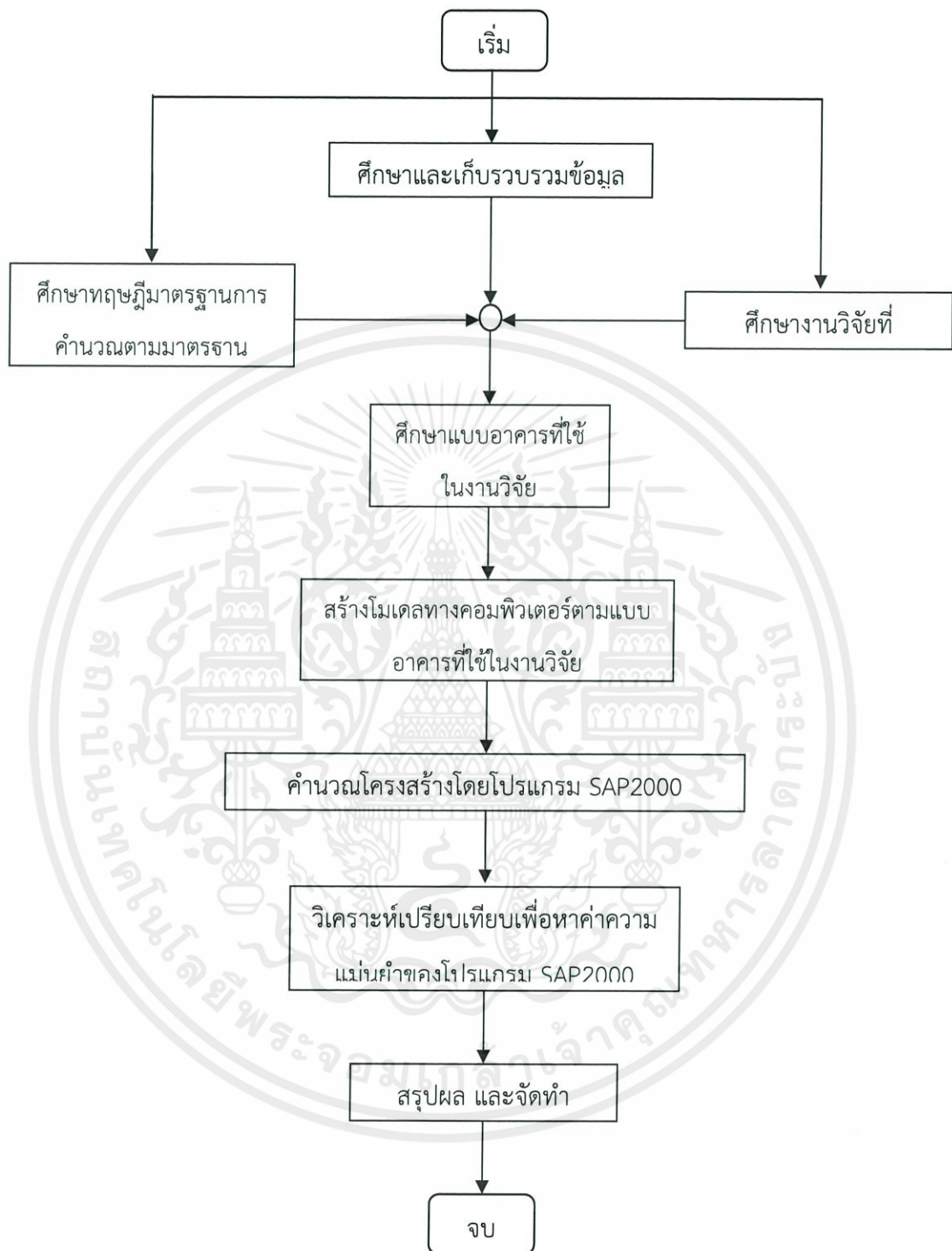
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 ทราบถึงความแตกต่างของพฤติกรรม และผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยวิธีการวิเคราะห์แรงลมแบบสถิตเทียบเท่า อย่างง่าย ตามข้อกำหนดแรงลมมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และตามคำแนะนำของ R.Bradley



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

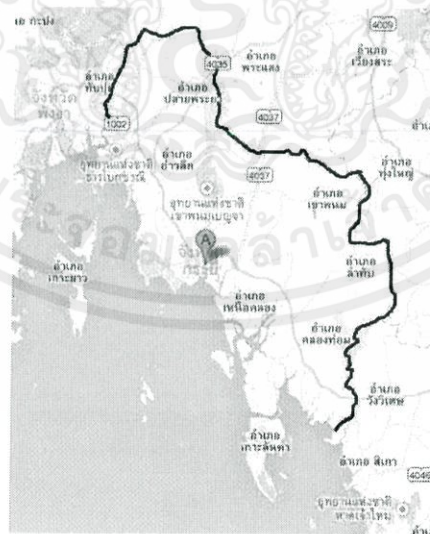
## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

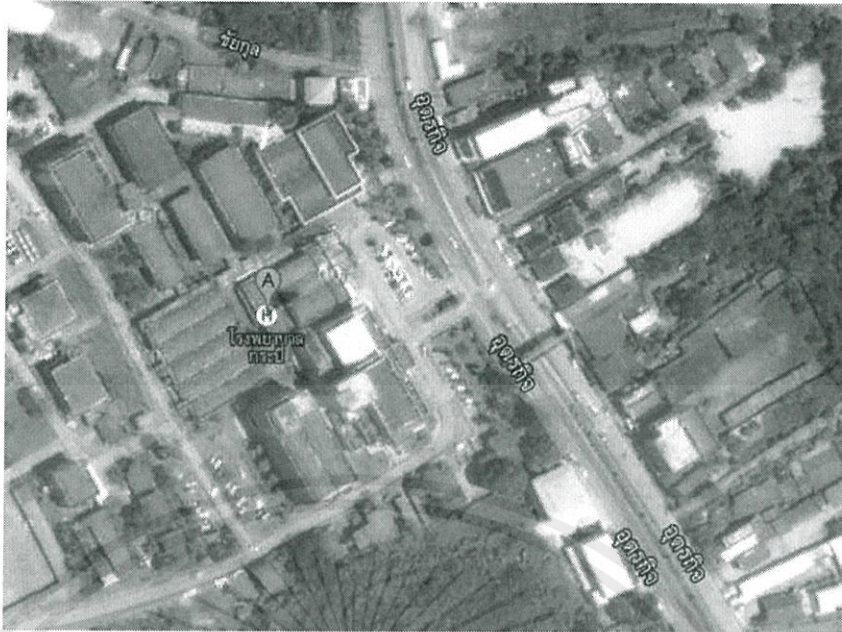
การออกแบบนอกจากเพื่อความสวยงามแล้ว การออกแบบตัวหลังคาโค้งไร้โครงก็ต้องคำนึงถึงความสามารถในการต้านทานแรง ทั้งในแนวดิ่งและแนวราบที่เข้ามากระทำกับตัวหลังคา โดยแรงที่มีผลต่อตัวหลังคาโค้งไร้โครงหลักๆ มี 2 แรงด้วยกันคือ แรงลมในแนวราบ และแรงของน้ำหนักคงที่ (Death Load) กับแรงของน้ำหนักจร (Light Load) ในแนวดิ่ง โดยแรงทั้งสองมีผลต่อตัวหลังคาโดยตรง ผลกระทบนี้เริ่มมีบทบาทและความสำคัญมากขึ้นตามความสามารถในการก่อสร้างและการออกแบบ โดยอาศัยเทคโนโลยีการก่อสร้างต่างๆ ดังนั้นค่าสถิติเฟสของตัวหลังคาโค้งไร้โครงถักซึ่งเป็นส่วนช่วย และรับการกระจายแรงด้านข้าง รวมไปถึงกำลังของวัสดุที่ใช้ โดยสิ่งเหล่านี้จะส่งผลถึงความปลอดภัยของตัวหลังคาโค้งไร้โครงถักเอง

#### 2.1 อาคารที่ใช้ทำการศึกษา

คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่ ซึ่งมีที่ตั้งอยู่ 325 ถนนอุตรกิจ ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ มีที่ตั้งดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปที่ 2.1 แสดงที่ตั้งของอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้โรงพยาบาลกระบี่ ในจังหวัดกระบี่ ใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

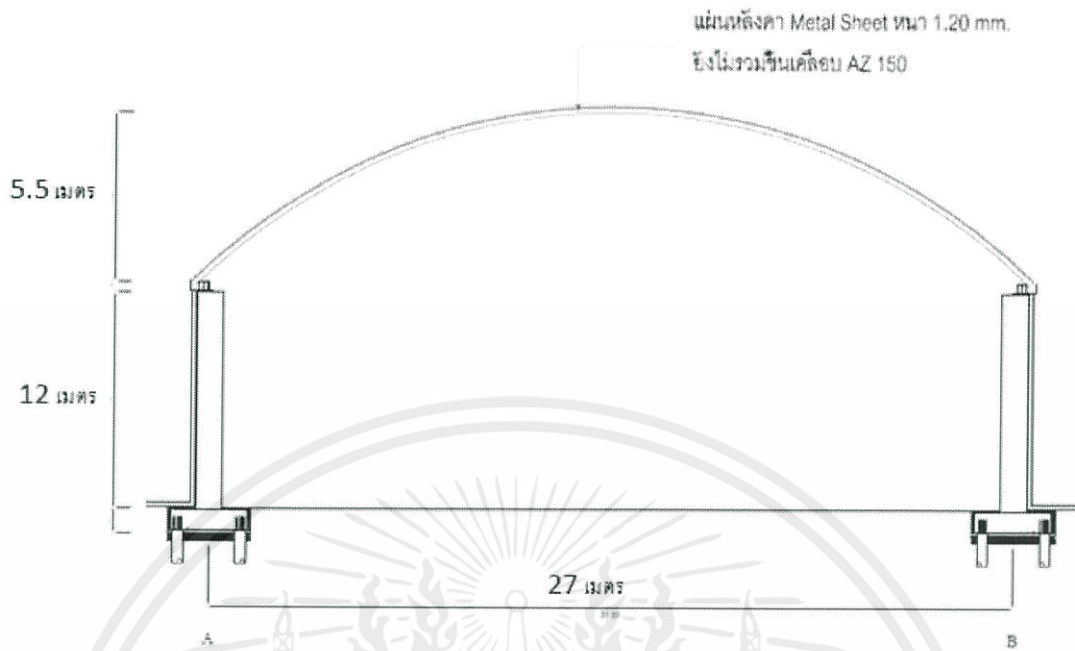


## รูปที่ 2.2 ที่ตั้งโรงพยาบาลกระบี่

2.1.1 แบบโครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่  
แบบโครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่  
เป็นอาคารเปิดชั้นเดียว ความสูงจากพื้นถึงยอดหลังคาคือ 12.52 เมตร หลังคาเป็นหลังคาโค้งไร้โครง  
ถัก ตัวหลังคาทำจาก แผ่น Metal sheet หนา 1.20 มิลลิเมตร ยังไม่รวมชั้นเคลือบ AZ 150  
ใช้เสาคอนกรีตขนาด 0.9 m x 0.45 m จำนวน 10 ต้น แบ่งเป็น 2 แถวห่างกัน 27  
เมตร แถวละ 5 ต้น ห่างกัน 9 เมตร วางบนฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น ขนาด  $\phi$  0.35 x 21.00 m SAFE  
LOAD 35 ต้น

ลักษณะของตัวอาคารเป็นอาคารเปิด หลังคาเป็นทรงโค้งไร้โครงถักวางบน อะเสเหล็ก  
HB 300 x 300 x 10 x 15 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปตัดด้านข้างของอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่

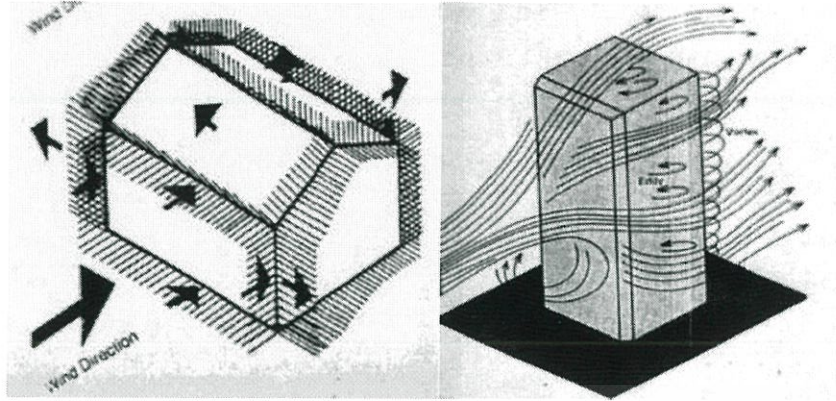
## 2.2 มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลม

### 2.2.1 ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง)

ลมเกิดจากสภาพความกดอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของมวลอากาศร้อนและเย็น โดยพื้นที่ๆ มีอากาศร้อนจะมีความกดอากาศต่ำ อากาศจะลอยตัวสูงขึ้นและไหลออกสู่พื้นที่อื่นเรียกว่าการเคลื่อนตัวของมวลอากาศหรือลมตัวเอง เมื่อเราทำการวัดความเร็วลมที่ความสูงหนึ่งๆ จะสังเกตได้ว่าความเร็วลมแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ ความเร็วลมแบบคงที่ (Constant Mean) และความเร็วลมแบบจัดเป็นพั๊กๆ (Qust)

ลมมีทั้งลมท้องถิ่น (ลมประจำ) และลมพายุ การเกิดลมทั้ง 2 ประเภทขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่หรือลักษณะภูมิประเทศ ดังนั้นการก่อสร้างต้องคำนึงถึงโอกาสที่จะเกิดลมพายุด้วย โดยพื้นที่ๆ เป็นทางผ่านของลมพายุต้องคำนึงถึงความแรงของลมพายุเป็นพิเศษ โดยลักษณะของแรงลมเมื่อพัดผ่านวัตถุ หรือสิ่งกีดขวางจะมีลักษณะเหมือนกับของไหล ไหลผ่าน โดยกระแสลมจะไหลออกทางด้านข้างแล้วรวมตัวกันใหม่ด้านหลังดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงการไหลของลมผ่านสิ่งกีดขวาง

การคำนวณแรงลมตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) โดยวิธีการกำหนดค่าแรงลมสถิติเทียบเท่า แบ่งเป็น 3 วิธี คือ

- (ก) การคำนวณแรงลมสถิติเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างง่าย
- (ข) การคำนวณแรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศทางลม โดยวิธีการอย่างละเอียด และการคำนวณหน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิดสถิติเทียบเท่า
- (ค) การทดสอบในอุโมงค์ลม

1) การคำนวณแรงลมสถิติเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างง่าย

การกำหนดค่าแรงลมสถิติเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างง่าย ใช้กับโครงสร้างต่อไปนี้

- ก. ระบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม (main wind-force resistant system) ของอาคาร เตี้ยและอาคารสูงปานกลางที่มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด ยกเว้นอาคารที่ระบุไว้ในหัวข้อ 2.4ข

- ข. ผนังภายนอกอาคาร (cladding) ของอาคารทุกประเภท

ค่าความกว้างประสิทธิภาพของอาคาร สามารถคำนวณได้จาก

$$W = \frac{\sum h_i W_i}{\sum h_i} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\Sigma$  = ผลรวมของทุกชั้นของอาคาร

$h_i$  = ความสูงจากพื้นดิน ถึงพื้นที่ชั้นที่  $i$

$W_i$  = ความกว้างของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ที่ความสูง  $h_i$

ความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุดของอาคาร ให้พิจารณาจากทิศทางลมในทุกทิศทาง

1.1) สมการคำนวณแรงกระทำเนื่องจากแรงลม

$$P = I_w q C_e C_g C_p \quad (2.2)$$

โดยที่  $P$  = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure)  
กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร โดยเรียกว่า “หน่วยแรงดัน” ถ้า  
มีทิศเข้าหา พื้นผิว หรือ “หน่วยแรงดูด” ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

$I_w$  = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลมจากตารางที่ 2.1

$q$  = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure)

$C_e$  = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor)

$C_g$  = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระชอกของลม (gust effect factor)

$C_p$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร  
(external pressure coefficient)

แรงลมสุทธิที่กระทำต่ออาคารโดยรวม เป็นผลรวมแบบเวกเตอร์ของแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารทางด้านต้นลมและท้ายลม รวมถึงด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยที่แรงลมนี้คือ ผลคูณของหน่วยแรงลมในหัวข้อ 2.2.1 กับพื้นที่ผิวของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

อาคารและการใช้งาน	ประเภท	$I_w$
อาคารซึ่งถ้าเกิดการวิบัติ จะมีการสูญเสียชีวิตน้อยมาก เช่น โรงนาหรือโกดังเล็กๆ	I	0.87
อาคารที่ไม่จัดอยู่ในประเภท I, III หรือ IV	II	1.00
อาคารซึ่งถ้าเกิดการวิบัติ จะมีการสูญเสียชีวิตมาก เช่น อาคารซึ่งมีผู้คนเกิน 300 คนอยู่ในพื้นที่เดียวกัน โรงเรียนและโรงเรียนอนุบาลซึ่งมีนักเรียนเกิน 250 คน มหาวิทยาลัยซึ่งมีนักศึกษาเกิน 500 คนโรงพยาบาลซึ่งไม่มีห้องฉุกเฉินและห้องผ่าตัดแต่มีเตียงคนไข้เกิน 50 เตียง ทันตะสถาน โรงไฟฟ้า และสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อสภาวะฉุกเฉินและอาคารที่เก็บสารพิษและวัตถุระเบิด	III	1.15
อาคารสำคัญ ได้แก่ โรงพยาบาล สถานีดับเพลิง สถานีตำรวจ สำนักงานความมั่นคงแห่งชาติ อาคารกลางของแต่ละชุมชน โรงไฟฟ้าและสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อสภาวะฉุกเฉิน	IV	1.15

1.2) หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม สามารถคำนวณได้จาก

$$q = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2 \quad (2.3)$$

โดยที่  $q$  ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร  
หรือ

$$q = \frac{1}{2} \left( \frac{\rho}{g} \right) \bar{V}^2 \quad (2.4)$$

โดยที่  $q$  ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (แรง) ต่อตารางเมตร

$\rho$  = ความหนาแน่นของมวลอากาศ (ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1.25 กิโลกรัม (มวล) ต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับความดันบรรยากาศปกติและอุณหภูมิของอากาศประมาณ 15 องศาเซลเซียส ถึง 45 องศาเซลเซียส

$\bar{V}$  = ความเร็วลมอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.806 ม./วินาที<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงครั้งเดียวเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่นำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าผิดกฎหมายให้ตัดแปลงเนื้อหาและตัดอ้างอิงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
หรือใช้ค่าตามที่กฎกระทรวงเป็นคนกำหนดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 หน่วยแรงลมบนอาคารตามกฎกระทรวงมหาดไทย 2527

ความสูงของอาคารหรือส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลม ( $q$ ) อย่างน้อย กิโลกรัมต่อหนึ่งตารางเมตร
ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160

1.3) ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ )

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพภูมิประเทศการคำนวณค่าแรงลมโดยวิธีการอย่างง่ายคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. สภาพภูมิประเทศแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคารต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่างๆ กัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล ให้คำนวณค่า ( $C_e$ ) จากตาราง 2.3

ข. สภาพภูมิประเทศแบบ B เป็นสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ ที่มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก ให้คำนวณค่า ( $C_e$ ) หรือใช้ค่าจากตาราง 2.3

สภาพภูมิประเทศใดๆ จะจัดอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ B ได้ ก็ต่อเมื่อมีลักษณะภูมิประเทศในลักษณะนั้นๆ สม่่าเสมอในทิศทางด้นลม เป็นระยะทางไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร หรือ 10 เท่าของความสูงของอาคาร โดยใช้ค่าที่มากกว่า ซึ่งสภาพภูมิประเทศที่ใช้ในการคำนวณนี้ ควรสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศที่แท้จริงในทิศทางลมที่พิจารณา

ตารางที่ 2.3 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) สำหรับวิธีการอย่างง่าย

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

#### 1.4) ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ( $C_g$ )

ค่าประกอบเนื่องจากการผลการกระโชกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ย ค่าประกอบ  $C_g$  สำหรับวิธีการอย่างง่าย คำนวณได้ดังนี้

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ก. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ให้ใช้ค่า  $C_g$  เท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักด้านทาน

แรงลม ยกเว้น ป้าย และกำแพงให้ใช้ค่า  $C_g$  เท่ากับ 2.35

ข. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ให้ใช้ค่า  $C_g$  เท่ากับ 2.5 ในการออกแบบโครงสร้างรองและผนัง

ภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก (ประมาณขนาดของ

หน้าต่าง) ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลมที่กระทำภายใน

อาคาร

สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายในอาคาร ให้ใช้ค่า  $C_{gi}$  เท่ากับ 2.0 ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะและปริมาณของช่องเปิด (opening) ของอาคาร ในกรณีที่มีอาคารมีขนาดใหญ่และไม่มีผนังกันภายในซึ่งทำให้ปริมาตรภายในของอาคารมีค่ามาก ค่าความดันลมภายในอาคารจะมีการแปรเปลี่ยนช้าเมื่อเทียบกับการแปรเปลี่ยนของความดันลมภายนอกอาคาร

#### 1.5) ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก ขึ้นอยู่กับรูปร่างของอาคาร ทิศทางลม และลักษณะการแปรเปลี่ยนของความเร็วลมตามความสูงอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายนอกอาคาร สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารและระบบโครงสร้างหลักของอาคาร แบ่งออกเป็น 3 หมวด ดังนี้

ก. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารเดี่ยวที่มีความสูงต่อ

ความกว้าง  $\left(\frac{H}{D_s}\right)$  น้อยกว่า 1 ( $D_s$  คือความกว้างของด้านที่แคบที่สุด) และมีความ

สูงอ้างอิง (reference height) น้อยกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของ

หน่วยแรงลมได้ถูกนำมารวมกับค่าประกอบเนื่องจากการผลการกระโชกของลม

ข. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารสูง

ค. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับโครงสร้างพิเศษค่า  $C_p$  ให้ดู

การคำนวณเพิ่มเติมในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศทางลม โดยวิธีการอย่างละเอียด

การกำหนดค่าแรงลมสถิตเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างละเอียด ใช้กับโครงสร้างต่อไปนี้

- ก. อาคารที่มีความสูงเกิน 80 เมตร หรือมีความสูงเกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุด
- ข. อาคารที่สั้นไหวง่าย ได้แก่ อาคารที่มีน้ำหนักเบา และมีความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ต่ำ และมีคุณสมบัติความหน่วง (damping properties) ของอาคารต่ำ

แรงลมออกแบบสำหรับวิธีการอย่างละเอียด สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการแบบเดียวกับสมการ ในหัวข้อ 2.3.1 รวมทั้งค่าประกอบความสำคัญของแรงลม ( $I_w$ ) หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม ( $q$ ) และค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_g$ ) สามารถคำนวณโดยใช้หลักการแบบเดียวกับวิธีการอย่างง่าย ยกเว้นค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) และค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม ( $C_g$ ) ซึ่งต่างกับวิธีการอย่างง่าย และให้คำนวณตามบทนี้

2.1) สมการคำนวณแรงกระทำเนื่องจากแรงลม  
ในการคำนวณโดยวิธีอย่างละเอียดนั้นสมการขั้นต้นจะใช้สมการเดียวกันกับวิธีอย่างง่ายคือ

$$P = I_w q C_e C_g C_p \quad (2.5)$$

โดยที่  $P$  = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับ พื้นผิวภายนอกอาคาร โดยเรียกว่า “หน่วยแรงดัน” ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ “หน่วยแรงดูด” ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

$I_w$  = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลมจากตารางที่ 2.1

$q$  = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure)

$C_e$  = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (exposure factor)

$C_g$  = ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (gust effect factor)

$C_p$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (external pressure coefficient) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม สามารถคำนวณได้จาก

โดยที่  $q$  ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (แรง) ต่อตารางเมตร ใช้สมการที่ 2.2 และ 2.3 ในการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีอย่างง่าย

2.3) ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ )

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่า หน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพภูมิประเทศ

การคำนวณค่าแรงลมโดยวิธีการอย่างละเอียด คำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 3 แบบ ดังนี้

ก. สภาพภูมิประเทศแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือ สิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่างๆ กัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล ใช้ค่า จากตาราง 2.3

ข. สภาพภูมิประเทศแบบ B เป็นสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มี ต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก ใช้ค่าจากตาราง 2.3

ค. สภาพภูมิประเทศแบบ C เป็นสภาพภูมิประเทศของบริเวณศูนย์กลางเมืองใหญ่ มีอาคารสูงอยู่หนาแน่น โดยที่อาคารไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ต้องมีความสูงเกิน 4 ชั้น ใช้ค่าจากตาราง 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) สำหรับวิธีการอย่างละเอียด

ความสูงจากพื้นดิน	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B	สภาพภูมิประเทศแบบ C
สูงไม่เกิน 10 เมตร	1.00	0.50	0.40
สูงเกิน 10 เมตรแต่ไม่เกิน 20 เมตร	1.21	0.63	0.40
สูงเกิน 20 เมตรแต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.47	0.89	0.49
สูงเกิน 40 เมตรแต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.79	1.25	0.81
สูงเกิน 80 เมตรแต่ไม่เกิน 120 เมตร	2.01	1.54	1.09
สูงเกิน 120 เมตรแต่ไม่เกิน 160 เมตร	2.17	1.77	1.34
สูงเกิน 160 เมตรแต่ไม่เกิน 200 เมตร	2.31	1.98	1.57
สูงเกิน 200 เมตรแต่ไม่เกิน 250 เมตร	2.46	2.22	1.84
สูงเกิน 250 เมตรแต่ไม่เกิน 300 เมตร	2.50	2.43	2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคแบบ C ควรพิจารณาด้วยความรอบคอบ เนื่องจากอาจเกิดแรงลมที่สูงจากช่องลมที่เกิดจากการสร้างอาคาร และผลของระลอกลมที่เกิดจากอาคารสูงข้างเคียง

สภาพภูมิภาคใดๆ จะจัดอยู่ในสภาพภูมิภาคแบบ B หรือ C ได้ก็ต่อเมื่อมีลักษณะภูมิภาคในลักษณะนั้นๆ สม่่าเสมอในทิศทางต้นลม เป็นระยะทางไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร หรือ 10 เท่าของความสูงของอาคาร โดยใช้ค่าที่มากกว่า ซึ่งสภาพภูมิภาคที่ใช้ในการคำนวณนี้ ควรสอดคล้องกับสภาพภูมิภาคที่แท้จริงในทิศทางลมที่พิจารณา

#### 2.4) ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ( $C_g$ )

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม คือ อัตราส่วนระหว่างผลของแรงลมสูงสุดต่อผลของแรงลมเฉลี่ยเป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลม โดยรวมผลที่เกิดจาก

- 1) การแปรปรวนของความเร็วลม (random wind gusts) ที่พัดเข้าหาอาคาร
- 2) หน่วยแรงลมที่ผันผวนจากผลของของระลอกลม (wake-induced fluctuating pressure) โดยรอบอาคาร
- 3) การตอบสนองด้านพลศาสตร์ของอาคาร

ค่าประกอบ  $g_c$  สำหรับวิธีการอย่างละเอียด คำนวณได้ดังนี้

$$C_g = 1 + g_p \left( \frac{\sigma}{\mu} \right) \quad (2.6)$$

โดยที่  $g_p$  = ค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด (statistical-peak factor) สำหรับการสั้นไหวของอาคารในทิศทางลม หาค่าได้จากรูปที่ 2.8

$\sigma$  = ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของผลตอบสนองด้านพลศาสตร์ของอาคาร เนื่องจากความผันผวนของแรงลม (root-mean-square loading effect)

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของอาคารเนื่องจากแรงลม (mean loading effect) อัตราส่วน  $\frac{\sigma}{\mu}$  สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{K}{C_{aH}} \left( B + \frac{SF}{\beta_D} \right)} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $K$  = ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามความขรุขระของสภาพภูมิประเทศโดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ

- 0.08 สำหรับภูมิประเทศแบบ A
- 0.10 สำหรับภูมิประเทศแบบ B
- 0.14 สำหรับภูมิประเทศแบบ C

$C_{aH}$  = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่ระดับความสูงของยอดอาคารโดยให้คำนวณจากตารางที่ 2.3

$B$  = ค่าประกอบการตอบสนองแบบกึ่งสถิติต่อการแปรปรวนของลม (background turbulence factor) ซึ่งเป็น ฟังก์ชันของอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของอาคาร  $\frac{W}{H}$  และหาค่าได้จากรูปที่ 2.5

$W$  = ความกว้างทั้งหมดของด้านที่ตั้งฉากกับแรงลม มีหน่วยเป็นเมตร

$H$  = ความสูงของอาคาร มีหน่วยเป็นเมตร

$\frac{sF}{\beta_D}$  = ค่าประกอบการตอบสนองแบบกำหนดต่อการแปรปรวนของลม (resonance factor) ในทิศทางลม

$S$  = ตัวคูณลดเนื่องจากขนาดของอาคาร (size reduction factor) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $\frac{W}{H}$  และความถี่ธรรมชาติลดรูป (reduction frequency of- structure,  $\frac{n_D H}{V_H}$ ) และหาค่าได้จากรูปที่ 2.6

$n_D$  = ค่าความถี่ธรรมชาติของอาคาร สำหรับรูปแบบการสั่นไหวขพื้นฐานในทิศทางลม (fundamental natural frequency in along-wind direction) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (Hz) ซึ่งค่านี้อาจหาได้จากการวิเคราะห์โดยตรงจากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของอาคาร ในกรณีที่ เป็นอาคารสูงสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กอาจประมาณค่าความถี่ธรรมชาติจากสูตร

$$n_D = \frac{44}{H}$$

$V_H$  = ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ระดับความสูงของยอดอาคาร มีหน่วยเป็นเมตร ต่อวินาที คำนวณได้จาก

$$V_H = \bar{V} \sqrt{C_{aH}}$$

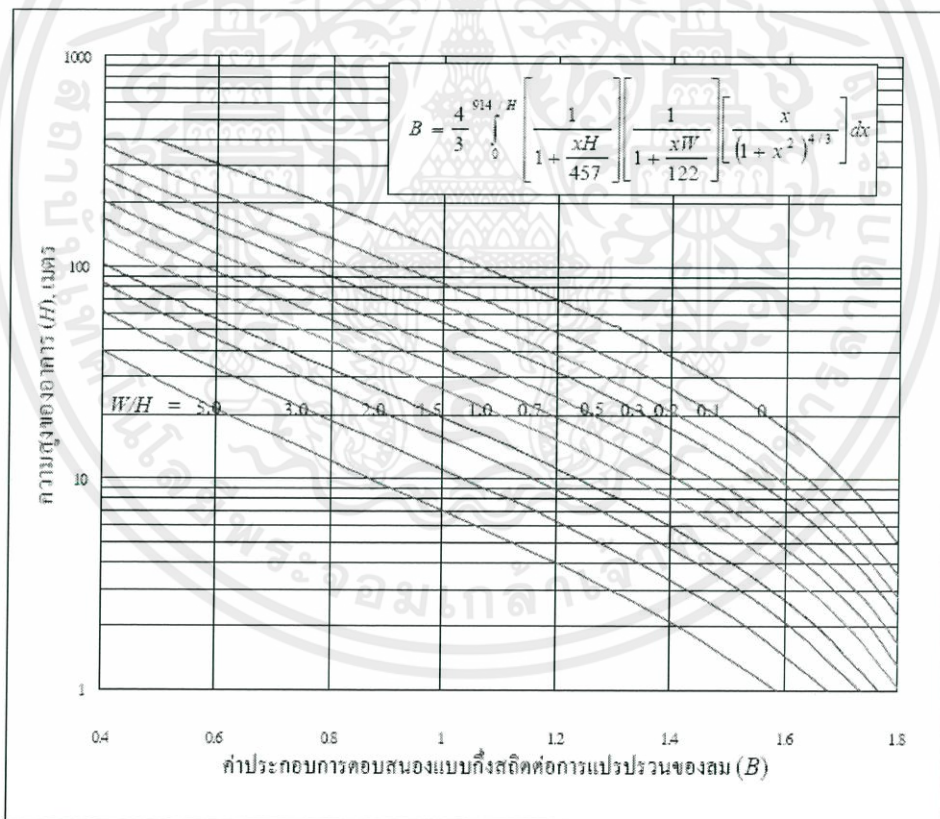
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในโครงการที่ระบุไว้เท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F$  = อัตราส่วนพลังงานของการแปรปรวนของลม ณ ความถี่ธรรมชาติของอาคาร (gust energy ratio at the natural frequency of the structure) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจำนวนคลื่นต่อเมตร (Wave number,  $\frac{n_D}{V_H}$ ) หาค่าได้จากรูปที่ 2.7

$\beta_D$  = อัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) ของการสั่นไหวในทิศทางลมซึ่งค่านี้ควรกำหนดให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดอาคารจริงที่โครงสร้างเหล็กและโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอาจใช้ค่า  $\beta$  อยู่ ระหว่าง 0.005 ถึง 0.015 ขึ้นกับระดับของการสั่นไหว

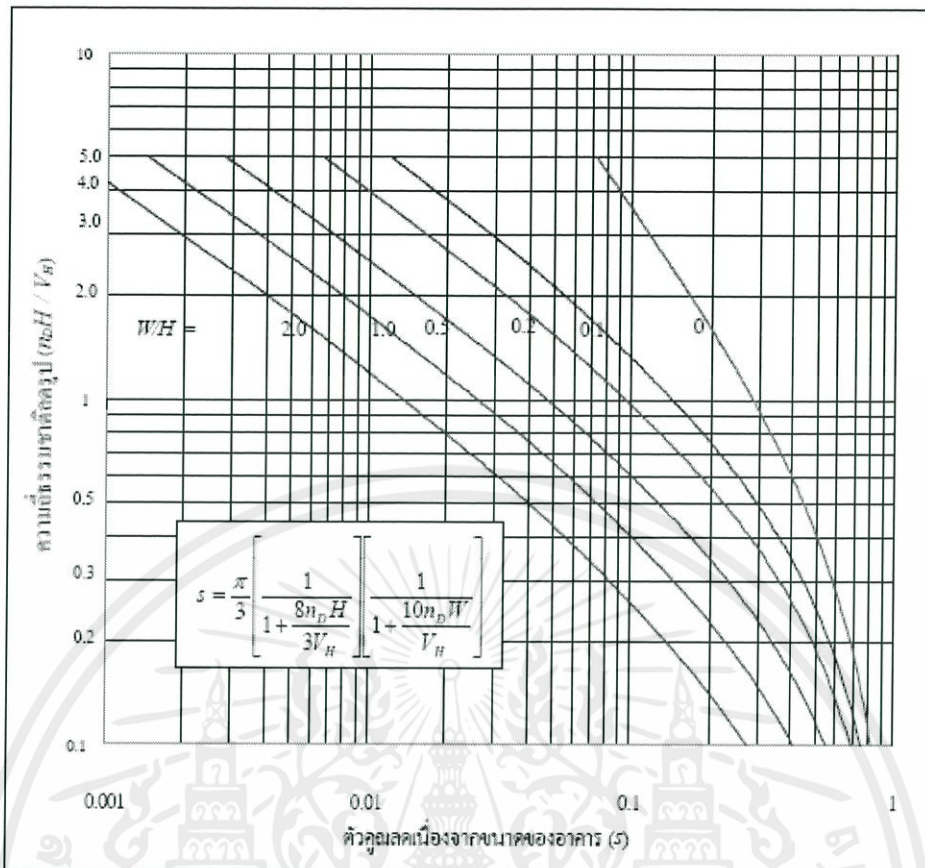
$v$  = ค่าความถี่เฉลี่ยของการตอบสนองของโครงสร้าง (average fluctuation-rate) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หากจาก

$$v = n_D \sqrt{\frac{sF}{sF + \beta_D B}}$$

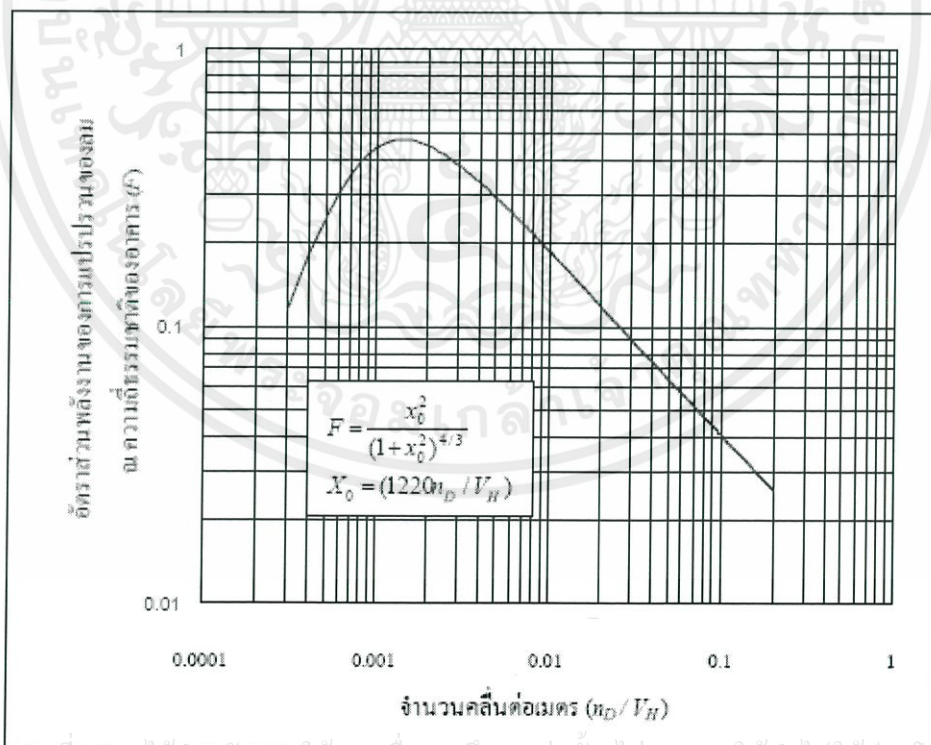


รูปที่ 2.5 แผนภูมิเพื่อหาค่าประกอบการตอบสนองแบบกึ่งสถิติต่อการแปรปรวนของลม ( $B$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

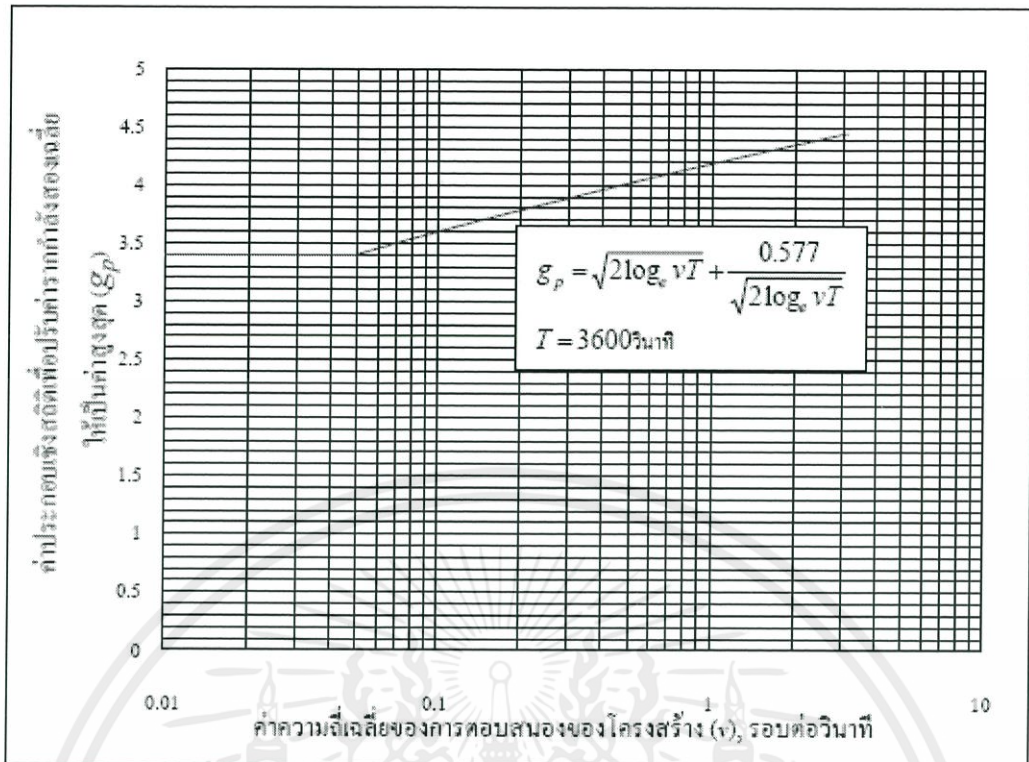


รูปที่ 2.6 แผนภูมิเพื่อหาค่าตัวคูณลดเนื่องจากลักษณะของอาคาร (s)



รูปที่ 2.7 แผนภูมิเพื่อหาค่าอัตราส่วนพลังงานของการแปรปรวนของลม

ณ ความเค้นรวมขดลวดของอาคาร (F)



รูปที่ 2.8 แผนภูมิเพื่อหาค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารกกกำลังสองให้เป็นค่าสูงสุด ( $g_p$ )

2.5) ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอกสำหรับอาคารสูง แสดงในรูปที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายใน สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการแบบเดียวกับหัวข้อ 1.5)

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ 2.11 ใช้สำหรับอาคารที่มีค่า  $\left(\frac{H}{D_s}\right) \geq 1$  และความสูงของอาคาร  $H$  มากกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปของค่า  $C_p$  (หน่วยแรงลมเฉลี่ยของพื้นผิว) และ  $*C_p$  (หน่วยแรงลมเฉพาะที่) ซึ่งไม่ได้รวมผลเนื่องจากการกระโชกของลม ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องคำนวณหาค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม  $C_g$  ตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคารเพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้

5. ความสูงอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ  $C_e$  กำหนดให้ใช้ดังต่อไปนี้

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

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

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคารบนผนังด้านท้ายลม (leeward walls) ให้ใช้ความสูงอ้างอิง =  $0.5H$

- กรณีใช้ร่วมกับ  $C_p^*$  เพื่อหาค่าหน่วยแรงดูดเฉพาะที่ ให้ใช้ความสูงอ้างอิง

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร (internal pressures) ให้ใช้ความสูงอ้างอิง =  $0.5H$

- สำหรับการคำนวณค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคารที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ให้ใช้ความสูงอ้างอิง เท่ากับความสูงของช่องเปิดนั้นวัดเหนือพื้นดิน

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

### 3) ข้อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ )

แผนภูมิแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม

คำอธิบายสำหรับการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมในภาคผนวก ข. แบ่งออกเป็น 3 หมวด คือ คำอธิบายสำหรับการใช้หน่วยแรงลมภายนอกสำหรับอาคารเดี่ยว หน่วยแรงลมสำหรับอาคารสูง และหน่วยแรงลมสำหรับโครงสร้างพิเศษ

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม คือ อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงลม (pressure or suction) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวต่างๆของอาคารกับค่าความดันพลศาสตร์ (dynamic pressure หรือ velocity pressure) ของลมที่เข้ามาปะทะอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์นี้แปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อนุญาตให้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวอาคาร รูปร่างของอาคาร ทิศทางของลม และลักษณะของลมที่เข้ามาปะทะ ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในภาคผนวก ข นี้ได้จากการทดสอบแบบจำลองย่อส่วนของอาคารในอุโมงค์ลม ซึ่งในหลายกรณีได้มีการตรวจสอบและเทียบผลกับค่าที่วัดได้จากอาคารจริงในการออกแบบองค์อาคารจะต้องทำการคำนวณหาค่าพื้นที่รับลมที่มีผลกระทบต่อองค์อาคารที่ออกแบบนั้นเสียก่อน เช่น พื้นที่รับลมสำหรับการออกแบบแปของหลังคามีค่าเท่ากับระยะห่างของแป (spacing) คูณด้วยความยาวของแปแต่ละตัว เป็นต้น พื้นที่ดังกล่าวเรียกว่า พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area)

ก) สัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอกสำหรับอาคารเตี้ย

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ ข.1 ถึง ข.8 ใช้สำหรับอาคารที่มีค่า  $H/D_s \leq 0.5$  ( $D_s$  คือความกว้างของด้านที่แคบที่สุด) และมีความสูงของอาคาร ( $H$ ) ไม่เกิน 23 เมตร แต่สามารถใช้สำหรับอาคารที่มีค่า  $H/D_s < 1$  และความสูงของอาคาร ( $H$ ) ไม่เกิน 23 เมตร ได้ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจากแหล่งอื่นที่ดีกว่า สำหรับอาคารที่มีลักษณะนอกเหนือไปจากที่กล่าวข้างต้น ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ ข.9

2. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมในรูปที่ ข.1 ถึง ข.8 แสดงในรูปของผลคูณ  $C_p C_g$  ซึ่งได้รวมเอาผลเนื่องจากการกระโชกของลมไว้แล้ว หน่วยแรงลมที่คำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์นี้เป็นหน่วยแรงลมกระโชกสูงสุดที่กระทำกับพื้นผิวของอาคารในช่วงเวลา 1 วินาที

3. การคำนวณค่าหน่วยแรงลมในบางกรณีจำเป็นต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร ในกรณีเช่นนี้ค่าหน่วยแรงลมสุทธิสำหรับการออกแบบเป็นผลรวมแบบเวกเตอร์ของหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกอาคาร และหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายใน โดยคำนวณได้จากสมการ

$$p_{net} = p + p_i \quad (2.8)$$

โดยที่

$p = I_w q C_e C_g C_p$  คือค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคารตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.2

$p_i = I_w q C_{ei} C_{gi} C_{ip}$  คือค่าหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคารตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.2

ทั้งนี้ การคำนวณค่าหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม ( $q$ ) เป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.3 การคำนวณค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ  $C_e$  เป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.4 โดยให้ค่าความสูงของพื้นดิน ( $z$ ) มีค่าเท่ากับความเร็วลมอ้างอิง ( $h$ ) การคำนวณ

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร  $C_p C_g$  เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ข. และการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายในอาคาร  $C_p C_g$  เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวก ข.

4. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่แสดงในรูปที่ ข.1 ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักที่รับน้ำหนักหลายด้าน เช่น โครงข้อแข็งของอาคารที่รับทั้งหลังคาและผนังภายนอก เป็นต้น ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวแสดงลักษณะการกระจายตัวของแรงลม (wind load distribution) ที่ให้ค่าแรงลัพท์ต่างๆ (horizontal thrust, uplift, frame moments) ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง ดังนั้นในการออกแบบจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของแรงลมที่กระทำแบบบางส่วน (partial loading) ตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.8 ของมาตรฐาน

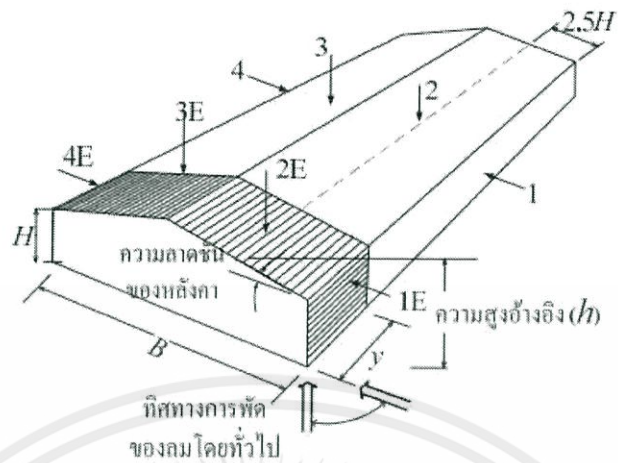
5. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม  $C_p C_g$  ที่แสดงในรูปที่ ข.2 ถึง ข.8 ใช้สำหรับออกแบบผนังภายนอกอาคาร หลังคา และชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members) เช่น แปของหลังคา เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักที่แบกรับน้ำหนักด้านเดียว เช่น โครงสร้างหลังคาที่มีจุดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับโครงสร้างส่วนอื่นในลักษณะที่ไม่สามารถถ่ายโมเมนต์ตัดเข้าสู่โครงสร้างส่วนอื่นได้ เป็นต้น

การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารสูงที่มีลักษณะและรูปร่างต่างๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การพิจารณาเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ยและอาคารสูง

ประเภทอาคาร	ประเภทของโครงสร้าง	ความลาดชันของหลังคา ( $\alpha$ )	หมายเลขของรูป	สัมประสิทธิ์ที่กำหนด	
อาคารเตี้ย ที่มีค่า $H/D_s < 1$ และ $H \leq 23$ เมตร	โครงสร้างหลัก	-	ข.1	$C_p C_x$	
	กำแพง	-	ข.2		
	หลังคา	(1) ทั่วไป	$\alpha \leq 7^\circ$		ข.3
		(2) หลังคาลดระดับ	$\alpha = 0^\circ$		ข.4
		(3) หลังคาจั่วและปั้นหยา	$\alpha \leq 7^\circ$		ข.3
	(4) หลังคาต่อเนื่อง		$\alpha > 7^\circ$		ข.5
			$\alpha \leq 10^\circ$		ข.3
	(5) หลังคาลาดชันด้านเดียว		$\alpha > 10^\circ$		ข.6
			$\alpha \leq 3^\circ$		ข.3
(6) หลังคารูปรางฟันเลื่อย		$3^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	ข.7		
		$\alpha \leq 10^\circ$	ข.3		
อาคารที่มีค่า $H/D_s \geq 1$ หรือ $H > 23$ เมตร		$\alpha > 10^\circ$	ข.8	$C_p$ และ $C_s$	
			ข.9		

แรงกระทำกรณีที่ 1 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไป อยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา

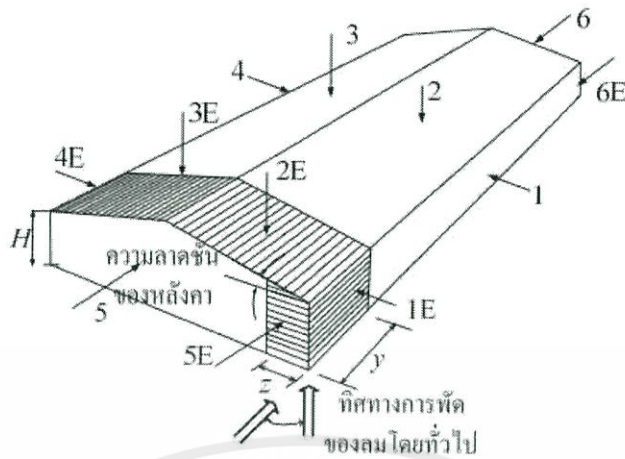


ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวของอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0° ถึง 5°	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8
20°	1.0	1.5	-1.3	-2.0	-0.9	-1.3	-0.8	-1.2
30° ถึง 45°	1.05	1.3	0.4	0.5	-0.8	-1.0	-0.7	-0.9
90°	1.05	1.3	1.05	1.3	-0.7	-0.9	-0.7	-0.9

รูปที่ 2.10 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร  $C_p C_g$  สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับพื้นที่ผิวทุกด้านของอาคารพร้อมกัน

แรงกระทำกรณีที่ 2 ทิศทางการพัดของลมโดยทั่วไปอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวของอาคาร											
	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

รูปที่ 2.10(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร  $C_p C_g$  สำหรับการออกแบบโครงสร้างหลักโดยคำนึงถึงผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับพื้นที่ ผิวดูด้านของอาคารพร้อมกัน

คำอธิบายประกอบรูปที่ 2.10

1. อาคารต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลมได้ในทุกทิศทาง โดยที่ทั้ง 4 มุมของอาคารต้องได้รับการพิจารณาให้เป็นมุมที่รับแรงลม (windward corner) ตามรูปแรงลมที่กระทำต้องพิจารณาแยกเป็นแรงกระทำกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าแรงกระทำต่างๆรวมทั้งแรงบิดที่เกิดขึ้นกับระบบโครงสร้าง

2. สำหรับหลังคาที่มีองศาความชันเป็นค่าอื่นที่ไม่ได้แสดงไว้ในตาราง ให้เทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อคำนวณหาค่า  $C_p C_g$  จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง

3. สัมประสิทธิ์เป็นค่าบวก แสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งเข้าและตั้งฉากกับพื้นผิว ส่วนสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าลบแสดงถึงแรงกระทำที่พุ่งออกและตั้งฉากกับพื้นผิว

4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานนี้

5. สำหรับการออกแบบฐานราก (ยกเว้นส่วนที่ยึดโครงสร้างอาคารกับฐานราก (anchorage)) ให้ใช้ค่า 70% ของแรงประสิทธิผล (effective load) ในการออกแบบ

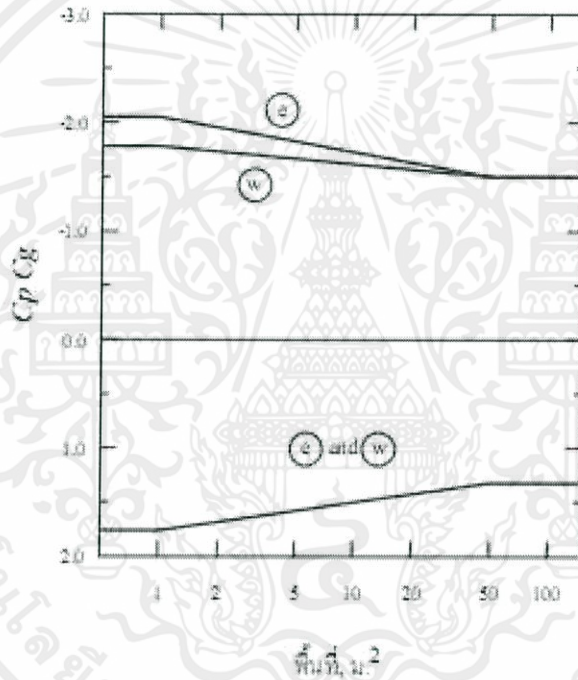
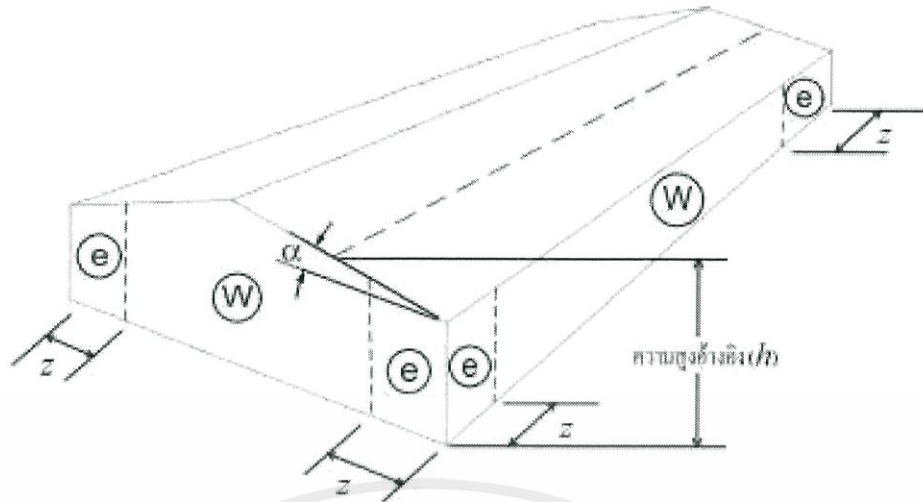
6. ความสูงอ้างอิง,  $h$ , สำหรับหน่วยแรงลม ให้ใช้ความสูงที่วัดถึงจุดกึ่งกลาง (Mid-height) ของหลังคาซึ่งต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 เมตร ในกรณีความชันของหลังคาน้อยกว่า 7 องศาสามารถใช้ความสูงของชายคาแทนได้

7. ความกว้าง “ $z$ ” ของพื้นที่บริเวณขอบของผนังหน้าจั่ว (gable wall) มีค่าเท่ากับค่านี้น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง  $H$  ทั้งนี้ค่า “ $z$ ” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร

8. ความกว้าง “ $y$ ” ของพื้นที่บริเวณขอบอาคาร (end zone) มีค่าเท่ากับค่าที่มากกว่าระหว่าง 6 เมตรและ  $2z$  สำหรับอาคารที่สร้างขึ้นจากโครงข้อแข็ง (Frame) ใดๆก็ตาม ประกอบกัน ค่า “ $y$ ” อาจพิจารณาให้มีค่าเท่ากับระยะที่วัดจากขอบของอาคารถึงโครงข้อแข็งภายในตัวแรก (first interior frame)

9. สำหรับแรงกระทำกรณีที่ 1 ในกรณีที่อาคารที่มีค่า  $B/H > 5$  ค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าลบบนพื้นผิว 2 และ 2E ควรจะใช้กับพื้นที่ที่กว้าง  $2.5H$  จากขอบของอาคารด้านต้นลมเท่านั้น สำหรับพื้นที่ที่เหลือบนพื้นผิว 2 และ 2E สามารถกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กับพื้นผิว 3 และ 3E ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



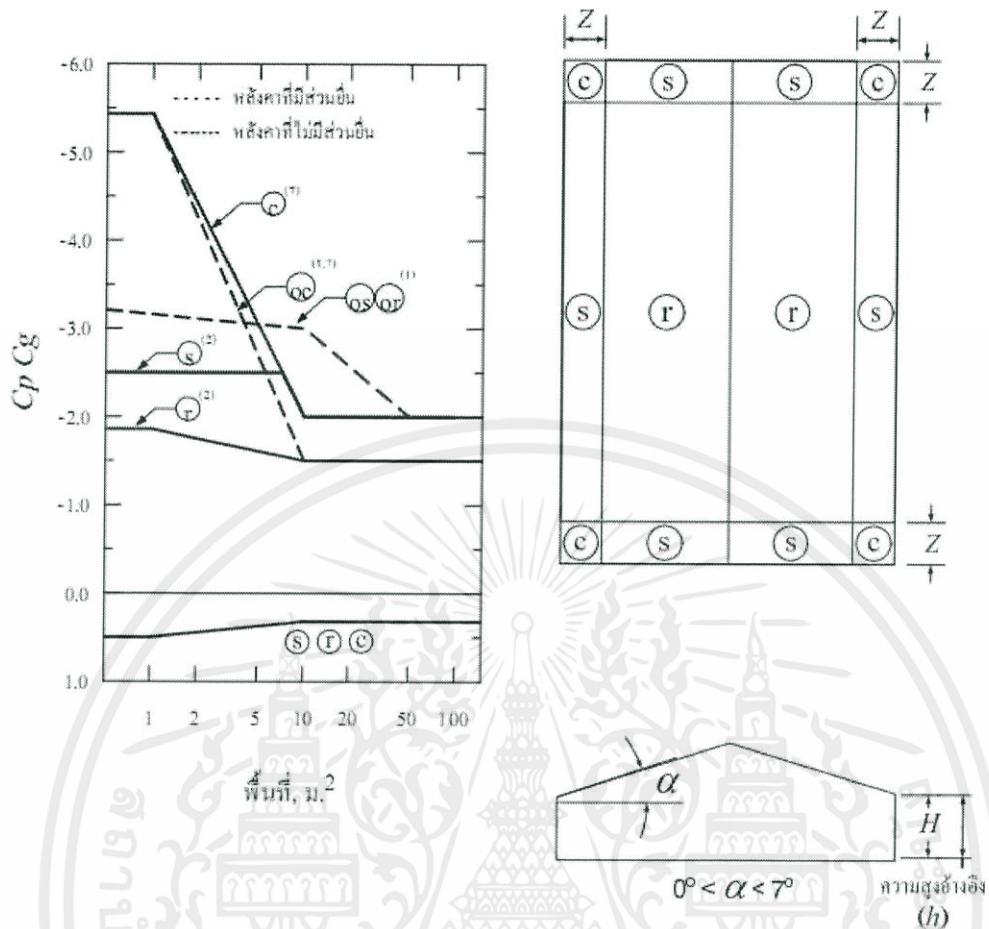
รูปที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) สำหรับการออกแบบผนังภายนอกและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

คำอธิบายประกอบรูปที่ 2.11

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับผนังอาคารในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่แสดงไว้ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลังคาทุกๆ ความชัน

3. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
4. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง H ทั้งนี้ค่า “z” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร
5. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานนี้
6. ค่าความสูง, h, สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลม ให้ใช้ความสูงที่วัดถึงจุดกึ่งกลาง (mid-height) ของหลังคา แต่ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 6 เมตร
7. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงลม สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารได้ทุกประเภท ยกเว้นในกรณีที่มีครีบริบแนวตั้ง (vertical ribs) ที่มีความลึกมากกว่า 1 เมตร ยึดติดอยู่กับระบบผนังภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่า  $C_p C_g = -2.8$  กระทำกับโซน e ของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำบนพื้นผิวของหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่า 7 องศา สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

คำอธิบายประกอบ รูปที่ 2.12

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว

2. ในกรณีที่หลังคามีสวนยื่น (roof with overhang) หน่วยแรงลมลัพธ์ที่กระทำต่อส่วนยื่นจะเป็นผลรวมของ หน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่าง ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมลัพธ์สำหรับส่วนที่ยื่นดังกล่าวแสดงโดยกราฟที่มี สัญลักษณ์ "O" นำหน้า

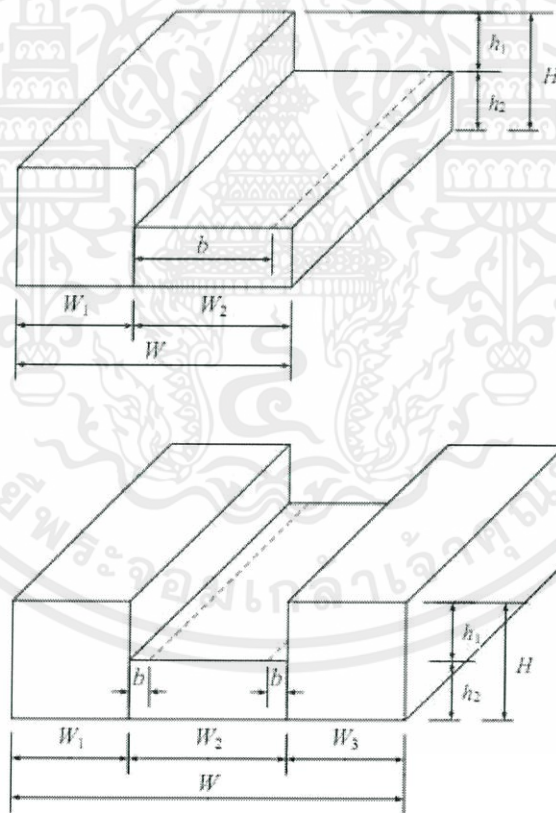
3. ในทุกกรณีไม่ว่าหลังคามีสวนยื่นหรือไม่มีส่วนยื่น ค่าสัมประสิทธิ์จากกราฟ  $s, r$  การค้า และ  $c$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนของหลังคาในโซน  $s, r$  และ  $c$  ตามลำดับ

4. ค่าในแกน  $x$  ของกราฟที่แสดงในภาพคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน

5. ความกว้าง “ $z$ ” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40 % ของความสูง  $H$  แต่ทั้งนี้ค่า “ $z$ ” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร

6. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานนี้

7. สำหรับการออกแบบแรงดูดของหลังคาที่มีพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบมากกว่า 100 ตร.ม. และมีศูนย์กลางของพื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบห่างจากขอบหลังคามากกว่า  $2H$  ให้ลดค่า  $C_p C_g$  เหลือเท่ากับ  $-1.1$  ที่  $x/H = 2$  และลดค่าลงเป็นเชิงเส้นเท่ากับ  $-0.6$  ที่  $x/H = 5$  โดยที่  $x$  = ระยะห่างจากขอบหลังคา และ  $H$  = ความสูงของหลังคา



รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p, C_g$ ) ที่กระทำบน

หลังคาลดระดับ (Stepped roof) โดยใช้ประกอบกับรูปที่ ข.3 สำหรับการออกแบบ

หลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

## คำอธิบายประกอบ รูปที่ 2.13

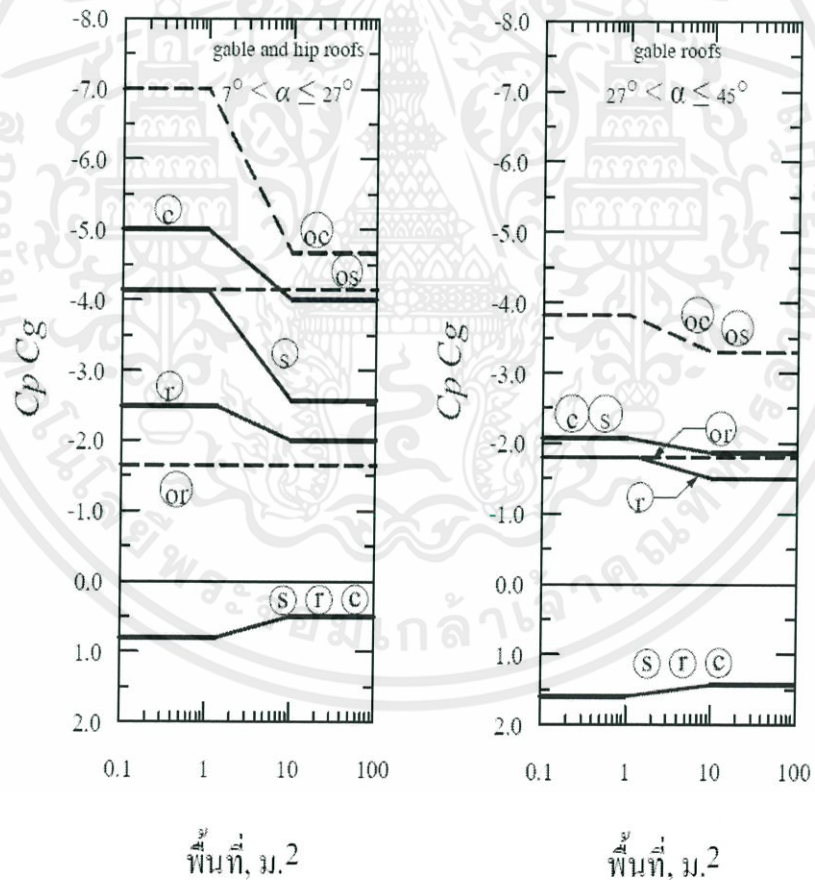
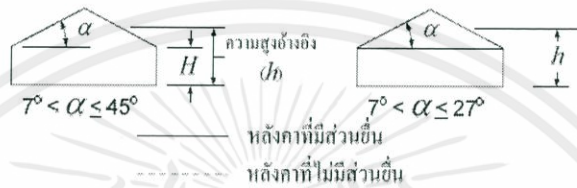
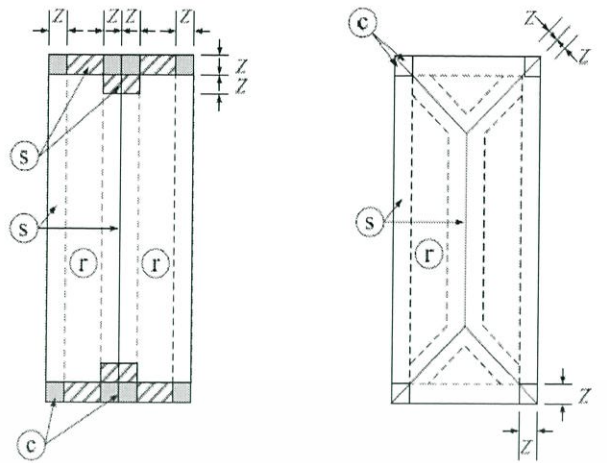
1. ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  สำหรับหลังคาในรูปที่ 2.12 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับหลังคาลาดระดับของอาคารที่แสดงในภาพนี้ได้ ยกเว้นในส่วนของหลังคาลาดระดับที่วัดจากกำแพงเป็นระยะ  $b$  ซึ่งในส่วนนี้ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นบวกของกำแพงในรูปที่ 2.11
2. ความกว้าง “  $b$  ” มีค่าเท่ากับ  $1.5h_1$  และไม่เกิน 30 เมตร
3. สำหรับพื้นที่กำแพงด้านต่างๆ รวมทั้งกำแพงที่อยู่ติดกับขอบของหลังคาลาดระดับ ให้แบ่งโซนและใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมทั้งค่าบวกและค่าลบเท่ากับกำแพง
4. รูปที่ 2.13 ใช้ได้กับหลังคาที่มีขนาดและสัดส่วนทางเรขาคณิตที่สอดคล้องกับข้อกำหนดดังต่อไปนี้

$$h_1 \geq 3 \text{ เมตร}$$

$$h_1 \geq 0.3H$$

$$0.25W \leq (W_1, W_2, \text{ และ } W_3) \leq 0.75W$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้รูปที่ 2.14 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับบ้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หลังคาที่มีความชันมากกว่า 7 องศา สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของ  
โครงสร้างรอง (secondary structural members)

## คำอธิบายประกอบรูปที่ 2.14

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว

2. ในกรณีที่หลังคามีสวนยื่น (roof with overhang) หน่วยแรงลมลัพท์ที่กระทำต่อส่วนยื่นจะเป็นผลรวมของ หน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่าง ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมลัพท์สำหรับส่วนที่ยื่นดังกล่าวแสดงโดยกราฟที่มี สัญลักษณ์ “O” นำหน้า

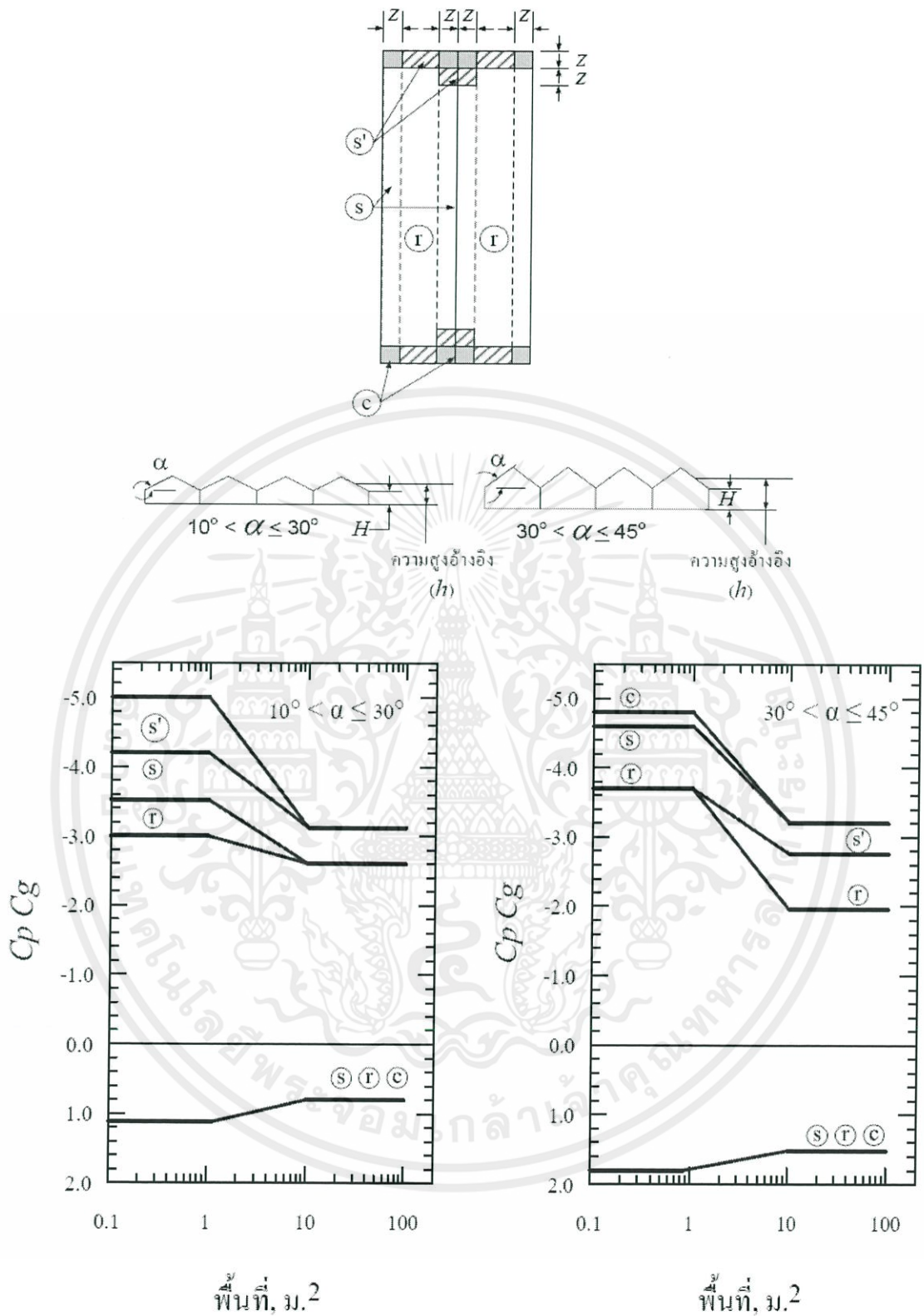
3. ในทุกกรณีไม่ว่าหลังคามีสวนยื่นหรือไม่มีส่วนยื่น ค่าสัมประสิทธิ์จากกราฟ  $s$ ,  $r$  และ  $c$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้คำนวณหน่วยแรงลมที่กระทำต่อพื้นผิวด้านบนของหลังคาในโซน  $s$ ,  $r$  และ  $c$  ตามลำดับ

4. ค่าในแกน  $x$  ของกราฟที่แสดงในภาพคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน

5. ความกว้าง “ $z$ ” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุดและ 40% ของความสูง  $H$  แต่ทั้งนี้ค่า “ $z$ ” ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร

6. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายในอาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



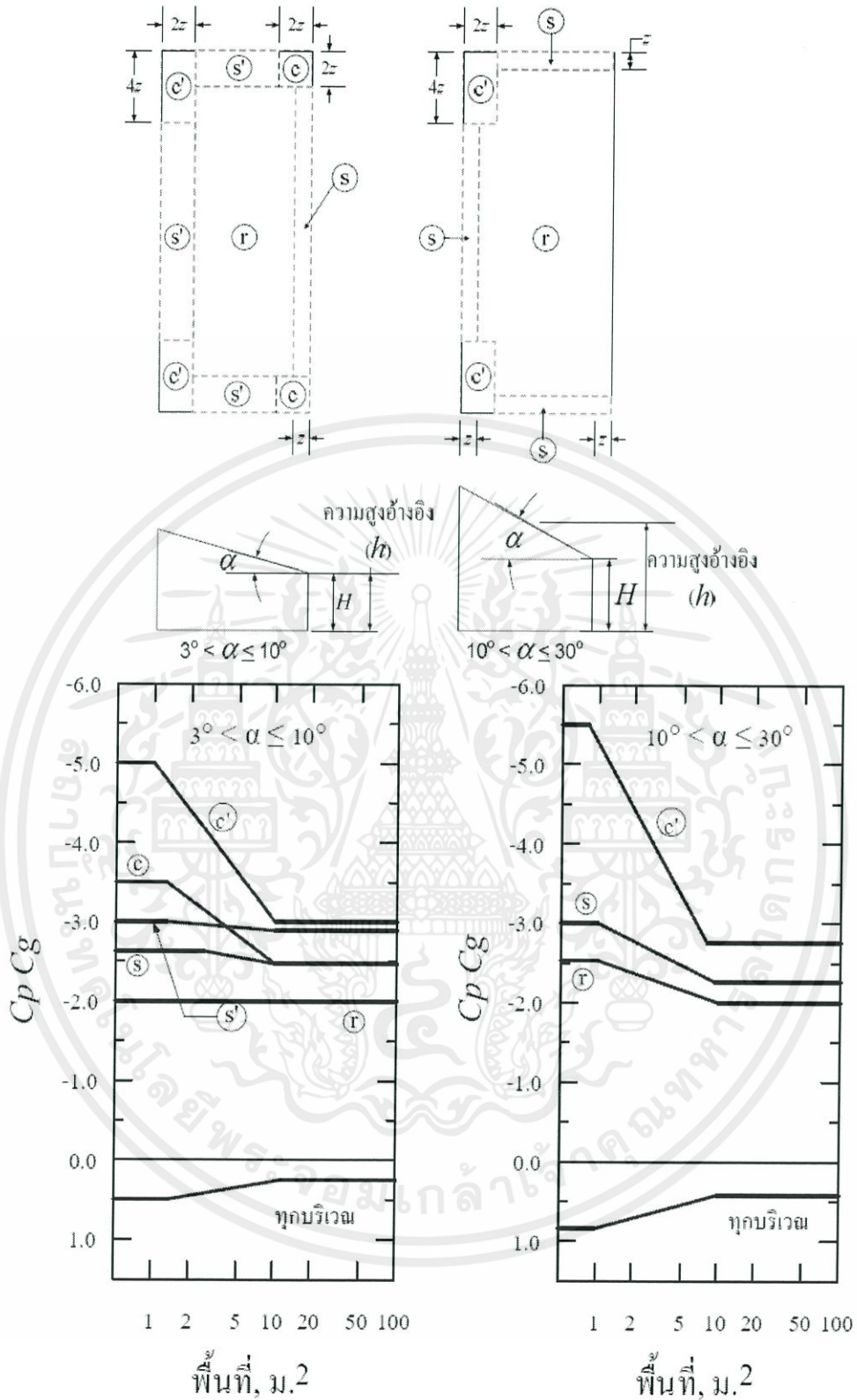
รูปที่ 2.15 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำ

กับหลังคาที่มีความชันมากกว่า 10 องศาและความต่อเนื่องมากกว่า 1 ช่วง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้างรอง (secondary structural members)

## คำอธิบายประกอบรูปที่ 2.15

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุด สำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10%ของด้านที่แคบที่สุด และ 40%ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายใน อาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้
5. สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 องศาให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p, C_g$ ) ที่กระทำกับ

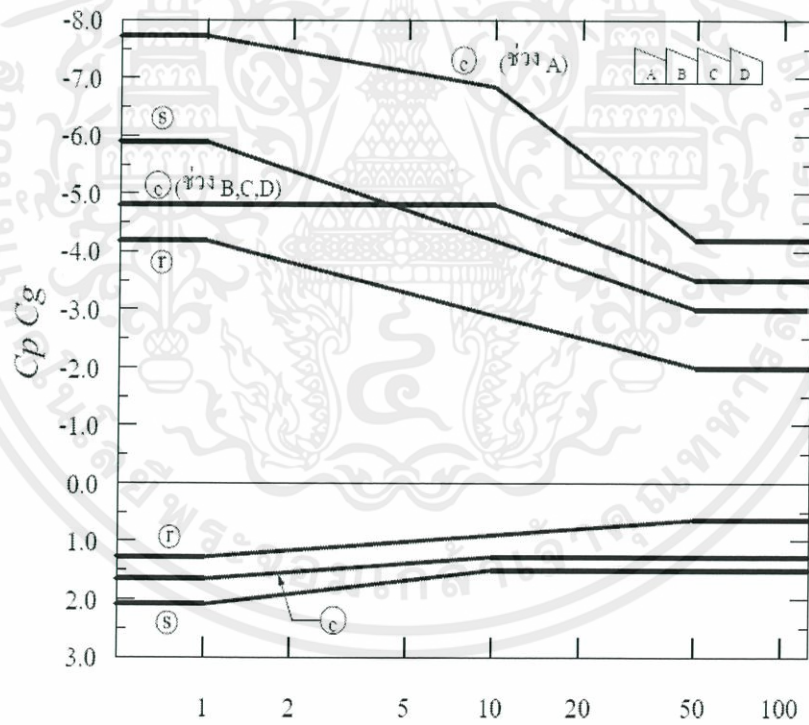
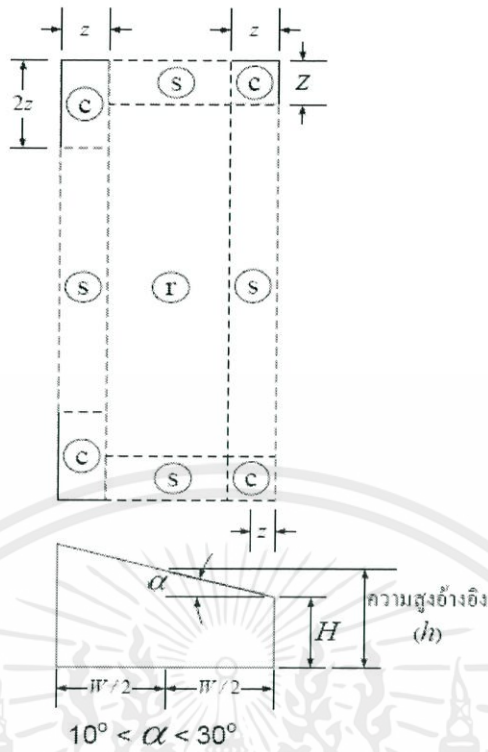
หลังคาที่มีความลาดชันด้านเดียว สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของโครงสร้าง

รอง (secondary structural members)

## คำอธิบายประกอบ รูปที่ 2.16

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณหาค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว
2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน
3. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10%ของด้านที่แคบที่สุด และ 40%ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายใน อาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ หัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้
5. ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  ที่แสดงในรูปใช้ได้กับหลังคาที่มีค่าความชันไม่น้อย 3 องศา ส่วนหลังคาที่มีค่าความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 องศาให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พื้นที่, ม.<sup>2</sup>

รูปที่ 2.17 ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร ( $C_p C_g$ ) ที่กระทำกับ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... หลังคาลักษณะพื้นเลื้อย (มีความลาดชันเพียงด้านเดียว และมีความต่อเนื่องมากกว่า 1  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น) ซึ่งมีความชันมากกว่า 10 องศา สำหรับการออกแบบหลังคาและชิ้นส่วนของ  
 โครงสร้างรอง (secondary structural members)

## คำอธิบายประกอบ รูปที่ 2.17

1. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในแต่ละโซนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังแสดงในรูป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวใช้เพื่อการคำนวณค่าหน่วยแรงดันสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดสำหรับการออกแบบโดยพิจารณาถึงผลของแรงลมในทุกทิศทางแล้ว

2. ค่าในแกน x ของกราฟที่แสดงในรูปคือ พื้นที่รับลมขององค์อาคารที่ออกแบบ (design tributary area) ในแต่ละโซน

3. ความกว้าง “z” มีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10%ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H แต่ทั้งนี้ค่า “z” มีค่าไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร

4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลมที่กระทำทั้งจากภายนอกและจากภายใน อาคาร เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมที่ถูกต้องสำหรับออกแบบ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายในอาคาร  $C_{pi}$  ได้แสดงไว้ในหัวข้อ หัวข้อ 2.6.2 ของมาตรฐานฯ นี้

5. สำหรับพื้นที่บริเวณมุมของหลังคา ค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  ที่เป็นค่าลบสำหรับที่อยู่ในช่วง A จะแตกต่างจากค่าสัมประสิทธิ์  $C_p C_g$  ของช่วง B, C และ D

6. สำหรับหลังคาที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 องศา ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสำหรับหลังคาในรูปที่ 2.12

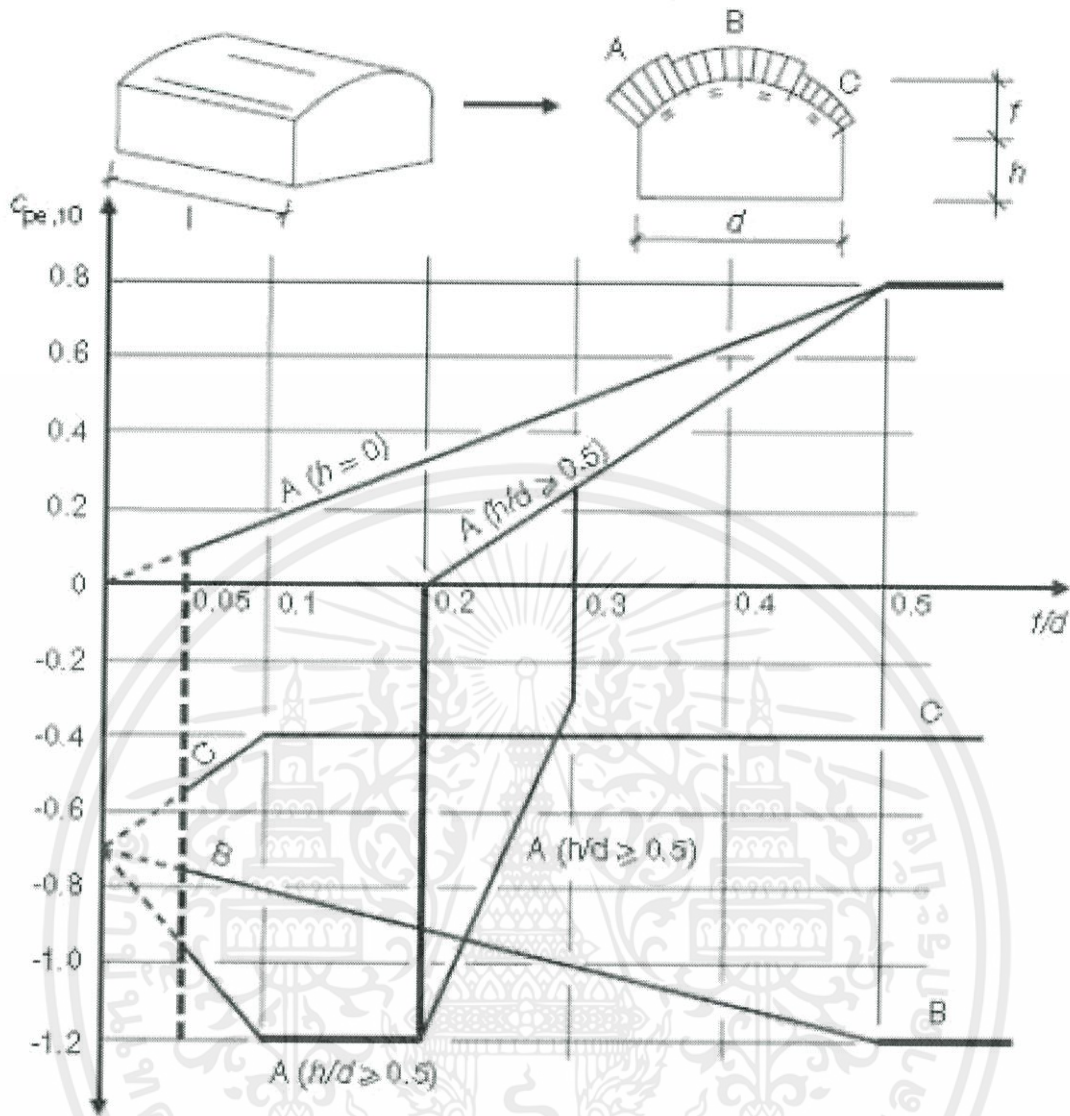
### 2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณแรงลม

จากการศึกษาของ R. Bradley จาก University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa ได้ความว่า ลักษณะของหลังคาโค้ง เช่น โดม จะมีการตอบสนองในด้านความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ ได้ดีกว่าแบบปรกติทั้งในด้าน พื้นที่ใช้สอย ความสวยงาม ความประหยัด และอื่นๆ

โดยเฉพาะในด้านของการรับแรงและการกระจายแรงที่เกิดขึ้นกับตัวหลังคา มีผลในด้านของอากาศพลศาสตร์ ซึ่งหลังคาทรงโคม หรือ โคม นั้นจะช่วยผลการกระจายแรงลงสู่คานได้ดีกว่าหลังคาแบบปรกติ ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายแรงของหน่วยแรงลมนั้นมีผู้ศึกษาอยู่หลายคน เช่น งานวิจัยของ Blessmann (1996), Taylor(1991), Melbourne and Cheung (1983) เป็นต้น

จากศึกษาดังกล่าวสามารถนำมาสรุปเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงลม  $C_p$  ของหลังคาทรงโค้งดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แผนภูมิค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ )

### 2.3 ความเร็วลมในประเทศไทย

จากการศึกษางานวิจัยของ นายอดิวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2546 เรื่อง แผนที่ความเร็วลมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสำหรับประเทศไทย เพื่อใช้ในการอ้างอิงความเร็วลมในคาบการกลับ 50 ปี

การหาค่าความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับต่าง ๆ ได้ใช้วิธี Peaks Over Threshold โดยกำหนดขอบเขตความเร็วลม (Threshold Wind Speeds) มีค่าเท่ากับ มัชยฐานข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปี หาค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย (Tail Length Parameter) ด้วยวิธีของ De Haan จากนั้นนำ ค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีมาพิจารณาเลือกใช้แบบจำ ลองทางสถิติ ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีคำนวณได้จากแบบจำ ลองทางสถิติดังกล่าวเมื่อปรับให้เป็นความเร็วลม

พื้นฐานตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCEแล้วนำ มาสร้างเป็นแผนที่ความเร็วลม ความเร็วลมที่ระบุ  
ในแผนที่เป็นความเร็วลมขั้นต่ำเพื่อใช้คำนวณน้ำหนักน้หนักบรรทุกเนื่องจากลมสำหรับประเทศไทย

จากการศึกษา นายอดิวัฒน์ วิมุทธะสูงวิริยะ ได้ทำการแบ่งลักษณะภูมิประเทศเป็น 4  
ลักษณะคือ

ภูมิประเทศแบบ A ศูนย์กลางเมืองขนาดใหญ่ (ASCE, 2000)

ภูมิประเทศแบบ B พื้นที่รอบเมืองสำหรับอยู่อาศัย (ASCE, 2000)

ภูมิประเทศแบบ C พื้นที่สนามหญ้าหรือพื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย (ASCE, 2000)

ภูมิประเทศแบบ D พื้นที่เปิดโล่งหรือพื้นที่แนวชายฝั่งทะเล (ASCE, 2000)



รูปที่ 2.19 ภูมิประเทศแบบ A ศูนย์กลางเมืองขนาดใหญ่ (ASCE, 2000)



รูปที่ 2.20 ภูมิประเทศแบบ B พื้นที่รอบเมืองสำหรับอยู่อาศัย (ASCE, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ภูมิประเทศแบบ C พื้นที่สนามหญ้าหรือพื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย (ASCE, 2000)



รูปที่ 2.22 ภูมิประเทศแบบ C พื้นที่เปิดโล่งหรือพื้นที่แนวชายฝั่งทะเล (ASCE, 2000)

โดยทำการคำนวณจากข้อมูลความเร็วลมสูงสุดทั้งหมดที่บันทึกโดยกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 73 สถานีตั้งแต่ 21 ปี ถึง 42 ปี รวม 60 สถานี โดยสถานีที่น้อยกว่า 20 ปีไม่นำมาใช้ในการคำนวณสำหรับข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันมีการบันทึกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 จำนวน 60 สถานี สถานีที่มีข้อมูล 21 ปีจะเป็นข้อมูลรายวันทั้งหมด ส่วนสถานีที่มีข้อมูลมากกว่า 21 ปีส่วนที่เกิน 21 ปีจะเป็นข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปี ข้อมูลความเร็วลมที่ไม่รวมพายุไต้ฝุ่น ข้อมูลแต่ละรายการประกอบด้วยทิศทางลม (Dir) วัดเป็นองศาตามเข็มนาฬิกาที่ทำ กับแนวทิศเหนือ ความเร็วลมสูงสุดในรอบวัน, สูงสุดในรอบเดือน (Sp) หน่วยเป็น นอต เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงใช้หน่วยนอตแล้วจึงแปลงเป็น เมตรต่อวินาทีภายหลัง ( 1 นอต เท่ากับ 0.514 เมตรต่อวินาที เท่ากับ 1.852 กิโลเมตรต่อชั่วโมง )

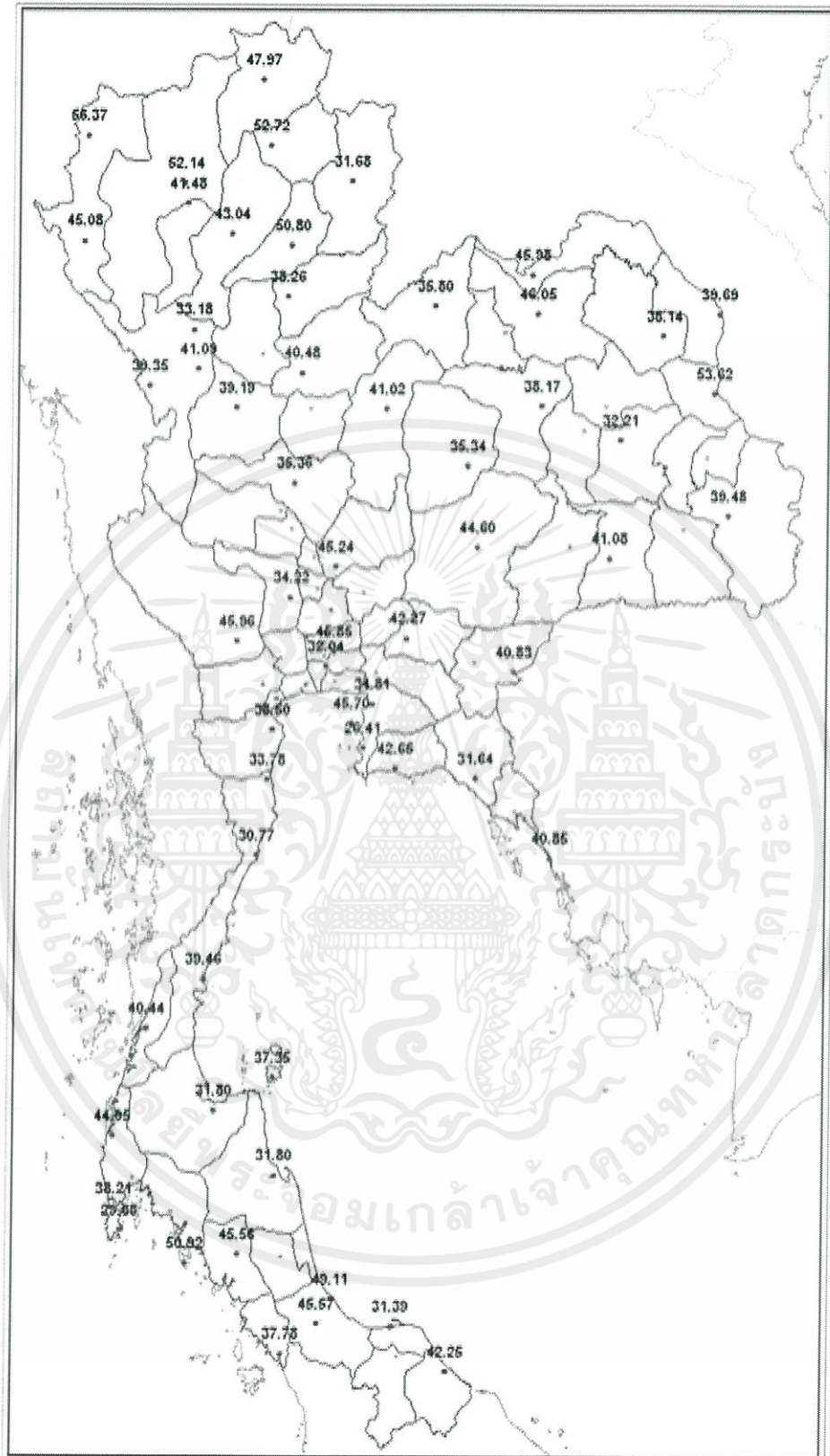
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี

การทำ นายความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีใช้วิธี Reverse Weibull ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีทั่วประเทศเท่ากับ  $-0.232$  และมีพารามิเตอร์รูปร่างเท่ากับ  $4.3103$  ส่วนพารามิเตอร์สมมุฏฐานและพารามิเตอร์สัดส่วนของแต่ละสถานีจะมีค่าแตกต่างกัน ผลการคำนวณเป็นความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย 5 วินาที ที่ความสูงแต่ละสถานี จากตารางพบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีผลต่อการทำ นายความเร็วลมที่คาบการกลับต่าง ๆ เช่น สถานีเชียงรายทั้งที่มีความเร็วลมเฉลี่ยมากกว่าสถานีพะเยาแต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า จึงทำให้ความเร็วลมที่คาบการกลับ 50 ปีของสถานีเชียงรายน้อยกว่าสถานีพะเยา เป็นต้น เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่ามากจะบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลมาก เมื่อการกระจายตัวของข้อมูลมากก็จะทำให้ความเร็วลมสูงสุดที่ทำ นายได้มีค่ามากด้วย

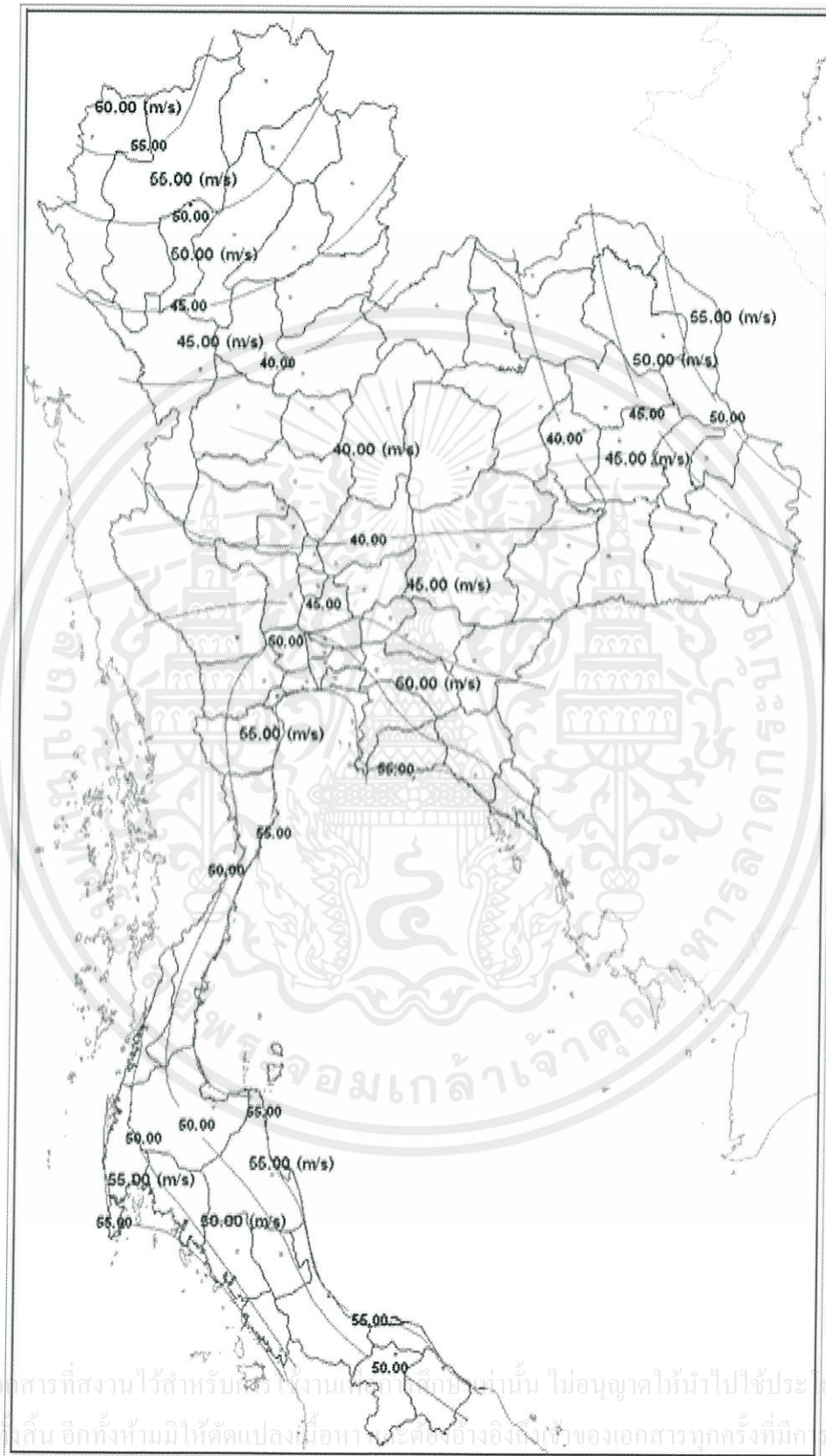


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี ณ ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้จากสถานีวัดความเร็วลมมาหาความเร็วลมมาตรฐานเป็นเส้นแบ่งความเร็วลมในประเทศไทยได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.24 แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเฉพาะที่โรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา หรือดึงอ้างอิงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำออกไปใช้

## 2.4 แรงจากน้ำหนักบรรทุก

ในการพิจารณาพฤติกรรมต่างๆ ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก นั้นต้องคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกด้วย ซึ่งน้ำหนักบรรทุกนั้นเป็นแรงกระทำในแนวตั้ง สามารถแบ่งได้เป็น

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Death Load) ซึ่งจะเป็นน้ำหนักที่เกิดจากน้ำหนักของชิ้นส่วนหรือวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างหลังคาโค้งไร้โครงถัก น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง (พื้น, คาน, เสา, หลังคา ฯลฯ) และน้ำหนักส่วนอื่นซึ่งติดคงที่อยู่กับโครงสร้าง (ผนัง, ประตู, หน้าต่าง, ท่อประปา, ฝ้า, อุปกรณ์ไฟฟ้า ฯลฯ)

2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) เป็นน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงได้ทั้งในปริมาณและตำแหน่ง ได้แก่ น้ำหนักของคน, สิ่งของที่วางชั่วคราว รถวิ่ง หรือน้ำหนักที่เกิดจากธรรมชาติ น้ำหนักบรรทุกจรตามที่ระบุในกฎหมายก่อสร้างได้มาจากข้อมูลที่ศึกษาจากอาคารชนิดต่างๆ การหาค่าน้ำหนักบรรทุกจรแบ่งแยกตามชนิดมีแสดงอยู่ในตารางที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 หน่วยน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคารตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)

ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	น้ำหนักบรรทุกทุก กก./ตรม.
1. หลังคา	30
2. กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4. ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนใช้พิเศษของ	200
5. โรงพยาบาล	250
6. สำนักงาน ธนาคาร	300
(ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว,ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหา วิทยาลัย โรงเรียนโรงพยาบาล	
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด,หอพัก,โรงแรม,สำนักงานและ ธนาคาร	300
7. (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้อง อ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือ รถจักรยานยนต์	400
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์, มหาวิทยาลัย, วิทยาลัยและ โรงเรียน	400
8. (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัจฉรินทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้อง เก็บเอกสารและพัสดุ	500
(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด, อาคารสรรพสินค้า, ห้องประชุม, หอประชุม, โรงมหรสพ,ภัตตาคาร,ห้องสมุดและหอสมุด	500
9. ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
10. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่น ๆ	800

## 2.5 ข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตามมาตรฐาน ACI หรือ มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้พิจารณาน้ำหนักประลัย  $U$  เนื่องจาก น้ำหนักหรือแรงกระทำต่างๆ ที่เพิ่มค่าแล้ว ดังต่อไปนี้ เช่น

1. สำหรับอาคารที่ไม่คิดรับแรงลมหรือแรงจากแผ่นดินไหว

$$U = 1.4DL + 1.7LL$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้ใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเก็บค่าลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สำหรับอาคารที่รับแรงลมด้วย

$$U = 0.75(1.4DL + 1.7LL + 1.7WL)$$

หรือ

$$U = 0.9DL + 1.3WL$$

โดยให้ใช้ค่า  $U$  ที่มีค่าสูงสุด แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่า  $U$  ที่หาจากสมการ (2.7)

เมื่อ  $U$  = น้ำหนักประลัยสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนัก

$DL$  = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน

$LL$  = น้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนด บวกด้วยแรงกระแทก (ถ้ามี)

$WL$  = แรงลม

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 การวิเคราะห์หลังคาไร้โครงถักช่วงยาว 30 เมตร

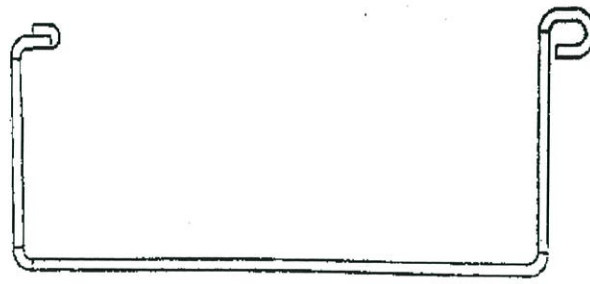
การวิเคราะห์หลังคาไร้โครงถักช่วงยาว 30 เมตร เป็นงานวิจัยของ ท่านอาจารย์ฉัตรสุจินดา อาจารย์มหาวิทยาลัยศรีปทุม ซึ่งท่านได้สังเกตเห็นว่า หลังคาไร้โครงถักที่มีใช้กันอยู่ในประเทศไทยนั้น มีความยาวสูงสุดเพียง 24.4 เมตร (80 ฟุต) ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตในไทยกำลังทำการศึกษาและพัฒนาให้สามารถเพิ่มช่วงความยาวได้ถึง 30 เมตร โดยการเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ โดยใช้การทดสอบจากการก่อสร้างหลังคาไร้โครงถักขนาดเท่าของจริง และมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

#### ขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนที่ใช้ในการก่อสร้างใช้แผ่นเหล็กหนา 1 มม. ได้ถูกนำมาพับขึ้นรูปให้มีขนาดหน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยการนำไปรีดขึ้นรูปโดยมีการปรับตั้งให้มีรัศมีความโค้งตามที่กำหนด

ชิ้นส่วนที่ผ่านการรีดแล้วได้ถูกนำมาประกอบกันโดยใช้เครื่องกดรีดบริเวณรอยต่อที่ทับซ้อนกันตลอดแนวของความยาวตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบขนาดเท่าของจริงนี้ จากชิ้นส่วนจำนวน 15 ชิ้น ต่อเรียงกันเพื่อให้ได้ความกว้าง 4.5 เมตร (กว้างชิ้นละ 0.30 เมตร) เมื่อผ่านการรีดจะมีรัศมีความโค้ง 23.20 เมตร และเมื่อกำหนดให้มีความยาวช่วง (Span) ในแนวราบเป็น 30 เมตร จะได้ความสูงจากฐานของส่วนโค้งเป็น 5.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.25

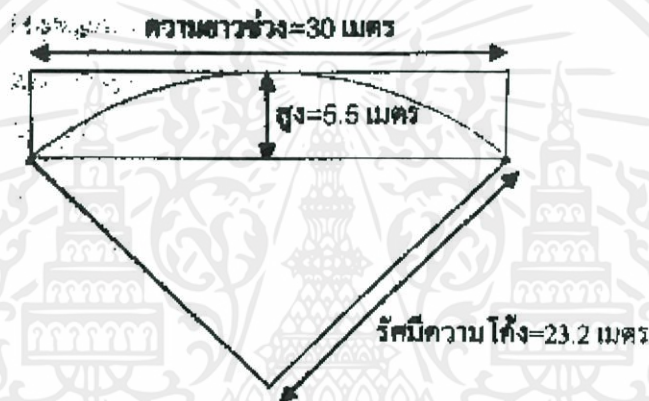
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 รูปหน้าตัดของหลังคาไร้โครงถัก

การติดตั้ง

ที่รองรับของหลังคาโค้งที่ใช้มีลักษณะคล้ายกับที่รองรับแบบหมุน (Hing Support)



รูปที่ 2.26 ส่วนสูง รัศมีความโค้งและความยาวในแนวราบของหลังคาโค้งที่ใช้ในการทดสอบ

การกำหนดน้ำหนักบรรทุก

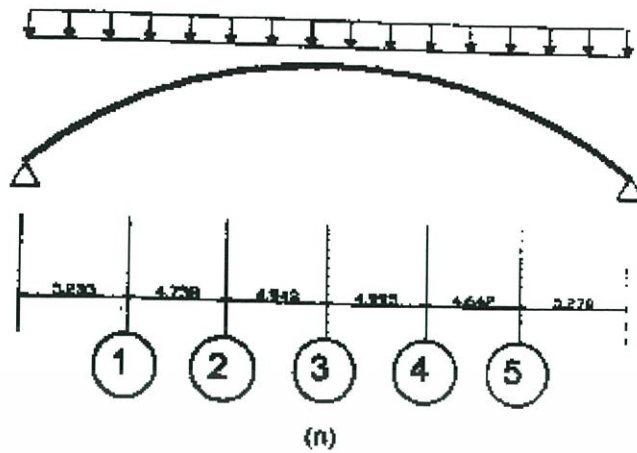
น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ถูกแบ่งเป็น 2 กรณี (Load Case) คือ

น้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.27 (ก)

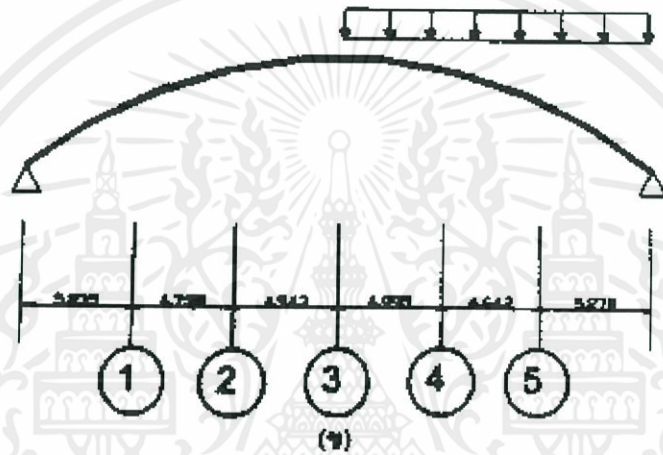
น้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.27 (ข)

โดยใช้วิธีนำถ่วงรายมาแขวน ณ จุดต่างๆ ให้เป็นลักษณะแบบการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอ ที่ได้หลังคาโค้ง และแบ่งน้ำหนักที่ใช้เป็น 0 , 10 , 20 , 30 , 40 , 50 และ 60 kg/m<sup>2</sup> สำหรับกรณีบรรทุกน้ำหนักเต็มช่วง และ 0 , 10 , 20 , 30 และ 40 kg/m<sup>2</sup> สำหรับกรณีบรรทุกน้ำหนักครึ่งช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(n)



(ข)

รูปที่ 2.27 น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบและตำแหน่งที่ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง แสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5

ก) กรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)

ข) กรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span)

วัดค่าการเคลื่อนตัวจากการทดสอบจริง

ทำการเก็บค่าการเคลื่อนตัวทางแนวตั้งจากการทดสอบจริง และทำการเฉลี่ยค่า

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริงดังแสดงในตารางที่ 2.7 และตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)

น้ำหนัก บรรทุก (kg/m <sup>2</sup> )	การเคลื่อนตัวในแนวตั้งเฉลี่ยของหลังคาโค้ง (cm) (เครื่องหมาย + แสดงทิศทางขึ้น, - แสดงทิศทางลง)				
	แนวที่ 1	แนวที่ 2	แนวที่ 3	แนวที่ 4	แนวที่ 5
10	-0.97	-1.83	-1.33	0.47	0.83
20	-2.93	-4.00	-2.57	0.70	2.57
30	-6.13	-8.30	-3.80	2.07	4.93
40	-9.87	-12.50	-5.37	3.90	7.93
50	-15.17	-18.57	-8.83	6.27	12.63
60	-26.73	-32.30	-14.50	12.37	22.37
60 (น้ำหนักคง ค้าง 24 ชม.)	-28.93	-34.18	-15.58	12.27	22.95

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งในกรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span)

น้ำหนัก บรรทุก (kg/m <sup>2</sup> )	การเคลื่อนตัวในแนวตั้งเฉลี่ยของหลังคาโค้ง (cm) (เครื่องหมาย + แสดงทิศทางขึ้น, - แสดงทิศทางลง)				
	แนวที่ 1	แนวที่ 2	แนวที่ 3	แนวที่ 4	แนวที่ 5
10	7.53	6.43	-0.23	-6.23	-6.47
20	16.27	13.63	-1.20	-14.82	-14.77
30	27.23	22.23	-3.87	-26.85	-26.53
40	37.37	29.13	-9.05	-40.85	-39.13
40 (น้ำหนักคง ค้าง 24 ชม.)	41.37	31.57	-10.40	-46.27	-44.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการสังเกตเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น มีลักษณะพฤติกรรมแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non linear) เนื่องจากหลังคาโค้งดังกล่าวมีแรงภายในทั้งที่เป็นโมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงตามแนวแกน (Axial Force) เกิดขึ้นพร้อมๆกันจึงทำให้เกิดผลของโมเมนต์อันดับที่ 2 (Secondary Moment) ขึ้น

ในการวิเคราะห์ผลนั้นได้แบ่งการพิจารณาผลของโมเมนต์อันดับสอง ได้เป็นสองส่วน คือ  $P - \Delta$  หมายถึง ผลของโมเมนต์อันดับที่สองที่เกิดจากระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างปลายทั้งสองข้างของชิ้นส่วน (Element)  $P - \delta$  หมายถึง ผลกระทบของระยะเยื้องศูนย์กลางภายในชิ้นส่วนของโครงสร้างเอง ซึ่งถ้าแรงตามแนวแกนเป็นแรงอัดจะทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นมีความแข็ง (Stiffness) ลดลงและยังได้คำนึงถึงความไม่สมบูรณ์ (Imperfection) ของตัวโครงสร้าง (หลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อก่อสร้างเสร็จเกิดการโยกตัวไปทางด้านขวา) ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเปี้ยวของหลังคาโค้งตัวนี้ด้วยโปรแกรม SAP2000 Non-linear ซึ่งสามารถวิเคราะห์โครงสร้างแบบ พี-เดลต้า (P-Delta) ได้

การทดสอบย่อยเพื่อใช้หาค่าของความแข็งของการดัด

การทดสอบนี้กระทำกับชิ้นส่วนหลังคาโค้งช่วงยาว 2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยนำชิ้นส่วนที่ผ่านการรีดให้โค้งและเป็นลอนๆมาต่อกัน 3 ชิ้น ตามความกว้าง และกำหนดที่รองรับคานด้านหนึ่งเป็นแบบจุดหมุน (Hinge Support) และอีกด้านเป็นแบบจุดหมุนกลิ้งได้ (Roller Support) และใส่น้ำหนักกระทำแบบจุด (Point Load) กระทำที่ช่วงกลาง (Mid Span) เพื่อใช้ในการนำไปหาค่าความแข็งของการดัด ซึ่งทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวในแนวตั้ง โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ขนาดเท่าของจริง แบ่งเป็น

กรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)

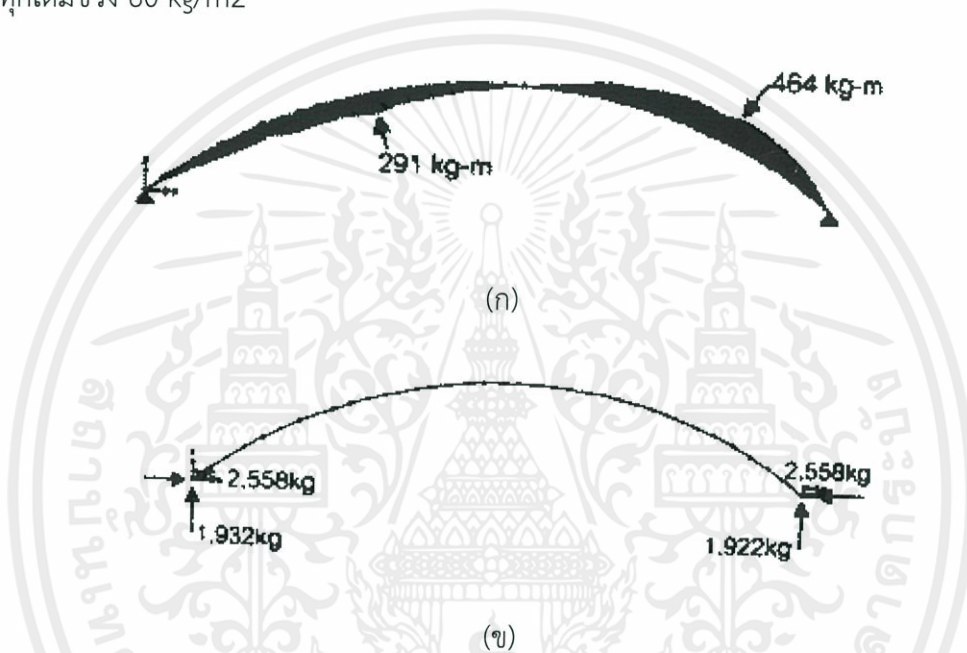
จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเส้นกราฟ การเคลื่อนตัวในแนวตั้ง ณ แนวที่ 3 ที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์แบบ P-Delta นี้ จะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟแตกต่างกันมากกว่าแนวอื่นๆ (แนวที่ 1, 2, 4 และ 5) เนื่องจาก แนวที่ 3 เป็นแนวที่อยู่ใกล้กับจุดหมุนของการโยกตัวของโครงสร้างมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงรูปทรงที่เปลี่ยนไป (Deformed Shape) ในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง(Full Span)

และแสดงผลของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 (ก) และแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 2.29(ข) ต่อความกว้าง 0.30 เมตร กรณีรับน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง  $60 \text{ kg/m}^2$



รูปที่ 2.29 (ก) แสดงค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง  $60 \text{ kg/m}^2$

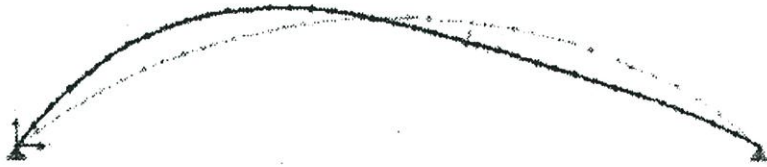
(ข) แสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง  $60 \text{ kg/m}^2$

กรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span)

ในการวิเคราะห์จะเห็นว่าในแนวที่ 3 จะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าแนวอื่นๆ เนื่องจากแนวที่ 3 เป็นแนวที่อยู่ใกล้กับจุดหมุนของการโย้ของโครงสร้างมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่

2.30

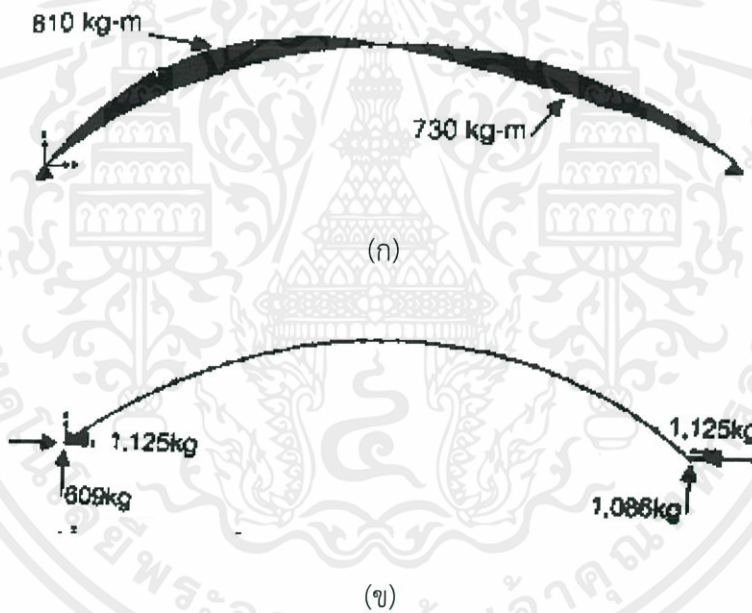
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงรูปทรงที่เปลี่ยนไป (Deformed Shape)

ในกรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span) ขนาด  $40 \text{ kg/m}^2$

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 2.28 รูปที่ 2.30 จะสังเกตได้ว่า ทิศทางการโย้ในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (โย้ไปทางขวา) จะกลับทิศกับการโย้ในกรณีน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (โย้ไปทางซ้าย) และแสดงผลของโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2.31(ก) และแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 2.31(ข) ต่อความกว้าง  $0.30$  เมตร กรณีรับน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง (Half Span) ขนาด  $40 \text{ kg/m}^2$

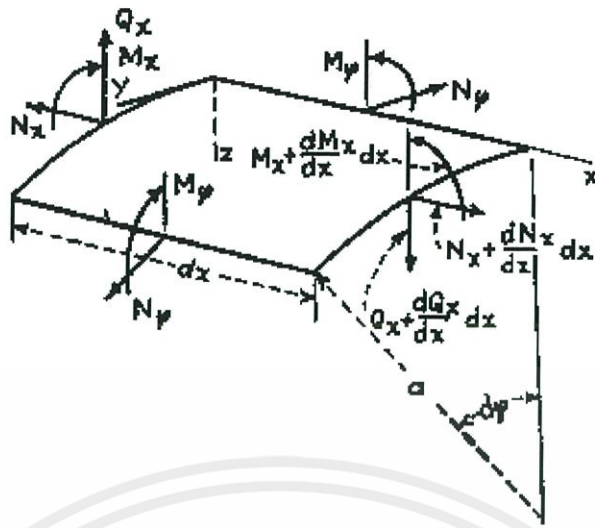


รูปที่ 2.31 (ก) แสดงค่าโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง  $40 \text{ kg/m}^2$

(ข) แสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกครึ่งช่วง  $40 \text{ kg/m}^2$

## 2.7 โครงสร้างเปลือกบาง (shell structure)

โครงสร้างเปลือกบางเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีความหนา เมื่อรับแรงจะทำให้เกิดแรงภายในชิ้นส่วน โมเมนต์ในแต่ละหน้าตัด และแรงบิดดังแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนเปลือกบาง (Shell Structure)

โดยสามารถคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นทั้งแรงตามแนวแกน (N) โมเมนต์ (M) และแรงบิด (T) ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่ได้จากสมการดังต่อไปนี้

แรงตามแนวแกน

$$N_x = \frac{Eh}{1 - \nu^2} (\epsilon_1 + \nu\epsilon_2)$$

$$N_y = \frac{Eh}{1 - \nu^2} (\epsilon_2 + \nu\epsilon_1)$$

$$N_{xy} = N_{yx} = \frac{yEh}{2(1 + \nu)}$$

โมเมนต์

$$M_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \sigma_x Z \left(1 - \frac{Z}{r_y}\right) dz$$

$$M_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \sigma_y Z \left(1 - \frac{Z}{r_x}\right) dz$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ส่วนบุคคลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

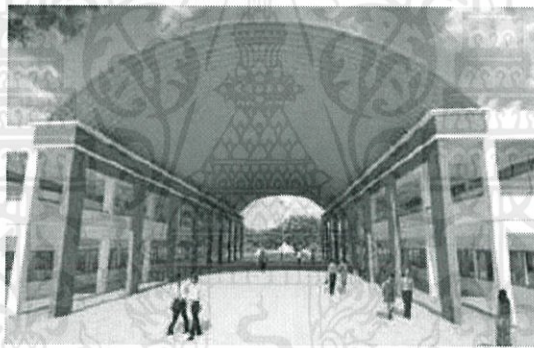
$$M_{xy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \tau_{xy} Z \left( 1 - \frac{Z}{\gamma_y} \right) d_z$$

$$M_{yz} = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \tau_{yz} Z \left( 1 - \frac{Z}{\gamma_x} \right) d_z$$

แรงบิด

$$\tau_{xy} = (y - 2Z X_{xy}) G$$

โครงสร้างเปลือกบาง (*Shell Structure*) ในปัจจุบันมีการใช้โครงสร้างลักษณะนี้ในการทำงานมากขึ้น โดยเฉพาะในงานก่อสร้าง พื้น หลังคา และโครงสร้างอื่น ๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างเฉพาะโครงสร้างหลังคา เช่น หลังคาทรงโค้ง หลังคาทรงโดม ดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างหลังคาโครงสร้างเปลือกบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

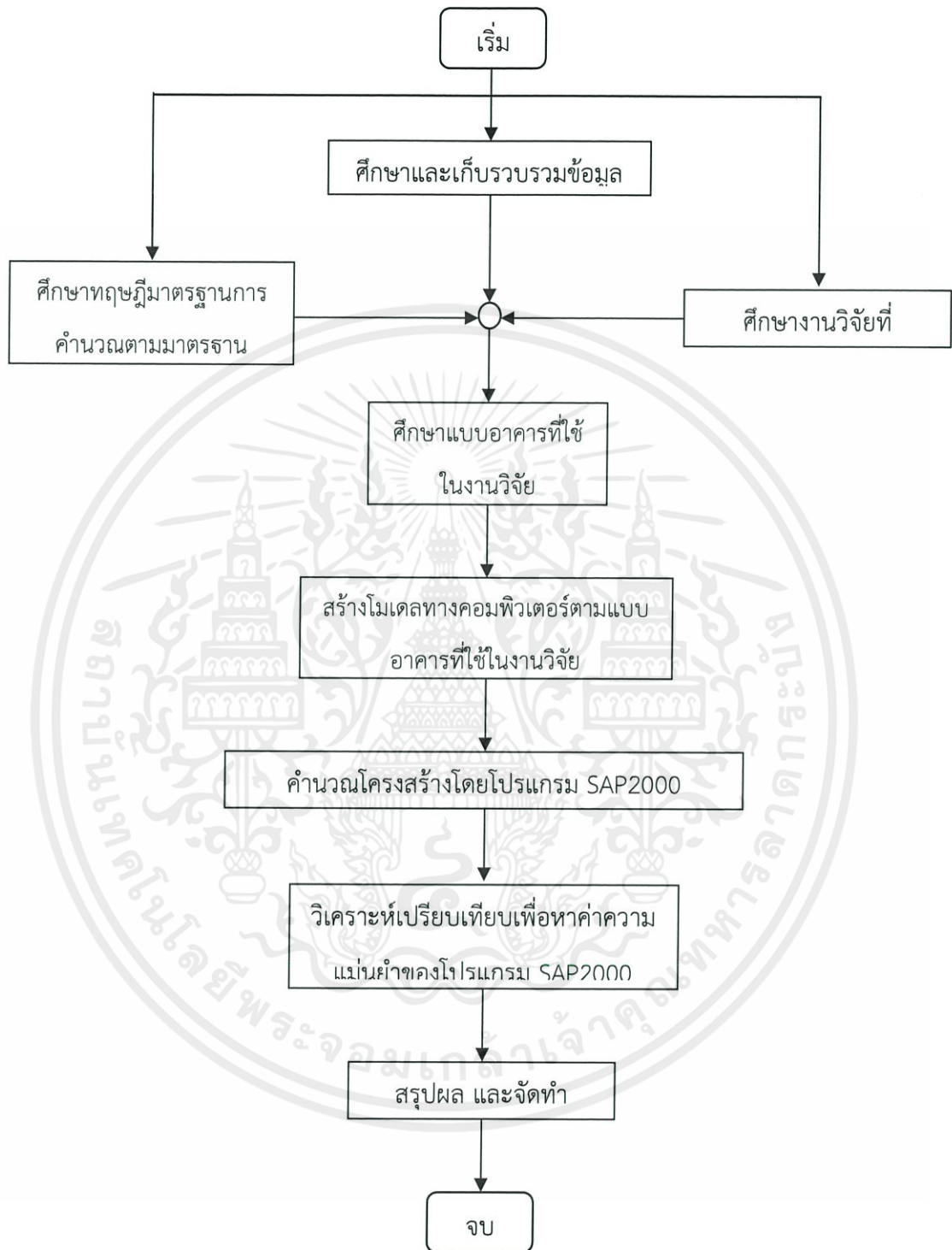
### ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถัก เมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจร และแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ภายในชั้นวัสดุที่นำมาก่อสร้างหลังคาโค้งไร้โครงถัก ในลักษณะของ คานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ของกรณีศึกษา โครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 36 m โรงพยาบาลกระบี่ ตั้งอยู่ 325 ถนนอุตรกิจ ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่โดยใช้โปรแกรม SAP2000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 กรอบและแนวคิดในการศึกษา



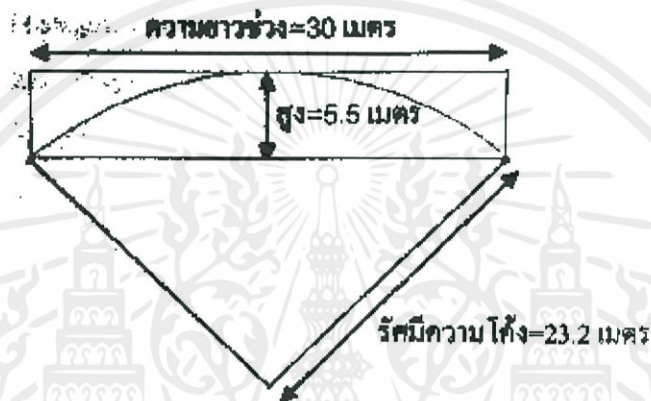
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงกรอบและแนวคิดในการศึกษาที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของผู้ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับหลังคาโค้งไร้โครงถักเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของ โปรแกรมSAP2000 และใช้เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมSAP2000

#### 3.2.1 งานวิจัยของ ฉัตร สุจินดา (Chart Suchinda)

ฉัตร สุจินดา เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถัก ช่วงความยาว 30 เมตร สูง 5.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2

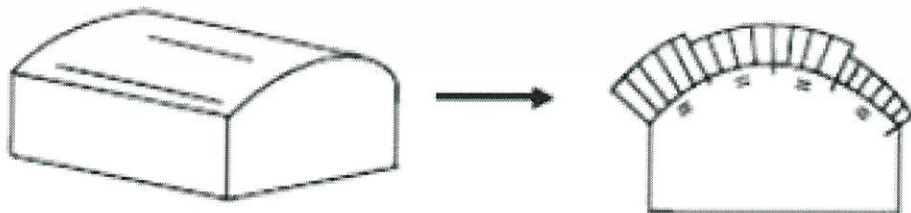


รูปที่ 3.2 ระยะเวลาของหลังคาโค้งไร้โครงถัก

ฉัตร สุจินดา ได้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักจากการก่อสร้างจริง และใช้โปรแกรมSAP2000 ในการวิเคราะห์ โดยคำนึงถึงการเกิดผลของ P-Delta และความไม่สมบูรณ์ของตัวหลังคาเหล็กไร้โครงถัก (Imperfection)

#### 3.2.2 การศึกษาของ R.Bradley

โดย R.Bradley จาก University of the Witwatersrand , Johannesburg , South Africa ได้ทำการศึกษาแรงลมที่ส่งผลให้เกิดแรงกระทำกับผิวของหลังคาทรงโค้ง เมื่อไม่ทำคิดผลของแรงยกตัว (Up-lift Force) เนื่องจากช่องเปิดของตัวอาคารในด้านตามความยาวของตัวอาคาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.3 การเกิดแรงกระทำบนหลังคาทรงโค้งเนื่องจากแรงลมในทิศตั้งฉาก  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและต้องอ้างอิงถึงใจของเอกสารที่แท้จริงที่มีการนำไปใช้  
กับความยาวของตัวอาคาร

### 3.3 กำหนดมาตรฐานในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์แรงกระทำบนผิวทางของหลังคาโค้งไร้โครงถักใช้มาตรฐาน ตามมาตรฐาน กรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.ที่1311-50 โดยมาตรฐานนี้ได้มีการกำหนดขอบข่ายไว้ 5 ประเภท

#### 3.3.1 ขอบข่ายตามมาตรฐาน มยพ.1311-50

1. มาตรฐานนี้ได้กำหนดวิธีการคำนวณค่าของแรงลมและผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ของลมที่มีผลต่ออาคารเพื่อใช้ในการออกแบบอาคาร
2. ข้อกำหนดต่างๆในมาตรฐานนี้เป็นข้อกำหนดในขั้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการ ออกแบบอาคารให้มีความปลอดภัย
3. มาตรฐานการคำนวณ สามารถใช้ได้กับอาคารเดี่ยวและอาคารสูงที่มีรูปทรงปกติ แต่มาตรฐานไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบอาคารที่มีลักษณะพิเศษ
4. มาตรฐานการคำนวณไม่ได้ครอบคลุมสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะพิเศษที่อาจทำ ให้เกิดแรงลมที่สูงกว่าปกติ
5. มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units)

### 3.4 ศึกษาโปรแกรม SAP2000

โปรแกรม SAP2000 คือโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่ถือว่าได้รับความนิยมใน การใช้งานมากที่สุดในโลกโปรแกรมหนึ่ง ตัวโปรแกรมมีการพัฒนาต่อเนื่องมายาวนาน มี ความสามารถในการสร้างโมเดลได้หลากหลายรูปแบบทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ระบบพิกัดฉาก ระบบ พิกัดวงกลม และระบบพิกัดกำหนดเอง

โดยตัวของโปรแกรม SAP2000 มีความสามารถในการวิเคราะห์โครงสร้างทั้งแบบปกติและ แบบพิเศษ เช่น การวิเคราะห์ P-Delta หรือการวิเคราะห์ผลเชิงพลศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงผล การคำนวณในรูปแบบตารางและกราฟได้อย่างละเอียดและผู้ใช้สามารถสร้างงานตามองค์ประกอบที่ ต้องการได้

แต่ถึงอย่างไรก็ตามตัวโปรแกรมSAP2000 ไม่สามารถสร้างงานโค้ง (Arch) ได้โดยตรง ต้องใช้ วิธีทางอ้อมในการสร้างทำให้เกิดความล่าช้าและในการสร้างโมเดลของคานโค้ง (Arch)

### 3.5 ออกแบบโมเดลในโปรแกรม SAP2000

โปรแกรมSAP2000 นั้น สามารถทำการสร้างโมเดลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้โดยตรง ซึ่งใน การออกแบบและสร้างแบบจำลองทางโครงสร้างในลักษณะคานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) นั้นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

### 3.5.1 ออกแบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมSAP2000

จากการศึกษางานวิจัยของอาจารย์ฉัตร สุจินดา อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม และนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยมาสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ในลักษณะของคานโค้ง (Arch) 2 มิติ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดค่าข้อมูลของชิ้นส่วน คุณสมบัติของชิ้นส่วน ขนาด และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

### 3.5.2 การออกแบบหลังคาโค้งไร้โครงถัก

เมื่อสามารถใช้งานโปรแกรม SAP2000 ได้อย่างถูกต้องจึงเริ่มทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ของหลังคาโค้งไร้โครงถักตามแบบอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 36 m โรงพยาบาลกระบี่ โดยทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในลักษณะของคานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell)

## 3.6 เปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น

เมื่อสามารถทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในลักษณะของคานโค้ง(Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามรูปแบบอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 36 m โรงพยาบาลกระบี่ หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นโดยแบ่งเป็น

### 3.6.1 เปรียบเทียบแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม

จากการศึกษาแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง) และการศึกษาแรงลมที่กระทำบนหลังคาทรงโค้งของ R.Bradley จาก University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa

โดยจะทำการเปรียบเทียบแรงที่กระทำบนหลังคาทรงโค้งของโครงสร้างทั้งสองว่ามีความแตกต่างกันเช่นไร

### 3.6.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมของคานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell)

เมื่อโครงสร้างในลักษณะของคานโค้ง(Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ได้รับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง) และตามการศึกษาแรงลมที่กระทำบนหลังคาทรงโค้งของ R.Bradley โดยมีารเปรียบเทียบดังนี้

1. การแอ่นและการโก่งตัวของโครงสร้าง
2. โมเมนต์ที่เกิดขึ้นชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการปฏิบัติงาน

จากขั้นตอนการปฏิบัติงานได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษาแบบโครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 36 m โรงพยาบาลกระบี่ ศึกษาโปรแกรม SAP2000 และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบหน่วยแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างแบบคานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell)

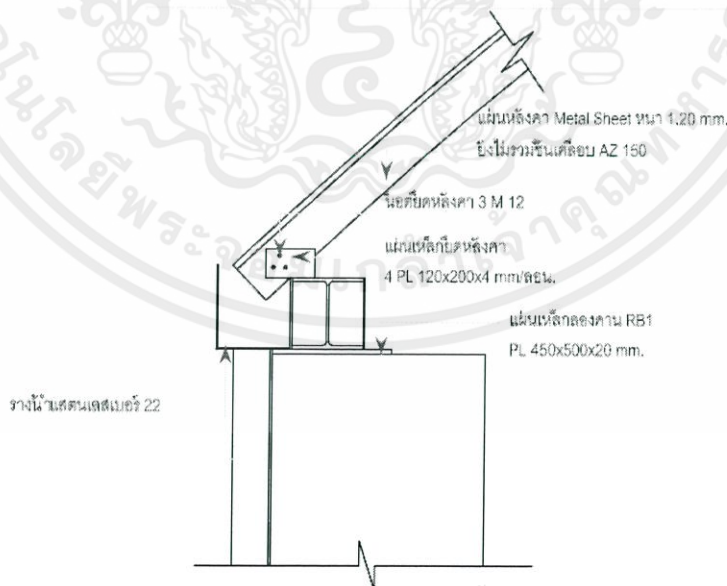
#### 4.1 อาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากการศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารอเนกประสงค์ขนาด 27 m x 39 m โรงพยาบาลกระบี่

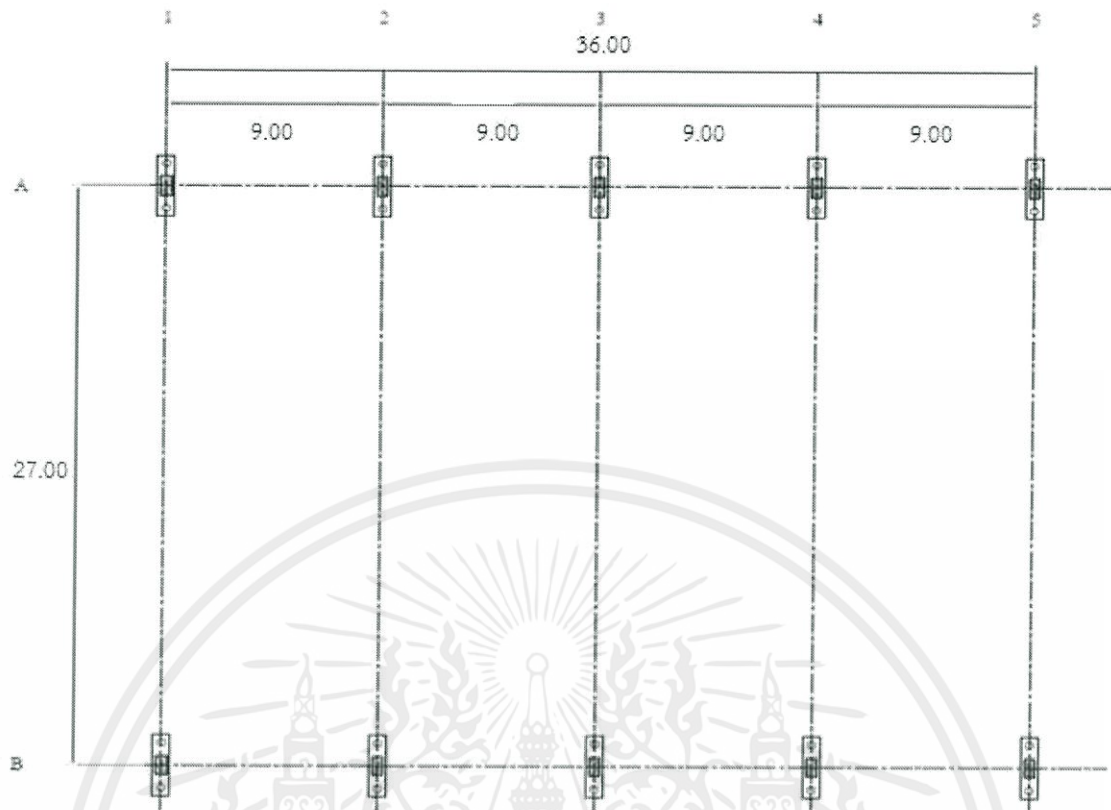
##### 4.1.1 ลักษณะของหลังคา

แบบอาคารอเนกประสงค์ขนาดกว้าง 27 เมตร ยาว 39 เมตร โรงพยาบาลกระบี่ เป็นอาคารเปิดชั้นเดียว ความสูงจากพื้นถึงยอดหลังคา 12.25 เมตร หลังคาเป็นทรงหลังคาโค้งใช้โครงถัก มีความกว้างของตัวหลังคา 27 เมตร และความสูง 5.5 เมตร มีจุดรองรับของหลังคาโค้งมีลักษณะคล้ายกับที่รองรับแบบหมุน (Hinge Supports) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีจุดรองรับแบบหมุน (Hinge Supports) 10 จุด แบ่งเป็นข้างละ 5 จุด แต่ละจุดห่างกัน 9 เมตร ดังแสดงในรูปที่

4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 4.1 รูปแสดงรายละเอียดจุดรองรับหลังคา สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

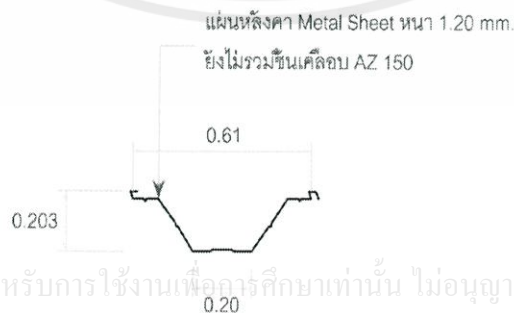


รูปที่ 4.2 แสดงระยะห่างของจตุรกรงรับหลังคา

#### 4.1.2 การผลิตชิ้นส่วน

ในการผลิตชิ้นนั้นจะใช้แผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร มีความกว้าง 610 มิลลิเมตร และสูง 203 มิลลิเมตร มีหน้าตัดเป็นรูปทรงคล้ายรางน้ำรูปตัววี ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นำมาติดตั้งให้ขึ้นรูปโดยมีการปรับแต่งให้มีรัศมีความโค้งตามที่กำหนด ซึ่งจะก่อให้เกิดเป็นลอนๆ (Corrugated) จุดประสงค์ของลอนดังกล่าวคือ

- 1) เพื่อสร้างให้เกิดรัศมีความโค้งขึ้น
- 2) เพื่อเป็นการเสริมสร้างความแข็งแรงและเสถียรภาพให้กับหน้าตัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงหน้าตัดของหลังคาโค้งไร้โครงถัก

## 4.2 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม

ในการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

### 4.2.1 น้ำหนักบรรทุกจร

น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นน้ำหนักบรรทุกจรของหลังคาตาม

ข้อกำหนดกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พุทธศักราช 2527

น้ำหนักบรรทุกจรบนหลังคาที่ใช้ 30 กก./ตร.ม.

### 4.2.2 แรงลม

การคำนวณแรงลมจากการคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน 1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และการศึกษาของ R.Bradley โดยไม่คิดผลของแรงยกตัว (Up life force) เนื่องจากช่องเปิดของตัวอาคาร

1) แรงลมตามมาตรฐาน มยผ. 1311-30

จากการศึกษาแรงลมบริเวณ จังหวัด กระบี่ มีความเร็วลม 180 กม./ชม.

วิธีการคำนวณแรงลมอย่างง่าย

ด้านปะทะลม

$$P = -148.73 \text{ กก./ตร.ม.}$$

ด้านหลังลม

$$P = -179.50 \text{ กก./ตร.ม.}$$

ทิศทางของแรงกระทำแสดงในรูปที่ 4.4 (วิธีทำโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.)

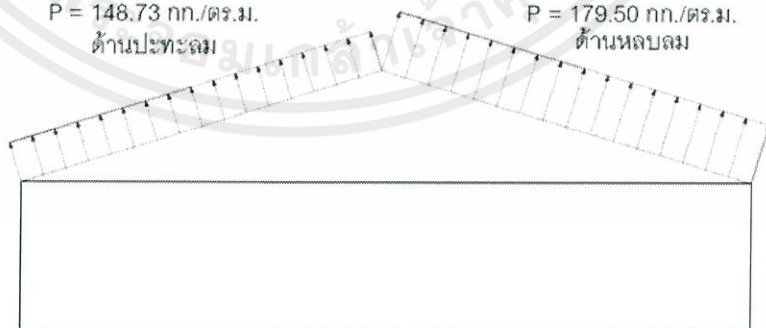
$$P = 148.73 \text{ กก./ตร.ม.}$$

ด้านปะทะลม

$$P = 179.50 \text{ กก./ตร.ม.}$$

ด้านหลังลม

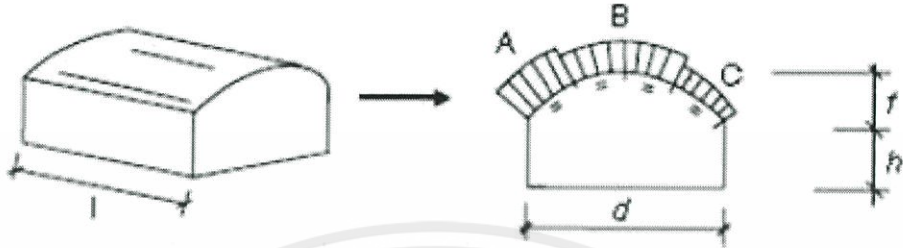
ทิศทางลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.4 แสดงทิศทางและขนาดของแรงกระทำที่ด้านบน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้ข้อมูลใดๆเพื่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
หลังคาโค้งไว้ตรงตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50

2) แรงลมตามการศึกษาของ R.Bladley

ในการคำนวณจะเหมือนกับการคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 แต่จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงลม ( $C_p$ ) ตามการศึกษาของ R.Bladley โดยแบ่งตามโซนของแรงกระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงโซนของแรงกระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก ตามการศึกษาของ R.Bladley

ค่าสัมประสิทธิ์แรงลม โซน A ได้  $C_p = 0.2$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงลม โซน B ได้  $C_p = -0.4$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงลม โซน C ได้  $C_p = -0.9$

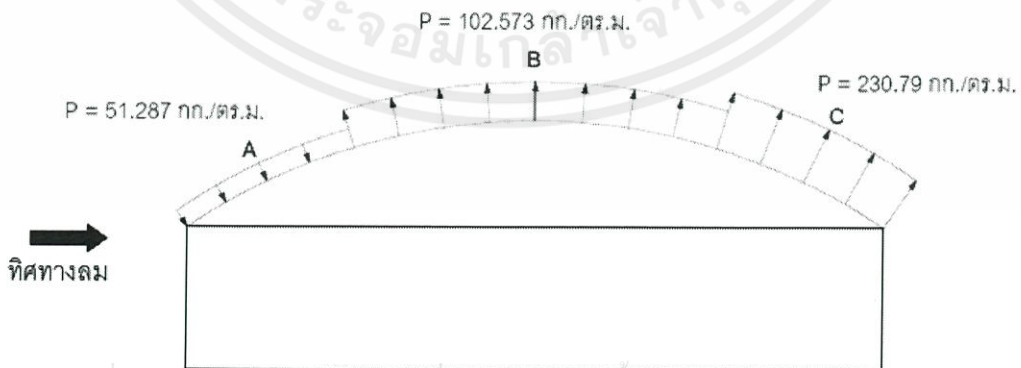
แรงกระทำมาตรฐานในแต่ละโซนบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก ตามการศึกษาของ R.Bladley ได้ค่าดังนี้

แรงกระทำบริเวณ โซน A = 51.287 กก./ตร.ม.

แรงกระทำบริเวณ โซน B = -102.573 กก./ตร.ม.

แรงกระทำบริเวณ โซน C = -230.79 กก./ตร.ม.

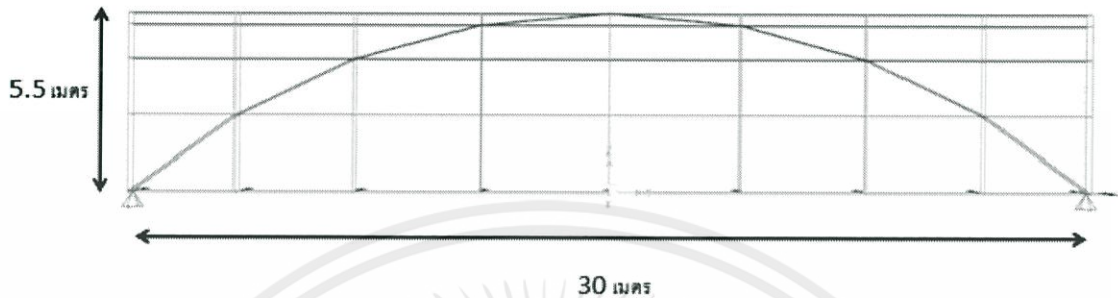
ทิศทางของแรงกระทำแสดงในรูปที่ 4.6 (วิธีทำโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.)



รูปที่ 4.6 แสดงทิศทางและขนาดแรงกระทำที่กระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถักตามการศึกษาของ R.Bladley

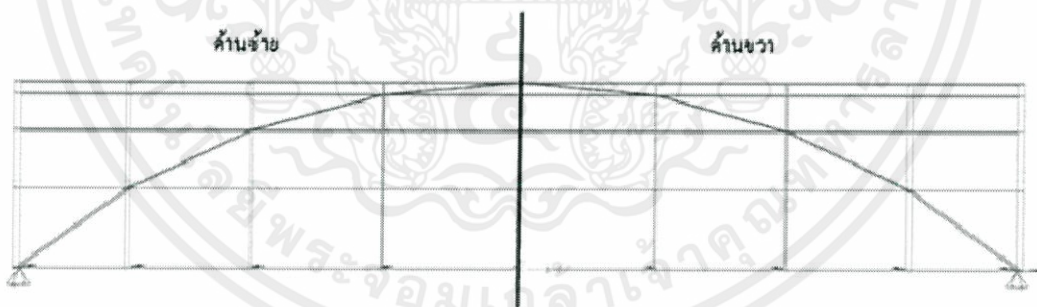
### 4.3 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ตามงานวิจัย ฉัตร สุจินดา

การทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม SAP 2000 ทำการสร้างในลักษณะของคานโค้ง (Arch) โดยขึ้นแบบจำลองโหนดระบบพิกัดฉาก 2 มิติ ในระนาบ YZ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) ตามงานวิจัยของอาจารย์ฉัตร สุจินดา บนระบบพิกัดฉาก

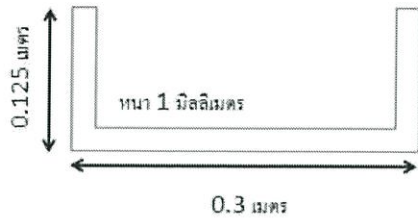
ตัวคานโค้ง (Arch) มีความกว้าง 30 เมตร สูง 5.5 เมตร ที่ฐานรองรับเป็นแบบหมุน (Hinge Support) รับแรงในแนวแกนตั้ง (แกน Z) แบบ Gravity ขนาด 60 กก. เต็มช่วงความยาวและกำหนดให้เป็นโครงสร้างแบบไม่สมบูรณ์ (Imperfection) และไม่คำนึงถึงค่า P-delta โดยกำหนดให้หน้าตัดทางด้านขวาพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าทางด้านซ้าย 10 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 แสดงการแบ่งหน้าตัดของโครงสร้างคานโค้ง (Arch)

โดยกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเหล็กชนิด A992  $F_y$  50 มีค่า Modulus of Elasticity (E) เท่ากับ 2038901.9 ksc หน้าตัดเหล็กของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 การวิเคราะห์ผลโดยไม่คำนึงถึงค่าของ P - Delta เนื่องจากไม่สามารถหาค่า P - Delta

ที่แน่นอนตามงานวิจัยของอาจารย์ฉัตร สุจินดา ได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Property Data			
Section Name		K1	
Properties:			
Cross-section (axial) area	5.480E-04	Section modulus about 3 axis	8.815E-06
Torsional constant	1.832E-10	Section modulus about 2 axis	5.195E-05
Moment of Inertia about 3 axis	8.481E-07	Plastic modulus about 3 axis	1.552E-05
Moment of Inertia about 2 axis	7.793E-06	Plastic modulus about 2 axis	5.958E-05
Shear area in 2 direction	2.175E-04	Radius of Gyration about 3 axis	0.0393
Shear area in 3 direction	2.962E-04	Radius of Gyration about 2 axis	0.1193

ก)



Property Data			
Section Name		K2	
Properties:			
Cross-section (axial) area	4.930E-04	Section modulus about 3 axis	6.853E-06
Torsional constant	1.649E-10	Section modulus about 2 axis	4.296E-05
Moment of Inertia about 3 axis	5.837E-07	Plastic modulus about 3 axis	1.202E-05
Moment of Inertia about 2 axis	5.625E-06	Plastic modulus about 2 axis	4.877E-05
Shear area in 2 direction	1.913E-04	Radius of Gyration about 3 axis	0.0344
Shear area in 3 direction	2.732E-04	Radius of Gyration about 2 axis	0.1067

ข)

รูปที่ 4.9 ก) แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด ทางด้านซ้าย

ข) แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัด ทางด้านขวา

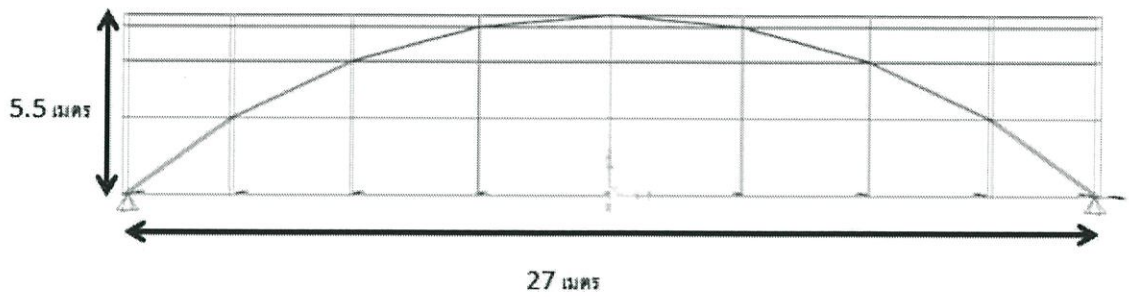
#### 4.4 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ตามแบบอาคารอเนกประสงค์

การขึ้นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ตามแบบอาคารอเนกประสงค์ขนาด กว้าง 27 เมตร ยาว 36 เมตร จะใช้คุณสมบัติของวัสดุตามหัวข้อ 4.3 ซึ่งจะคิดผลของความไม่สมบูรณ์ (Imperfection) แต่ไม่คิดผลของค่า P – Delta

##### 4.4.1 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch)

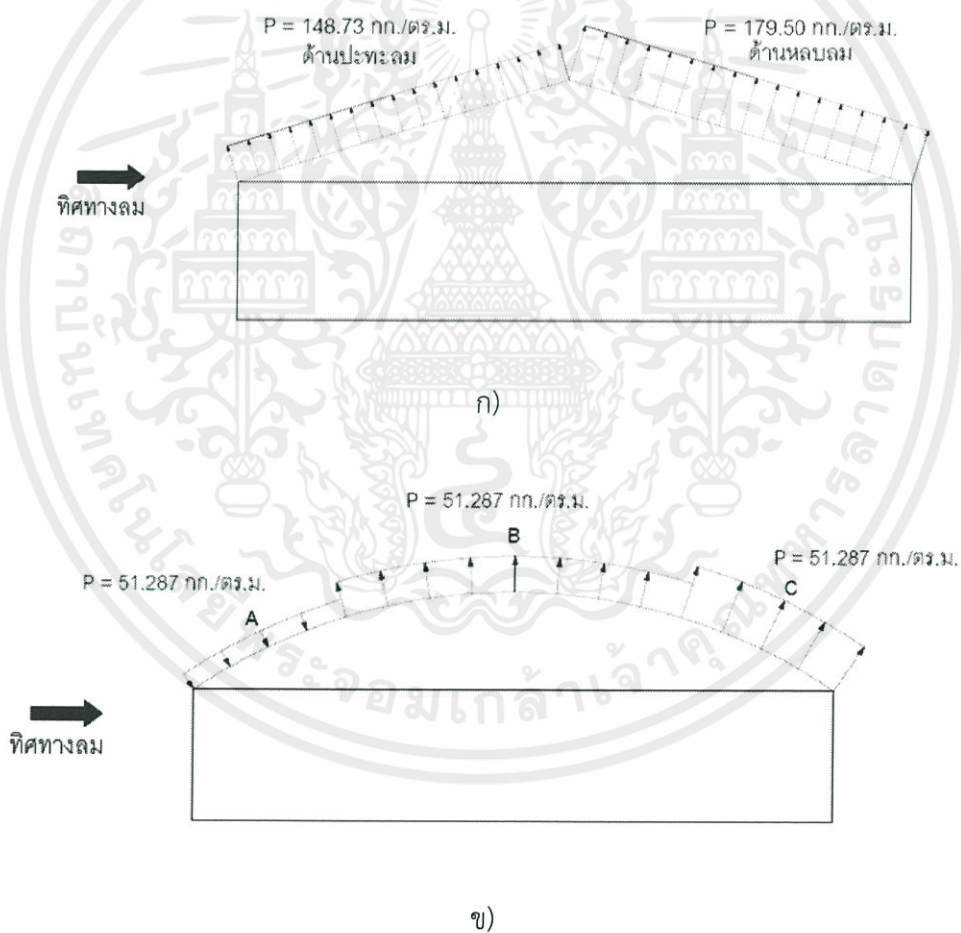
การทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SAP 2000 ทำการสร้างในลักษณะของคานโค้ง (Arch) โดยขึ้นแบบจำลองในระบบพิกัดฉาก 2 มิติ ในระนาบ YZ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของคานโค้ง (Arch) ตามแบบอาคารอเนกประสงค์

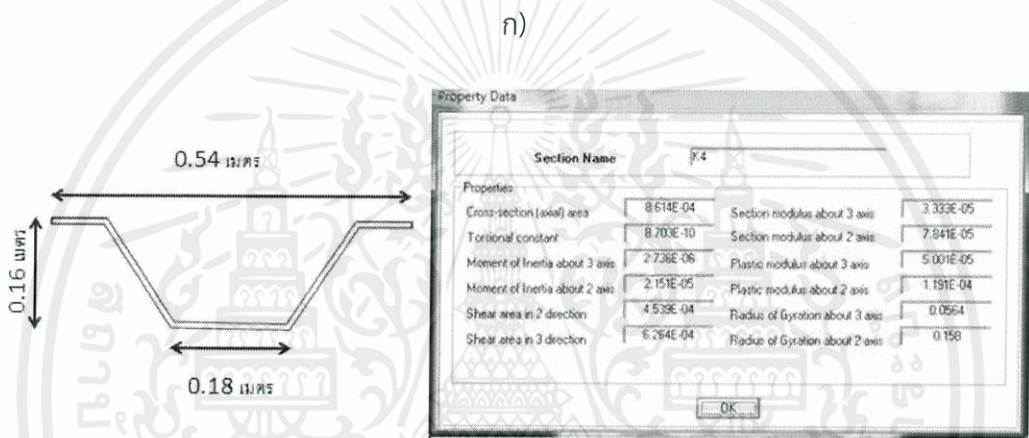
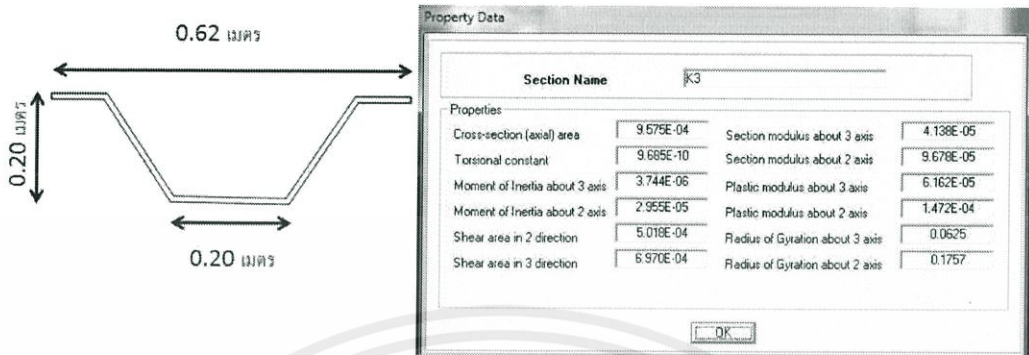
ตัวคานโค้ง (Arch) มีความกว้าง 27 เมตร สูง 5.5 เมตร รัศมี 19.32 เมตร ที่ฐานรองรับเป็นแบบหมุน (Hinge Support) รับแรงกระทำตามการคำนวณในหัวข้อ 4.2 โดยแบ่งเป็น ตามมาตรฐาน มยผ. 1311- 50 และตามการศึกษาของ R.Bladley ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ก) แสดงการรับแรงกระทำตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ข) แสดงการรับแรงกระทำตามการศึกษาของ R.Bladley  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการออกแบบหน้าตัดของคานโค้งตามแบบหน้าตัดในรูปที่ 4.4 ได้คุณสมบัติของหน้าตัด  
 ดังแสดงในรูปที่ 4.12



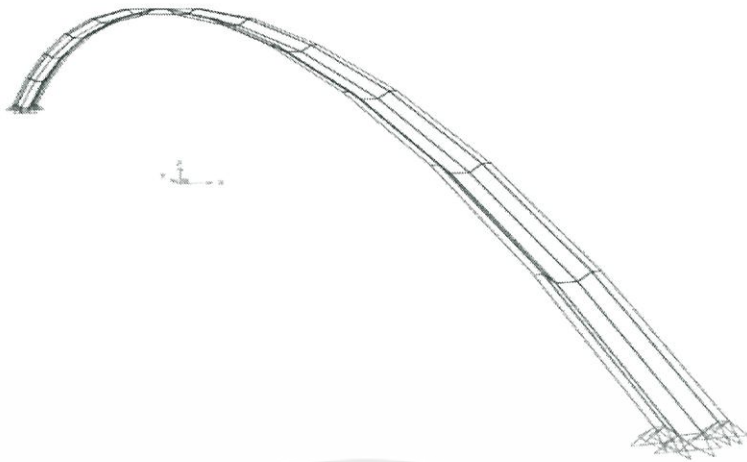
รูปที่ 4.12 ก) แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัดทางด้านซ้าย

ข) แสดงหน้าตัดของคานโค้ง (Arch) และคุณสมบัติของหน้าตัดทางด้านขวา

#### 4.4.2 แบบจำลองคอมพิวเตอร์รูปแบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell)

การทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SAP 2000 ทำการสร้างในลักษณะของทรงโค้งเปลือกบาง (Shell) ในรูปแบบ 3มิติ ให้มีหน้าตัดใกล้เคียงกับหน้าตัดคานโค้ง (Arch) โดยใช้ระบบพิกัด Gird ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (วิธีขึ้นชิ้นส่วนโดยละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของทรงโค้งเปลือกบาง (Shell)  
ตามแบบอาคารอเนกประสงค์

ตัวโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) มีความกว้าง 0.6 เมตร ยาว 27 เมตร สูง 5.5 เมตร ประกอบด้วยดาดฟ้าชั้นส่วนที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร มีฐานรองรับแบบยึดหมุน (Hinge Support) เป็นฐานรองรับหลังคาโค้งไร้โครงถัก รับแรงกระทำตามการคำนวณในหัวข้อที่ 4.2 โดยแบ่งเป็นตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และตามการศึกษาของ R.Bladley

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

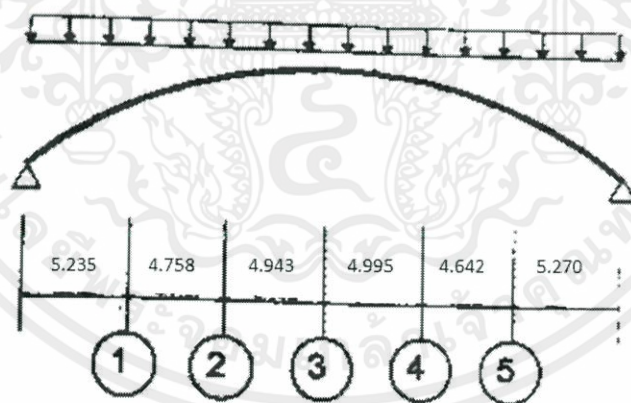
## บทที่ 5

### สรุปผลการปฏิบัติงาน

จากการออกแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม SAP2000 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม กับงานวิจัยของ อ.ฉัตร สุจินดา และใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติ และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติ ในการเปรียบเทียบพฤติกรรม และผลการวิเคราะห์ ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจร

#### 5.1 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

จากการศึกษางานวิจัยของ อ.ฉัตร สุจินดา ได้ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวดิ่งจากการทดสอบจริงกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span) และทำการเฉลี่ยค่าข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริงตั้ง และจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติ ได้ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวดิ่งดังแสดงในตารางที่ 5.1



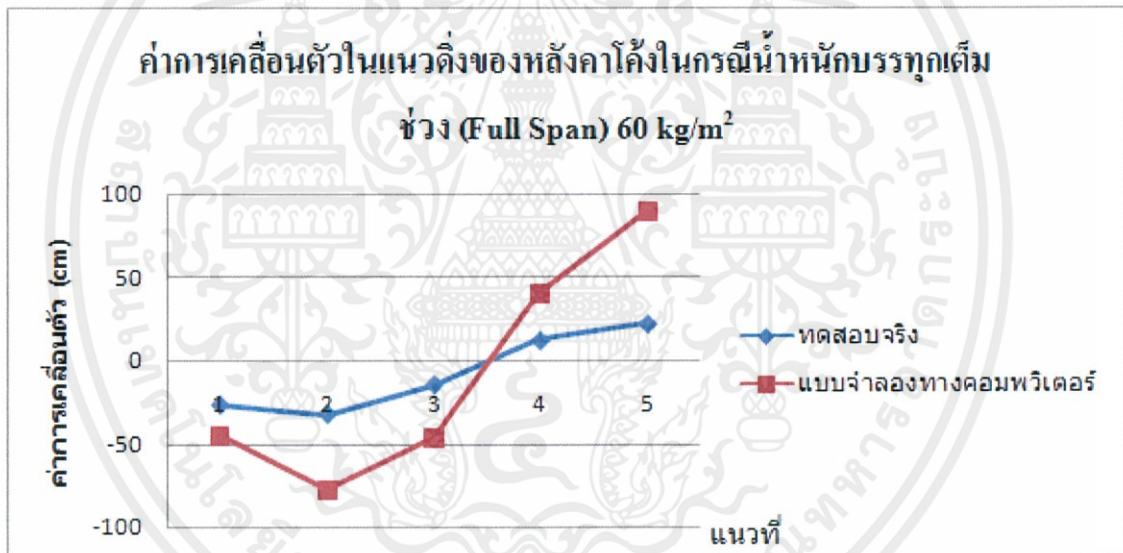
รูปที่ 5.1 แสดงแนวนหลังคาโค้งแสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งในกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full Span)  $60 \text{ kg/m}^2$  ของ อ.ฉัตร สุจินดา และจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ค่าการเคลื่อนตัวของ	ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้ง (cm) (เครื่องหมาย + แสดงทิศทางขึ้น, - แสดงทิศทางลง)				
	แนวที่ 1	แนวที่ 2	แนวที่ 3	แนวที่ 4	แนวที่ 5
ฉัตร สุจินดา	-26.73	-32.3	-14.5	12.37	22.37
แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	-45.68	-77.75	-46.84	40.40	89.72

นำค่าการเคลื่อนตัวทั้ง 2 วิธีมาวาดกราฟความแตกต่างดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งกรณีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วง (Full span)  $60 \text{ kg/m}^2$

### 5.1.1 วิเคราะห์ผล

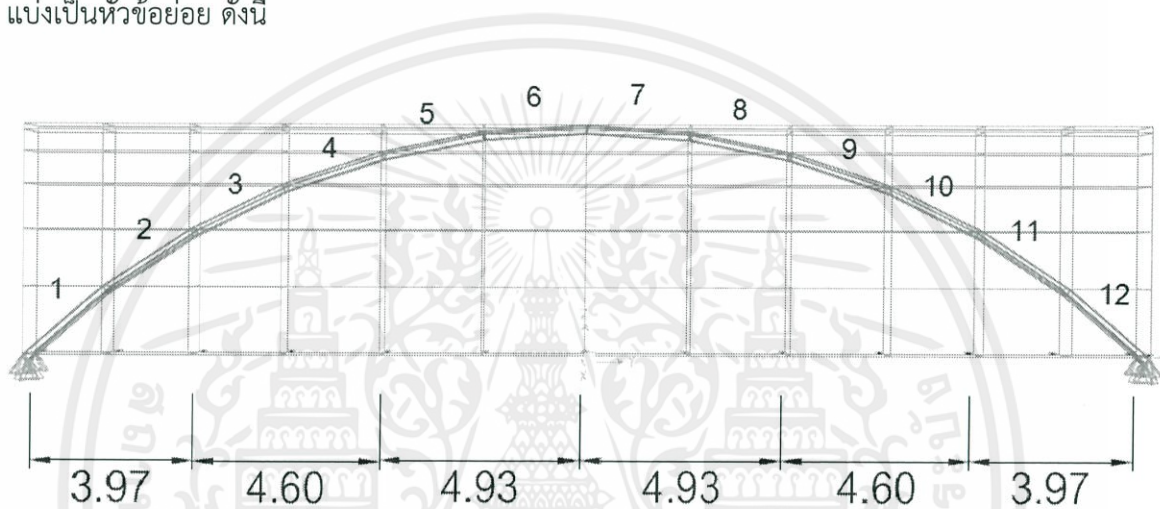
จากกราฟเราจะเห็นว่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของการทดสอบจริง และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีความแตกต่างกันมากนั้นเนื่องจาก แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ไม่ได้มีการคำนึงถึง ค่า  $P-\Delta$  หรือค่าโมเมนต์อันดับสองที่เกิดจากระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างปลายทั้งสองข้างของชิ้นส่วน และผลของ  $P-\delta$  หรือหมายถึงผลกระทบของระยะเยื้องศูนย์กลางภายในโครงสร้างเอง

เนื่องจากข้อมูลในงานวิจัยของ อ.ฉัตร สุจินดา ไม่มีการแสดงข้อมูลของค่าทั้งสองอย่างชัดเจน ทำให้ไม่สามารถหาค่าที่มีความแน่นอนเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้

## 5.2 การเปรียบเทียบพฤติกรรม ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่

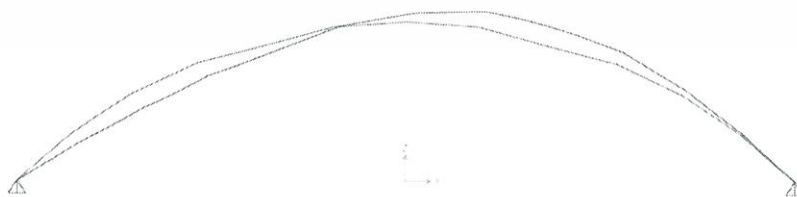
ในส่วนของการเปรียบเทียบพฤติกรรม และผลการวิเคราะห์ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรได้ทำการแบ่งเป็นหัวข้อย่อย ดังนี้



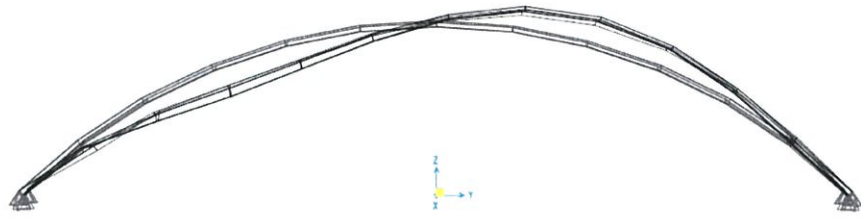
รูปที่ 5.3 แสดงจำนวน Element และแนวการตรวจสอบระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้ง แสดงแนวที่ 1 ถึงแนวที่ 5

- 1) แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50

จากการทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติ และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติได้ทำการแบ่ง เป็น 12 Element และแบ่งแนวที่จะตรวจสอบระยะการเคลื่อนตัวในแนวตั้งออกเป็น 5 แนว ดังแสดงในรูปที่ 5.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 5.4 ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองคานโค้ง (Arch)  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50



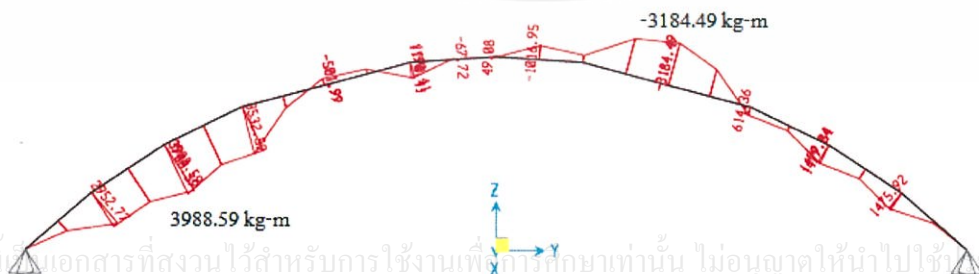
รูปที่ 5.5 ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50

จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตาม มาตรฐาน มยผ. 1311-50 ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งในกรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและ น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50

แบบจำลองทาง คอมพิวเตอร์	ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้ง (cm) (เครื่องหมาย + แสดงทิศทางขึ้น, - แสดงทิศทางลง)				
	แนวที่ 1	แนวที่ 2	แนวที่ 3	แนวที่ 4	แนวที่ 5
คานโค้ง (Arch)	-49.45	-21.27	30.33	61.01	17.72
โครงสร้างเปลือก บาง (Shell)	-13.29	-18.29	7.11	21.87	9.18

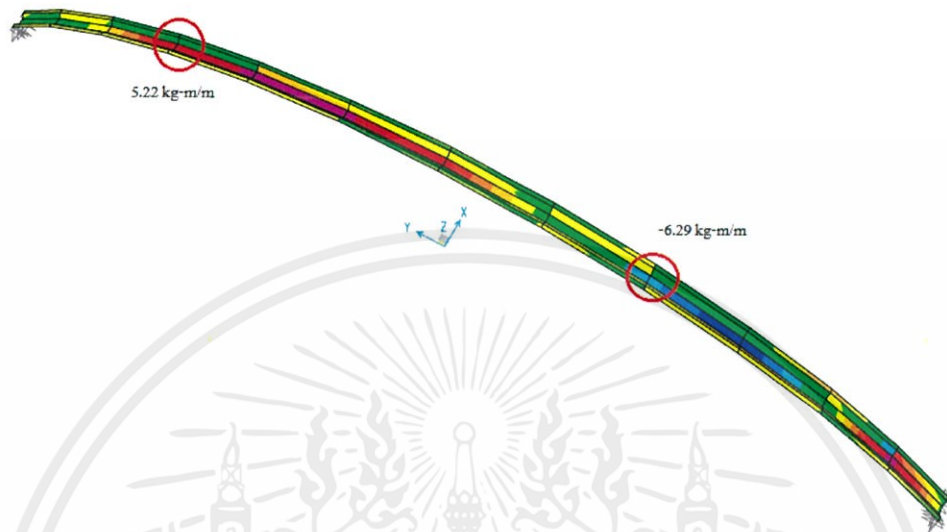
แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติเกิดโมเมนต์บวก มากที่สุด 3988.59 kg-m บน Element ที่ 2 และ 3 เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -3184.49 kg-m บน Element ที่ 8 และ ดังแสดงในรูปที่ 5.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

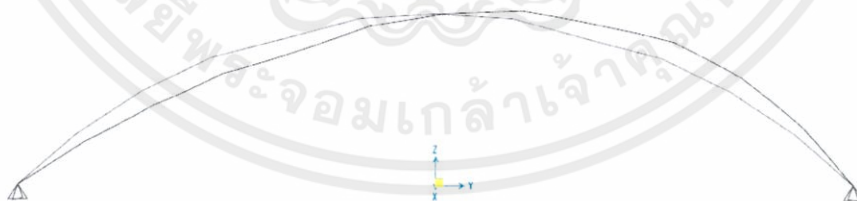
รูปที่ 5.6 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติเกิดโมเมนต์บวกมากที่สุด 5.22 kg-m/m บน Element ที่ 3 และ 4 เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -6.29 kg-m/m บน Element ที่ 8 และ ดังแสดงในรูปที่ 5.7



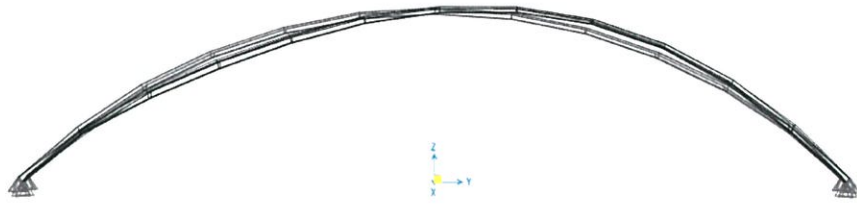
รูปที่ 5.7 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามมาตรฐาน มยผ. 1130-50

1) แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตามการศึกษา R.Bradley จากการทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติ และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติได้ทำการแบ่ง เป็น 12 Element และแบ่งแนวที่จะตรวจสอบระยะการเคลื่อนตัวในแนวตั้งออกเป็น 5 แนว ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.8 ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามการศึกษา R.Bradley

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



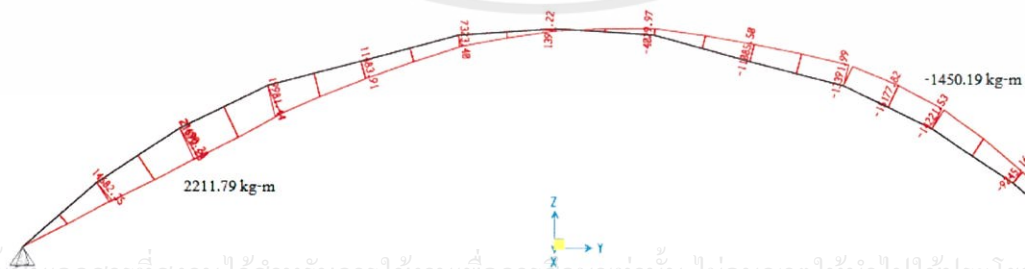
รูปที่ 5.9 ระยะเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามการศึกษา R.Bradley

จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตาม การศึกษาของ R.Bradley ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งในกรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและ น้ำหนักบรรทุกจรตามการศึกษาของ R.Bradley

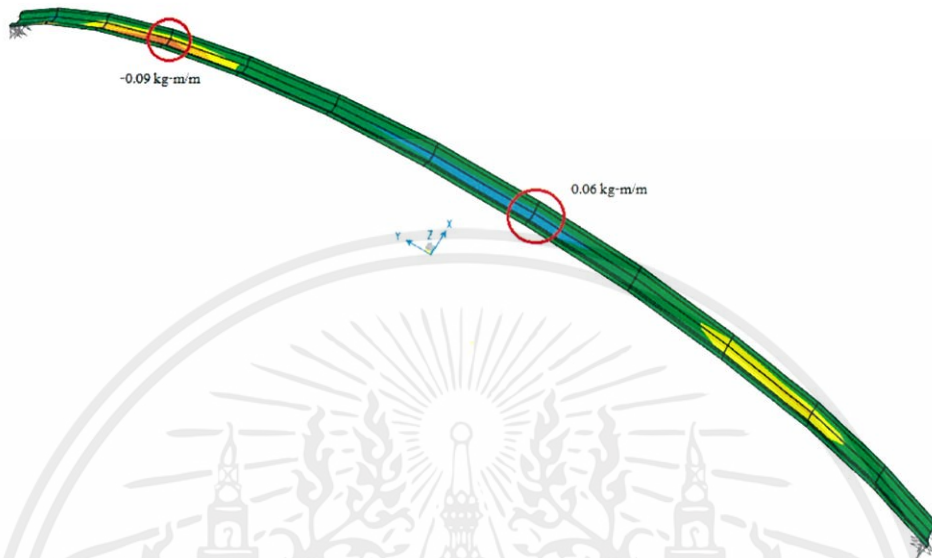
แบบจำลองทาง คอมพิวเตอร์	ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้ง (cm) (เครื่องหมาย + แสดงทิศทางขึ้น, - แสดงทิศทางลง)				
	แนวที่ 1	แนวที่ 2	แนวที่ 3	แนวที่ 4	แนวที่ 5
คานโค้ง (Arch)	-45.93	-49.92	0.11	44.94	45.65
โครงสร้างเปลือก บาง (Shell)	-22.52	-30.55	5.01	31.69	20.96

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) 2 มิติเกิดโมเมนต์บวก มากที่สุด 2211.79 kg-m บน Element ที่ 2 และ 3 เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -1450.19 kg-m บน Element ที่ 10 และ 11 ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองคานโค้ง (Arch) ตามการศึกษาของ R.Bradley

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติเกิดโมเมนต์บวกมากที่สุด 0.06 kg-m/m บน Element ที่ 5 และ 6 เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -0.09 kg-m/m บน Element ที่ 10 และ 11 ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนของแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ตามการศึกษาของ R.Bradley

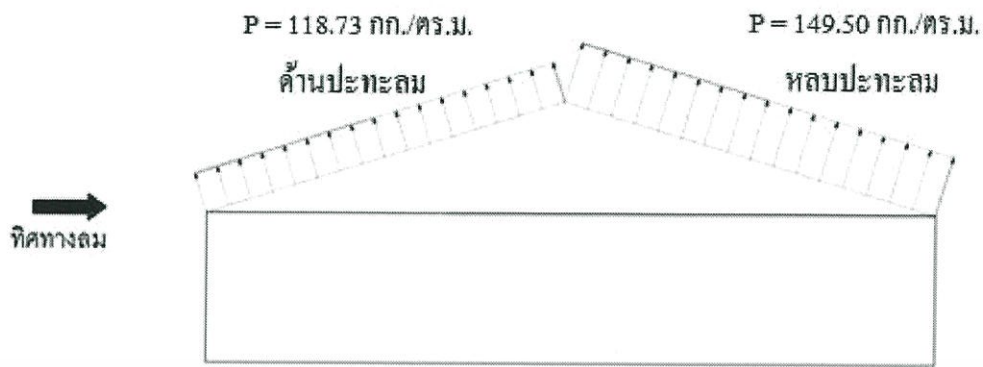
### 5.3 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

จากการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ทำการวิเคราะห์ผลของการเคลื่อนตัวทางแนวตั้งและค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในตัวชิ้นส่วน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

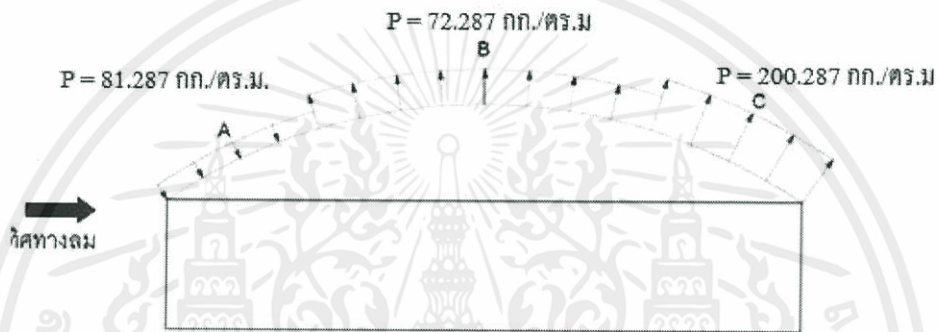
- 1) วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองคานโค้ง (Arch) 2 มิติ

จากการแสดงผลของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และจากการศึกษาของ R.Bradley จะเห็นว่าเมื่อได้รับแรงกระทำสุทธิดังแสดงในรูปที่ 5.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



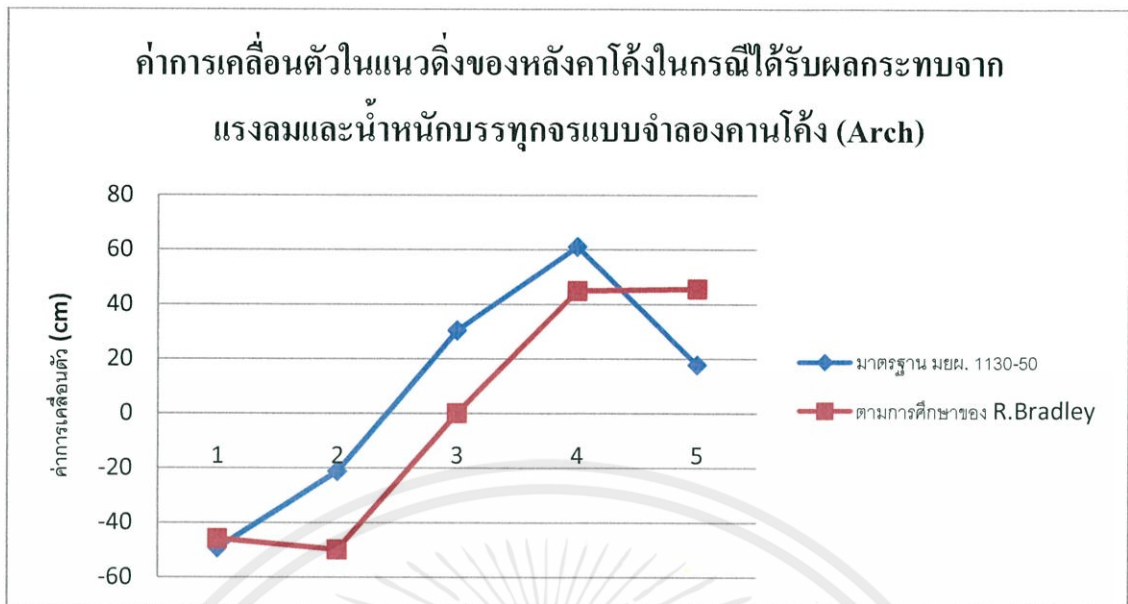
ข)

รูปที่ 5.12 ก) แสดงแรงสุทธิที่กระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถักตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50

ข) แสดงแรงสุทธิที่กระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถักตามการศึกษาของ R.Bradley

จะเห็นว่าค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของการศึกษาของ R.Bradley มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งน้อยกว่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 ดังแสดงในรูปที่ 5.13 เนื่องจากค่าแรงกระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถักมีค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งไร้โครงถัก  
กรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรแบบจำลองคานโค้ง (Arch)

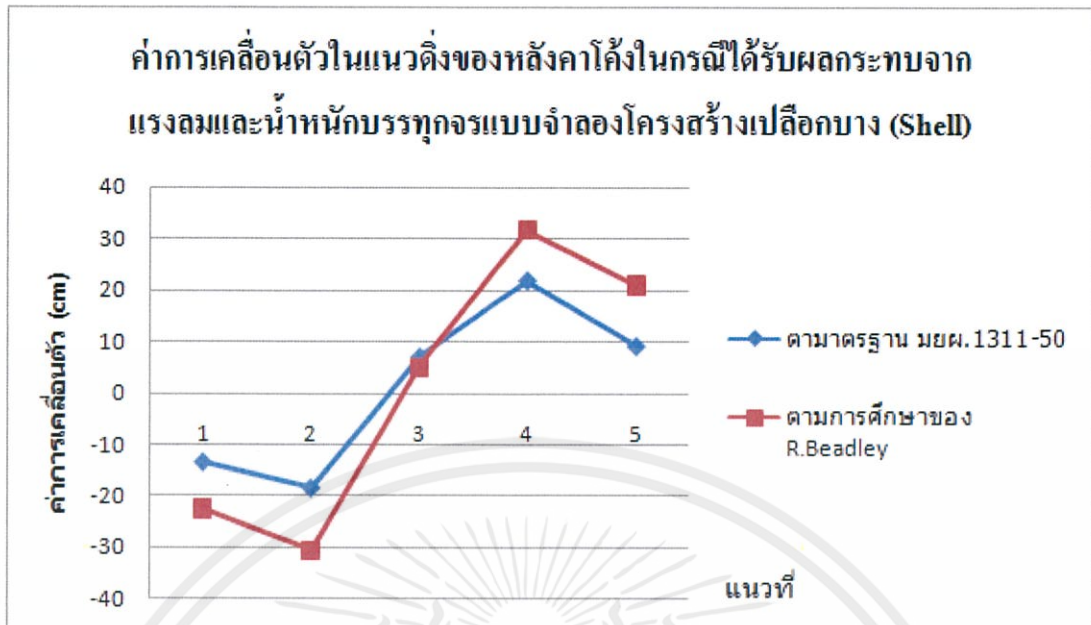
และจากการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 มีค่าโมเมนต์บวก มากที่สุด 3988.59 kg-m เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -3184.49 kg-m ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์ตามการศึกษาของ R. Bradley ที่มีค่าโมเมนต์บวก มากที่สุด 2211.79 kg-m เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -1450.19 kg-m

2) วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติ

จากการแสดงผลของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และจากการศึกษาของ R. Bradley จะเห็นว่าเมื่อได้รับแรงกระทำสุทธิดังแสดงในรูปที่ 5.12

จะได้ว่าค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของการศึกษาของ R. Bradley มีค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งมากกว่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 ดังแสดงในรูปที่ 5.14 เนื่องจากค่าแรงกระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถักตามวิธีของ R. Bradley ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ข) บริเวณที่อ่อนแอของโครงสร้างรับแรงกระทำมากที่สุด จึงทำให้เกิดการเสียรูปไปมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



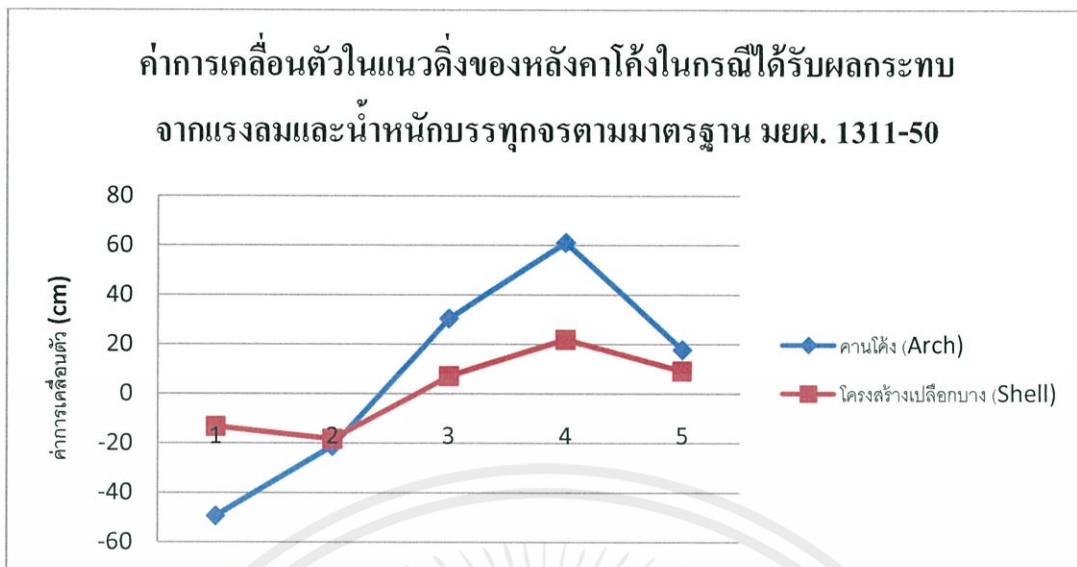
รูปที่ 5.14 แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งไร้โครงถัก  
กรณีที่ได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรแบบจำลองโครงสร้างเปลือก  
บาง (Shell)

และจากการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง  
(Arch) ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจาก  
แรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 มีค่าโมเมนต์บวก มากที่สุด 5.22  
kg-m/m เกิดโมเมนต์ลบ มากที่สุด -6.29 kg-m/m ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์ตามการศึกษาของ  
R. Bradley ที่มีค่าโมเมนต์บวก มากที่สุด 0.06 kg-m/m เกิดโมเมนต์ลบ ที่มากที่สุดเท่ากับ -0.09  
kg-m/m

3) เปรียบเทียบแบบจำลองคานโค้ง (Arch) 2 มิติ และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) 3 มิติ  
จากการแสดงผลของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง  
(Shell) ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจาก  
แรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 เมื่อได้รับแรงกระทำสุดที่แสดงในรูปที่  
5.12 โดยทำการเปรียบเทียบเฉพาะค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งเท่านั้น

จะได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบโครงสร้างเปลือก  
บาง (Shell) มีค่าการเคลื่อนตัวน้อยกว่าแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) ตาม

เอกสารนี้มาตรฐาน มยผ. 1311-50 ดังแสดงในรูปที่ 5.15 ปรึกษาท่านนั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

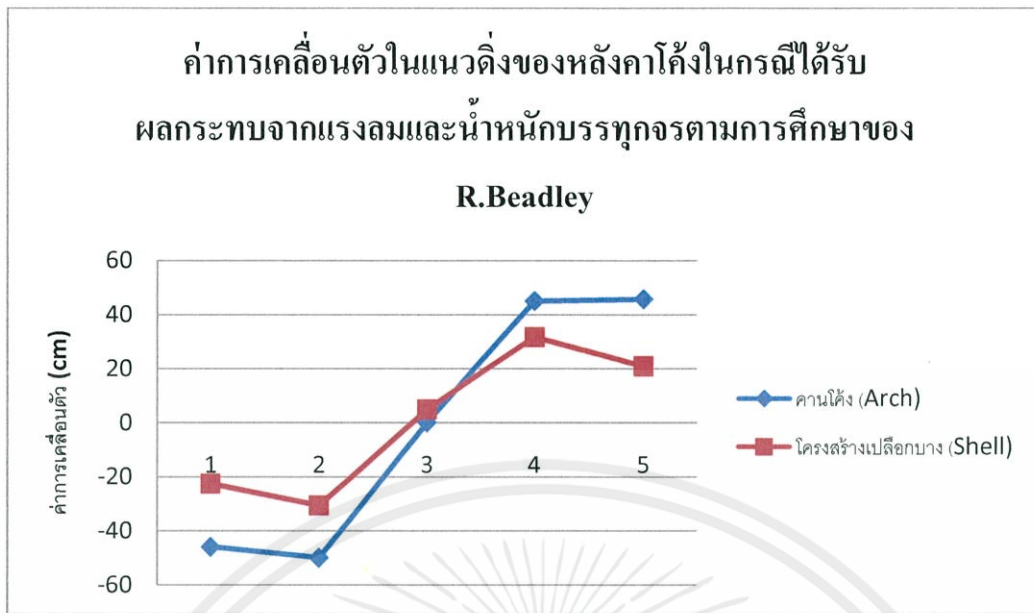


รูปที่ 5.15 แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งไร้โครงถัก  
กรณีได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจร

จากการแสดงผลของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) และโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) ของหลังคาโค้งไร้โครงถัก อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่ เมื่อได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามการศึกษาของ R.Bradley เมื่อได้รับแรงกระทำสุทธิ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 โดยทำการเปรียบเทียบเฉพาะค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งเท่านั้น

จะได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell) มีค่าการเคลื่อนตัวน้อยกว่าแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบคานโค้ง (Arch) ตามการศึกษาของ R.Bradley ดังแสดงในรูปที่ 5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงความแตกต่างของค่าการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของหลังคาโค้งไร้โครงถักกรณีที่ได้รับผลกระทบจากแรงลมและน้ำหนักบรรทุกจรตามการศึกษาของ R.Bradley

#### 5.4 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) พบปัญหาและอุปสรรคดังนี้

- 1) งานวิจัยของ อ.ฉัตร สุจินดา มีมูลที่ไม่ทราบค่าอยู่มากทำให้การศึกษาทำแบบจำลองตามงานวิจัยเป็นไปอย่างยากลำบาก
- 2) ความสามารถในการขึ้นรูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม SAP2000 มีข้อจำกัด
- 3) การคำนวณโดยใช้โปรแกรมมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่เนื่องจากโปรแกรม SAP2000 ใช้การวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ

#### 5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมของหลังคาโค้งไร้โครงถักเมื่อได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุกจรและแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) หากมีการทำงานวิจัยนี้ไปศึกษาต่อในอนาคตนั้น

- 1) ควรทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติที่แท้จริงของชิ้นวัสดุ

- 2) ควรทำการทดสอบย่อยเพื่อหาค่าพื้นที่หน้าตัด และ ค่า Moment of Inertia ที่ถูกต้องของหน้าตัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] R. Bradley, Wind load on shell structure, University of the Witwatersrand.
- [2] Stephen P. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, 1959, Theory of Plates and Shells, 2<sup>nd</sup> Ed. : McGraw-Hill.
- [3] ฉัตร สุจินดา (2548), การวิเคราะห์หลังคาโค้งไร้ถักช่วงยาว 30 เมตร, เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, หน้า STR27-STR33
- [4] ไพบูลย์ ปัญญาตะโป (2445), การออกแบบอาคาร Building Design, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, หน้า 15 – 30
- [5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กชั้นรูปเย็น, พิมพ์ครั้งที่ 1 มกราคม 2553
- [6] อติวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ (2550), ความเร็วลมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสำหรับประเทศไทย, หน้า 44 – 56
- [7] เอกสาร มยผ.1311-50 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร, หน้า 21 - 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

การคำนวณแรงลมที่กระทำกับหลังคา ตามมาตรฐาน  
มยพ.1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณแรงลมที่กระทำกับหลังคา ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง) อย่างละเอียด

จากการคำนวณแรงลมที่กระทำกับโครงหลังคาโค้งไร้โครงถักตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 ใช้วิธีการคำนวณแบบแรงลมสถิตเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างง่าย เนื่องจากตัวอาคารมีความยาวสูงไม่เกิน 80 เมตร และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุด

ความกว้างประสิทธิผลของอาคารคิดได้จากสมการ

$$W = \frac{\sum h_i w_i}{\sum h_i}$$

เมื่อ  $W$  = ความกว้างประสิทธิผลของอาคาร

$h_i$  = ความสูงของอาคารแต่ละชั้น

$w_i$  = ความกว้างประสิทธิผลของอาคารแต่ละชั้น

โดยการคำนวณความกว้างประสิทธิผลต้องคำนวณทุกด้านที่ตั้งฉากกับแรงลม

ความกว้างประสิทธิผลในทิศทาง ก.

$$W = \frac{7 \times 27}{7}$$

$$W = 27 \quad \text{เมตร}$$

ความกว้างประสิทธิผลในทิศทาง ข.

$$W = \frac{7 \times 34}{7}$$

$$W = 34 \quad \text{เมตร}$$

ดังนั้นความกว้างประสิทธิผลของอาคารรอบทิศทางที่น้อยที่สุด เท่ากับ 27 เมตร (ความสูงถึงยอดหลังคา 12.52 เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
คำนวณหาแรงกระทำของแรงลม (คิดเฉพาะทิศทาง ข.) จากสมการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = I_w q C_e C_g C_p$$

อาคารอเนกประสงค์ โรงพยาบาลกระบี่เป็นอาคารชั้นเดียว ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมของทาง  
โรงพยาบาล ซึ่งตรงกับประเภทที่ II ดังแสดงในตารางที่ ผ.1

ดังนั้น  $I_w = 1.00$

ตารางที่ ผ.1 ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม ( $I_w$ )

อาคารและการใช้งาน	ประเภท	$I_w$
อาคารซึ่งถ้าเกิดการวิบัติ จะมีการสูญเสียชีวิตน้อยมาก เช่น โรงนาหรือโกดังเล็กๆ	I	0.87
อาคารที่ไม่จัดอยู่ในประเภท I, III หรือ IV	II	1.00
อาคารซึ่งถ้าเกิดการวิบัติ จะมีการสูญเสียชีวิตมาก เช่น อาคารซึ่งมีผู้คนเกิน 300 คนอยู่ในพื้นที่เดียวกัน โรงเรียนและโรงเรียนอนุบาลซึ่งมีนักเรียนเกิน 250 คน มหาวิทยาลัยซึ่งมีนักศึกษาเกิน 500 คนโรงพยาบาลซึ่งไม่มีห้องฉุกเฉินและห้องผ่าตัดแต่มีเตียงคนไข้เกิน 50 เตียง ทึนทะเลสาบ โรงไฟฟ้า และสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อสภาวะฉุกเฉินและอาคารที่เก็บสารพิษและวัตถุระเบิด	III	1.15
อาคารสำคัญ ได้แก่ โรงพยาบาล สถานีดับเพลิง สถานีตำรวจ สำนักงานความมั่นคงแห่งชาติ อาคารกลางของแต่ละชุมชน โรงไฟฟ้าและสาธารณูปโภคอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อสภาวะฉุกเฉิน	IV	1.15

ที่ตั้งของอาคารอเนกประสงค์อยู่ภายในเขตพื้นที่โรงพยาบาลจึงตรงกับสภาพภูมิประเทศแบบ B ได้ค่า  $C_e$  ดังแสดงในตารางที่ ผ.2

$C_e = 0.82$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.2 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ( $C_e$ ) สำหรับวิธีสเถียรอย่างง่าย

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

จากข้อมูลความเร็วเชิงลมในงานวิจัยของนายอติวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี ได้ศึกษาความเร็วเชิงลมในคาบการกลับ 50 ปี บริเวณจังหวัดกระบี่มีความเร็วประมาณ 50 m/s (180 km/h)

คำนวณหาค่าแรงดันลม ( $q$ ) จากสมการ

$$q = 0.004826v^2$$

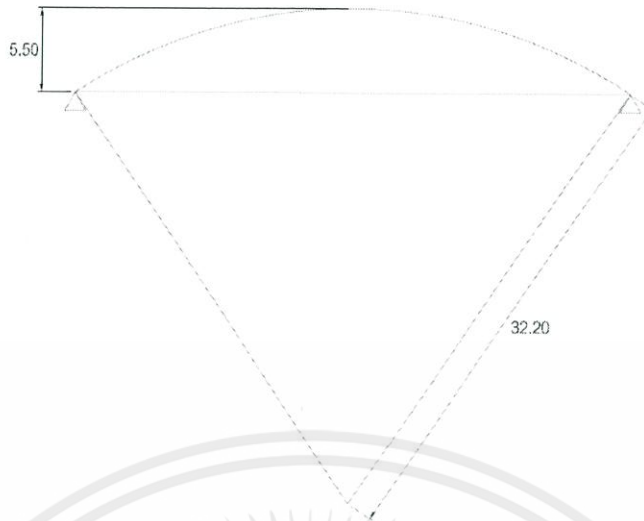
$$q = 0.004826(180)^2$$

$$q = 156.362 \text{ กก./ตร.ม}$$

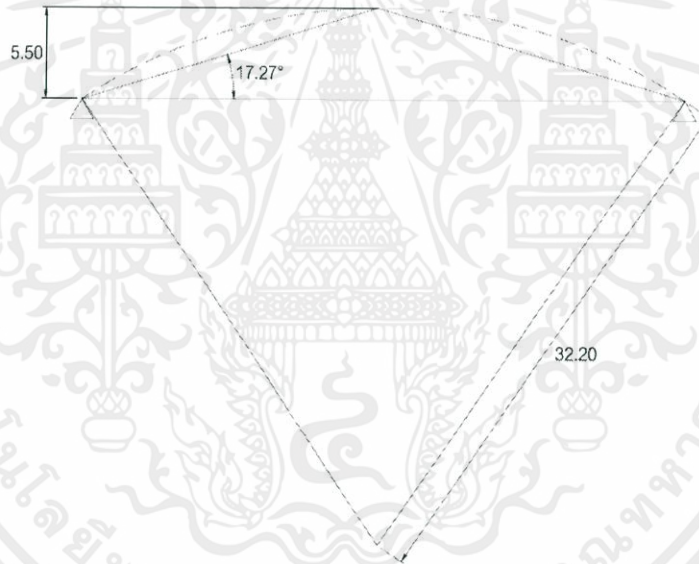
ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ( $C_g$ ) มีค่าเท่ากับ 2 ตามข้อกำหนด ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ข้อ ก)

เนื่องจากหลังคาโค้งไร้โครงถักเป็นลักษณะทรงโค้ง ตามรัศมีความโค้งของวงกลม ดังแสดงในรูปที่ ผ.1 ในการคำนวณโดยวิธีสเถียรอย่างง่ายให้มองเป็นลักษณะของจั่ว ซึ่งมีมุม ดังแสดงในรูปที่ ผ.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

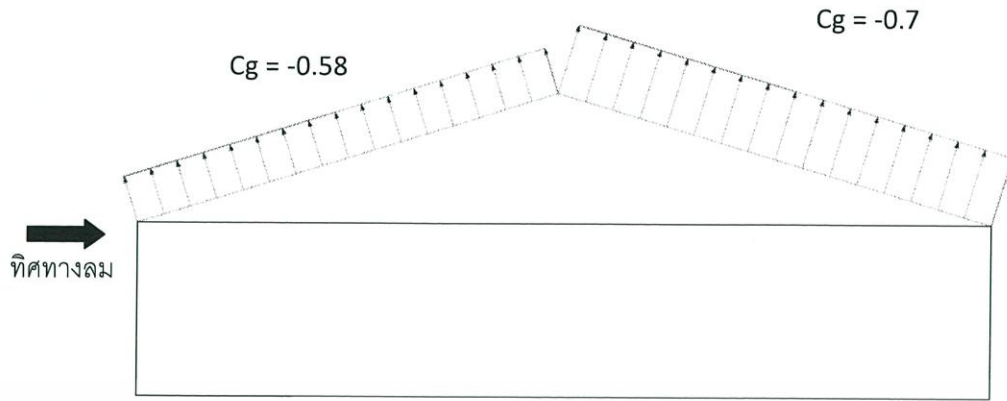


รูปที่ ผ.1 แสดงความโค้งของหลังคาโค้งไร้โครงถักตามรัศมีความโค้งของวงกลม



รูปที่ ผ.2 แสดงการแปลงหลังคาทรงโค้งให้เป็นจั่ว และมุมภายในของหลังคาทรงจั่ว

จากรูปที่ ผ.2 จะได้มุมภายใน  $\theta = 17.27^\circ$  และเมื่อนำค่ามุมที่ได้ ไปลากกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_g$ ) กับค่าของมุม ( $\theta$ ) จะได้ ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_g$ ) ของด้านปะทะลมเท่ากับ -0.58 และค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_g$ ) ของด้านหลังลมเท่ากับ -0.70 ดังแสดงในรูปที่ ผ.3 (อาคารสูง 12.52 เมตร)



รูปที่ ผ.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม

จากค่าตัวแปรทั้งหมดสามารถคำนวณแรงดันที่กระทำกับหลังคาโค้งไว้คร่าวๆได้

ด้านปะทะลม

$$P = (1)(156.362)(0.82)(2)(-0.58)$$

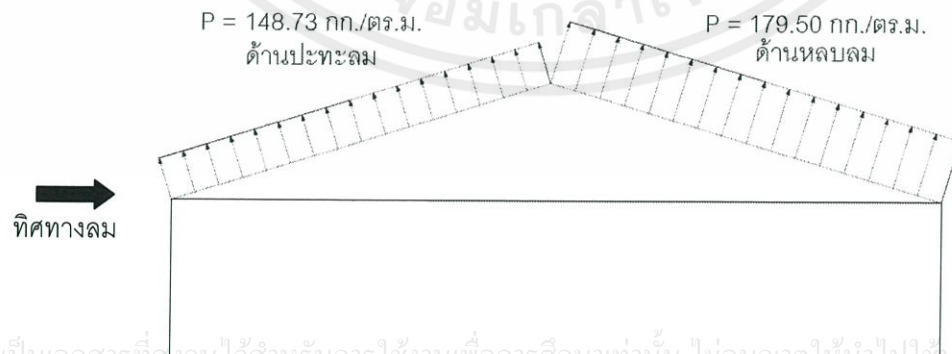
$$P = -148.73 \quad \text{กก./ตร.ม}$$

ด้านหลังลม

$$P = (1)(156.362)(0.82)(2)(-0.7)$$

$$P = -179.50 \quad \text{กก./ตร.ม}$$

ค่าแรงกระทำที่ได้มีเครื่องหมายลบ(-) หมายถึง แรงดันลมที่กระทำต่อหลังคาโค้งและเครื่องหมาย(+) หมายถึง แรงดูดที่กระทำต่อหลังคาโค้ง ดังแสดงในรูปที่ ผ.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายงานและบุคลากรที่เกี่ยวข้องของกรมโยธาธิการและผังเมือง  
รูปที่ ผ.4 แสดงแรงกระทำบนหลังคาโค้งตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 (กรมโยธาธิการและผังเมือง)



ภาคผนวก ข.

การคำนวณแรงลมที่กระทำกับหลังคาตามการศึกษาของ

*R. Bradley*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณแรงลมที่กระทำกับหลังคาตามการศึกษาของ R.Bradley อย่างละเอียด

คำนวณจากการศึกษาของ R.Bradley จะมีความคล้ายกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงลม ( $C_p$ ) แต่จะมีความแตกต่างของการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงลม ( $C_p$ ) โดยจะขอยกตัวแปรอื่นที่ใช้ในสมการ

$$P = I_w q C_e C_g C_p$$

ที่ใช้ในการคำนวณหาแรงกระทำที่กระทำกับโครงหลังคาโค้งไร้โครงถัก ตามสมการคำนวณที่แสดงในภาคผนวก ก.

ได้

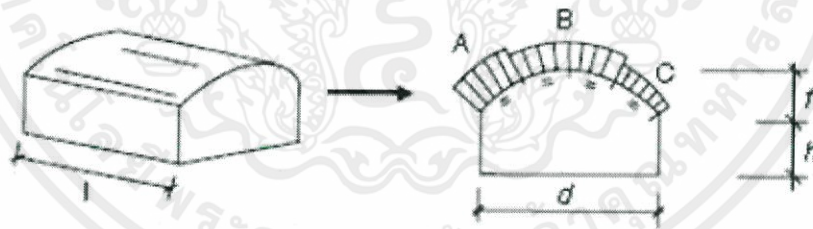
$$I_w = 1$$

$$q = 156.362 \text{ กก./ตร.ม}$$

$$C_e = 0.82$$

$$C_q = 2$$

จากการศึกษาของ R.Bradley ได้ทำการแบ่งการกระทำที่กระทำบนหลังคาโค้งไร้โครงถัก ดังแสดงในรูปที่ ผ.5



รูปที่ ผ.5 แสดงแรงกระทำบนหลังคาทรงโค้งตามการศึกษาของ R.Bradley

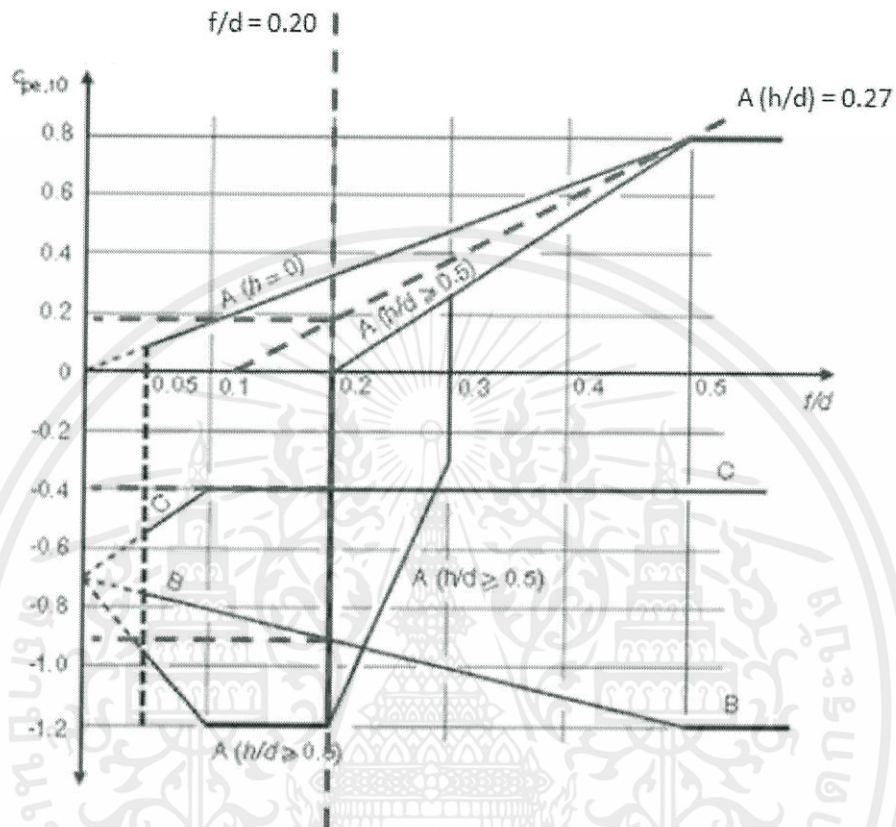
อาคารอเนกประสงค์มีความสูง ( $h$ ) = 7.32 เมตร ความกว้าง ( $d$ ) = 27 เมตร และความสูงของหลังคา ( $f$ ) = 5.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{h}{d} = 0.27$$

$$\frac{f}{d} = 0.20$$

เมื่อนำค่า  $h/d$  ที่ได้มาอ่านค่าในกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ ) กับค่าอัตราส่วนของความสูงหลังคาต่อความกว้าง ( $f/d$ ) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ ) ในแต่ละโซนเท่ากับ



รูปที่ ผ.6 การอ่านค่าในกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ( $C_p$ ) กับค่าอัตราส่วนของความสูงหลังคาต่อความกว้าง ( $f/d$ )

โซน A :  $C_p = 0.2$

โซน B :  $C_p = -0.4$

โซน C :  $C_p = -0.9$

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แรงลม ( $C_p$ ) มาทำการคำนวณแรงดันลมที่กระทำต่อหลังคาโค้งจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับโซน A : ใช้งานที่  $P = (1)(156.362)(0.82)(2)(0.2)$  งานการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P = 51.287$

กก./ตร.ม

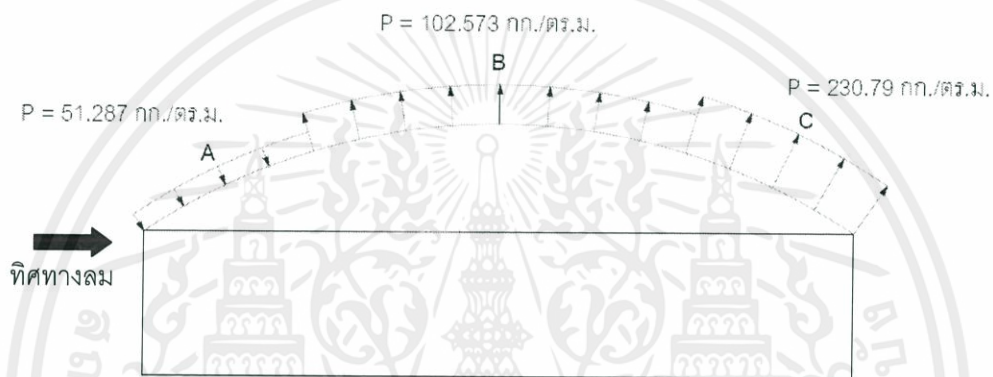
โชน B :  $P = (1)(156.362)(0.82)(2)(-0.4)$

$P = -102.573$  กก./ตร.ม

โชน C :  $P = (1)(156.362)(0.82)(2)(-0.9)$

$P = -230.790$  กก./ตร.ม

ค่าแรงกระทำที่ได้มีเครื่องหมายลบ (-) หมายถึง แรงดันที่กระทำต่อหลังคาโค้งและ  
เครื่องหมายบวก (+) หมายถึงแรงดึงจุดที่กระทำต่อหลังคาโค้ง ดังแสดงในรูปที่ ผ.7



รูปที่ ผ.7 แสดงแรงกระทำต่อหลังคาโค้ง ตามการศึกษาของ R.Bradley

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้