

แผนที่ความเร็วมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสำหรับ
ประเทศไทย

นายอติวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-533-229-1

**WIND MAP FOR STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN
IN THAILAND**

Mr. Atiwat Vimutthasoongviriya

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Civil Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2003
ISBN 974-533-229-1**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แผนที่ความเร็วเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างสำหรับประเทศไทย
WIND MAP FOR STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN IN THAILAND

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ อภิชาติวัฒน์)

ประธานกรรมการ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวรรณ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....

(อาจารย์ ดร.ทงศักดิ์ พิศาลสิน)

กรรมการ

.....

(อาจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วรวจน์ ขำพิศ)

คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อดิวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ : แผนที่ความเร็วลมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ
โครงสร้างสำหรับประเทศไทย (WIND MAP FOR STRUCTURAL ANALYSIS AND
DESIGN IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. มงคล จิรวรรณ, 84 หน้า.
ISBN 974-533-229-1

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผนที่ความเร็วลมเพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนัก
บรรทุกเนื่องจากลมที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารสำหรับประเทศไทย การหาค่าความเร็วลมสูงสุดที่
คาบการกลับต่าง ๆ ได้ใช้วิธี Peaks Over Threshold โดยกำหนดขอบเขตความเร็วลม (Threshold
Wind Speeds) มีค่าเท่ากับมัธยฐานข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปี หาค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย (Tail
Length Parameter) ด้วยวิธีของ De Haan จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีมา
พิจารณาเลือกใช้แบบจำลองทางสถิติ ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีคำนวณได้จากแบบ
จำลองทางสถิติดังกล่าวเมื่อปรับให้เป็นความเร็วลมพื้นฐานตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE
แล้วนำมาสร้างเป็นแผนที่ความเร็วลม ความเร็วลมที่ระบุในแผนที่เป็นความเร็วลมขั้นต่ำเพื่อใช้
คำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมสำหรับประเทศไทย

ผลการวิจัยพบว่า พารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ -0.232 ซึ่งชี้
ว่าเหมาะกับแบบจำลองทางสถิติวิธี Extreme Value Distribution Type III (Reverse Weibull) ได้ผล
เป็นความเร็วลมพื้นฐานสำหรับประเทศไทยระหว่าง 40 ถึง 55 เมตรต่อวินาที และเมื่อนำค่า
ความเร็วลมไปคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 เปรียบ
เทียบกับพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 พบว่า อาคารที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีความเร็วลมพื้น
ฐานมากกว่า 45 เมตรต่อวินาทีและตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่งแทบทุกระดับความสูงจะ
ได้น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมมากกว่า และสำหรับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 20 เมตรวิธีนี้ก็ให้น้ำ
หนักบรรทุกเนื่องจากลมสูงกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2524

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ATIWAT VIMUTTHASOONGVIRIYA : WIND MAP FOR STRUCTURAL
ANALYSIS AND DESIGN IN THAILAND THESIS ADVISOR : ASSIS. PROF.
MONGKON CHIRAVACHARADEJ, Ph.D. 84 PP. ISBN : 974-533-229-1

WIND SPEED/ TAIL LENGTH PARAMETER/ DE HAAN METHOD/ RETURN PERIOD/
REVERSE WEIBULL

The purpose of this thesis is to develop a wind map for computing the minimum wind load for building design in Thailand. To determine the maximum wind speeds for a return period the Peaks Over Threshold Method was used. Defining the threshold wind speed as the median of annual maximum wind speeds the tail length parameter can be determined by De Haan Method and the average tail length parameter for all stations is used to select the appropriate distribution function. Maximum wind speeds for 50 year return period were then calculated and converted to basic wind speeds according to ASCE 7-98 code. The basic wind speeds were then used to construct the wind map. This wind map can then be used to compute the minimum wind load.

It was found that average tail length parameter for all stations in Thailand is -0.232, indicating that Extreme Value Distribution Type III (Reverse Weibull) is appropriate. This gives basic wind speeds for Thailand ranging from 40 to 55 m/s. Using these basic wind speeds to calculate the wind loads according to ASCE 7-98 code it was found that for locations with wind speed above 45 m/s the wind loads were higher than those obtained using the B.E. 2522 Building Decree. In addition, for buildings not taller than 20 m this method also gives higher wind loads.

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวังษเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 - รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ อภิชาติवलลภ, อาจารย์ ดร.ทงศักดิ์ พิศาลสิน, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์, อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร และอาจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ อาจารย์พิเศษประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - คุณศิริลักษณ์ ดีสูงเนิน, คุณวินัย เขาวเรศ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการการรับรู้จากระยะไกล ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษาวิธีการสร้างแผนที่
 - คุณพรพิไล กิตติรัตน์ตระการ, คุณอมรรัตน์ สุริยวิจิตรเสรณี, คุณสิทธิชัย เลิศวิชัย, คุณศรัณย์ กำจัดโรค, คุณศิวฤทธิ์ หิรัญเรือง และคุณประสิทธิ์ ศรีภิรมย์ เพื่อนร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษามาโดยตลอด
 - คุณสุภาวดี วิมุตตะสูงวิริยะ ภรรยาที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการสืบค้นข้อมูลและพิสูจน์อักษร
 - ขอขอบพระคุณกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลความเร็วลม และ ให้คำปรึกษาด้านวิชาการเป็นอย่างดี
 - ขอขอบพระคุณสถาบันราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาต่อระดับปริญญาโท
- ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตจนถึงปัจจุบัน

อติวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การบันทึกข้อมูลความเร็วลม.....	4
2.1.1 การวัดลมชั้นบนด้วยไฟล๊อตบัลลูน.....	5
2.1.2 การวัดลมผิวพื้น.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.3 ความเข้าใจแนวทางการวิจัย.....	15
2.4 แนวทางการวิจัยที่เลือก.....	16
2.4.1 รวบรวมข้อมูล.....	18
2.4.2 หาขอบเขตความเร็วลม.....	18
2.4.3 หาพารามิเตอร์ระยะปลาย.....	18
2.4.4 เลือกฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นจากค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย.....	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.5	หาค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นและความเร็วลม สูงสุด ที่คาบการกลับต่าง ๆ.....	18
2.4.6	แปลงความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี.....	18
2.4.7	นำความเร็วลมพื้นฐานมาสร้างเป็นแผนที่ความเร็วลม.....	19
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1	การรวบรวมข้อมูล.....	21
3.2	การหาขอบเขตความเร็วลม.....	21
3.3	การหาพารามิเตอร์ระยะปลาย.....	21
3.3.1	การหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วัน.....	22
3.3.2	สมการในการหาค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย.....	22
3.4	การเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น.....	23
3.4.1	กรณี $C > 0$	23
3.4.2	กรณี $C = 0$	24
3.4.3	กรณี $C < 0$	26
3.5	การหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี.....	27
3.6	การแปลงความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีเป็นความเร็วลมพื้นฐาน.....	28
3.6.1	ความขรุขระพื้นผิว.....	28
3.6.2	เวลาเฉลี่ย.....	28
3.6.3	ความสูงเหนือระดับพื้นดิน.....	30
3.7	การสร้างแผนที่ความเร็วลม.....	33
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	37
4.1	รวบรวมข้อมูล.....	37
4.1.1	ข้อมูลความเร็วลม.....	37
4.1.2	ข้อมูลสภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศ.....	39
4.2	ขอบเขตความเร็วลม.....	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 พารามิเตอร์ระยะปลาย.....	40
4.4 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	42
4.5 ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี.....	43
4.6 ความเร็วลมพื้นฐาน.....	46
4.7 แผนที่ความเร็วลม.....	48
5 บทสรุป.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	61
5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป.....	61
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการหาความเร็วลมสูงสุดโดยวิธี Reverse Weibull.....	66
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการหาพารามิเตอร์ระยะปลายโดยวิธี De Haan	70
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการหาคณสมบัติทางสถิติ.....	72
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการหาความดันเนื่องจากลม.....	77
ภาคผนวก จ สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลม.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระพื้นผิวกับชนิดของพื้นผิว.....	29
3.2 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความปลอดภัยกับความขรุขระพื้นผิว.....	30
3.3 ความสัมพันธ์ของเวลาเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับเวลาเฉลี่ย.....	30
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเกรเดียนท์กับสัมประสิทธิ์ยกกำลัง.....	32
4.1 ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันสถานีตรวจอากาศอุบลราชธานี พ.ศ. 2524.....	38
4.2 ขอบเขตความเร็วลมของสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ.....	41
4.3 พารามิเตอร์ระยะปลายของสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ.....	42
4.4 ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีวิธี Reverse Weibull.....	44
4.5 ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี.....	46
4.6 เปรียบเทียบความดันเนื่องจากลมภายนอกสำหรับพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย.....	59
ก-1 ความเร็วลมสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544.....	67
ค-1 ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายเดือนและสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544	73
ค-2 คุณสมบัติทางสถิติของสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....	75
ง-1 การเปรียบเทียบความดันเนื่องจากลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	79
จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทอาคารกับแฟกเตอร์ทิศทางลม.....	81
จ-2 การจำแนกประเภทของอาคารและสิ่งก่อสร้างสำหรับรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลม น้ำท่วม แรงลมหิมะและแผ่นดินไหว.....	82
จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างคาบการกลับ R ปี กับประเภทของอาคาร.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	บัลลูนขนาดเล็กอัดด้วยก๊าซที่เบากว่าอากาศ.....5
2.2	กล้องวัดมุม.....5
2.3	การวัดมุมในแนวดิ่งและแนวราบด้วยกล้องวัดมุม.....6
2.4	เครื่องรับสัญญาณวิทยุ.....6
2.5	เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้แผ่นกระดาษ.....7
2.6	เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย.....8
2.7	หน้าปัดแสดงความเร็วลมและทิศทางลมเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย.....8
2.8	เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ความกดอากาศ9
2.9	กระดาษกราฟบันทึกความเร็วลมเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ความกดอากาศ.....9
2.10	เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบอัตโนมัติ.....10
2.11	หน้าปัดแสดงความเร็วลมและทิศทางลมเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบอัตโนมัติ.....10
2.12	สถานีเรดาร์ตรวจอากาศ.....11
2.13	จอภาพแสดงการตรวจอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ.....11
3.1	ขั้นตอนการสร้างแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่ท่าอากาศยาน 50 ปี.....20
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น กรณี $C > 0$24
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น กรณี $C = 0$25
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น กรณี $C < 0$26
3.5	การแปรเปลี่ยนความเร็วลมเทียบกับเวลา.....30
3.6	อัตราส่วนระหว่างความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา t วินาที กับความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยที่ เวลาหนึ่งชั่วโมง.....31
3.7	การกระจายความเร็วลมตามความสูง.....32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความเร็วลมกับความขรุขระพื้นผิว.....33
3.9	สภาพภูมิประเทศ A ศูนย์กลางเมืองขนาดใหญ่.....35
3.10	สภาพภูมิประเทศ B พื้นที่รอบเมืองขนาดใหญ่.....35
3.11	สภาพภูมิประเทศ C พื้นที่สนามหญ้าหรือพื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย.....36
3.12	สภาพภูมิประเทศ D พื้นที่เปิดโล่งหรือพื้นที่แนวชายฝั่งทะเล.....36
4.1	สภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศประจำบริษั.....39
4.2	สภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศลพบุรี.....39
4.3	สภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศแพร่.....40
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่.....43
4.5	แผนที่ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ.....51
4.6	แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ.....52
4.7	แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี.....53
4.8	แผนที่พื้นที่ความเร็วลมพิเศษ.....54
4.9	ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 40 เมตรต่อวินาที.....55
4.10	ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 45 เมตรต่อวินาที.....56
4.11	ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 50 เมตรต่อวินาที.....57
4.12	ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 55 เมตรต่อวินาที.....58

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ANSI	=	American National Standard Institute
ASCE	=	American Society of Civil Engineers
<i>a</i>	=	พารามิเตอร์สมมูลฐาน (Location Parameter) วิธี Gumbel
<i>b</i>	=	พารามิเตอร์สัดส่วน (Scale Parameter) วิธี Gumbel
<i>c</i>	=	พารามิเตอร์ระยะปลาย (Tail Length Parameter)
<i>c_(b)</i>	=	สัมประสิทธิ์เวลาเฉลี่ย
Dir	=	ทิศทางลมมีหน่วยเป็นองศาวัดจากทิศเหนือตามเข็มนาฬิกา
<i>f_G(V)</i>	=	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นวิธี Gumbel
<i>f_W(V)</i>	=	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นวิธี Reverse Weibull
<i>F_G(V)</i>	=	ฟังก์ชันการแจกแจงความเร็วลมวิธี Gumbel
<i>F_W(V)</i>	=	ฟังก์ชันการแจกแจงความเร็วลมวิธี Reverse Weibull
<i>h</i>	=	ความสูงเครื่องมือวัดความเร็วลม
<i>h₀</i>	=	ความขรุขระพื้นผิว (Roughness Length)
<i>I</i>	=	แฟกเตอร์ความสำคัญของโครงสร้าง (Importance Factor)
<i>k</i>	=	จำนวนข้อมูลความเร็วลมที่มากกว่าขอบเขตความเร็วลม
<i>K_z</i>	=	แฟกเตอร์สภาพภูมิประเทศ (Topographic Factor)
<i>K_d</i>	=	แฟกเตอร์ทิศทางลม (Wind Directionality Factor)
<i>K_z</i>	=	แฟกเตอร์ระดับความสูง (Velocity Pressure Exposure Coefficient)
<i>M₁</i>	=	สัมประสิทธิ์การหาพารามิเตอร์ระยะปลายตัวที่ 1
<i>M₂</i>	=	สัมประสิทธิ์การหาพารามิเตอร์ระยะปลายตัวที่ 2
<i>n</i>	=	จำนวนข้อมูลความเร็วลมทั้งหมดที่บันทึก
<i>N</i>	=	จำนวนปีที่บันทึกข้อมูลความเร็วลม
NBC	=	National Building Code of Canada
<i>q_z</i>	=	ความดันเนื่องจากลม (Velocity Pressure)
<i>R</i>	=	คาบการกลับ (Return Period)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SAA	=	Standard Association of Australia
S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
$S(c)$	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย
Sp	=	ความเร็วลมสูงสุดรายวัน
t	=	เวลาเฉลี่ย (Averaging Time)
T	=	คาบที่ใช้แบ่งช่วงข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวัน
u	=	ขอบเขตความเร็วลม (Threshold Wind Speed)
u'	=	ผลต่างของความเร็วลมสูงสุดจากความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ย
\bar{u}	=	ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยในช่วงเวลาเฉลี่ย
V	=	ความเร็วลมที่ความสูงเหนือระดับพื้นดิน
V_g	=	ความเร็วลมเกรเดียนท์ (Gradient Wind Speed)
V_i	=	ความเร็วลมสูงสุดในคาบที่ i
V_R	=	ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ R ปี
V_t	=	ความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย t วินาที
V_{3600}	=	ความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย 3600 วินาที
V	=	ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ย (Average Wind Speed)
Z	=	ความสูงจากระดับพื้นดิน
Z_g	=	ความสูงเกรเดียนท์ (Gradient Hight)
β	=	พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter) วิธี Reverse Weibull
γ	=	พารามิเตอร์สมมูลฐาน (Location Parameter) วิธี Reverse Weibull
Γ	=	แกมมาฟังก์ชัน (Gamma Fucntion)
η	=	พารามิเตอร์สัดส่วน (Scale Parameter) วิธี Reverse Weibull
ψ	=	ดัชนีความปลอดภัย (Safety Index)
α	=	สัมประสิทธิ์ยกกำลัง (Power-Law Constant Exponent)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ลมผิวพื้นมีอิทธิพลต่ออาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ บนพื้นโลก ภัยพิบัติจากแรงลมได้สร้างความสูญเสียแก่ชีวิตและทรัพย์สินในแต่ละปีเป็นมูลค่ามิใช่น้อย โดยเฉพาะพื้นที่เสี่ยงภัย เช่น บริเวณชายฝั่งทะเลหรือทะเลสาป พื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย รวมถึงบริเวณที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อน เป็นต้น ขนาดของแรงลมต่ออาคารขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งอาคาร ความสูงและรูปร่างของอาคาร การคำนวณแรงลมที่กระทำต่ออาคารจะคิดเฉพาะลมในแนวราบตั้งฉากกับอาคาร แรงลมที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ผิวที่ถูกกระทำเรียกว่า น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมหรือความดันเนื่องจากลม เป็นน้ำหนักบรรทุกจรในแนวราบที่กระทำกับโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุกดังกล่าวมีผลต่อเสถียรภาพและความปลอดภัยของอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่มีความไวต่อการสั่นไหวที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคแบบเปิดโล่ง ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างอาคารจึงควรใช้น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมที่เหมาะสม

ข้อกำหนดแรงลมสำหรับประเทศไทยเท่าที่ผ่านมาระทั่งปัจจุบันใช้ข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งกล่าวถึงแรงลมไว้ว่า “แรงลม” คือ แรงของลมที่กระทำต่อโครงสร้าง ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารให้คำนึงถึงแรงลมด้วย หากจำเป็นต้องคำนวณและไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลม 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับความสูงไม่เกิน 10 เมตร 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับความสูงระหว่าง 10 ถึง 20 เมตร 120 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับความสูงระหว่าง 20 ถึง 40 เมตร และ 160 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับความสูง 40 เมตรขึ้นไป (กรมโยธาธิการ, ม.ป.ป.) คำนำน้หนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมดังกล่าวถือเป็นแรงลมสถิตย์เทียบเท่าประหนึ่งมีน้ำหนักบรรทุกกระทำในทิศทางลมตั้งฉากกับผิวภายนอกอาคารตลอดเวลา น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูงจากพื้นดินโดยเพิ่มแบบขั้นบันได ข้อกำหนดตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 สามารถใช้ได้กับทุกพื้นที่ของประเทศไทย โดยมีได้คำนึงถึงภูมิภาคและภูมิภาคของตำแหน่งที่ตั้งอาคารและปัจจัยด้านอื่น

ในหลายประเทศได้กำหนดวิธีคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดในข้อกำหนด American Society of Civil Engineers (ASCE), American National Standard Institute (ANSI), ประเทศแคนาดากำหนดในข้อกำหนด National Building Code

of Canada (NBC), ประเทศออสเตรเลียกำหนดในข้อกำหนด Standard Association of Australia (SAA) เป็นต้น (Liu, H., 1991) วิธีการหาค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมอาจแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลัก ๆ คือ วิธีอย่างง่าย (Simplified Procedure), วิธีวิเคราะห์ (Analysis Procedure) และวิธีทดสอบในอุโมงค์ลม (Wind Tunnel Procedure) แต่ละวิธีจะเหมาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน การตัดสินใจว่าอาคารที่ออกแบบควรใช้วิธีการใดจะพิจารณาจากประเภทของอาคารรวมถึงความเสี่ยงภัยที่เกิดจากแรงลมว่ามากหรือน้อยเพียงใด สำหรับวิธีทดสอบในอุโมงค์ลมเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่ยากซับซ้อน ต้องใช้ผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์และความชำนาญแต่ผลลัพธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดเหมาะกับอาคารที่ต้องการพิจารณาเป็นพิเศษ เช่น อาคารสูงหรือสะพานขนาดใหญ่ เป็นต้น สำหรับอาคารโดยทั่วไปมักใช้วิธีอย่างง่ายและวิธีวิเคราะห์เพราะสะดวกในการใช้งานและผลลัพธ์เป็นที่ยอมรับ

งานวิจัยในประเทศไทยหลายชิ้นได้ชี้ให้เห็นข้อจำกัดของข้อกำหนดแรงลมในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่สำคัญได้แก่การศึกษาของหน่วยวิจัยแผ่นดินไหวและการสันตะเทือนจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีการศึกษาแรงลมทั้งกรณีลมพายุไต้ฝุ่นและที่ไม่รวมพายุไต้ฝุ่น ในการทำนายความเร็วลมกรณีที่ไม่รวมพายุไต้ฝุ่นได้ใช้แบบจำลองทางสถิติวิธี Extreme Value Distribution Type I (Gumbel) และคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NBC ประเทศแคนาดา ซึ่งพบว่าอาคารสูงเท่านั้นที่มีค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมมากกว่าค่าที่กำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, พุฒศักดิ์ เพ็ชรสุสม และ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ, 2539) แต่เท่าที่ผ่านมามีข่าวอาคารเสียหายทั้งที่เป็นอาคารพักอาศัยรวมถึงอาคารเดี่ยวที่มีความไวต่อการสั่นไหวได้รับความเสียหายเนื่องจากลม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ตั้งอยู่ชายฝั่งทะเล แสดงให้เห็นว่างานวิจัยดังกล่าวอาจให้ค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมน้อยเกินไป

งานวิจัยนี้ได้ทดลองคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับการยอมรับจากวิศวกรโครงสร้างในหลายประเทศเพราะครอบคลุมเนื้อหาที่จำเป็นในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมไว้อย่างครบถ้วน อีกทั้งยังมีการปรับปรุงให้มีความทันสมัยเป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะกรณีลมที่ไม่รวมพายุไต้ฝุ่น

ตามข้อกำหนด ASCE 7-98 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมจะใช้ความเร็วลมสูงสุดที่ได้จากแผนที่ความเร็วลม การสร้างแผนที่ความเร็วลมมีหลายวิธีแต่ละวิธีมีการพัฒนาให้มีความทันสมัยตลอดเวลา รวมถึงการเก็บข้อมูลความเร็วลมมากยิ่งขึ้นเพื่อความน่าเชื่อถือในการทำนาย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาแผนที่ความเร็วลมสำหรับประเทศไทยเพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมที่กระทำต่ออาคาร โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมจากกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีสถานีตรวจอากาศ 60 สถานีทั่วประเทศ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ไม่พิจารณาผลของทิศทางลม และไม่รวมพายุหมุนและพายุฤดูร้อน
- 1.3.2 พิจารณาลมในแนวราบกระทำตั้งฉากกับพื้นผิวอาคาร
- 1.3.3 พิจารณาเฉพาะอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิประเทศแบบเปิด โล่งเท่านั้น
- 1.3.4 ใช้ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวัน (Daily Maximum Wind Speed) จากกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศจำนวน 60 แห่ง จากปัจจุบันย้อนหลัง 42 ปี
- 1.3.5 สร้างแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับมามาตรฐานค่าหนึ่ง เพื่อคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามข้อกำหนด ASCE 7-98

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมในรูปแบบแผนที่ความเร็วลมพื้นฐาน ซึ่งเป็นแผนที่เส้นชั้นความเร็วลม (Contour Line) ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากแหล่งข้อมูลมาทำการศึกษาวิจัยต้องเข้าใจถึงขั้นตอนการบันทึกข้อมูล รวมถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ในการบันทึกข้อมูลให้ชัดเจนเสียก่อน เนื่องจากความต้องการข้อมูลความเร็วลมมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ใช้งาน เช่น ต้องการนำไปใช้ในการพยากรณ์อากาศ, ต้องการนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือต้องการนำไปใช้ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกสำหรับออกแบบอาคาร เป็นต้น เมื่อทราบวัตถุประสงค์ที่เด่นชัดแล้วจึงจะรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเท่าที่จำเป็นเพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากร อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้นั้นอาจจะยังไม่สามารถใช้งานได้เลยจำเป็นต้องปรับให้เข้ากับแบบจำลองทางสถิติ

2.1 การวัดความเร็วลม

ในการทำนายความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับต่าง ๆ ต้องมีข้อมูลที่เชื่อถือได้ในจำนวนเพียงพอ กรมอุตุนิยมวิทยาเป็นองค์กรของรัฐมีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบสภาพอากาศและยึดหลักขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลกซึ่งเป็นมาตรฐานสากล อีกทั้งยังมีสถานีตรวจอากาศกระจายอยู่ทั่วประเทศ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงสามารถนำมาใช้งานในหลายสาขาวิชา

เมื่อก้าวถึงลมในทางอุตุนิยมวิทยาแล้ว “ลม (Wind)” หมายถึง การเคลื่อนที่ของอากาศเฉพาะในแนวราบ (Horizontal Component) “ลมกระโชก (Gustiness)” หมายถึง ลมที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว “ลมสงบ (Calm)” หมายถึง ลมที่ไม่มีอาการเคลื่อนที่หรือความเร็วน้อยกว่า 1 น็อต (ไสว สุวรรณพงษ์, 2514) หน่วยที่ใช้วัดความเร็วลมมีด้วยกันหลายหน่วย เช่น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไมล์ต่อชั่วโมง น็อต ฟุตต่อวินาที และเมตรต่อวินาที เป็นต้น หน่วยสากลของความเร็วลมที่ใช้ในการรายงานเพื่อการพยากรณ์ คือ น็อต (knot) การตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจะแบ่งออกเป็น การตรวจเพื่อการเกษตรกรรมและการตรวจเพื่อการพยากรณ์อากาศ ดังนั้นในการนำข้อมูลความเร็วลมมาใช้งานให้ตรงตามวัตถุประสงค์จำเป็นต้องศึกษาชนิดของข้อมูลและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลให้ละเอียดเสียก่อน เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีหลายประเภทและถือว่าเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ซึ่งมีการวิเคราะห์ขั้นต้นแล้วในระดับหนึ่ง การบันทึกข้อมูลความเร็วลมสำหรับประเทศไทยเพื่อใช้ในการพยากรณ์อากาศเมื่อพิจารณาตามความสูงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 การวัดลมชั้นบนด้วยไพลोटบัลลูน (Measurement of Upper Wind by Pilot Balloon Theodolite Method)

การวัดลมชั้นบนด้วยไพลोटบัลลูนเป็นการวัดทิศทางและความเร็วลมที่ระดับความสูงมากเพื่อประโยชน์ในการวิจัย การเดินอากาศและการใช้ปืนใหญ่มุมสูง เป็นต้น วิธีการวัดความเร็วลมวิธีนี้จะใช้บัลลูนขนาดเล็กอัดด้วยก๊าซที่เบากว่าอากาศปล่อยให้ลอยดังรูปที่ 2.1 วัดมุมในแนวตั้งและมุมในแนวราบด้วยกล้องวัดมุม (Theodolite) ดังรูปที่ 2.2 แล้ววัดระยะราบและระยะตั้งของบัลลูนภายในช่วงเวลาตรวจสอบดังรูปที่ 2.3 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความเร็วลมที่ระดับความสูงที่ต้องการ ในบางสถานที่มีการใช้วิทยุส่งสัญญาณแทนการใช้กล้องวัดมุม (Radiowind หรือ Radio Theodolite) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถใช้ได้กับทุกสภาพอากาศและวัดได้ในระยะไกลกว่า การตรวจวัดความเร็วลมชั้นบน ในหนึ่งวันจะวัด 4 ครั้ง โดยวัดทุก 6 ชั่วโมง



รูปที่ 2.1 บัลลูนขนาดเล็กอัดด้วยก๊าซที่เบากว่าอากาศ



รูปที่ 2.2 กล้องวัดมุม (Theodolite)



รูปที่ 2.3 การวัดมุมในแนวตั้งและแนวราบด้วยกล้องวัดมุม



รูปที่ 2.4 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Rediowind หรือ Redio Theodolite)

2.1.2 การวัดลมผิวพื้น (Measurement of Surface Wind)

การวัดลมผิวพื้นเป็นการวัดความเร็วลมที่ระดับใกล้พื้นดินเป็นความเร็วลมที่ได้รับอิทธิพลจากความขรุขระของภูมิประเทศ ข้อมูลความเร็วลมผิวพื้นที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการพยากรณ์อากาศรวมถึงใช้ในการคำนวณด้านวิศวกรรม เครื่องวัดความเร็วลมจะถูกติดตั้งไว้ที่ความสูงระดับหนึ่งจากพื้นดิน เช่น 12 เมตร และอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย การวัดความเร็วลมเพื่อใช้ในการพยากรณ์จะบันทึกทุก ๆ 3 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่วันที่ประมาณ 7.00 น. และจะมีการบันทึกข้อมูลเพิ่มเติมในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น พายุได้พัดพายุฝนฟ้าคะนอง เป็นต้น เครื่องวัดความเร็วลมที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้ในปัจจุบันมีด้วยกัน 3 ชนิดดังต่อไปนี้

2.1.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้แผ่นกระดก (Pressure-Plate Anemometer)

เครื่องมือวัดแบบใช้แผ่นกระดกเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมโดยประมาณ เครื่องมือประกอบด้วยแผ่นไม้หรือโลหะรูปสี่เหลี่ยมหน้าหนักเบาติดอยู่ที่ยอดศรลมโดยแผ่นสี่เหลี่ยมจะหันหน้ารับลมเสมอ และมีบานพับติดห้อยในแนวตั้งสามารถหันไปมาได้ในแนวตั้งฉากกับศรลม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เมื่อมีลมพัดแผ่นสี่เหลี่ยมก็จะกระดกขึ้นมากหรือน้อยตามแรงลมรอบบานพับและสามารถอ่านค่าความเร็วลมจากสเกลด้านข้าง ค่าที่อ่านได้จากสเกลจะถูกแปลงเป็นหน่วย เมตรต่อวินาที ก่อนที่จะแปลงเป็นหน่วยอื่นภายหลัง



รูปที่ 2.5 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้แผ่นกระดก

2.1.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมลูกถ้วย (Cup Anemometer)

เครื่องมือวัดความเร็วลมลูกถ้วยประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย (Semi-Conical Cups) หรือลูกถ้วยครึ่งทรงกลม (Hemispherical Cups) รอบแกนหมุนดังรูปที่ 2.6 ลมจะทำให้ถ้วยหมุนซึ่งจะส่งสัญญาณไฟฟ้าปรากฏเป็นลมบนหน้าปัดดังรูปที่ 2.7 ถ้วยที่ใช้มีทั้งแบบ 3 ถ้วยและ 4 ถ้วย ขอบเรียบและขอบมน หน่วยที่วัดเป็น นี้อต ส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยจะเป็นแบบ 3 ถ้วย



รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดความเร็วลมลูกถ้วย



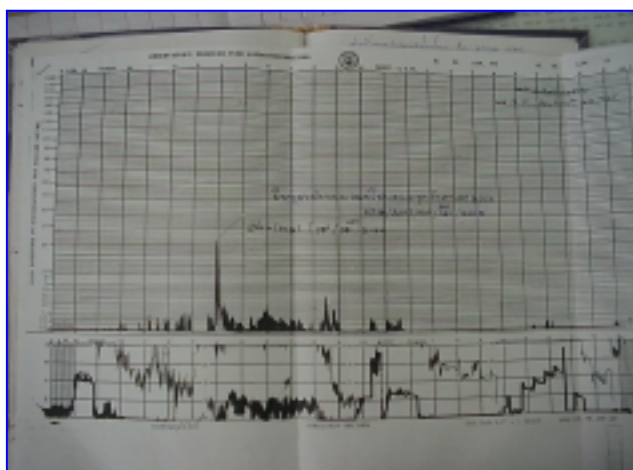
รูปที่ 2.7 หน้าปัดแสดงความเร็วลมและทิศทางลมเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย

2.1.2.3 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ความกดอากาศ (Pressure-Tube Anemometer)

เครื่องมือชนิดนี้เป็นเครื่องมือวัดความเร็วลมผิวพื้นที่มีความละเอียดที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องมือแบบอื่นดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยท่อรับลมที่ต่อมาจากหัวศรลมลงมาเบื้องล่างของถังน้ำภายใต้ลูกลอย ลูกลอยจะถูกดันให้ขึ้นหรือลงตามกำลังลมที่พัดโดยที่ลมภายในถังสามารถเคลื่อนที่ออกอีกทางผ่านท่อระบายลม (Suction Tube) การเคลื่อนขึ้นลงของลูกลอยจะติดกับปากกาและจะเขียนไปบนกระดาษกราฟดังรูปที่ 2.9 เครื่องมือวัดความเร็วลมชนิดนี้สามารถใช้วัดลมกระโชกได้เป็นอย่างดี หน่วยที่วัดคือ นี้อด (ไอสว สุวรรณพงษ์, 2514)



รูปที่ 2.8 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ความกดอากาศ



รูปที่ 2.9 กระดาษกราฟบันทึกความเร็วลมเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใช้ความกดอากาศ

นอกจากเครื่องมือวัดความเร็วลมที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งสามแบบกรมอุตุนิยมวิทยายังมีเครื่องมือวัดความเร็วลมที่ทันสมัยไว้ใช้ตรวจวัดและเตือนภัยได้แก่ เครื่องวัดความเร็วลมอัตโนมัติ เรดาร์ตรวจอากาศ และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เครื่องวัดความเร็วลมอัตโนมัติดังรูปที่ 2.10 และ 2.11 เครื่องเป็นระบบดิจิทัลสามารถบอกความเร็วลมและทิศทางลมได้แม่นยำ เครื่องวัดความเร็วลมอัตโนมัติส่วนใหญ่มีใช้เฉพาะสถานีตรวจอากาศที่เป็นสนามบิน เรดาร์ตรวจอากาศดังรูปที่ 2.12 และ 2.13 รัศมีทำการประมาณ 400 กิโลเมตร หลักการทำงานส่งคลื่นและรับคลื่นสะท้อนจากกลุ่มอากาศ ประโยชน์หลักในการใช้ติดตามการเคลื่อนตัวของกลุ่มเมฆฝนหรือพายุหมุนเขตร้อน (Tropical Storm) เพื่อการพยากรณ์และเตือนภัย เรดาร์ตรวจอากาศนี้มีใช้งานทั้งสิ้น 15 สถานีครอบคลุม

คลุมพื้นที่ทั่วประเทศ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเก็บข้อมูลภาพถ่ายสภาพอากาศซึ่งเป็นประโยชน์ในการติดตามลักษณะอากาศเพื่อการพยากรณ์และเตือนภัย เช่น การเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ความรุนแรงของพายุหมุนเขตร้อนและการเคลื่อนตัว เป็นต้น



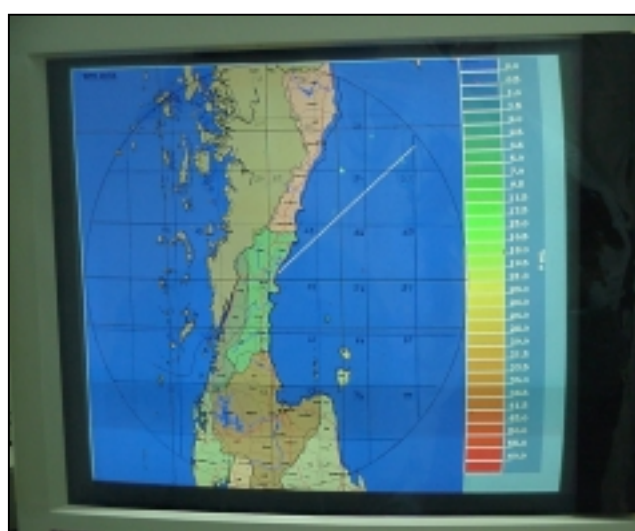
รูปที่ 2.10 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2.11 หน้าปัดแสดงความเร็วลมและทิศทางลมเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2.12 สถานีเรดาร์ตรวจอากาศ



รูปที่ 2.13 จอภาพแสดงผลการตรวจสภาพอากาศด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ

สถานีตรวจอากาศในประเทศไทยที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้เก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วลม ส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องมือวัดความเร็วแบบลูกถ้วย โดยเริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เรื่อยมา กระทั่งปัจจุบัน ส่วนเครื่องมือวัดที่ได้รับความนิยมรองลงมาคือ แบบใช้ความกดอากาศ มีการใช้งานประมาณ 5 สถานี สาเหตุที่ใช้น้อยกว่าแบบลูกถ้วยเพราะมีขั้นตอนการบำรุงรักษาที่ยุ่งยากถึงแม้ว่าจะสามารถวัดความเร็วลมได้อย่างละเอียดก็ตาม ส่วนเครื่องมือวัดแบบแผ่นกระดาษได้รับความนิยมน้อยที่สุด สาเหตุเนื่องจากเป็นเครื่องมือวัดที่ล้าสมัยและให้ค่าที่หยาบที่สุด ค่าที่ได้จากเครื่อง

เมื่อวัดแบบแผ่นกระดาษจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการคำนวณด้านวิศวกรรมที่สำคัญ ข้อมูลความเร็วลมผิวพื้นที่ยกโดยกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ในปัจจุบันแบ่งเป็น ข้อมูลความเร็วลมราย 3 ชั่วโมงและความเร็วลมสูงสุดรายวัน โดยที่ค่าความเร็วลมราย 3 ชั่วโมงเป็นค่าความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ย 5 วินาที ในแต่ละวันจะทำการตรวจวัดทั้งสิ้น 8 ค่าเริ่มที่เวลา 1.00 น., 4.00 น. เป็นต้น ส่วนข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันสถานีตรวจอากาศส่วนใหญ่จะพิจารณาจากค่าความเร็วลมราย 3 ชั่วโมงที่มีค่าสูงสุดในวันนั้น ส่วนสถานีที่มีข้อมูลบันทึกเป็นกราฟจะได้ค่าสูงสุดบนกราฟในรอบวันแล้วแปลงเป็นค่าสูงสุดในรอบวันที่เวลาเฉลี่ย 5 วินาที (นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ, 2538)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์ (2533) ทำการศึกษาข้อมูลความเร็วลมจากสถานีตรวจอากาศสนามบินดอนเมือง ได้เสนอค่าความเร็วลมออกแบบสำหรับกรุงเทพฯ โดยใช้แบบจำลองทางสถิติวิธี Extreme Value Distribution Type I (Gumbel) เพื่อหาค่าความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับต่าง ๆ และได้เสนอหน่วยแรงลมออกแบบสำหรับอาคารสูงรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้ทฤษฎีการสันสะท้อนแบบสุ่ม ซึ่งพบว่าสำหรับความสูงมากกว่า 100 เมตรขึ้นไปน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมมีค่ามากกว่าที่กำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E. (1994) นำเสนอการประมาณการความเร็วลมวิธี Peaks Over Threshold และวิธี Epochal โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่ไม่รวมพายุหมุน และนำเสนอการสร้างข้อมูลเพิ่มวิธี Monte Carlo Simulation จากข้อมูลที่บันทึกไว้จริง ซึ่งพบว่าการประมาณความเร็วลมวิธี Peaks Over Threshold มีความเหมาะสมมากกว่าวิธี Epochal

นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ (2538) ทำการศึกษาข้อมูลความเร็วลมที่ไม่รวมพายุได้ฝุ่นในช่วง พ.ศ. 2494 - 2533 จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 66 สถานี ใช้แบบจำลองทางสถิติวิธี Gumbel ทำการวิเคราะห์และหาค่าความเร็วลมเกรเดียนท์เฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงที่คาบการกลับ 50 ปี และ 100 ปีตามลำดับ และเสนอหน่วยแรงลมสถิตย์เทียบเท่าโดยใช้มาตรฐาน NBC 1990 ของประเทศแคนาดา ซึ่งพบว่าความเร็วลมเกรเดียนท์ที่คาบการกลับ 50 ปีมีค่าระหว่าง 30 ถึง 40 เมตรต่อวินาที และที่คาบการกลับ 100 ปีมีค่าอยู่ระหว่าง 35 ถึง 44 เมตรต่อวินาที เมื่อเทียบกับพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 พบว่าอาคารที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างมากกว่า 4 และมีความสูงมากกว่า 100 เมตรมาตรฐาน NBC ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมสูงกว่าค่าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E. (1995) ได้นำเสนอขั้นตอนการประมาณความเร็วลมวิธี Generalized Pareto Distribution และการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมสูงสุด

รายปีจำนวนมาก รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันจำนวนมากทั้งกรณีคิดผลของฤดูกาลและไม่คิดผลของฤดูกาล ซึ่งพบว่าหากไม่พิจารณาผลของพายุหมุน พายุทอร์นาโด และทิศทางการลม วิธี Gumbel มีความเหมาะสมเมื่อข้อมูลเหนือขอบเขตมีค่าไม่จำกัด และวิธี Extreme Value Distribution Type III (Reverse Weibull) มีความเหมาะสมเมื่อข้อมูลเหนือขอบเขตมีค่าจำกัด และเมื่อสร้างข้อมูลเพิ่มโดยวิธี Monte Carlo Simulation พบว่าวิธี Reverse Weibull มีความเหมาะสมกว่าวิธี Gumbel อย่างไรก็ตามหากข้อมูลมีจำนวนน้อยเกินไปวิธี Reverse Weibull ก็ไม่เหมาะสมเช่นกัน

Simiu, E and Heckert, N.A. (n.d.) นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและน้ำหนักรวมเนื่องจากลมทั้งกรณีพิจารณาทิศทางลมและไม่พิจารณาทิศทางลม รวมถึงค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมที่ใช้ในการออกแบบทั้งน้ำหนักบรรทุกทั่วไป (ที่คาบการกลับ 50 ปี) และน้ำหนักบรรทุกประลัยเนื่องจากลม นำเสนอการประมาณความเร็วลมโดยไม่พิจารณาทิศทางลมโดยวิธี Classical Extreme Value Theory และวิธี Peaks Over Threshold นำเสนอการประมาณความเร็วลมจากข้อมูลจำนวนน้อย นำเสนอการทำนายความเร็วลมกรณีพายุหมุน และพายุทอร์นาโด ซึ่งพบว่าเมื่อข้อมูลความเร็วลมมีจำนวนน้อยผลที่ได้จะไม่น่าเชื่อถือ

นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ และ พูลศักดิ์ เพียรสุขสม (2539) นำเสนอแผนที่ความเร็วลมเกรเดียนท์ที่คาบการกลับ 50 ปีและ 100 ปีสำหรับประเทศไทยกรณีไม่รวมพายุไต้ฝุ่น ใช้แบบจำลองทางสถิติวิธี Gumbel พบว่าความเร็วลมเกรเดียนท์ที่คาบการกลับ 50 ปีมีค่าระหว่าง 25 ถึง 45 เมตรต่อวินาที และที่คาบการกลับ 100 ปีมีค่าระหว่าง 30 ถึง 50 เมตรต่อวินาที ภาคใต้จะมีความเร็วลมสูงกว่าภาคอื่น เมื่อศึกษาอาคารสูงและอ่อนตัวตามมาตรฐาน NBC 1990 พบว่าแรงลมที่กำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ให้ค่าไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานซึ่งอาจมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป และได้เสนอแนะให้มีการพิจารณาทิศทางลมประกอบการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคาร

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, พูลศักดิ์ เพียรสุขสม และ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ (2539) ได้ทำการศึกษาวิจัยความเร็วลมออกแบบสำหรับประเทศไทย พิจารณาทั้งกรณีพายุไต้ฝุ่นและลมที่ไม่รวมพายุไต้ฝุ่นโดยใช้ข้อมูลในช่วง พ.ศ. 2494-2533 การศึกษากรณีพายุไต้ฝุ่นใช้แบบจำลองทางสถิติวิธี Lieblein และกรณีลมที่ไม่ใช่ไต้ฝุ่นใช้แบบจำลองทางสถิติวิธี Gumbel ผลที่ได้เป็นแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงคาบการกลับ 50 ปีและแผนที่ความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงคาบการกลับ 50 ปีกรณีพายุไต้ฝุ่น อีกทั้งได้นำเสนอให้ตัวประกอบพายุไต้ฝุ่นกรณีพายุเกย์มีค่าเท่ากับ 1.22 (ตัวประกอบพายุไต้ฝุ่นดังกล่าวใช้คู่กับความเร็วลมพื้นฐานสำหรับพื้นที่ที่อาจได้รับอิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น)

Simiu, E and Heckert, N.A. (1996) ได้แนะนำเสนอการทำนายความเร็วลมวิธี Peaks Over Threshold ซึ่งประกอบไปด้วย Generalized Pareto Distribution, Gumbel และ Reverse Weibull รวมถึงการประมาณค่าพารามิเตอร์ระยะปลายด้วยวิธี De Haan และการเตรียมข้อมูลความเร็วลมเพื่อใช้ในการคำนวณ พบว่าการเตรียมข้อมูลความเร็วลมที่คาบ 4 วันและ 8 วันมีความเหมาะสม และวิธี Reverse Weibull มีความเหมาะสมในการทำนายความเร็วลมที่มีการเตรียมข้อมูลดังกล่าวมากที่สุด

ธนกร จงวิลาศลักษณ์ (2540) ได้พัฒนาแบบจำลองแรงลมและแรงแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยโดยแบ่งการศึกษาออกเป็นกรณีอาคารเดี่ยวไม่เกิน 10 ชั้น และกรณีอาคารสูง 20, 30 และ 40 ชั้น โดยนำหน้าทับบรรทุกเนื่องจากลมใช้แบบจำลองสเปกตรัมความเร็วลมของ Hino เสนอให้มีการวิเคราะห์อาคารทั้งวิธีทางสถิติศาสตร์และพลศาสตร์ควบคู่กัน อีกทั้งยังเสนอแนะว่าแบบจำลองแรงลมและแผ่นดินไหวที่นำเสนอในพระราชบัญญัติควบคุมอาคารมีความเหมาะสมกับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 40 ชั้น

Minciarelli, F., Gioffre, M., Grigoriu, M. and Simiu, E. (2001) ได้แนะนำขั้นตอนการคำนวณผลกระทบเนื่องจากลมและการประมาณการความเร็วลม, นำเสนอการหาแฟกเตอร์นำหน้าเนื่องจากลม (Wind Load Factors) นำเสนอแนวโน้มน้ำหนักความดันที่มีผลต่อช่วงเวลาที่บันทึกโดยใช้อุโมงค์ลม นำเสนอการประมาณการแฟกเตอร์นำหน้ากรณีไม่พิจารณาลมพายุหมุนและกรณีพิจารณาลมพายุหมุน พบว่าแฟกเตอร์นำหน้าจะมีค่าประมาณ 1.55 กรณีไม่พิจารณาลมพายุหมุน และ 2.15 กรณีพิจารณาลมพายุหมุน และสรุปเพิ่มเติมว่าแฟกเตอร์นำหน้าที่ใช้ในมาตรฐาน ASCE 7-98 มีค่าน้อยเกินไป

การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน ASCE 7-98 ประกอบด้วยความเร็วลมพื้นฐานที่เวลาเฉลี่ย 3 วินาทีของพื้นที่ออกแบบ เลือกประเภทอาคารซึ่งจะได้ตัวคูณแฟกเตอร์ความสำคัญ (Important Factor) เลือกสภาพภูมิประเทศของอาคารซึ่งจะได้ความสูงเกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลัง คำนวณค่าแฟกเตอร์การกระโชก (Gust Factor) จากนั้นจึงคำนวณค่าแฟกเตอร์สภาพภูมิประเทศ, แฟกเตอร์ทิศทางลมและแฟกเตอร์ระดับความสูงเพื่อหาความดันเนื่องจากลมซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกออกแบบ การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมจะพิจารณาทั้งกรณีลมกระทำด้านหน้า, ด้านข้างและทำมุมต่าง ๆ กับอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในมาตรฐานได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม

การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน NBC 1990 ประกอบด้วยความเร็วลมพื้นฐานที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงของพื้นที่ออกแบบ เลือกประเภทอาคารเพื่อใช้ค่าการกลับที่เหมาะสม เลือกสภาพภูมิประเทศที่ตั้งอาคารเพื่อคำนวณตัวประกอบสภาพภูมิประเทศ (Exposure Factor) ซึ่งแปรผันตามความสูงของแต่ละภูมิประเทศ คำนวณค่าตัวประกอบผลการกระโชก (Gust Effect

Factor) จำนวนตัวประกอบผลการรับแรงสูงสุดทางสถิติศาสตร์ จากนั้นคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมโดยพิจารณาทั้งกรณีลมกระทำด้านหน้า, ด้านข้าง และทิศทางต่าง ๆ กับอาคาร

ภาพรวมการหาค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมระหว่างมาตรฐาน NBC ประเทศแคนาดาและมาตรฐาน ASCE ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งทั้งสองมาตรฐานได้รับความนิยมในการใช้งาน และครอบคลุมการหาค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมคล้ายกัน แต่จะมีรายละเอียดบางส่วนที่แตกต่างกันอยู่บ้าง เช่น ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐาน NBC จะใช้ความเร็วที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมง ส่วนมาตรฐาน ASCE ใช้เวลาเฉลี่ยที่ 3 วินาที การใช้เวลาที่สั้นกว่าจะทำให้ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณมีค่าสูงกว่า การใช้ความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ยต่างกันดังกล่าวจะทำให้ค่าแฟกเตอร์ประกอบการคำนวณมีค่าต่างกันด้วย อีกทั้งการจำแนกประเภทอาคารและการจำแนกสภาพแวดล้อมรอบอาคารตามมาตรฐาน ASCE มีความละเอียดกว่ามาตรฐาน NBC รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังและขั้นตอนการคำนวณภายใต้เงื่อนไขการคำนวณเดียวกันมาตรฐาน ASCE จะมีแนวโน้มให้ค่าที่สูงกว่ามาตรฐาน NBC อาจกล่าวได้ว่ามาตรฐาน ASCE ให้ความสำคัญลดภัยสูงกว่า การเลือกใช้งานจึงขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกร

2.3 ความเข้าใจแนวทางการวิจัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีวิธีใหม่เกิดขึ้นอยู่เสมอจึงเป็นการยากที่จะทำความเข้าใจได้ทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน ASCE ทั้งนี้เนื่องจากครอบคลุมการหาค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมและมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายประเทศ Simiu และคณะ ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธี Peaks Over Threshold และวิธี Epochal แล้วพบว่ากรณีใช้ข้อมูลความเร็วลมที่ไม่รวมพายุหมุน และนำเสนอการสร้างข้อมูลเพิ่มวิธี Monte Carlo Simulation จากข้อมูลที่บันทึกไว้จริง เหมาะกับวิธี Peaks Over Threshold มากกว่าวิธี Epochal ในขณะที่วิธี Peaks Over Threshold มีการใช้ขอบเขตความเร็วลมเป็นเกณฑ์ในการทำนายความเร็วลม ซึ่งจะต่างกับวิธี Classical Extreme Value Distribution ซึ่งไม่มีการพิจารณาขอบเขตความเร็วลม วิธี Peaks Over Threshold มีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นอยู่ด้วยกันหลายวิธี ประกอบด้วยวิธี Extreme Value Distribution Type I (Gumbel), Type II (Fre'chet) และ Type III (Reverse Weibull) ทำนายความเร็วลมกรณีไม่รวมพายุได้แม่นยำ การพิจารณาว่าวิธีใดเหมาะสมขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย สำหรับการหาพารามิเตอร์ระยะปลายใช้วิธี De Haan ส่วนฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นวิธี Generalized Pareto ใช้ทำนายความเร็วลมกรณีพายุได้แม่นยำและพายุหมุนเขตร้อน

งานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องได้นำเสนอโดย อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์ (2533) เสนอการ ทำนายความเร็วลมวิธี Gumbel กรณีไม่รวมพายุไต้ฝุ่น และเมื่อนำผลความเร็วลมไปคำนวณหา น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน NBC 1990 พบว่าอาคารที่มีความสูงเกินกว่า 100 เมตรจะให้ ค่าสูงกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ต่อมา ธนากร จงวิลาศลักษณ์ (2540) พบว่าข้อ กำหนดแรงลมตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีความเหมาะสมกับอาคารที่มีความสูง ไม่เกิน 40 ชั้นและเสนอว่าควรมีการคำนวณอาคารที่ได้รับผลกระทบจากลมทั้งในแง่ของสถิติ ศาสตร์และพลศาสตร์เพื่อความปลอดภัย งานวิจัยดังกล่าวให้ความสำคัญกับอาคารสูงในขณะที่ อาคารเตี้ยโดยทั่วไปก็มีการวิบัติเนื่องจากลมจึงอาจเป็นไปได้ว่าการทำนายความเร็วลมมีค่าน้อยเกิน ไป

นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ (2538) ทำการศึกษาข้อมูลความเร็วลมที่ไม่รวมพายุไต้ฝุ่นในช่วง พ.ศ. 2494 - 2533 จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 66 สถานี ใช้แบบจำลองทาง สถิติวิธี Gumbel ทำการวิเคราะห์และหาค่าความเร็วลมเกรเดียนท์เฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงที่คาบการกลับ 50 ปี และ 100 ปีตามลำดับ และเสนอหน่วยแรงลมสถิติเทียบเท่าโดยใช้มาตรฐาน NBC 1990 ของ ประเทศแคนาดา ซึ่งพบว่าความเร็วลมเกรเดียนท์ที่คาบการกลับ 50 ปีมีค่าระหว่าง 30 ถึง 40 เมตร ต่อวินาที และที่คาบการกลับ 100 ปีมีค่าอยู่ระหว่าง 35 ถึง 44 เมตรต่อวินาที เมื่อเทียบกับพระราช บัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 พบว่าอาคารที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างมากกว่า 4 และม ีความสูงมากกว่า 100 เมตรมาตรฐาน NBC ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมสูงกว่าค่าขั้นต่ำที่ กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 สำหรับการศึกษากรณีพายุไต้ฝุ่นสำหรับ ประเทศไทยโดยใช้วิธี Lieblein พบว่าเมื่อพิจารณาพายุไต้ฝุ่นแยกจะได้ตัวประกอบพายุไต้ฝุ่น(แฟก เตอร์น้ำหนัก) มีค่าเท่ากับ 1.22 และได้นำเสนอแผนที่ความเร็วลมสำหรับประเทศไทยทั้งกรณีพายุ ไต้ฝุ่นและไม่รวมพายุไต้ฝุ่น อย่างไรก็ตามแผนที่ความเร็วลมดังกล่าวสร้างจากข้อกำหนดมาตรฐาน NBC ฉะนั้นการนำไปใช้งานกับมาตรฐานอื่นอาจเกิดความผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มาตร ฐาน ASCE ในการหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมจึงควรมีแผนที่เฉพาะไว้ใช้งานเพื่อความ เหมาะสม

2.4 แนวทางการวิจัยที่เลือก

การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน ASCE 7-98 ประกอบด้วยความเร็วลมพื้น ฐานที่เวลาเฉลี่ย 3 วินาทีของพื้นที่ออกแบบ เลือกประเภทอาคารซึ่งจะได้ตัวคูณแฟกเตอร์ความ สำคัญ (Important Factor) เลือกสภาพภูมิประเทศของอาคารซึ่งจะได้ความสูงเกรเดียนท์และค่า สัมประสิทธิ์ยกกำลัง คำนวณค่าแฟกเตอร์การกระโชก (Gust Factor) จากนั้นจึงคำนวณค่าแฟก

เตอร์สภาพภูมิประเทศ, แฟกเตอร์ทิศทางลมและแฟกเตอร์ระดับความสูงเพื่อหาความดันเนื่องจากลมซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมจะพิจารณาทั้งกรณีลมกระทำด้านหน้า, ด้านข้างและทำมุมต่าง ๆ กับอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในมาตรฐานได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม

การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน NBC 1990 ประกอบด้วยความเร็วลมพื้นฐานที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงของพื้นที่ออกแบบ เลือกประเภทอาคารเพื่อใช้ค่าการกลับที่เหมาะสม เลือกสภาพภูมิประเทศที่ตั้งอาคารเพื่อคำนวณตัวประกอบสภาพภูมิประเทศ (Exposure Factor) ซึ่งแปรผันตามความสูงของแต่ละภูมิประเทศ กำหนดค่าแฟกเตอร์การกระโชก กำหนดตัวประกอบผลการรับแรงสูงสุดทางสถิติศาสตร์ จากนั้นคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมโดยพิจารณาทั้งกรณีลมกระทำด้านหน้า, ด้านข้าง และทิศทางต่าง ๆ กับอาคาร

วิธีการหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน NBC ประเทศแคนาดาและมาตรฐาน ASCE ประเทศสหรัฐอเมริกาจะคล้ายกัน แต่จะมีรายละเอียดบางส่วนที่แตกต่างกันอยู่บ้าง เช่น ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐาน NBC จะใช้ความเร็วที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมง ส่วนมาตรฐาน ASCE ใช้เวลาเฉลี่ยที่ 3 วินาที การใช้เวลาที่สั้นกว่าจะทำให้ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณมีค่าสูงกว่า การใช้ความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ยต่างกันดังกล่าวจะทำให้ค่าแฟกเตอร์ประกอบการคำนวณมีค่าต่างกันด้วย อีกทั้งการจำแนกประเภทอาคารและการจำแนกสภาพแวดล้อมรอบอาคารตามมาตรฐาน ASCE มีความละเอียดกว่ามาตรฐาน NBC รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังและขั้นตอนการคำนวณภายใต้เงื่อนไขการคำนวณเดียวกันมาตรฐาน ASCE จะมีแนวโน้มให้ค่าที่สูงกว่ามาตรฐาน NBC อาจกล่าวได้ว่ามาตรฐาน ASCE ให้ความปลอดภัยสูงกว่า การเลือกใช้งานจึงขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกร

ในการทำนายความเร็วลมที่ค่าการกลับ R ปีตามมาตรฐาน ASCE จะใช้วิธี Peaks Over Threshold ซึ่งต้องหาค่าขอบเขตความเร็วลม (Threshold Wind Speed) แล้วหาพารามิเตอร์ระยะปลาย (Tail Length Parameter) เพื่อใช้เลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของความเร็วลมสูงสุด มี 3 ฟังก์ชันได้แก่ Fre'chet, Gumbel และ Reverse Weibull กรณีไม่รวมพายุไต้ฝุ่น

ค่าขอบเขตความเร็วลมจะกำหนดจากค่ามัธยฐานข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปี และการหาพารามิเตอร์ระยะปลายสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธี Conditional Mean Exceedance (CME), วิธีของ Pickand และวิธีของ De Haan งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี De Haan ในการหาพารามิเตอร์ระยะปลายเนื่องจากได้รับการเสนอแนะจาก Simiu และคณะว่ามีความเหมาะสมกับวิธี Peaks Over Threshold สำหรับการเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นพารามิเตอร์ระยะปลาย (c) ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าศูนย์ ($c > 0$) ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือ Fre'chet ถ้า $c = 0$ ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือ Gumbel และ $c < 0$ ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือ Reverse Weibull (Simiu, E and Heckert, N.A., n.d.) เมื่อ

ได้ฟังก์ชันที่เหมาะสมแล้วจะหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องแล้วนำมาแทนในฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อหาความเร็วลมที่คาบการกลับตามที่ต้องการ

การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ตามมาตรฐาน ASCE 7-98 มีขั้นตอนดังนี้

2.4.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมประกอบไปด้วย ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวัน ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานีตรวจอากาศ จากกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

2.4.2 หาขอบเขตความเร็วลม

ขอบเขตความเร็วลมหาได้จากการกำหนดค่ามัธยฐานข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปีของแต่ละสถานีตรวจอากาศ

2.4.3 หาพารามิเตอร์ระยะปลาย

พารามิเตอร์ระยะปลายหาได้จากความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วัน ซึ่งหาจากข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวัน จากนั้นจึงนำข้อมูลความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วันมาพิจารณาร่วมกับขอบเขตความเร็วลมและคำนวณตามขั้นตอน แล้วหาค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยจากสถานีทั่วประเทศ

2.4.4 เลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นจากค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย

พารามิเตอร์ระยะปลายที่ได้จะใช้เลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ถ้าหากพารามิเตอร์ระยะปลายมีค่ามากกว่าศูนย์ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือ Fre'chet หากพารามิเตอร์ระยะปลายเท่ากับศูนย์ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือ Gumbel และหากพารามิเตอร์ระยะปลายน้อยกว่าศูนย์ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือ Reverse Weibull

2.4.5 หาพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นและความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับต่าง ๆ

เมื่อเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นได้แล้วจะหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นไปหาค่าความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับต่าง ๆ

2.4.6 แปลงเป็นความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี

ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีจะต้องแปลงเป็นความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน ASCE 7-98 เนื่องจากความสูงเครื่องมือวัดความเร็วลมไม่เท่ากันทุกสถานีจึงต้องมีการปรับให้เป็นความเร็วลมที่ความสูงมาตรฐาน การบันทึกข้อมูล

ความเร็วลมจากแหล่งข้อมูลอาจใช้เวลาเฉลี่ยในการบันทึกแตกต่างกันจึงต้องปรับให้เป็นความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ยมาตรฐาน รวมถึงการกำหนดประเภทของอาคารและสภาพภูมิประเทศก็จะต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน การใช้ค่าที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ ก็มีข้อกำหนดต่างกันไปแล้วแต่มาตรฐานที่เลือกใช้ ความเร็วลมที่ถูกปรับภายใต้เกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ แล้วจะเลือกกว่าความเร็วลมพื้นฐานจากนั้นหากต้องการทราบกรณีอื่นจึงค่อยแปลงโดยใช้ตัวคูณที่สอดคล้อง

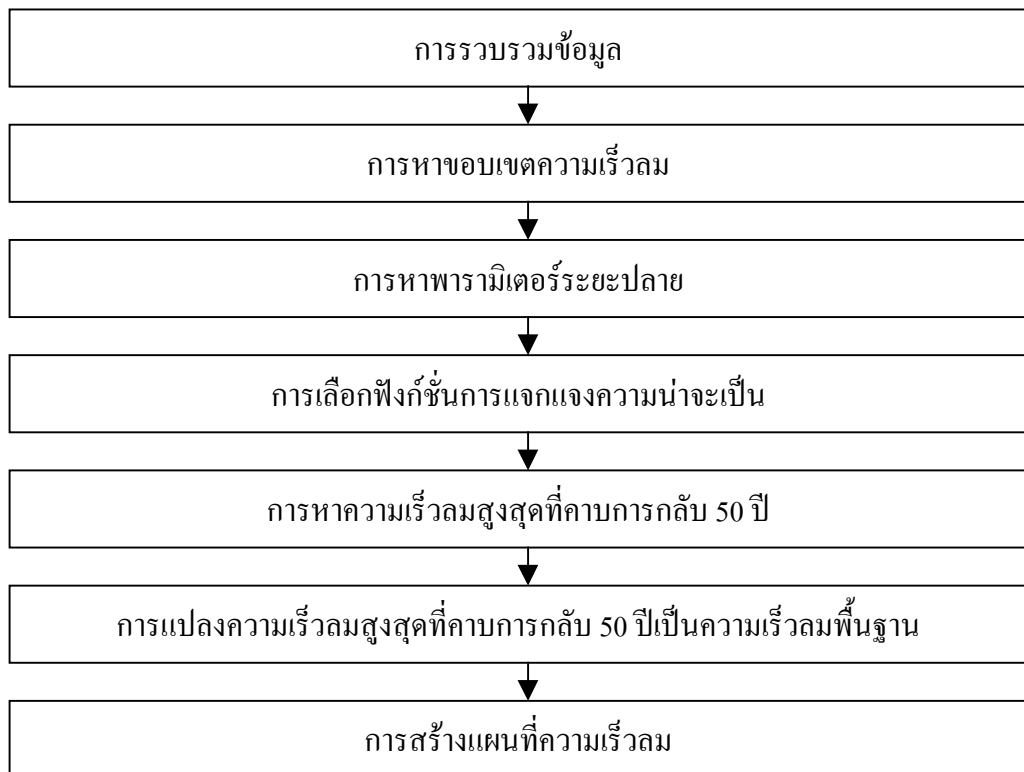
2.4.7 นำความเร็วลมพื้นฐานมาสร้างแผนที่ความเร็วลม

ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปีจะใช้ในการสร้างแผนที่ความเร็วลมเพื่อใช้หาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน ASCE 7-98

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การคำนวณความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปีเพื่อใช้ในการสร้างแผนที่ความเร็วลมตามมาตรฐาน ASCE 7-98 ใช้วิธี Peaks Over Threshold ในการคำนวณ ส่วนกระบวนการดำเนินงานในการสร้างแผนที่ความเร็วลมสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 7 ขั้นตอน คือ 1. การรวบรวมข้อมูล 2. การหาขอบเขตความเร็วลม 3. การหาพารามิเตอร์ระยะปลาย 4. การเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 5. การหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี 6. การแปลงความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีเป็นความเร็วลมพื้นฐาน 7. การสร้างแผนที่ความเร็วลม ขั้นตอนการสร้างแผนที่ความเร็วลมแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างแผนที่ความเร็วลมที่คาบการกลับ 50 ปี

3.1 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สร้างแผนที่ความเร็วลมประกอบไปด้วย ข้อมูลความเร็วลม ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานีตรวจอากาศ ข้อมูลทั้งหมดจะได้จากกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีสถานีตรวจอากาศกระจายอยู่ทั่วประเทศ ข้อมูลความเร็วลมที่รวบรวมกรณีไม่รวมพายุไต้ฝุ่น ประกอบด้วย ความเร็วลมสูงสุดรายวันและสูงสุดรายปี มีหน่วยเป็น น็อต โดยที่ความเร็วลมสูงสุดรายปีจะใช้หาค่าความเร็วลมเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และขอบเขตความเร็วลม สำหรับความเร็วลมสูงสุดรายวันจะใช้ในการหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วันเพื่อหาพารามิเตอร์ระยะปลาย จำนวนข้อมูลความเร็วลมที่ใช้ในการทำนายความเร็วลมควรมีจำนวนมากพอเพื่อความน่าเชื่อถือ หากข้อมูลมีจำนวนไม่มากพอสถานีนั้น ๆ ก็ไม่ควรนำมาใช้ ในที่นี้จะพิจารณาสถานีที่มีข้อมูลอย่างน้อย 20 ปี ส่วนสถานีใดมีจำนวนข้อมูลมากก็จะจำกัดจำนวน ในที่นี้จะใช้ข้อมูล 42 ปีย้อนหลังจากปีปัจจุบัน

สภาพแวดล้อมรอบสถานีตรวจอากาศนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา เช่น การเจริญเติบโตของต้นไม้และการขยายตัวของเมือง เป็นต้น สภาพแวดล้อมเมื่อเปลี่ยนแปลงอาจมีผลทำให้ความเร็วลมที่ตรวจวัดเปลี่ยนแปลง ฉะนั้นจึงควรสำรวจพื้นที่จริงของสถานีตรวจอากาศเพื่อประกอบการพิจารณาสร้างแผนที่ความเร็วลมที่ถูกต้อง

3.2 การหาขอบเขตความเร็วลม

การทำนายความเร็วลมด้วยวิธี Peaks Over Threshold นั้นต้องมีการกำหนดขอบเขตความเร็วลม ซึ่งแตกต่างจากวิธี Classical Extreme Value ที่ไม่พิจารณาขอบเขตความเร็วลม ค่าขอบเขตความเร็วลมกำหนดให้เป็นค่ามัธยฐาน (Median) ของความเร็วลมสูงสุดรายปี ตัวอย่างเช่น สถานีตรวจอากาศแห่งหนึ่งมีการบันทึกความเร็วลม 21 ปีย้อนหลังดังนี้ 48, 38, 42, 38, 45, 60, 55, 45, 55, 48, 49, 51, 52, 62, 55, 38, 57, 58, 62, 42, 68 เมื่อเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปมากดังนี้ 38, 38, 38, 42, 42, 45, 45, 48, 48, 49, 51, 52, 55, 55, 55, 57, 58, 60, 62, 62, 68 ค่าขอบเขตความเร็วลมที่ได้คือ 51 (ค่ามากเป็นอันดับที่ 11 ของข้อมูล)

3.3 การหาพารามิเตอร์ระยะปลาย

พารามิเตอร์ระยะปลายสามารถหาได้จากความเร็วสูงสุดที่คาบ 8 วันและมีความสัมพันธ์กับขอบเขตความเร็วลม ขั้นตอนการหาพารามิเตอร์ระยะปลายมีดังนี้

3.3.1 การหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วัน

ข้อมูลความเร็วลมโดยทั่วไปอาจไม่เป็นอิสระต่อกันอย่างแท้จริง ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความเร็วลมมีความสัมพันธ์กันในเวลาที่เกิดพายุ รวมถึงความสัมพันธ์กับสภาพทางกายภาพของพายุไม่ว่าจะเป็นพายุฤดูร้อนหรือพายุไต้ฝุ่น ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดของวันหนึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับวันข้างเคียง ถ้าเป็นความสัมพันธ์ในช่วงไม่กี่วันก็สามารถปรับเอาความสัมพันธ์นั้นออกไป โดยเลือกวันที่คาดการณ์ว่าจะเป็นวันเริ่มต้นเกิดพายุจนพายุสิ้นสุดให้เป็นคาบ T วัน ความเร็วลมสูงสุดในแต่ละช่วง T วันคือข้อมูลที่ปรับแล้ว ถ้าข้อมูลความเร็วลมสูงสุดสองค่าติดกันสัมพันธ์กันให้เอาค่าหลังออกและใช้ค่าสูงสุดลำดับถัดไปที่ไม่สัมพันธ์กับช่วงก่อนหน้าแทน (Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E., 1995) ตัวอย่างการหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วันแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบ 8 วัน

ความเร็วลม	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 3	คาบที่ 4	คาบที่ 5	คาบที่ 6
สูงสุดรายวัน	23, 32, 35 , 20, 26, 24, 24, 14	13, 16 , 5, 11, 5, 12, 12, 7	6, 6, 9, 9, 11, 12, 25, 26	15, 12, 12, 7, 15, 12, 29 , 10	7, 10, 15, 20, 20, 17, 24, 31	<u>26</u> , 9, 16, 14, 18 , 16, 14, 12
สูงสุดที่คาบ 8 วัน	35	16	26	29	31	18

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 48 ถ้าเลือกคาบ 8 วันช่วงเวลาที่ยาวที่สุดของพายุ ก็จะแบ่งช่วง 48 วันเป็น 6 คาบ คาบที่ 1 วันที่ 1 ถึง 8, คาบที่ 2 วันที่ 9 ถึง 16 เป็นต้น ความเร็วลมสูงสุดของแต่ละคาบ คือ ค่าสูงสุดของค่าสูงสุดรายวัน สำหรับคาบที่ 6 ค่าสูงสุดคือ 26 แต่เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับค่าในคาบที่ 5 ซึ่งอาจเป็นพายุลูกเดียวกันจึงไม่ใช่ค่า 26 และใช้ค่าสูงสุดตัวถัดไป คือ 18 แทน

3.3.2 สมการในการหาพารามิเตอร์ระยะปลาย

สมการที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ระยะปลายตามวิธี De Haan สามารถหาได้ดังนี้ (Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E., 1994)

$$M_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left\{ \log V_{(i)} - \log u \right\} \quad (3.1)$$

$$M_2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left\{ \log V_{(i)} - \log u \right\}^2 \quad (3.2)$$

$$c = M_1 + 1 - \frac{1}{2 \left\{ 1 - \frac{(M_1)^2}{(M_2)} \right\}} \quad (3.3)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์ระยะปลายหาได้จากสมการต่อไปนี้

ถ้า $c \geq 0$ แล้วจะได้

$$S(c) = \left[\frac{(1+c^2)}{k} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

และถ้า $c < 0$ แล้วจะได้

$$S(c) = \left\{ \left(\frac{1}{k} \right) (1-c)^2 (1-2c) \left[4 - \frac{8(1-2c)}{(1-3c)} + \frac{(5-11c)(1-2c)}{(1-3c)(1-4c)} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

- เมื่อ M_1 คือ สัมประสิทธิ์การหาพารามิเตอร์ระยะปลายตัวที่ 1
 M_2 คือ สัมประสิทธิ์การหาพารามิเตอร์ระยะปลายตัวที่ 2
 k คือ จำนวนข้อมูลความเร็วลมที่มากกว่าขอบเขตความเร็วลม
 n คือ จำนวนข้อมูลความเร็วลมทั้งหมดที่บันทึก
 u คือ ขอบเขตความเร็วลม
 c คือ พารามิเตอร์ระยะปลาย
 $S(c)$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย

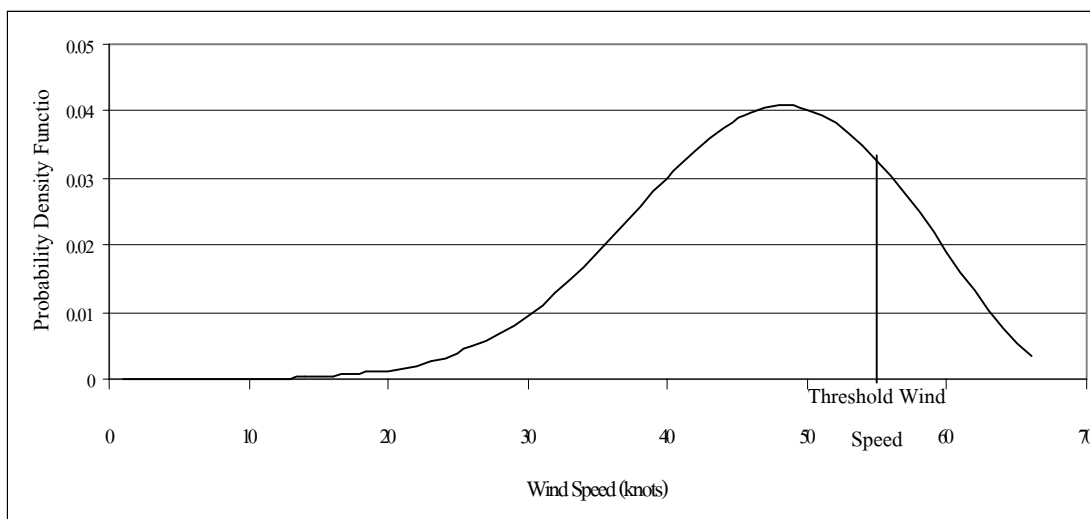
3.4 การเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

การเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นจะถูกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย (C) เฉลี่ยทุกสถานีทั่วประเทศ หากค่า C มากกว่าศูนย์จะเหมาะกับวิธี Fre'chet หากค่า C เท่ากับศูนย์จะเหมาะกับวิธี Gumbel และหากค่า C น้อยกว่าศูนย์ก็จะเหมาะกับวิธี Reverse Weibull ขั้นตอนการทำนายความเร็วลมโดยวิธีต่าง ๆ ทำได้ดังนี้

3.4.1 กรณี $c > 0$

การทำนายความเร็วลมจะเหมาะกับวิธี Fre'chet ซึ่งลักษณะของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นจะมีหางที่สั้นดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากความเร็วลมส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกับขอบเขตความเร็วลม เช่น ถ้าหากสถานีใดมีพารามิเตอร์ระยะปลายค่าบวกมาก แสดงว่ามีความเร็วลมที่ใกล้เคียงกับขอบเขตความเร็วลมมากด้วย แสดงว่าสถานีนั้นอาจได้รับอิทธิพลของสภาพภูมิประเทศหรือภูมิ

อากาศบังคับไว้จึงไม่สามารถเกิดความเร็วลมอื่น ๆ ที่แตกต่าง แต่โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์เช่นนี้มีน้อยวิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในการทำนายความเร็วลม



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นกรณี $C > 0$

3.4.2 กรณี $C = 0$

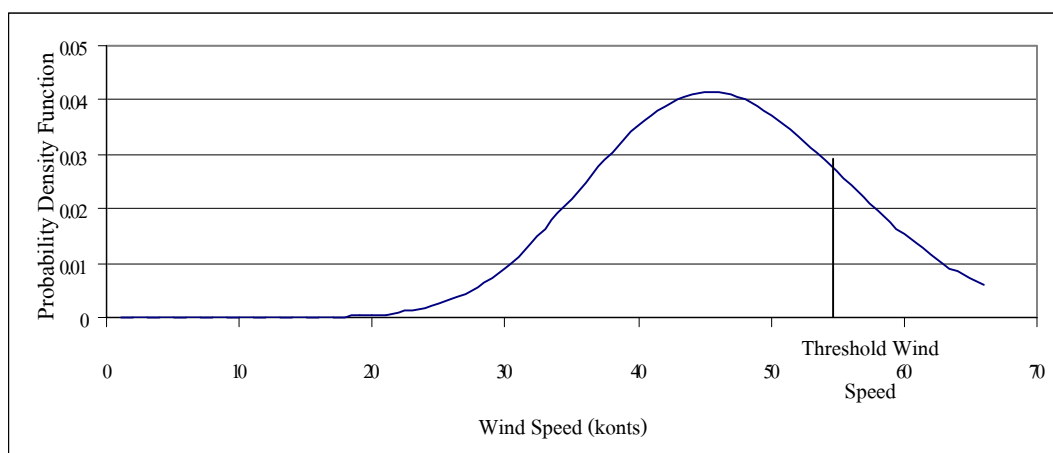
การทำนายความเร็วลมจะเหมาะกับวิธี Gumbel ซึ่งลักษณะของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นจะมีหางที่ยาวขึ้นดังรูปที่ 3.3 เนื่องจากความเร็วลมส่วนใหญ่จะมีค่าสลับกันระหว่างค่าใกล้และค่าไกลกับขอบเขตความเร็วลม ความเร็วลมเช่นนี้มักเกิดขึ้นกับสภาพภูมิประเทศบนภาคพื้นทวีป การแจกแจงความน่าจะเป็นวิธี Gumbel ใช้ค่าพารามิเตอร์จำนวน 2 ตัว ได้แก่ พารามิเตอร์สมมูลฐาน (Location Parameter, a) และพารามิเตอร์สัดส่วน (Scale Parameter, b) สำหรับขั้นตอนการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังนี้

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นวิธี Gumbel, $f_G(V)$

$$f_G(V) = \left(\frac{1}{b}\right) \exp\left[-\frac{(V-a)}{b}\right] \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(V-a)}{b}\right]\right\} \tag{3.6}$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ความเร็วลมวิธี Reverse Weibull, $F_G(V)$

$$F_G(V) = 1 - \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(V-a)}{b}\right]\right\} \tag{3.7}$$



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น กรณี $C=0$

การประมาณค่าพารามิเตอร์สมมูลฐาน, พารามิเตอร์สัดส่วน เมื่อทราบค่าความเร็วลมเฉลี่ย และความแปรปรวนสามารถหาได้ดังนี้

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (3.8)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - V)^2} \quad (3.9)$$

$$a = V - 0.57722 b \quad (3.10)$$

$$b = \frac{S\sqrt{6}}{\pi} \quad (3.11)$$

ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ R ปี

$$V_R = a - (b) \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{R} \right) \right) \quad (3.12)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของชุด (Set) ความเร็วลม

V_i คือ ความเร็วลมสูงสุดในคาบที่ i

V คือ ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ย

S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

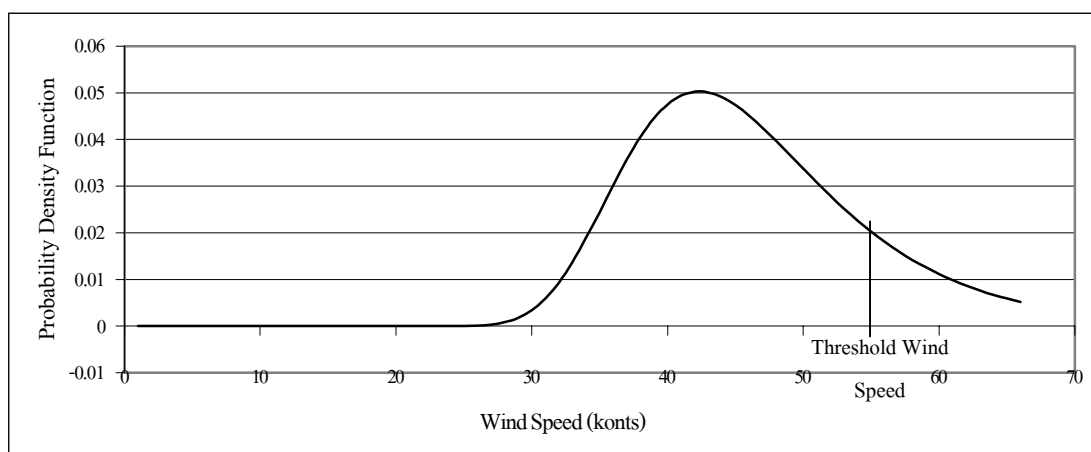
a คือ ฟังก์ชันสมมูลฐานวิธี Gumbel

b คือ ฟังก์ชันสัดส่วนวิธี Gumbel

V_R คือ ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ R ปี

3.4.3 กรณี $C < 0$

การทำนายความเร็วลมจะเหมาะกับวิธี Reverse Weibull ซึ่งลักษณะของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นจะมีหางที่ยาวดังรูปที่ 3.4 เนื่องจากความเร็วลมส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงขอบเขตความเร็วลม ความเร็วลมเช่นนี้มักเกิดขึ้นกับสภาพภูมิประเทศแนวชายฝั่งทะเลหรือพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของพายุ การแจกแจงความน่าจะเป็นวิธี Reverse Weibull ใช้ค่าพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัว ได้แก่ พารามิเตอร์สมมุฐาน (Location Parameter, γ) , พารามิเตอร์สัดส่วน (Scale Parameter, η) และพารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter, β) และค่าพารามิเตอร์รูปร่างมีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย สำหรับขั้นตอนการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังนี้ (Simiu, E and Heckert, N. A., 1996)



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นกรณี $C < 0$

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นวิธี Reverse Weibull, $f_W(V)$

$$f_W(V) = \left[\frac{\beta (\gamma - V)^{\beta-1}}{\eta^\beta} \right] \exp \left\{ - \left[\frac{(\gamma - V)}{\eta} \right]^\beta \right\}, \quad V < \gamma \quad (3.13)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความถี่ความเร็วลมวิธี Reverse Weibull, $F_W(V)$

$$F_W(V) = \exp \left\{ - \left[\frac{(\gamma - V)}{\eta} \right]^\beta \right\}, \quad V < \gamma \quad (3.14)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์สมมูลฐาน, พารามิเตอร์สัดส่วน และพารามิเตอร์รูปร่าง เมื่อทราบค่าความเร็วลมเฉลี่ยและความแปรปรวนสามารถหาได้ดังนี้

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - V)^2}$$

$$\beta = -\frac{1}{c} \tag{3.15}$$

$$\eta = \frac{S}{\left(\Gamma\left[1 + \frac{2}{\beta}\right] - \Gamma^2\left[1 + \frac{1}{\beta}\right] \right)^{\frac{1}{2}}} \tag{3.16}$$

$$\gamma = V + \eta \Gamma\left[1 + \frac{1}{\beta}\right] \tag{3.17}$$

$$V_R = \gamma + \eta \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{R}\right) \right]^{\frac{1}{\beta}} \tag{3.18}$$

- เมื่อ V_R คือ ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ R ปี
 β คือ พารามิเตอร์รูปร่างวิธี Reverse Weibull
 η คือ พารามิเตอร์สัดส่วนวิธี Reverse Weibull
 γ คือ พารามิเตอร์สมมูลฐานวิธี Reverse Weibull

3.5 การหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี

เมื่อได้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแล้วจะสามารถหาความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับต่าง ๆ ได้ คาบการกลับมีหน่วยเป็นจำนวนปี การเลือกใช้คาบการกลับต่าง ๆ สำหรับออกแบบอาคารจะเลือกตามความสำคัญของอาคาร โดยพิจารณาเรียงลำดับอาคารที่มีความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สินจากน้อยไปมาก หากอาคารที่ออกแบบมีความสำคัญน้อยหรือมีความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สินน้อยจะใช้คาบการกลับจำนวนปีไม่มาก ส่วนอาคารที่มีความสำคัญต่อชีวิตและทรัพย์สินมากก็จะใช้คาบการกลับเป็นจำนวนปีมากด้วย มาตรฐาน ASCE 7-98 ได้เลือกใช้คาบการกลับที่ 50 ปีสำหรับอาคารพักอาศัยและอาคารทั่วไป

3.6 การแปลงความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีเป็นความเร็วลมพื้นฐาน

เมื่อได้ค่าความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีแล้ว ความเร็วลมดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาสร้างแผนที่ความเร็วลมได้ เพราะเป็นความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ย 5 วินาที ที่ความสูงแต่ละสถานีซึ่งไม่เท่ากัน ต้องแปลงเป็นความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีที่ความสูง 10 เมตร ความขรุขระพื้นผิว 0.05 เมตร และเวลาเฉลี่ย 3 วินาทีตามมาตรฐาน ASCE 7-98 ซึ่งจะเรียกว่า ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี สำหรับรายละเอียดในการแปลงเป็นความเร็วลมพื้นฐานมีดังนี้

3.6.1 ความขรุขระพื้นผิว (Roughness Length : h_0)

ความขรุขระพื้นผิวมีหน่วยเป็นเมตร การออกแบบโครงสร้างที่ตั้งอยู่บนพื้นผิวโลก ความขรุขระของแต่ละพื้นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิว ถ้าพื้นที่ใดมีผิวราบเรียบสิ่งกีดขวางน้อยค่าความขรุขระพื้นผิวจะมีค่าน้อย เช่น พื้นน้ำหรือพื้นทรายที่เป็นภูมิประเทศแบบเปิดโล่ง เป็นต้น ถ้าพื้นที่ใดมีผิวหยาบและมีสิ่งกีดขวางทางลมมากค่าความขรุขระพื้นผิวก็จะมากด้วย เช่น แนวคันไม้หรือสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่อย่างหนาแน่น เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระพื้นผิวกับชนิดของพื้นผิวได้แสดงในตารางที่ 3.4 สำหรับค่าความขรุขระพื้นผิวมาตรฐานที่เลือกใช้ในการคำนวณตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 มีค่าเท่ากับ 0.05 เมตร สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศแบบ C ซึ่งเป็นภูมิประเทศแบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางทางลมน้อย

3.6.2 เวลาเฉลี่ย (Averaging Time : t)

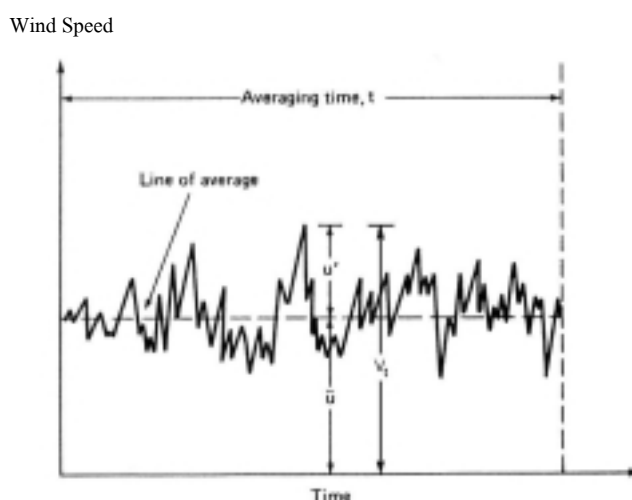
เวลาเฉลี่ยมีหน่วยเป็นวินาที เป็นช่วงเวลาที่ใช้คำนวณหาคุณสมบัติความเร็วลมจากเหตุการณ์ความเร็วลมที่ทำการตรวจวัดซึ่งมีการแกว่งไปมาตลอดเวลา เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระยะเวลาดังแสดงในรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าการหาค่าความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย t วินาที, V_t มีค่าเท่ากับผลรวมระหว่างความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาเฉลี่ย t วินาที, \bar{u} กับความเร็วลมสูงสุดที่เกินความเร็วลมเฉลี่ยที่เวลาใด ๆ ในช่วงเวลาเฉลี่ย t วินาที, u' สำหรับเวลาเฉลี่ยมาตรฐานที่เลือกใช้ในการคำนวณตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 คือ 3 วินาที แต่การบันทึกข้อมูลความเร็วลมของสถานีตรวจอากาศอาจใช้เวลาเฉลี่ยไม่ตรงกับความต้องการ ดังนั้นการนำข้อมูลที่บันทึกโดยสถานีตรวจอากาศมาใช้งานจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้มีความสอดคล้องกับเวลาเฉลี่ยมาตรฐานที่เลือกใช้ การปรับปรุงสามารถกระทำได้โดย Durst นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย t วินาทีกับความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งได้มาจากความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความปลอดภัยและค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับเวลาเฉลี่ยดังสมการที่แสดงต่อไปนี้ (Simiu, E. and Scanlan, Robert H., 1996)

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระพื้นผิวกับชนิดของพื้นผิว (Simiu, E. and Scanlan, Robert H., 1996)

ชนิดของพื้นผิว	ความขรุขระพื้นผิว (เมตร)
พื้นทราย	0.0001-0.001
พื้นหิมะ	0.001-0.006
สนามหญ้าที่ตัดสั้น (ประมาณ 0.01 เมตร)	0.001-0.01
หญ้าที่มีความสูงไม่มาก	0.01-0.04
พื้นที่ซึ่งไถคราดทิ้งไว้โดยมิได้ปลูกพืช	0.02-0.03
หญ้าที่มีความสูงมาก	0.04-0.10
ต้นปาล์มขนาดเล็ก	0.10-0.30
ป่าสน (ต้นไม้ที่มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 15 เมตร หรือต้นไม้ใหญ่ 1 ต้น ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร)	0.90-1.00
อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่ห่างกัน	0.20-0.40
อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่อย่างหนาแน่นหรือพื้นที่ในเมือง	0.80-1.20
ศูนย์กลางของเมืองขนาดใหญ่	2.00-3.00

$$\frac{V_t}{V_{3600}} = 1 + \left(\frac{\psi^2 c_{(t)}}{2.5 \ln \left(\frac{h}{h_0} \right)} \right) \quad (3.19)$$

- เมื่อ V_t คือ ความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย t วินาที
 V_{3600} คือ ความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย 3600 วินาที
 h คือ ความสูงของเครื่องมือวัดความเร็วลม
 h_0 คือ ความขรุขระพื้นผิว สามารถหาได้จากตารางที่ 3.1
 ψ คือ ดัชนีความปลอดภัย (Safety Index) สามารถหาได้จากตารางที่ 3.2
 $c_{(t)}$ คือ สัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับเวลาเฉลี่ย สามารถหาได้จากตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.5 การแปรเปลี่ยนความเร็วลมเทียบกับเวลา (Liu, H., 1991)

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความปลอดภัยกับความขรุขระพื้นผิว (Simiu, E. and Scanlan, R.H., 1996)

h_0 (เมตร)	0.005	0.07	0.30	1.00	2.50
ψ	6.50	6.00	5.25	4.85	4.00

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของเวลาเฉลี่ยกับค่าสัมประสิทธิ์เวลาเฉลี่ย (Simiu, E. and Scanlan, R.H., 1996)

t (วินาที)	1	10	20	30	50	100	200	300	600	1000	3600
C_{th}	3.00	2.32	2.00	1.73	1.35	1.02	0.70	0.54	0.36	0.16	0.00

3.6.3 ความสูงเหนือระดับพื้นดิน

ความสูงมาตรฐานเหนือระดับพื้นดินมีค่าเท่ากับ 10 เมตร โดยที่ความเร็วลมผิวพื้นมีการกระจายตัวตามความสูง (Boundary Layer) แตกต่างกันซึ่งได้รับอิทธิพลจากความขรุขระพื้นผิวและสภาพภูมิประเทศที่แวดล้อม การกระจายความเร็วลมดังกล่าวจะมีค่าน้อยมากที่ระดับผิวพื้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงความสูงค่าหนึ่งซึ่งความขรุขระไม่มีผลต่อความเร็วลม เรียกว่าความสูงเกรเดียนท์ (Gradient Height) ความเร็วลมที่ระดับเหนือจากความสูงเกรเดียนท์จะมีความเร็วลมคงที่ เรียกว่า ความเร็วลมเกรเดียนท์ (Gradient Wind Speed) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ความสูงเกรเดียนท์จะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวและลักษณะสภาพแวดล้อม การเปรียบเทียบการกระจายความเร็วลมจากบริเวณที่มีความขรุขระพื้นผิวน้อยไปมากแสดงในรูปที่ 3.8 จะ

เห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีความขรุขระพื้นผิวน้อยความสูงเกรเดียนท์จะมีค่าน้อยด้วย และพื้นที่ที่มีความขรุขระพื้นผิวมากความสูงเกรเดียนท์จะมีค่ามากด้วย ความสัมพันธ์ของการกระจายความเร็วลมตามความสูงจากระดับพื้นดินดังกล่าวสามารถหาได้โดยใช้กฎยกกำลัง (Power Law) แสดงไว้ดังสมการต่อไปนี่ (Simiu, E. and Scanlan, Robert H., 1996)

$$\frac{V}{V_g} = \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^\alpha \quad (3.20)$$

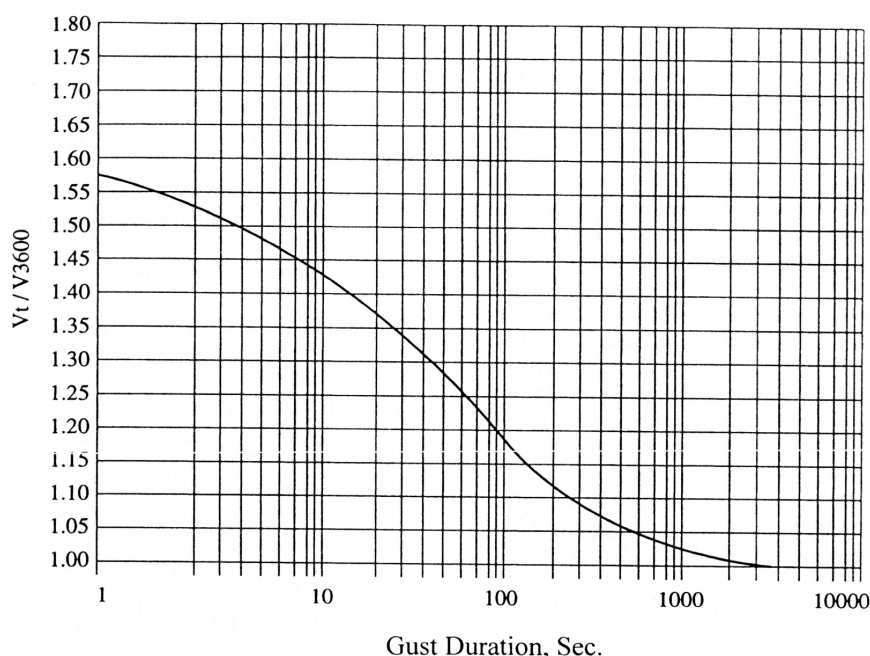
เมื่อ V คือ ความเร็วลมที่ความสูง Z หนี้อระดับพื้นดิน

V_g คือ ความเร็วลมเกรเดียนท์ (Gradient Wind Speed)

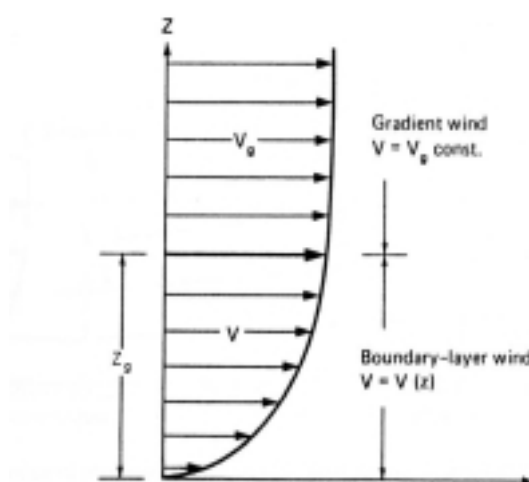
Z_g คือ ความสูงเกรเดียนท์ (Gradient Height)

α คือ สัมประสิทธิ์ยกกำลัง (Power-Law Constant Exponent)

สภาพพื้นผิวของแต่ละภูมิภาคประเทศมีผลต่อการกระจายความเร็วลมแตกต่างกัน มาตรฐาน ASCE 7-98 จึงได้มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเกรเดียนท์กับสภาพภูมิประเทศโดยเรียงลำดับจากสภาพภูมิประเทศในเมืองขนาดใหญ่ที่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างอยู่อย่างหนาแน่นสู่ภูมิประเทศแบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางทางลมน้อย รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังกับสภาพภูมิประเทศแบบต่าง ๆ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.6 อัตราส่วนระหว่างความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยที่เวลา t วินาที กับความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยที่เวลาหนึ่งชั่วโมง (ASCE, 2000)



รูปที่ 3.7 การกระจายความเร็วลมตามความสูง (Liu, H., 1991)

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างของความสูงเกรเดียนท์กับสัมประสิทธิ์ยกกำลัง (Simiu, E. and Scanlan, Robert H., 1996)

มาตรฐาน	ภูมิภาค A		ภูมิภาค B		ภูมิภาค C		ภูมิภาค D	
	α	Z_g (ม.)	α	Z_g (ม.)	α	Z_g (ม.)	α	Z_g (ม.)
National Physical Laboratory	0.40	520	0.28	400	0.16	275	-	-
ANSI A58.1-1982	1/3	457	1/4.5	366	1/7	274	1/10	213
ASCE 7-98	1/5	457	1/7	366	1/9.5	274	1/11.5	213

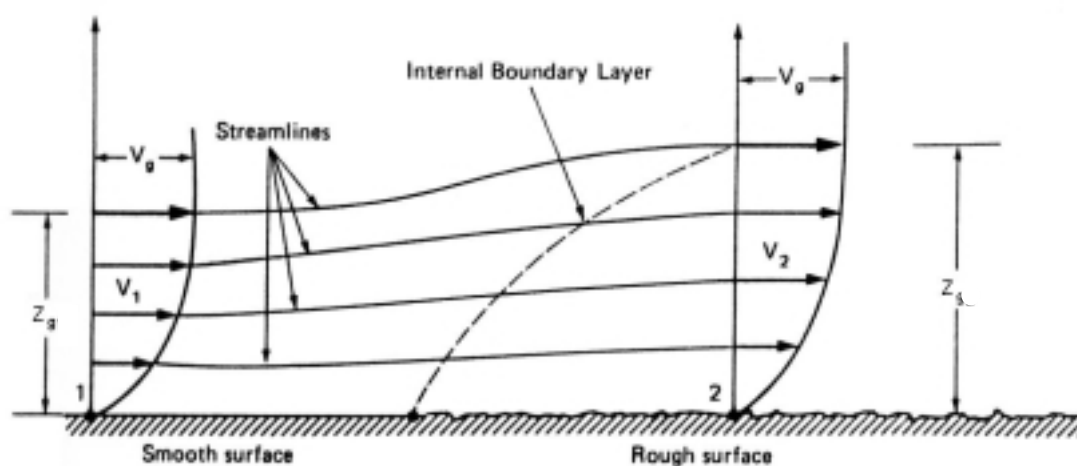
หมายเหตุ

สภาพภูมิภาค A คือ พื้นที่ศูนย์กลางเมืองขนาดใหญ่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างอย่างหนาแน่น มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอาคารและสิ่งก่อสร้างมีความสูงมากกว่า 21.3 เมตร หรือ 70 ฟุต ดังแสดงในรูปที่ 3.9

สภาพภูมิภาค B คือ พื้นที่ในเมือง หรือพื้นที่บางส่วนของชานเมืองที่มีสิ่งกีดขวางทางลม หรือพื้นที่ป่าไม้ที่มีต้นไม้ปกคลุมอย่างหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.10

สภาพภูมิภาค C คือ พื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางทางลมกระจัดกระจาย ความสูงสิ่งกีดขวางไม่เกินกว่า 9.1 เมตร หรือ 30 ฟุต เช่น พื้นที่ราบ สนามหญ้า ชายฝั่งทะเลบริเวณที่อยู่ในเขตลมพายุไต้ฝุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.11

สภาพภูมิประเทศ D คือ พื้นผิวน้ำหรือพื้นที่ราบเรียบไม่มีสิ่งกีดขวางทางลม เช่น บริเวณชายหาด ทะเลสาบ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความเร็วลมกับความขรุขระพื้นผิว (Liu, H., 1991)

3.7 การสร้างแผนที่ความเร็วลม

เมื่อได้ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปีก็นำไปสร้างแผนที่ความเร็วลม ซึ่งเป็นแผนที่แสดงเส้นชั้นความเร็วลมครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย การสร้างแผนที่ความเร็วลมนั้นสถานีตรวจอากาศแต่ละแห่งจะครอบคลุมพื้นที่แตกต่างกัน ถ้าระยะระหว่างสถานีน้อยจะทำให้ได้แผนที่ที่ถูกต้อง เช่น พื้นที่ภาคกลางตอนล่างและภาคตะวันออก เป็นต้น ถ้าสถานีห่างกันมากแผนที่ก็จะมี ความถูกต้องน้อยลง สภาพภูมิประเทศรอบสถานีก็มีผลต่อความเร็วลมเช่นกัน เมื่อตั้งสถานีใหม่ ๆ สภาพภูมิประเทศที่แวดล้อมรอบสถานีก็อาจเป็นแบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย เมื่อเวลาผ่านไปอาจมีต้นไม้และอาคารมากขึ้น ซึ่งอาจพบว่าความเร็วลมที่บันทึกได้จากสถานีมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะสถานีตรวจอากาศที่ตั้งอยู่ในเมืองขนาดใหญ่เช่น กรุงเทพมหานคร นครราชสีมา เป็นต้น สถานีที่ตั้งอยู่ในบริเวณสนามบินจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเนื่องจากตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่ง เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นจึงควรสำรวจสภาพภูมิประเทศของสถานีก่อนการสร้างแผนที่แต่ละครั้ง

การระบุค่าที่คำนวณได้ลงในแผนที่โดยยึดตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจอากาศที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ จึงต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการทำงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เลือกใช้ ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 97 (Microsoft Corporation, 1985-1997) และ Maple V (Waterloo Maple Inc, n.d.) ส่วนการสร้างแผนที่ความเร็วลมที่คาบการกลับ 50 ปี จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Surfer 6.04 (Golden Software Inc., 1993-1996) และ Vesio Technical 5.0 (Vesio

Corporation, 1991-1997) ซึ่งใช้สำหรับการสร้างแผนที่และวาดภาพ เมื่อได้แผนที่ความเร็วลมแล้ว จะทำการเปรียบเทียบค่าความดันเนื่องจากลมตามมาตรฐาน ASCE 7-98 กับพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ความดันเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.21

$$q_z = 0.00483 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (3.21)$$

เมื่อ q_z คือ ความดันเนื่องจากลม (Velocity Pressure) หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเมตร

V คือ ความเร็วลมพื้นฐาน (Basic Wind Speed) หน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง

I คือ แฟกเตอร์ความสำคัญของโครงสร้าง (Importance Factor)

K_{zt} คือ แฟกเตอร์สภาพภูมิประเทศ (Topographic Factor)

K_d คือ แฟกเตอร์ทิศทางลม (Wind Directionality Factor)

K_z คือ แฟกเตอร์ระดับความสูง (Velocity Pressure Exposure Coefficient)

สำหรับ $Z < 4.57$ เมตร จะได้

$$K_z = 2.01 \left(\frac{4.57}{Z_g} \right)^{\alpha} \quad (3.22)$$

สำหรับ $4.57 \leq Z \leq Z_g$ เมตร จะได้

$$K_z = 2.01 \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{\alpha} \quad (3.23)$$

เมื่อ Z คือ ความสูงจากระดับพื้นดิน

Z_g คือ ความสูงเกรเดียนท์ (Gradient Height)

α คือ สัมประสิทธิ์ยกกำลัง (Power-Law Constant Exponent)

ตัวอย่างการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมแสดงในภาคผนวก ง. และค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมแสดงในภาคผนวก จ.



รูปที่ 3.9 สภาพภูมิประเทศ A ศูนย์กลางเมืองขนาดใหญ่ (ASCE, 2000)



รูปที่ 3.10 สภาพภูมิประเทศ B พื้นที่รอบเมืองสำหรับอยู่อาศัย (ASCE, 2000)



รูปที่ 3.11 สภาพภูมิประเทศ C พื้นที่สนามหญ้าหรือพื้นที่เปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย (ASCE, 2000)



รูปที่ 3.12 สภาพภูมิประเทศ D พื้นที่เปิดโล่งหรือพื้นที่แนวชายฝั่งทะเล (ASCE, 2000)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

เมื่อรวบรวมข้อมูลความเร็วลมและปรับให้เหมาะสมกับแบบจำลองทางสถิติที่ได้เลือกไว้แล้ว ข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ในการคำนวณความเร็วลมที่คาบการกลับ 50 ปี ตามขั้นตอนการคำนวณในบทที่ 3 ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จะถูกนำไปสร้างแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี แผนที่ความเร็วลมดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประกอบการคำนวณออกแบบอาคาร ที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 ความเร็วลมที่ระบุในแผนที่ถือว่าเป็นความเร็วลมขั้นต่ำสุดที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ การใช้งานตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 ให้เกิดความถูกต้องเหมาะสมจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นด้วย เช่น สภาพภูมิประเทศพื้นที่ออกแบบควรพิจารณาอย่างรอบคอบเพราะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณ การนำเสนอผลการวิจัยจะเรียงลำดับตามขั้นตอนการคำนวณ เพื่อที่จะได้ทราบรายละเอียดว่าค่าที่ได้ในแต่ละขั้นตอนมีความถูกต้องเหมาะสมอย่างไรบ้าง ซึ่งอาจช่วยในการปรับปรุงวิธีคำนวณให้เกิดความเหมาะสมยิ่งขึ้นในอนาคต

4.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งที่ได้จากกองภูมิอากาศและการสำรวจสภาพพื้นที่จริงของสถานีนี้นี้มีดังนี้

4.1.1 ข้อมูลความเร็วลม

ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดทั้งหมดที่บันทึกโดยกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา มีจำนวน 73 สถานีทั่วประเทศ ที่มีจำนวนปีตั้งแต่ 21 ปี ถึง 42 ปี รวม 60 สถานี สถานีที่น้อยกว่า 20 ปีไม่นำมาใช้ในการคำนวณ สำหรับข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันมีการบันทึกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 จำนวน 60 สถานี สถานีที่มีข้อมูล 21 ปีจะเป็นข้อมูลรายวันทั้งหมด ส่วนสถานีที่มีข้อมูลมากกว่า 21 ปีส่วนที่เกิน 21 ปีจะเป็นข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปี ข้อมูลความเร็วลมที่ไม่รวมพายุได้ผู้แสดงในตารางที่ 4.1 ข้อมูลแต่ละรายการประกอบด้วยทิศทางลม (Dir) วัดเป็นองศาตามเข็มนาฬิกาที่ทำกับแนวทิศเหนือ ความเร็วลมสูงสุดในรอบวัน, สูงสุดในรอบเดือน (Sp) หน่วยเป็น น็อต เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงใช้หน่วย น็อต แล้วจึงแปลงเป็น เมตรต่อวินาทีภายหลัง (1 น็อต เท่ากับ 0.514 เมตรต่อวินาที เท่ากับ 1.852 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันสถานีตรวจอากาศอุบลราชธานี พ.ศ.2524

DATE	JAN		FEB		MAR		APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC	
	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp	Dir	Sp
1	30	14	10	19	130	10	340	12	130	13	220	14	230	19	240	24	130	15	200	15	20	9	20	32
2	360	12	30	8	210	8	200	9	130	16	260	19	230	28	230	16	180	15	10	13	130	7	10	34
3	30	13	320	10	140	11	160	13	40	24	230	14	280	20	250	18	120	15	230	13	170	6	360	22
4	30	7	40	12	110	13	180	12	30	22	150	18	230	20	260	19	250	26	360	20	130	10	360	10
5	320	4	90	9	10	12	170	9	30	14	220	26	240	27	220	18	180	24	230	23	170	6	10	23
6	80	7	10	15	10	12	190	12	40	13	180	20	270	25	280	33	160	8	10	14	60	6	10	29
7	140	8	40	16	20	7	160	15	270	19	230	17	230	15	260	23	160	9	10	16	30	13	10	32
8	90	7	310	10	160	12	220	20	180	13	240	21	230	17	250	12	230	25	240	10	30	18	360	17
9	20	11	10	17	10	12	180	10	200	16	220	18	230	16	250	19	40	32	30	22	30	20	350	20
10	30	23	360	12	10	14	240	10	230	21	230	27	230	16	220	13	40	9	30	20	30	15	360	19
11	40	26	350	8	130	15	220	11	220	16	220	28	250	15	200	27	30	8	10	21	40	12	360	17
12	30	21	220	28	200	13	210	27	230	15	230	21	250	13	210	28	10	9	20	14	10	10	10	17
13	40	17	230	8	180	11	180	13	130	12	250	33	230	11	220	23	80	32	40	22	40	11	10	13
14	20	13	240	12	130	9	150	9	250	27	230	36	230	24	230	12	130	15	30	18	60	10	40	27
15	10	9	220	12	10	10	170	7	240	21	290	19	180	18	220	19	350	19	80	24	80	2	10	22
16	40	21	220	20	170	14	180	7	200	24	270	17	180	18	220	13	350	16	150	25	40	7	360	20
17	10	15	270	11	200	14	180	9	10	8	220	26	230	16	200	17	50	24	180	16	80	12	360	17
18	180	7	190	12	230	11	200	9	130	16	230	16	180	20	190	13	350	17	200	12	80	10	10	28
19	90	7	300	10	220	13	210	16	240	21	260	19	310	21	220	12	350	16	180	6	90	8	10	28
20	350	8	90	13	240	11	60	17	170	13	230	28	180	23	240	23	10	11	70	25	30	8	10	21
21	70	11	130	14	230	8	270	22	230	36	270	25	230	28	220	23	130	11	360	1	50	8	360	15
22	40	9	200	11	160	13	140	8	100	16	230	23	270	19	240	14	50	18	170	14	120	5	360	18
23	70	7	130	11	130	14	180	14	190	17	230	19	230	23	210	24	200	8	20	31	60	6	360	15
24	360	14	110	6	240	13	180	17	340	17	230	19	200	20	220	27	230	9	30	22	20	8	360	12
25	40	13	360	16	140	8	180	15	190	14	230	27	180	16	210	15	330	18	20	22	90	2	360	5
26	350	14	320	12	180	11	120	27	180	11	180	20	180	17	260	13	350	21	30	17	30	9	40	14
27	10	15	270	20	150	9	180	9	180	11	270	18	230	16	170	15	30	29	30	20	60	16	360	9
28	30	8	300	10	190	11	60	30	180	16	260	18	180	18	220	15	320	14	30	25	30	17	260	3
29	10	8			160	11	290	32	230	14	260	15	230	12	250	30	140	13	40	21	30	15	140	3
30	160	9			60	11	120	11	210	24	230	19	230	16	150	18	230	13	10	8	30	25	30	3
31	50	11			170	12			240	26			230	20	210	20			20	21			80	15
N		31		28		31		30		31		30		31		31		30		31		30		31
MEAN		11.9		12.9		11.4		14.4		17.6		21.3		18.9		19.2		16.6		17.8		10.4		18.1
MAX.		26		28		15		32		36		36		28		33		32		31		25		34

4.1.2 ข้อมูลสภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศ

ข้อมูลสภาพแวดล้อมรอบสถานีตรวจอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สภาพแวดล้อมเมื่อเปลี่ยนแปลงอาจมีผลทำให้ความเร็วลมที่วัด ณ ตำแหน่งเดิมมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงด้วย การสำรวจสภาพพื้นที่จริงของสถานีตรวจอากาศทั้งสิ้น 28 สถานี ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 พบว่า สถานีตรวจอากาศส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่ง ยกเว้นบางสถานีที่ตั้งอยู่ในตัวเมืองและมีอาคารกีดขวางทางลมอยู่บ้าง สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่ในสนามบินจะมีสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่งตลอดเวลาเพื่ออำนวยความสะดวกในการบิน ฉะนั้นข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาจึงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้และมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 4.1 สภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 4.2 สภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศลพบุรี



รูปที่ 4.3 สภาพแวดล้อมสถานีตรวจอากาศแพร่

4.2 ขอบเขตความเร็วลม

ค่าขอบเขตความเร็วลมที่เป็นเกณฑ์ในการทำนายความเร็วลมสูงสุดที่คาบต่าง ๆ ด้วยวิธี Peaks Over Threshold กำหนดให้ค่าขอบเขตความเร็วลมมีค่าเท่ากับมัธยฐานของความเร็วลมสูงสุดรายปี ตารางที่ 4.2 แสดงขอบเขตความเร็วลมจะเห็นว่าขอบเขตความเร็วลมมีค่าอยู่ระหว่าง 24 ถึง 44 นี้อ ค่าเฉลี่ยประมาณเท่ากับ 32 นี้อ ค่าขอบเขตความเร็วลมจะแปรเปลี่ยนไปตามข้อมูลความเร็วลมของแต่ละสถานี

4.3 พารามิเตอร์ระยะปลาย

การหาค่าพารามิเตอร์ระยะปลายสามารถหาได้จากวิธี De Haan โดยกำหนดขอบเขตความเร็วลมเป็นค่ามัธยฐานของความเร็วลมสูงสุดรายปี ค่าพารามิเตอร์ระยะปลายของแต่ละสถานีสามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและลบดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ระยะปลายมีค่าอยู่ระหว่าง -1.46506 ถึง 0.29167 ส่วนใหญ่จะมีค่าลบ ค่าพารามิเตอร์ระยะปลายที่มีค่าบวกจะชี้ว่าข้อมูลความเร็วลมของสถานีนี้นั้นมีค่าเข้าใกล้ขอบเขตความเร็วลม ยิ่งมีค่าเป็นบวกมากก็จะมีปริมาณข้อมูลที่ใกล้กับขอบเขตความเร็วลมจำนวนมากด้วย ถ้าค่าพารามิเตอร์ระยะปลายมีค่าลบแสดงว่าข้อมูลความเร็วลมอยู่ไกลขอบเขตความเร็วลม ยิ่งมีค่าเป็นลบมากก็จะมีปริมาณข้อมูลไกลขอบเขตความเร็วลมมากด้วย ถ้าค่าพารามิเตอร์ระยะปลายมีค่าเป็นศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าข้อมูลความเร็วลมมีการกระจายตัวสลับกันระหว่างค่าใกล้และค่าไกลจากขอบเขตความเร็วลม พารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยจากทุกสถานีที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ -0.232 ซึ่งสอดคล้องกับประเทศสหรัฐ

อเมริกาที่มีค่าเท่ากับ -0.20 (Simui, E and Heckert, N.A., 1996) ตัวอย่างการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.2 ขอบเขตความเร็วลมของสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ หน่วยเป็น นี้อด

สถานีตรวจอากาศ		Threshold	สถานีตรวจอากาศ		Threshold	สถานีตรวจอากาศ		Threshold
รหัส	ชื่อสถานี	Wind Speed	รหัส	ชื่อสถานี	Wind Speed	รหัส	ชื่อสถานี	Wind Speed
48300	แม่ฮ่องสอน	29	48357	นครพนม	23	48480	จันทบุรี	31
48325	แม่สะเรียง	26	48381	ขอนแก่น	34	48501	คลองใหญ่	31
48303	เชียงราย	36	48383	มุกดาหาร	33	48465	เพชรบุรี	31
48310	พะเยา	28	48403	ชัยภูมิ	29	48500	ประจวบคีรีขันธ์	31
48327	เชียงใหม่	43	48405	ร้อยเอ็ด	26	48475	หัวหิน	30
48328	ลำปาง	36	48407	อุบลราชธานี	43	48517	ชุมพร	31
48329	ลำพูน	38	48431	นครราชสีมา	28	48551	สุราษฎร์ธานี	33
48330	แพร่	29	48432	สุรินทร์	39	48550	เกาะสมุย	29
48331	น่าน	26	48400	นครสวรรค์	33	48552	นครศรีธรรมราช	33
48351	อุดรดิตถ์	24	48425	สุพรรณบุรี	31	48568	สงขลา	34
48376	ตาก	29	48426	ลพบุรี	26	48569	หาดใหญ่	36
48375	แม่สอด	28	48450	กาญจนบุรี	29	48580	ปัตตานี	36
48377	เขื่อนภูมิพล	27	48455	กรุงเทพฯ	33	48583	นราธิวาส	26
48378	พิษณุโลก	24	48456	ดอนเมือง	39	48532	ระนอง	26
48379	เพชรบูรณ์	26	48430	ปราจีนบุรี	29	48561	ตะกั่วป่า	31
48380	กำแพงเพชร	31	48462	อัญประเทศ	31	48564	ภูเก็ต	26
48352	หนองคาย	28	48459	ชลบุรี	23	48565	สนามบินภูเก็ต	36
48353	เลย	39	48460	เกาะสีชัง	44	48566	เกาะลันตา	37
48354	อุดรธานี	36	48461	พัททยา	31	48567	ตรัง	36
48356	สกลนคร	33	48478	ระยอง	36	48570	สตูล	31

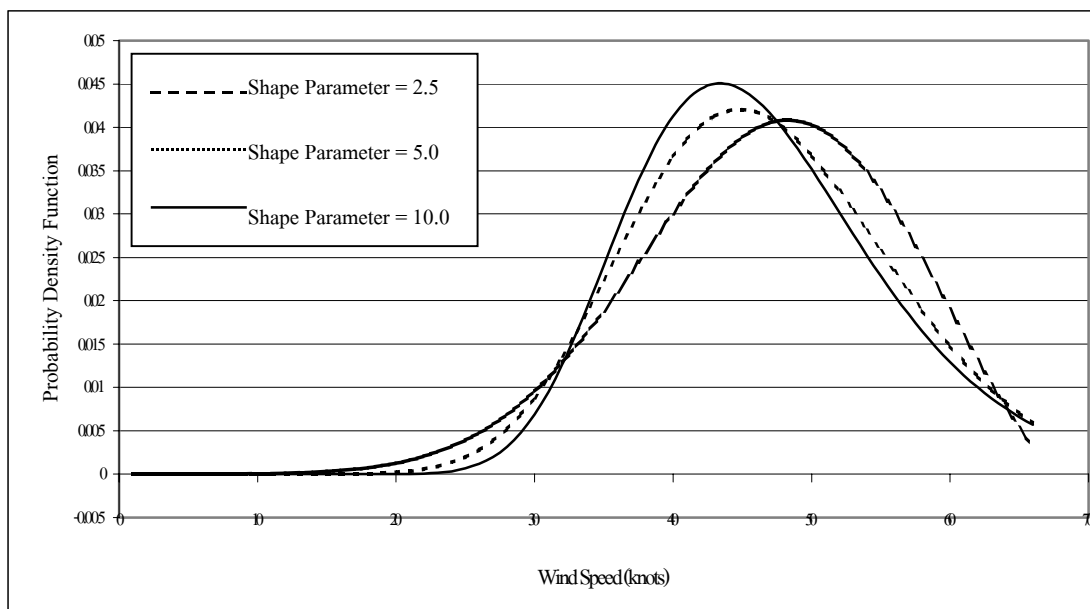
ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ระยะปลายของสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ

สถานีตรวจอากาศ		Tail	สถานีตรวจอากาศ		Tail	สถานีตรวจอากาศ		Tail
รหัส	ชื่อสถานี	Length (c)	รหัส	ชื่อสถานี	Length (c)	รหัส	ชื่อสถานี	Length (c)
48300	แม่ฮ่องสอน	0.22750	48357	นครพนม	-0.72942	48480	จันทบุรี	-0.31857
48325	แม่สะเรียง	-0.44653	48381	ขอนแก่น	-0.27889	48501	คลองใหญ่	-0.08628
48303	เขียงราย	-1.46506	48383	มุกดาหาร	-0.08464	48465	เพชรบุรี	-0.61760
48310	พะเยา	0.05350	48403	ชัยภูมิ	0.06070	48500	ประจวบคีรีขันธ์	-0.13091
48327	เชียงใหม่	-0.39394	48405	ร้อยเอ็ด	-0.27950	48475	หัวหิน	-0.02261
48328	ลำปาง	0.05729	48407	อุบลราชธานี	-0.44906	48517	ชุมพร	0.08874
48329	ลำพูน	-0.27497	48431	นครราชสีมา	0.03559	48551	สุราษฎร์ธานี	-0.20902
48330	แพร่	-0.29636	48432	สุรินทร์	-0.42948	48550	เกาะสมุย	-0.14732
48331	น่าน	-1.08537	48400	นครสวรรค์	-0.38320	48552	นครศรีธรรมราช	0.29167
48351	อุดรดิตถ์	-0.24591	48425	สุพรรณบุรี	-0.13978	48568	สงขลา	-0.26396
48376	ตาก	-0.09050	48426	ลพบุรี	-0.08704	48569	หาดใหญ่	0.00432
48375	แม่สอด	-0.05695	48450	กาญจนบุรี	-0.24840	48580	ปัตตานี	-0.10531
48377	เขื่อนภูมิพล	0.03306	48455	กรุงเทพฯ	-0.31253	48583	นราธิวาส	-0.34912
48378	พิษณุโลก	-0.29399	48456	คอนเมือง	-0.37798	48532	ระนอง	0.10112
48379	เพชรบูรณ์	-0.05342	48430	ปราจีนบุรี	-0.23864	48561	ตะกั่วป่า	-0.53520
48380	กำแพงเพชร	0.04814	48462	อัญประเทศ	-0.16969	48564	ภูเก็ต	-0.24699
48352	หนองคาย	-0.35763	48459	ชลบุรี	0.03738	48565	สนามบินภูเก็ต	-0.18925
48353	เลย	-0.30300	48460	เกาะสีชัง	-0.51627	48566	เกาะลันตา	-0.29176
48354	อุดรธานี	-0.03785	48461	พัทธยา	-0.45716	48567	ตรัง	-0.28221
48356	สกลนคร	-0.21380	48478	ระยอง	-0.48378	48570	สตูล	0.11486
ค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีทั่วประเทศ								-0.232

4.4 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ -0.232 ซึ่งเหมาะสมกับวิธี Reverse Weibull ที่ได้กล่าวไว้ในบทปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธี Reverse Weibull ประกอบด้วย พารามิเตอร์สมมูลฐาน, พารามิเตอร์รูปร่าง และพารามิเตอร์สัดส่วนซึ่งมีความสัมพันธ์กัน โดยที่ค่าพารามิเตอร์รูปร่างจะสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย เมื่อศึกษาฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function) พบว่าถ้าค่าพารามิเตอร์รูปร่างมีค่าลดลงเส้นโค้งของค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ได้จากวิธี Reverse Weibull จะเบี่ยงไป

ด้านขวามือดังรูปที่ 4.4 แสดงว่าถ้าค่าพารามิเตอร์รูปร่างลดลงจะทำให้โอกาสที่จะเกิดความเร็วลมค่ามากมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเส้นโค้งฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่เบี่ยงไปด้านขวาจะทำให้ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมลดลงซึ่งทำให้ความเร็วลมสูงสุดที่ทำนายได้มีค่าน้อย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

4.5 ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี

การทำนายความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีใช้วิธี Reverse Weibull ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีทั่วประเทศเท่ากับ -0.232 และมีพารามิเตอร์รูปร่างเท่ากับ 4.3103 ส่วนพารามิเตอร์สมมูลฐานและพารามิเตอร์สัดส่วนของแต่ละสถานีจะมีค่าแตกต่างกัน ผลการคำนวณเป็นความเร็วลมสูงสุดที่เวลาเฉลี่ย 5 วินาที ที่ความสูงแต่ละสถานีดังตารางที่ 4.4 จากตารางพบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีผลต่อการทำนายความเร็วลมที่คาบการกลับต่าง ๆ เช่น สถานีเชียงรายทั้งที่มีความเร็วลมเฉลี่ยมากกว่าสถานีพะเยาแต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า จึงทำให้ความเร็วลมที่คาบการกลับ 50 ปีของสถานีเชียงรายน้อยกว่าสถานีพะเยา เป็นต้น เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่ามากจะบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลมาก เมื่อการกระจายตัวของข้อมูลมากก็จะทำให้ความเร็วลมสูงสุดที่ทำนายได้มีค่ามากด้วย

ตารางที่ 4.4 ความเร็วสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีวิธี Reverse Weibull

รหัส	ชื่อสถานี	ความสูง (เมตร)	ความเร็ว ลมเฉลี่ย (น็อต)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (น็อต)	ความเร็วลมสูงสุด ที่คาบการกลับ 50 ปี		จำนวนปีที่ บันทึก
					(น็อต)	(เมตรต่อวินาที)	
48300	แม่ฮ่องสอน	11.30	37.214	13.034	107.620	55.322	n = 42 ปี
48325	แม่สะเรียง	11.66	32.190	10.037	86.079	44.249	n = 42 ปี
48303	เชียงใหม่	14.00	39.738	10.020	91.630	47.102	n = 42 ปี
48310	พะเยา	12.00	29.238	13.323	100.677	51.753	n = 21 ปี
48327	เชียงใหม่	8.90	46.548	9.392	99.497	51.146	n = 42 ปี
48328	ลำปาง	11.80	41.190	7.703	82.177	42.243	n = 42 ปี
48329	ลำพูน	12.00	38.857	7.605	79.213	40.719	n = 21 ปี
48330	แพร่	15.00	36.119	11.831	97.058	49.892	n = 42 ปี
48331	น่าน	18.76	29.643	6.362	60.545	31.123	n = 42 ปี
48351	อุตรดิตถ์	13.80	29.119	8.437	73.075	37.564	n = 42 ปี
48376	ตาก	12.50	32.548	8.673	78.462	40.334	n = 42 ปี
48375	แม่สอด	11.50	31.714	8.083	75.126	38.619	n = 42 ปี
48377	เขื่อนภูมิพล	16.00	28.200	6.973	63.398	32.590	n = 40 ปี
48378	พิษณุโลก	12.50	31.214	8.700	77.301	39.737	n = 42 ปี
48379	เพชรบูรณ์	10.90	27.833	9.292	78.305	40.253	n = 42 ปี
48380	กำแพงเพชร	12.50	30.238	8.420	74.841	38.472	n = 21 ปี
48352	หนองคาย	12.40	32.079	10.481	87.806	45.137	n = 38 ปี
48353	เลย	11.00	37.833	5.665	68.351	35.136	n = 42 ปี
48354	อุดรธานี	17.50	39.262	9.818	88.006	45.240	n = 42 ปี
48356	สกลนคร	10.50	34.738	6.978	72.800	37.423	n = 42 ปี
48357	นครพนม	11.00	28.143	8.783	75.764	38.947	n = 42 ปี
48381	ขอนแก่น	10.55	35.738	6.815	72.867	37.457	n = 42 ปี
48383	มุกดาหาร	11.00	34.500	12.508	102.371	52.624	n = 42 ปี
48403	ชัยภูมิ	14.50	31.976	6.940	67.516	34.707	n = 42 ปี
48405	ร้อยเอ็ด	11.33	28.619	6.117	61.500	31.614	n = 42 ปี
48407	อุบลราชธานี	15.00	41.810	6.700	75.429	38.774	n = 42 ปี
48431	นครราชสีมา	11.30	33.024	9.664	85.156	43.775	n = 42 ปี
48432	สุรินทร์	11.50	38.119	7.529	78.434	40.319	n = 42 ปี

ตารางที่ 4.4 ความเร็วสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีวิธี Reverse Weibull (ต่อ)

รหัส	ชื่อสถานี	ความสูง (เมตร)	ความเร็ว ลมเฉลี่ย (น็อต)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (น็อต)	ความเร็วลมสูงสุด ที่คาบการกลับ 50 ปี		จำนวนปีที่ บันทึก
					(น็อต)	(เมตรต่อวินาที)	
48400	นครสวรรค์	14.00	34.405	6.458	67.547	34.722	n = 42 ปี
48425	สุพรรณบุรี	11.65	29.310	6.734	65.344	33.590	n = 42 ปี
48426	ลพบุรี	13.00	31.595	10.390	86.411	44.420	n = 42 ปี
48450	กาญจนบุรี	11.00	33.690	9.974	87.751	45.108	n = 42 ปี
48455	กรุงเทพฯ	33.10	35.071	6.256	61.304	31.513	n = 42 ปี
48456	ดอนเมือง	5.00	37.452	7.946	87.370	44.912	n = 42 ปี
48430	ปราจีนบุรี	11.00	34.071	8.612	80.698	41.483	n = 42 ปี
48462	อรัญประเทศ	13.00	29.405	9.213	77.973	40.082	n = 42 ปี
48459	ชลบุรี	13.45	26.738	7.597	44.997	23.131	n = 42 ปี
48460	เกาะสีชัง	12.40	40.548	8.843	87.264	44.858	n = 42 ปี
48461	พัทธยา	10.00	30.810	3.558	50.411	25.914	n = 21 ปี
48478	ระยอง	12.00	35.762	8.578	81.440	41.864	n = 21 ปี
48480	จันทบุรี	12.00	33.952	5.017	60.418	31.058	n = 42 ปี
48501	คลองใหญ่	11.00	34.929	7.958	77.983	40.087	n = 42 ปี
48465	เพชรบุรี	10.50	31.840	7.630	73.495	37.780	n = 25 ปี
48500	ประจวบคีรีขันธ์	11.50	33.048	4.823	58.748	30.199	n = 42 ปี
48475	หัวหิน	13.48	30.095	6.622	64.511	33.162	n = 42 ปี
48517	ชุมพร	12.10	37.095	7.221	75.344	38.731	n = 42 ปี
48551	สุราษฎร์ธานี	14.50	35.231	5.070	60.739	31.223	n = 39 ปี
48550	เกาะสมุย	12.25	35.059	6.862	71.320	36.662	n = 34 ปี
48552	นครศรีธรรมราช	14.50	33.357	5.414	60.756	31.232	n = 42 ปี
48568	สงขลา	18.00	38.786	11.086	93.865	48.251	n = 42 ปี
48569	หาดใหญ่	10.00	34.276	9.569	86.988	44.716	n = 29 ปี
48580	ปัตตานี	27.00	34.243	5.885	60.044	30.866	n = 37 ปี
48583	นราธิวาส	12.50	33.214	8.965	80.681	41.474	n = 42 ปี
48532	ระนอง	10.20	30.976	8.420	77.200	39.685	n = 42 ปี
48561	ตะกั่วป่า	11.60	32.815	9.552	84.107	43.235	n = 27 ปี
48564	ภูเก็ต	10.50	28.595	5.218	57.043	29.323	n = 42 ปี

ตารางที่ 4.4 ความเร็วสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีวิธี Reverse Weibull (ต่อ)

รหัส	ชื่อสถานี	ความสูง (เมตร)	ความเร็ว ลมเฉลี่ย (น็อต)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (น็อต)	ความเร็วลมสูงสุด ที่คาบการกลับ 50 ปี		จำนวนปีที่ บันทึก
					(น็อต)	(เมตรต่อวินาที)	
48565	สนามบินภูเก็ต	10.50	41.357	5.801	72.937	37.493	n = 42 ปี
48566	เกาะลันตา	11.33	39.762	10.663	97.212	49.972	n = 21 ปี
48567	ตรัง	11.15	38.048	9.066	86.987	44.716	n = 42 ปี
48570	สตูล	13.20	33.125	7.474	72.154	37.091	n = 24 ปี

4.6 ความเร็วลมพื้นฐาน

เมื่อได้ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปีโดยวิธี Reverse Weibull แล้ว จะแปลงเป็นความเร็วลมพื้นฐานตามมาตรฐาน ASCE 7-98 ซึ่งกำหนดให้ความเร็วลมพื้นฐานเป็นความเร็วลมที่เวลาเฉลี่ย 3 วินาที ที่ความสูง 10 เมตร ความขรุขระพื้นผิว 0.05 เมตร ลักษณะภูมิประเทศแบบเปิด โลงมีสิ่งกีดขวางน้อย เป็นประเภทอาคารพักอาศัยและอาคารทั่วไป ผลการคำนวณความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปีของแต่ละสถานีแสดงในตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.5 ความเร็วพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี

รหัส	ชื่อสถานี	Latitude	Longitude	ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี	
				(น็อต)	(เมตรต่อวินาที)
48300	แม่ฮ่องสอน	19 18	97 50	109.653	56.367
48325	แม่สะเรียง	18 10	97 56	87.699	45.082
48303	เชียงราย	19 53	99 00	93.317	47.970
48310	พะเยา	19 08	99 54	102.565	52.724
48327	เชียงใหม่	18 47	98 59	101.433	52.142
48328	ลำปาง	18 17	99 31	83.721	43.037
48329	ลำพูน	18 55	99 02	80.699	41.483
48330	แพร่	18 10	100 10	98.830	50.804
48331	น่าน	18 46	100 46	61.623	31.677
48351	อุดรดิตถ์	17 37	100 06	74.423	38.257
48376	ตาก	16 53	99 09	79.927	41.086
48375	แม่สอด	16 40	98 33	76.543	39.347

ตารางที่ 4.5 ความเร็วพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี (ต่อ)

รหัส	ชื่อสถานี	Latitude	Longitude	ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี	
				(น็อต)	(เมตรต่อวินาที)
48377	เขื่อนภูมิพล	17 15	99 01	64.547	33.180
48378	พิชณุโลก	16 47	100 16	78.744	40.478
48379	เพชรบูรณ์	16 26	101 09	79.791	41.017
48380	กำแพงเพชร	16 29	99 32	76.237	39.190
48352	หนองคาย	17 52	102 43	89.447	45.980
48353	เลย	17 27	101 44	69.647	35.802
48354	อุดรธานี	17 23	102 48	89.585	46.051
48356	สกลนคร	17 09	104 08	74.188	38.136
48357	นครพนม	17 25	104 47	77.201	39.685
48381	ขอนแก่น	16 26	102 50	74.256	38.171
48383	มุกดาหาร	16 32	104 43	104.311	53.621
48403	ชัยภูมิ	15 48	102 02	68.754	35.343
48405	ร้อยเอ็ด	16 03	103 41	62.661	32.211
48407	อุบลราชธานี	15 15	104 52	76.806	39.482
48431	นครราชสีมา	14 58	102 05	86.765	44.602
48432	สุรินทร์	14 53	103 30	79.913	41.079
48400	นครสวรรค์	15 48	100 10	68.790	35.362
48425	สุพรรณบุรี	14 29	100 08	66.574	34.222
48426	ลพบุรี	14 48	100 37	88.017	45.245
48450	กาญจนบุรี	14 01	99 32	89.415	45.964
48455	กรุงเทพฯ	13 44	100 34	62.328	32.039
48456	ดอนเมือง	13 55	100 36	89.203	45.855
48430	ปราจีนบุรี	14 03	101 22	82.228	42.269
48462	อัญประเทศ	13 42	102 35	79.422	40.827
48459	ชลบุรี	13 22	100 59	67.709	34.806
48460	เกาะสีชัง	13 10	100 48	88.895	45.696
48461	พัทยา	12 55	100 52	51.378	26.411
48478	ระยอง	12 38	101 21	82.968	42.650
48480	จันทบุรี	12 36	102 07	61.551	31.640
48501	คลองใหญ่	11 46	102 53	79.461	40.847

ตารางที่ 4.5 ความเร็วพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี (ต่อ)

รหัส	ชื่อสถานี	Latitude	Longitude	ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี	
				(น็อต)	(เมตรต่อวินาที)
48465	เพชรบุรี	13 09	102 30	74.896	38.501
48500	ประจวบคีรีขันธ์	11 48	99 50	59.856	30.769
48475	หัวหิน	12 35	99 57	65.704	33.775
48517	ชุมพร	10 29	99 11	76.756	39.456
48551	สุราษฎร์ธานี	9 07	99 21	61.853	31.795
48550	เกาะสมุย	9 28	100 03	72.654	37.348
48552	นครศรีธรรมราช	8 28	99 58	61.870	31.804
48568	สงขลา	7 12	100 36	95.543	49.114
48569	หาดใหญ่	6 55	100 26	88.657	45.574
48580	ปัตตานี	6 47	101 09	61.070	31.393
48583	นราธิวาส	6 25	101 49	82.187	42.248
48532	ระนอง	9 59	98 37	78.677	40.444
48564	ภูเก็ต	7 53	98 24	58.131	29.882
48565	สนามบินภูเก็ต	8 06	98 19	74.327	38.208
48566	เกาะลันตา	7 32	99 03	99.049	50.916
48567	ตรัง	7 31	99 37	88.633	45.562
48570	สตูล	6 39	100 05	73.492	37.779

4.7 แผนที่ความเร็วลม

การสร้างแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารนั้นคือ แผนที่แสดงเส้นชั้นความเร็วลมหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที เส้นชั้นความเร็วลมจะอยู่บนแผนที่ประเทศไทย ซึ่งมีขอบเขตจังหวัดอยู่ด้วยเพื่อความสะดวกในการใช้งาน เส้นชั้นความเร็วลมจะห่างกัน 5 เมตรต่อวินาที การรายงานผลจะแบ่งออกเป็น ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ แผนที่ความเร็วลมพื้นฐาน และแผนที่พื้นที่ความเร็วลมพิเศษตามลำดับ

รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศซึ่งเป็นสถานีตรวจอากาศเพื่อการพยากรณ์ (ไม่รวมถึงสถานีเกษตรหรือสถานีเตือนภัยอื่น ๆ) ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศที่ระบุในแผนที่ได้มาจากเอกสารของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา แต่ในการสร้างแผนที่มีบางสถานีที่ปรับตำแหน่งเล็กน้อยเพื่อความสอดคล้องกับมาตราส่วนแผนที่ประเทศไทยที่ใช้

รูปที่ 4.6 แสดงความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปีของแต่ละสถานี จะเห็นว่าความเร็วลมพื้นฐานของสถานีส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ตั้งคือ พื้นที่ชายฝั่งทะเลและเทือกเขาจะมีความเร็วลมมาก ส่วนพื้นที่ในแผ่นดินทวีปจะมีค่าลดต่ำลง แต่บางสถานีความเร็วลมพื้นฐานไม่สอดคล้องกับสถานีข้างเคียง ที่เห็นเด่นชัดได้แก่ สถานีภูเก็ตกับสถานีสนามบินภูเก็ต สถานีเชียงใหม่กับสถานีลำพูน และสถานีพัทธากับสถานีชลบุรี เป็นต้น ความแตกต่างนี้น่าจะเกิดจากสภาพแวดล้อมรอบสถานีซึ่งมีอาคารหนาแน่นทำให้ความเร็วลมที่วัดได้น้อยกว่าสถานีในพื้นที่เปิดโล่ง ส่วนความเร็วลมที่สถานีสนามบินจะสูงกว่าที่สถานีข้างเคียง เพราะสนามบินเป็นพื้นที่เปิดโล่งโดยรอบและลานสนามบินยังราบเรียบกว่าพื้นที่เปิดโล่งโดยทั่วไป ความเร็วลมที่สถานีสนามบินจึงน่าเชื่อถือมากกว่า

รูปที่ 4.7 ความเร็วลมพื้นฐานแสดงเส้นชั้นความเร็วลม เส้นชั้นความเร็วลมเขียนตามวิธีที่เสนอในหัวข้อที่ 3.7 ตัวอย่างเช่น สถานีกำแพงเพชร 39.19 เมตรต่อวินาที และสถานีตาก 41.09 เมตรต่อวินาที เส้นชั้นความเร็วลมที่ผ่านระหว่างสองสถานีจะเป็นความเร็ว 40.00 เมตรต่อวินาที โดยการเทียบบัญญัติไครนองค์กับระยะทางระหว่างทั้งสองสถานี การวาดเส้นชั้นความเร็วลมจะพิจารณาความต่อเนื่องของภูมิประเทศและภูมิอากาศด้วย พื้นที่ภาคใต้ ภาคกลางตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะได้รับอิทธิพลจาก ลมมรสุมในทะเล, ภาคกลางตอนบน ภาคเหนือตอนล่างและภาคอีสานจะได้รับอิทธิพลของพื้นที่ภายในภาคพื้นทวีป, ภาคเหนือตอนบนจะได้รับอิทธิพลของเทือกเขาและหุบเขา ประเทศไทยโดยรวมได้รับอิทธิพลของลมมรสุม สำหรับช่วงห่างระหว่างเส้นชั้นความเร็วลมจะกำหนดไว้ที่ 5 เมตรต่อวินาที เนื่องจากหากใช้ช่วงห่างที่น้อยกว่านี้จะทำให้พื้นที่บางจังหวัดมีการแบ่งส่วนที่มากเกินไปยากแก่การใช้งาน และหากใช้ช่วงห่างที่มากจะทำให้บางพื้นที่ที่มีความเร็วลมสูงกว่าความเป็นจริงจึงเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็น

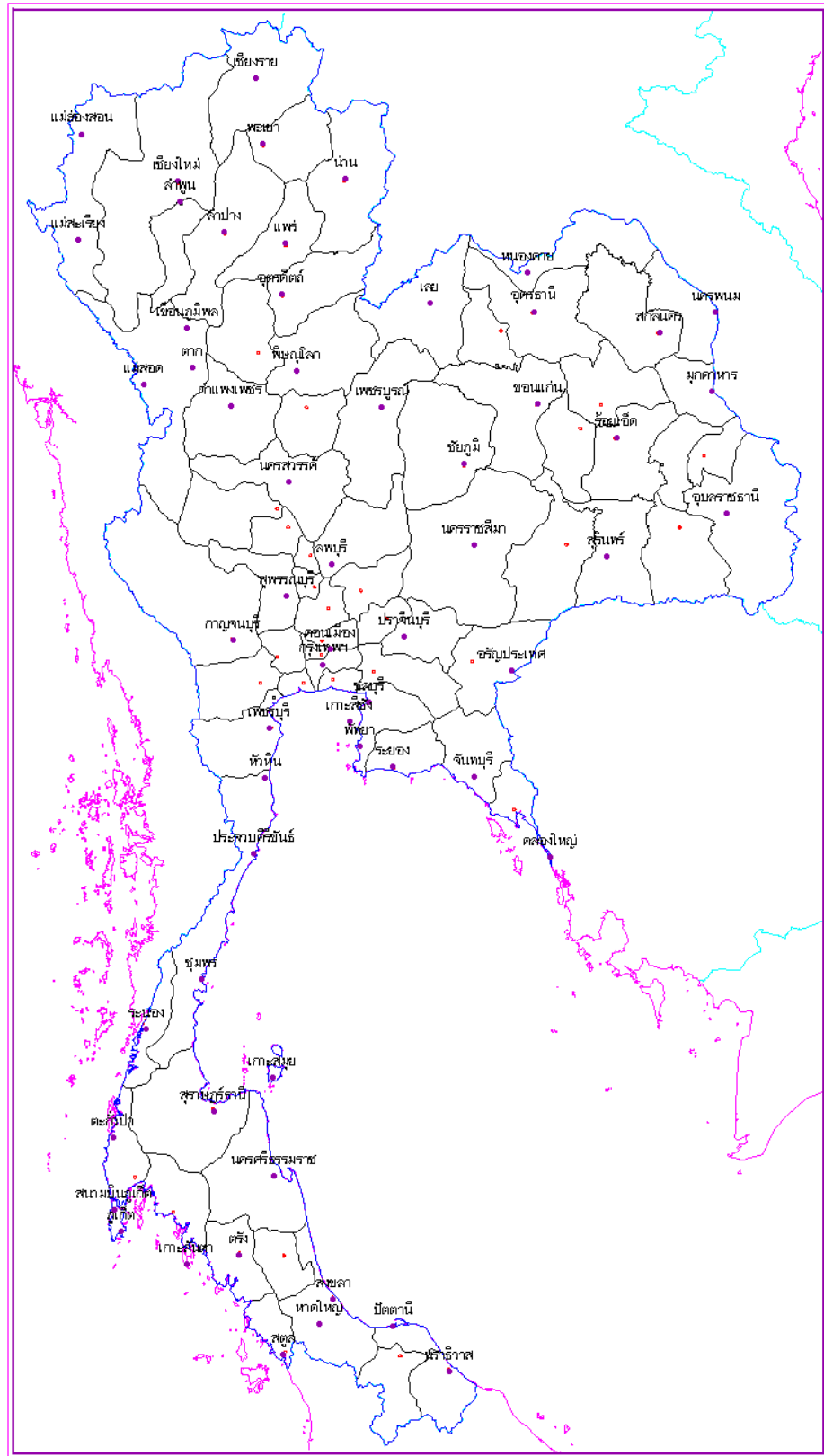
เมื่อพิจารณาความเร็วลมพื้นฐานที่ตอนกลางของประเทศมีความเร็วลมในช่วง 40 เมตรต่อวินาที, พื้นที่ภาคกลางตอนบน ภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความเร็วลมในช่วง 45 เมตรต่อวินาที, ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความเร็วลมในช่วง 50 เมตรต่อวินาที, พื้นที่แนวชายฝั่งทะเลและเทือกเขาทางตอนเหนือของประเทศมีความเร็วลมในช่วง 55 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมพื้นฐานที่ระบุในแผนที่สามารถนำไปใช้ในการหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลมกรณีไม่พิจารณาพายุได้ผู้ันได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

จะเห็นว่าบางพื้นที่ เช่น ภาคเหนือมีระดับความเร็วลมมากทั้งที่เป็นพื้นที่ภายในภาคพื้นทวีป ทั้งนี้เพราะภาคเหนือมีเทือกเขาสลับซับซ้อนซึ่งอาจทำให้ความเร็วลมบางแห่งเพิ่มขึ้น เช่น ลมเมื่อเคลื่อนที่ผ่านช่องเขาจะถูกบีบให้เคลื่อนที่เร็วขึ้น หรือบริเวณสันเขาด้านรับลมจะมีความเร็วลมมากกว่าพื้นราบ เป็นต้น ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดพื้นที่ความเร็วลมพิเศษขึ้นเพื่อเตือนว่า

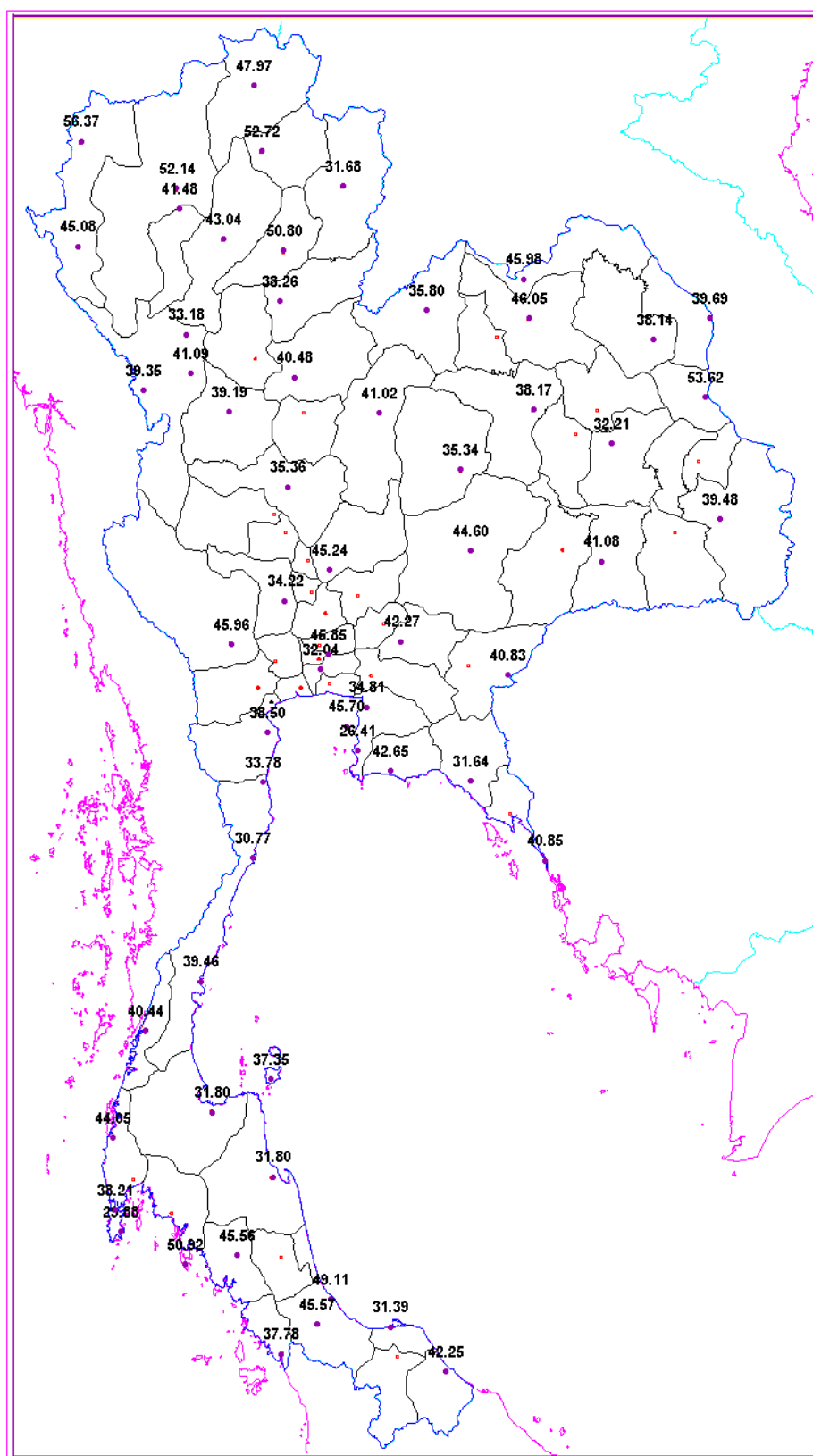
ความเร็วลมสำหรับพื้นที่ดังกล่าวอาจน้อยกว่าความเป็นจริง พื้นที่เหล่านี้มีภูมิประเทศแบบเทือกเขา พื้นที่ความเร็วลมพิเศษประกอบด้วย พื้นที่ภาคเหนือตอนบน พื้นที่เทือกเขาด้านตะวันตกของประเทศ และบางส่วนของพื้นที่รอยต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงใต้แสดงในรูปที่ 4.8

สำหรับการนำเสนอผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 นั้น จะใช้ความเร็วลมพื้นฐานที่ระบุในแผนที่ความเร็วลมใช้ในการคำนวณ ซึ่งประกอบไปด้วยความเร็วลมพื้นฐานที่ 40, 45 , 50 และ 55 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบความดันเนื่องจากลมที่คำนวณได้กับข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ถึง 4.12

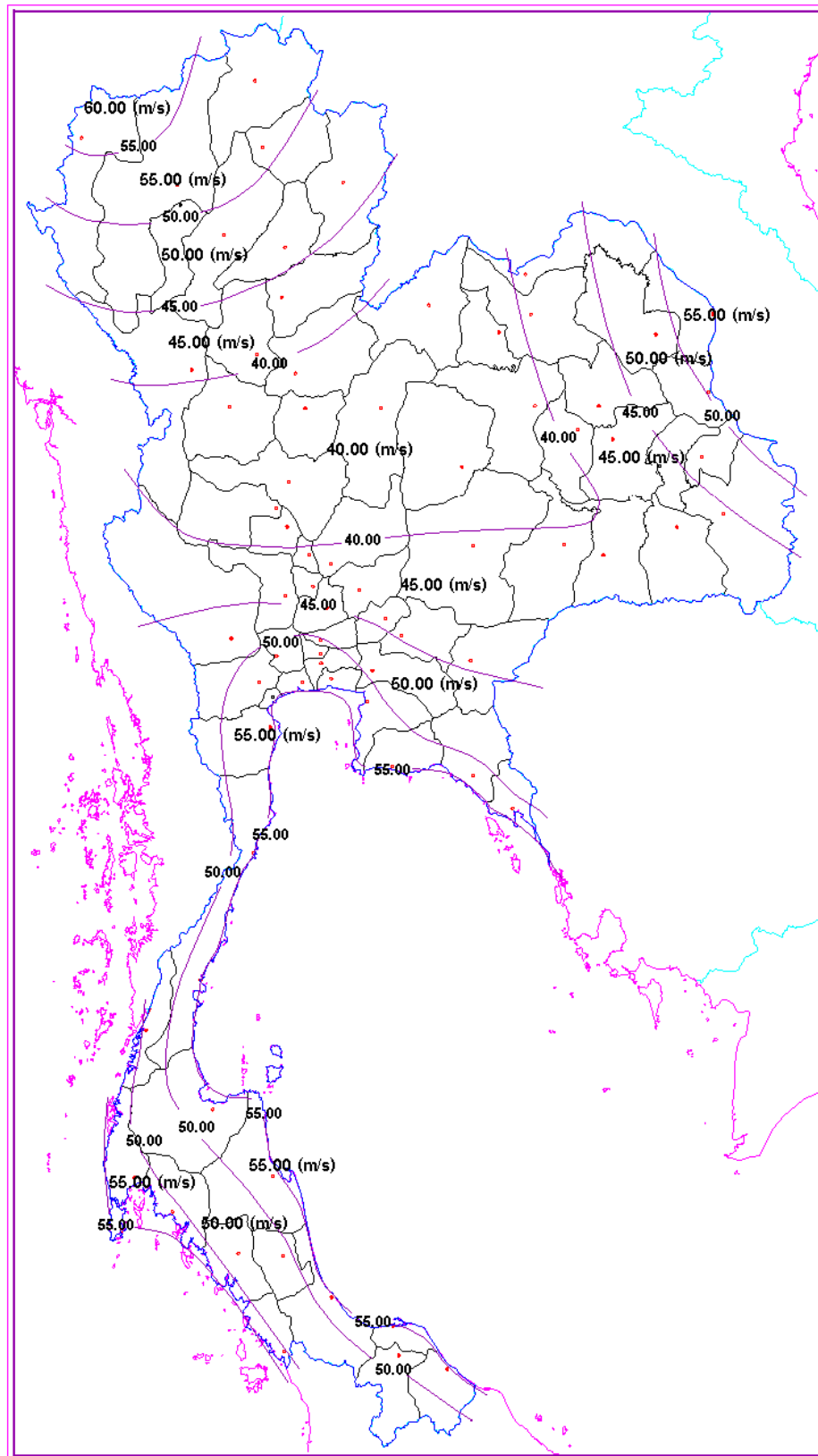
รูปที่ 4.9 ถึง 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเนื่องจากลมกับความสูงจากพื้นดินที่ความเร็วลม 40 ถึง 55 เมตรต่อวินาที ในรูปแสดงค่าความดันเนื่องจากลมสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบต่าง ๆ ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 เทียบกับข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 จะเห็นว่าอาคารพักอาศัยหรืออาคารทั่วไป (Category II) ในสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย (Exposure C และ D) ที่ความเร็วลม 45 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 ให้ค่าความดันเนื่องจากลมที่แทบทุกระดับความสูงมากกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และอาคารที่ความสูงไม่เกิน 20 เมตรความดันเนื่องจากลมจะมากกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และควรพิจารณาเป็นพิเศษคือชายฝั่งทะเล เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมมากกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ตัวอย่างการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.



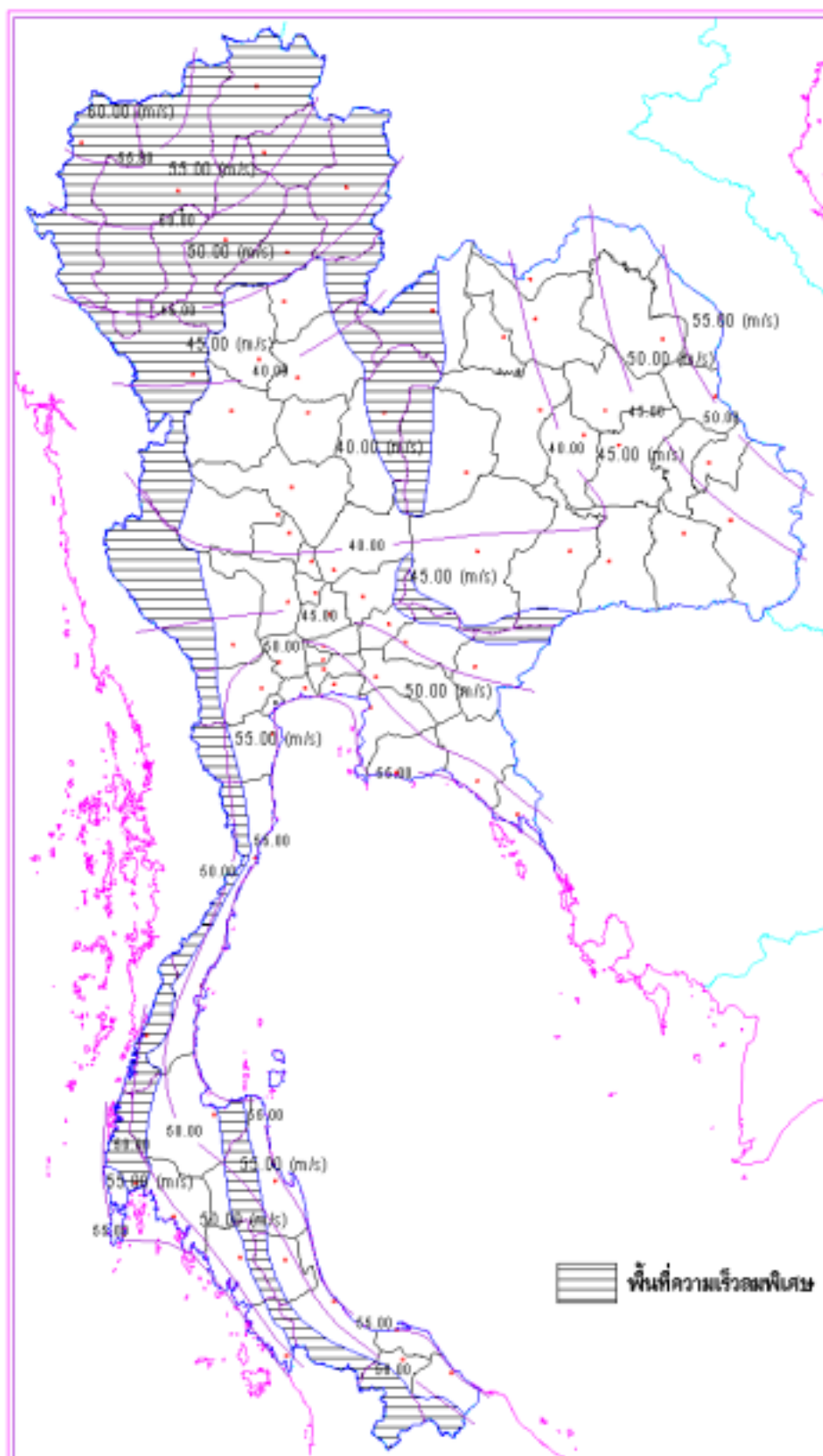
รูปที่ 4.5 แผนที่ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศ



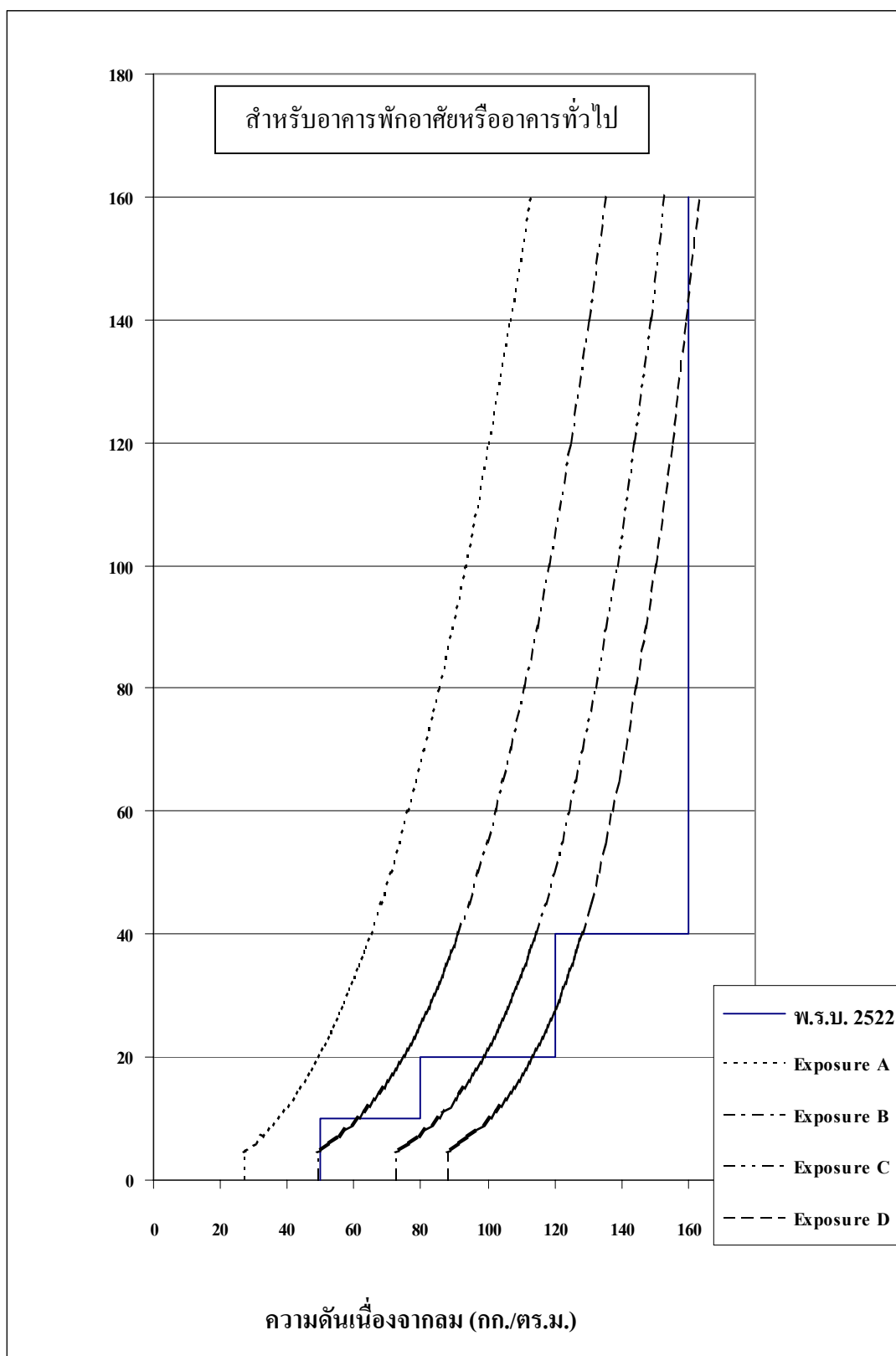
รูปที่ 4.6 แผนที่ความเร็วมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ



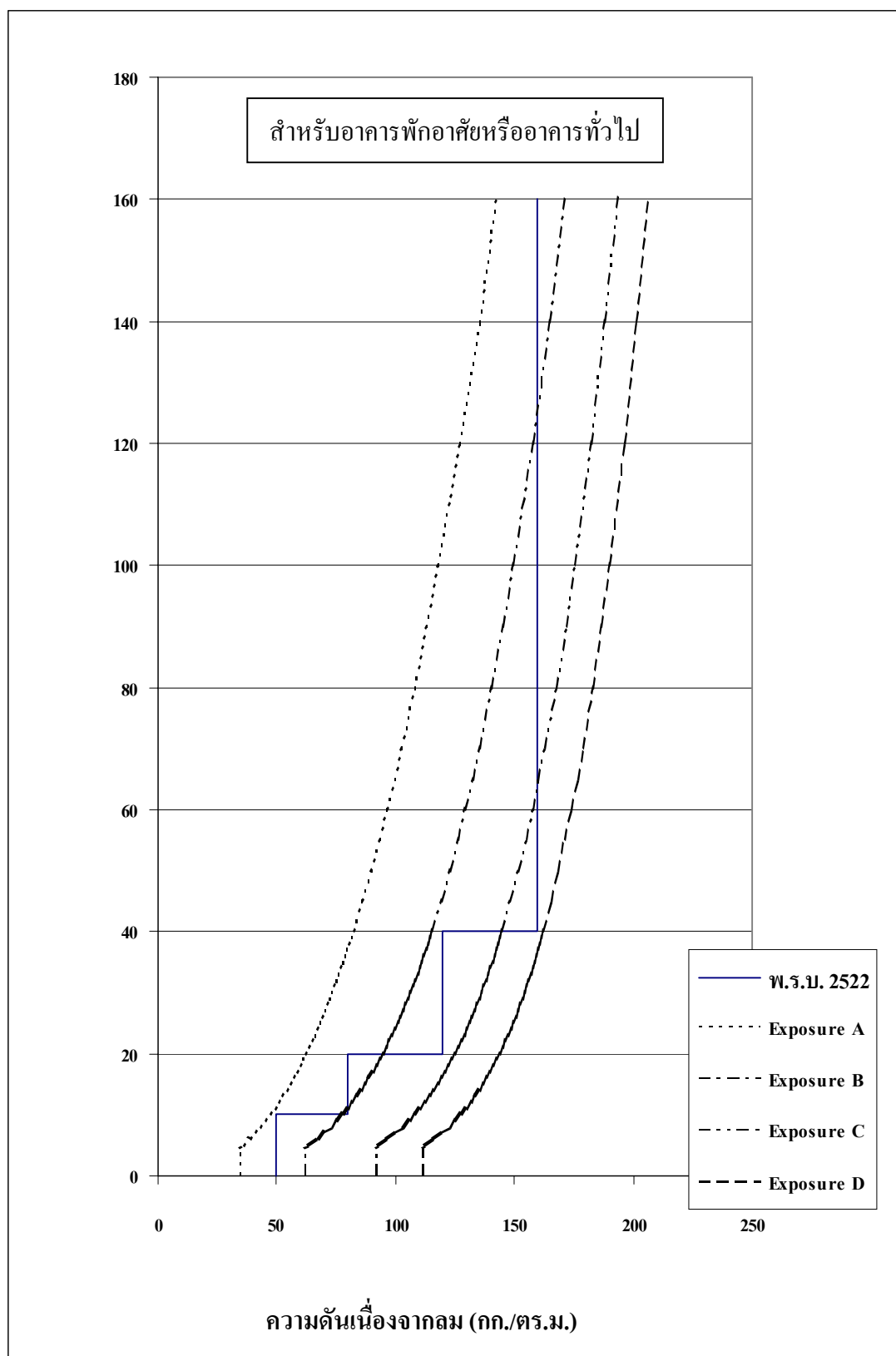
รูปที่ 4.7 แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่ค่าการกลับ 50 ปี



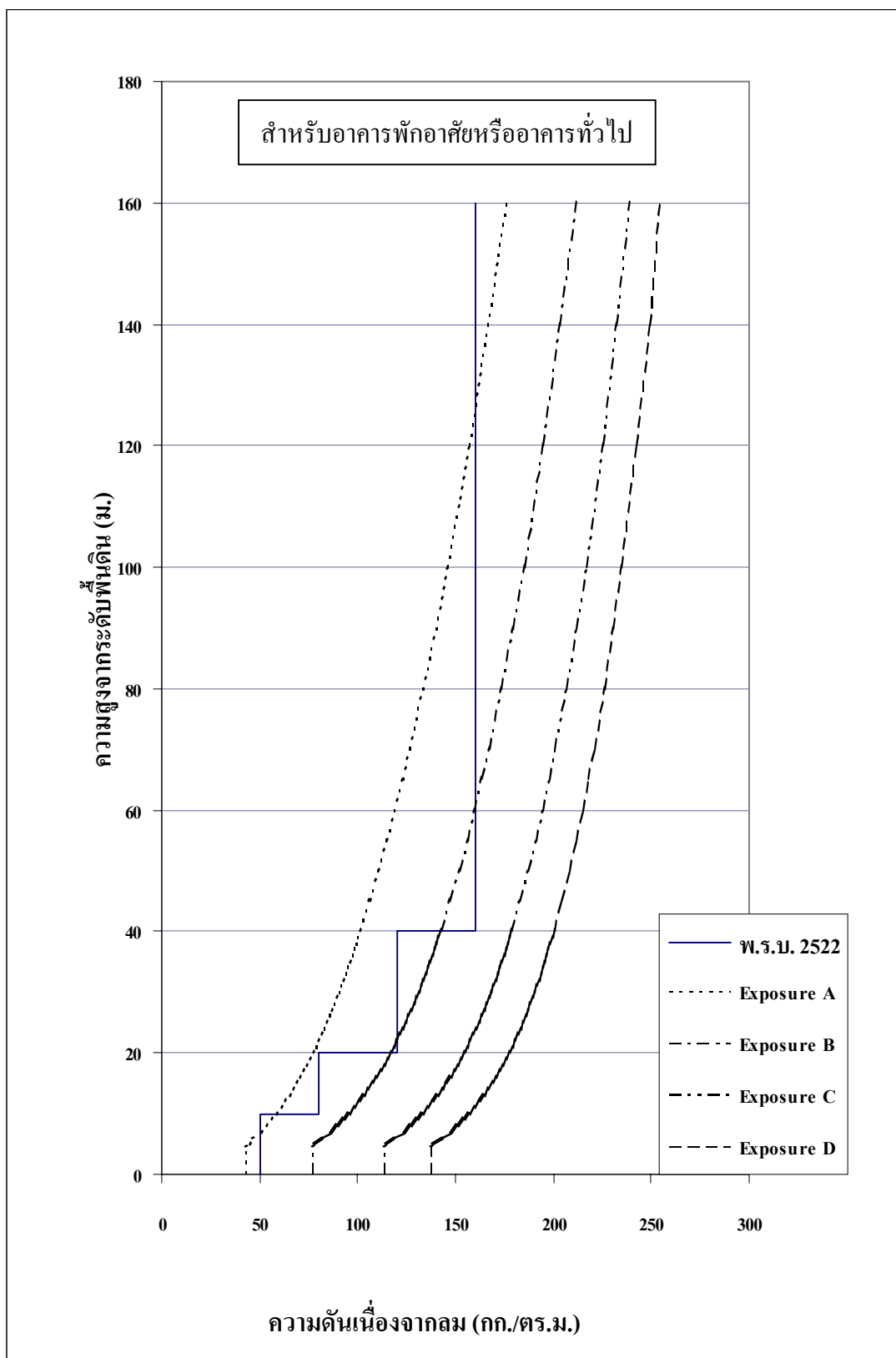
รูปที่ 4.8 แผนที่พื้นที่ความเร็วพิเศษ



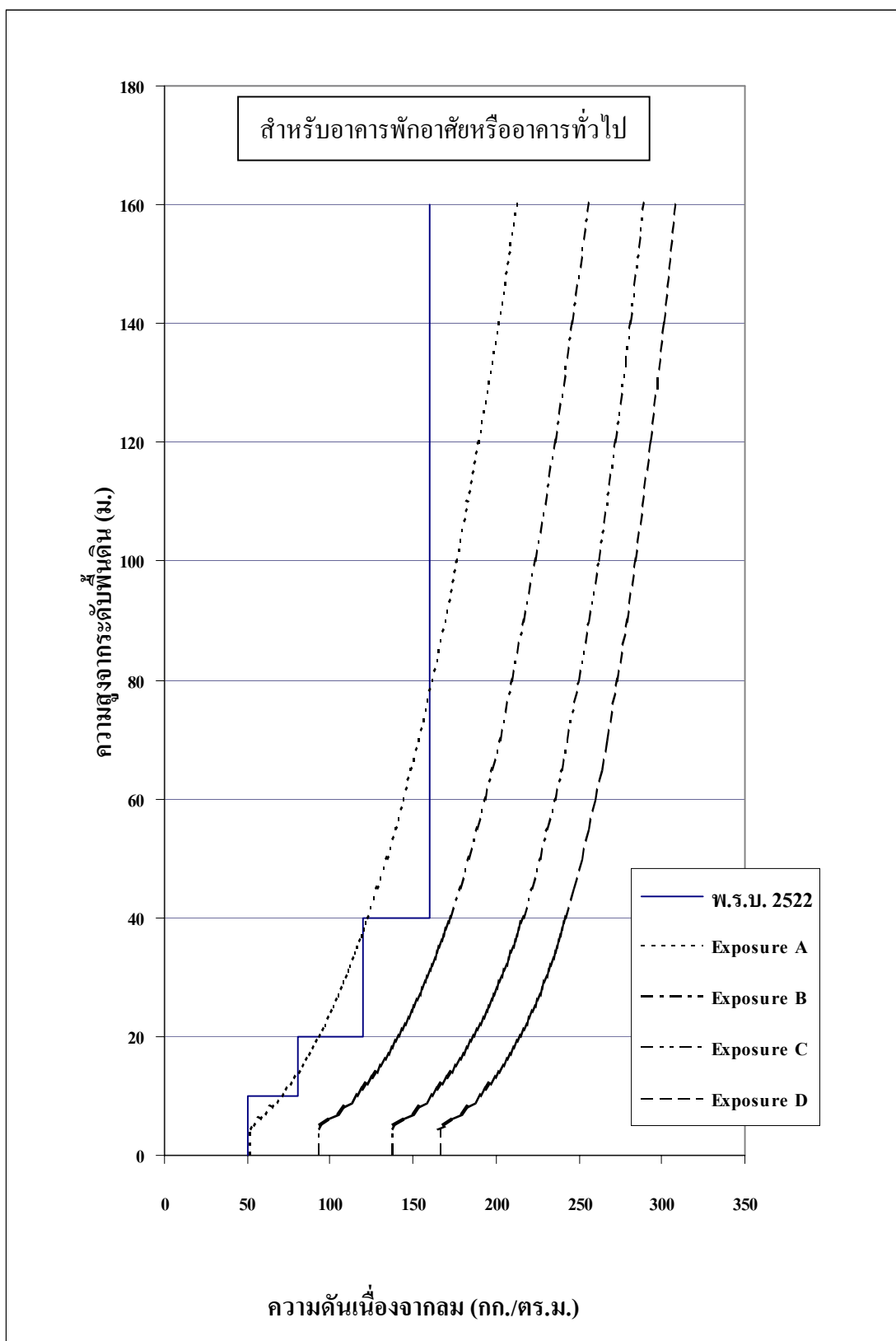
รูปที่ 4.9 ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 40 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.10 ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 45 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.11 ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 50 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.12 ความดันเนื่องจากลมที่ความเร็วลมพื้นฐาน 55 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความดันเนื่องจากลมภายนอกสำหรับพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย

พื้นที่	ความสูง (เมตร)	ความดันเนื่องจากลมภายนอก (External Wind Pressure) (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)		
		พ.ร.บ. 2522	งานของนรินทร์	งานวิจัยนี้
ที่ราบภาคกลาง (สถานีลพบุรี)	10	50	89.5	126.4
	40	120	131.9	169.2
	100	160	170.5	205.2
	200	160	207.0	237.5
เทือกเขาภาคเหนือ (สถานีเชียงใหม่)	10	50	136.2	167.9
	40	120	200.8	224.8
	100	160	259.6	272.6
	200	160	315.2	315.4
ชายฝั่งทะเลภาคใต้ (สถานีหาดใหญ่)	10	50	88.1	128.2
	40	120	129.9	171.7
	100	160	167.9	208.2
	200	160	203.9	240.9

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบความดันเนื่องจากลมระหว่างพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กับงานวิจัยของ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ (2539) และงานวิจัยนี้ สำหรับวิธีของ นรินทร์พิจารณาอาคารที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง 4 : 1 จะเห็นว่าวิธีของนรินทร์และงานวิจัยนี้ให้ค่าความดันเนื่องจากลมมากกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และงานวิจัยนี้ให้ค่าความดันเนื่องจากลมมากกว่าวิธีของนรินทร์ประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความสูงไม่เกิน 10 เมตร และจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการคำนวณน้ำหนักรรทุกเนื่องจากลมปัจจุบันใช้ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยให้ค่าน้ำหนักรรทุกเนื่องจากลมสัมพันธ์กับความสูงแบบชั้นบันไดและใช้ได้ทุกพื้นที่ของประเทศ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าน้ำหนักรรทุกเนื่องจากลมขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย โดยเฉพาะสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีหาน้ำหนักรรทุกเนื่องจากลมในรูปแบบที่ความเร็วลมและวิธีคำนวณน้ำหนักรรทุกตามมาตรฐาน ASCE 7-98 การทำนายความเร็วลมที่คาบการกลับต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASCE ใช้วิธี Peaks Over Threshold ซึ่งมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นหลายแบบ และใช้วิธี De Haan ในการหาค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเพื่อใช้เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสม

ในการคำนวณได้ใช้ข้อมูลความเร็วลม 42 ปีย้อนหลังจากปัจจุบันซึ่งอยู่ระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544 กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา มีสถานีตรวจอากาศครอบคลุมทั่วประเทศทั้งสิ้น 73 สถานี ที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งสิ้น 60 สถานี มีข้อมูลระหว่าง 21 ถึง 42 ปี จากการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์ระยะปลายเฉลี่ยทุกสถานีเท่ากับ -0.232 ซึ่งบ่งชี้ว่าวิธี Reverse Weibull เหมาะกับการทำนายความเร็วลมสูงสุด ความเร็วลมที่คำนวณตามวิธี Reverse Weibull จะถูกแปลงให้เป็นความเร็วลมพื้นฐานตามมาตรฐาน ASCE 7-98 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 26.4 ถึง 56.4 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมพื้นฐานของสถานีส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ตั้งคือ พื้นที่ชายฝั่งทะเลและเทือกเขาจะมีความเร็วลมสูง ส่วนพื้นที่ในภาคพื้นทวีปจะมีค่าลดลง

แผนที่ที่นำเสนอประกอบด้วย ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศ แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี และแผนที่พื้นที่ความเร็วลมพิเศษ เมื่อพิจารณาความเร็วลมพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศพบว่า พื้นที่ตอนกลางของประเทศมีความเร็วลมในช่วง 40 เมตรต่อวินาที, พื้นที่ภาคกลางตอนบน ภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความเร็วลมในช่วง 45 เมตรต่อวินาที, พื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออก ภาคกลางตอนล่าง บางส่วนของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความเร็วลมในช่วง 50 เมตรต่อวินาที, พื้นที่แนวชายฝั่งทะเลและเทือกเขาทางตอนเหนือของประเทศมีความเร็วลมในช่วง 55 เมตรต่อวินาที สำหรับบางพื้นที่ เช่น ภาคเหนือมีความเร็วลมมากทั้งที่เป็นพื้นที่ภายในภาคพื้นทวีป ความเร็วลมสำหรับพื้นที่ดังกล่าวอาจน้อยกว่าความเป็นจริง

พื้นที่เหล่านี้มีภูมิประเทศแบบเทือกเขา พื้นที่ความเร็วลมพิเศษประกอบด้วย พื้นที่ภาคเหนือตอนบน พื้นที่เทือกเขาด้านตะวันตกของประเทศ และบางส่วนของพื้นที่รอยต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก

การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามมาตรฐาน ASCE 7-98 กับพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยกำหนดให้ประเภทอาคารเป็นอาคารพักอาศัยหรืออาคารโดยทั่วไป พบว่าสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย ที่ความเร็วลมพื้นฐาน 40 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมที่ระดับความสูงในช่วง 20 เมตรมากกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และที่ความเร็วลมพื้นฐาน 45 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมทุกระดับความสูงจะมากกว่าพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษคือชายฝั่งทะเล เนื่องจากมีน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมมากกว่าที่กำหนดไว้มาก และเมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ พบว่าทั้งกรณีอาคารเดี่ยวและอาคารสูงงานวิจัยนี้ได้ค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมสูงกว่า

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

การคำนวณความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี ใช้ข้อมูลความเร็วลมที่บันทึกโดยสถานีตรวจอากาศทั่วประเทศของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีข้อจำกัดดังนี้

5.2.1 ความเร็วลมบันทึกทุก 3 ชั่วโมง ซึ่งอาจมีความเร็วลมสูงบางค่าที่พลาดจากการบันทึก

5.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมของกรมอุตุนิยมวิทยาเท่าที่ผ่านมา ไม่มีการเทียบปรับ (Calibrate) อย่างสม่ำเสมอให้อ่านความเร็วลมได้ถูกต้อง

5.2.3 สภาพแวดล้อมของสถานีตรวจอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาอาจมีการเพิ่มจำนวนและความสูงของอาคารและต้นไม้

5.2.4 ในการสร้างแผนที่ความเร็วลมสำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากมีข้อมูลเพียงเท่านั้น พื้นที่บริเวณชายแดนจึงมีข้อมูลเพียงด้านของประเทศไทยเท่านั้น

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปมีดังนี้

5.3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมสูงสุดที่วัดทุก 3 ชั่วโมง กับความเร็วลมสูงสุดรายวันและสูงสุดรายปีที่บันทึกโดยสถานีตรวจอากาศ

5.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มความเร็วลมสูงสุดรายปี กับความขรุขระพื้นผิวของสภาพแวดล้อมรอบสถานีตรวจอากาศ

5.3.3 ศึกษาการเทียบปรับเครื่องมือวัดความเร็วลม

5.3.4 ร่วมมือกับประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อสร้างเครือข่ายอุตุนิยมวิทยา

5.3.5 สร้างแผนที่ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับต่างๆ เป็นระยะทุก 5 ปีหรือ 10 ปี

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (พิมพ์ครั้งที่ 5). หลักสถิติ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จามรพันธุ์ จิยาศักดิ์. (2540). ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยแรงลมและการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กต้านพายุไต้ฝุ่นในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนากร จงวิลาสลักษณ์. (2540). การศึกษาแบบจำลองสำหรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว สำหรับพระราชบัญญัติควบคุมอาคารในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ. (2538). ความเร็วลมออกแบบและหน่วยแรงลมออกแบบเสนอแนะสำหรับประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ และ พูลศักดิ์ เพียรสุดสม. (2539). ความเร็วลมและแรงลมสำหรับการออกแบบโครงสร้าง. โยธาสาร: 18-26.
- ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, พูลศักดิ์ เพียรสุดสม และ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ. (2539). หน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารสูงในประเทศไทย. ใน เอกสารการสัมมนาวิชาการเรื่อง ผลกระทบเนื่องจากลมที่มีต่อโครงสร้างอาคารสูง และโครงสร้างที่มีความชะลูด (127-140). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- โยธาธิการ, กรม. (ม.ป.ป.). พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พุทธศักราช 2522. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการ.
- ไสว สุวรรณพงศ์. (2514). คู่มือเครื่องมือตรวจอากาศ. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- อุตุนิยมวิทยา, กรม. (2534). สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2504-2533). กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์. (2533). ค่าแรงลมสถิติเทียบเท่าเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- American Society of Civil Engineers. (2000). **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**. Virginia: The American Society of Civil Engineers.

- Ellingwood, B.R. and Tekie, P.B. (1999). Wind Load Statistics For Probability-Based Structural Design. **Journal of Structural Engineering** April 1999: 453-463.
- Merran, E., Nicholas, H. and Brian, P. (2000). **Statistical Distributions** (3rd ed). New York: John-Wiley & Sons.
- Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E. (1994). Novel Extreme Value Estimation Procedures Application to Extreme Wind Data. **Extreme Value Theory and Applications**. 139-158.
- Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E. (1994). Extreme Winds Estimation by Peaks Over Threshold and Epochal Methods. **Structures Congress XII** (Vol. 2): 1472-1477.
- Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E. (1995). **Extreme Wind Estimates by the Conditional Mean Exceedance Procedure**. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology.
- Gross, J.L., Heckert, N.A., Lechner, J.A. and Simiu, E. (1995). A Study of Optimal Extreme Wind Estimation Procedures. In **9th International Conference on Wind Engineering** (Vol. 1). New Delhi : International Conference on Wind Engineering.
- Heckert, N.A., Simiu, E. and Whalen, T. (1998). Estimates of Hurricane Wind Speeds by Peaks Over Threshold Method. **Journal of Structural Engineering** April 1998: 445-449.
- Johnson, G.L. (2001). Wind Characteristics. **Wind Energy System** November 2000: 1-68.
- Liu, H. (1991). **Wind Engineering : A Handbook for Structural Engineers**. New Jersey: Prentice Hall.
- Extreme Value Analysis: Return Periods of Severe Wind Events in the Central Interior of British Columbia**. (1997). British Columbia, Canada: McGregor Model Forest Association.
- Mehta, K.C. and Perry, D.C. (2002). **Guide to the Use of the Wind Load Provisions of ASCE 7-98**. Virginia: The American Society of Civil Engineers.
- Minciarelli, F., Gioffre, M., Grigoriu, M. and Simiu, E. (2001). Estimates of Extreme Wind Effects and Wind Load Factors: Influence of Knowledge Uncertainties. **Probabilistic Engineering Mechanics** (Vol. 16): 311-340.

- Simiu, E. (1994). Chaotic Behavior of Coastal Currents Due to Random Wind Forcing. In **Oceans Engineering for Today's Technology and Tomorrow's Preservation** (Vol. 3): 11-16.
- Simiu, E and Heckert, N.A. (1996). Extreme Wind Distribution Tails: A Peaks Over Threshold Approach. **Journal of Structural Engineering** May 1996 : 539-547.
- Simiu, E and Heckert, N.A. (n.d.). **Estimation of Extreme Wind Speeds**. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology.
- Simiu, E. and Scanlan, R.H. (1996). **Wind Effects on Structures : Fundamentals and Applications to Design**. New York: John-Wiley & Sons.
- Simiu, E., Heckert, N.A. and Whalen, T.M. (1998). Mean Recurrence Intervals of Ultimate Wind Loads. In **17th International Conference on Offshore Mechanical and Arctic Engineering (OMAE98-1218)**. n.p.
- Taranath, B.S. (1988). **Structural Analysis and Design of Tall Buildings**. New York: McGraw-Hill Book.
- Whalen, T.M. (1996). **Probabilistic Estimates of Design Load Factors for Wind-Sensitive Structures Using the Peaks Over Threshold Approach**. Washington D.C.: National Institute of Standards and Technology.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการหาความเร็วลมสูงสุดโดยวิธี Reverse Weibull

ขั้นตอนการคำนวณความเร็วลมสูงสุดโดยวิธี Reverse Weibull ได้แสดงไว้ในบทปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความเร็วลมสูงสุดของสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ที่คาบการกลับ 50 ปี จากข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปีระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544 ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ก-1. ความเร็วลมสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544

ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่			
พ.ศ.	เนื้อ	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	เมตรต่อวินาที
2503	48	88.8	24.7
2504	55	101.8	28.3
2505	53	98.1	27.2
2506	55	101.8	28.3
2507	63	116.6	32.4
2508	40	74.0	20.6
2509	44	81.4	22.6
2510	38	70.3	19.5
2511	43	79.6	22.1
2512	60	111.0	30.8
2513	42	77.7	21.6
2514	36	66.6	18.5
2515	58	107.3	29.8
2516	49	90.7	25.2
2517	41	75.9	21.1
2518	56	103.6	28.8
2519	50	92.5	25.7
2520	43	79.6	22.1
2521	46	85.1	23.6
2522	57	105.5	29.3
2523	64	118.4	32.9
2524	40	74.0	20.6

ตารางที่ ก-1. ความเร็วลมสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544 (ต่อ)

ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่			
พ.ศ.	น็อต	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	เมตรต่อวินาที
2525	36	66.6	18.5
2526	42	77.7	21.6
2527	46	85.1	23.6
2528	51	94.4	26.2
2529	60	111.0	30.8
2530	60	111.0	30.8
2531	38	70.3	19.5
2532	60	111.0	30.8
2533	45	83.3	23.1
2534	48	88.8	24.7
2535	50	92.5	25.7
2536	41	75.9	21.1
2537	42	77.7	21.6
2538	42	77.7	21.6
2539	29	53.7	14.9
2540	43	79.6	22.1
2541	49	90.7	25.2
2542	35	64.8	18.0
2543	27	50.0	13.9
2544	30	55.5	15.4

การคำนวณความเร็วลมสูงสุดวิธี Reverse Weibull

ข้อมูลสถานที่ตั้งและการเก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วลมของสถานีตรวจอากาศ (มีตัวอย่างการคำนวณในซีดี-รอม) :

ความสูงเครื่องมือวัดความเร็วลมจากระดับพื้นดิน	<u>8.9</u>	เมตร
เวลาเฉลี่ยในการเก็บข้อมูล (Averaging Time)	<u>5</u>	วินาที

ข้อมูลพื้นฐานทางสถิติ :

ค่าสูงสุดความเร็วลมสูงสุด (Max of Max)	<u>64</u>	น็อต
ค่าต่ำสุดความเร็วลมสูงสุด (Max of Min)	<u>27</u>	น็อต
จำนวนข้อมูลทั้งหมด (N)	<u>42</u>	ค่า
ความเร็วลมมัธยฐาน	<u>44</u>	น็อต
ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ย (Average)	46.548	น็อต
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	9.392	
พารามิเตอร์ระยะปลาย (Tail Length Parameter)	-0.232	
พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter)	4.310	
พารามิเตอร์สมมูลฐาน (Location Parameter)	82.372	
พารามิเตอร์สัดส่วน (Scale Parameter)	39.352	
ความเร็วลมสูงสุดที่คาบการกลับ 50 ปี	98.28	น็อต (50.52 เมตรต่อวินาที)

การคำนวณความเร็วลมพื้นฐาน

ข้อกำหนดในการประมาณการความเร็วลมพื้นฐาน :

สภาพภูมิประเทศสถานที่ตั้งอาคาร (Exposure)	แบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย	
ความสูงเกรเดียนท์ (Gradient Height)	<u>274</u>	เมตร
สัมประสิทธิ์ยกกำลัง (Power-Law Constant)	<u>1/9.5</u>	
ดัชนีความปลอดภัย (Safety Index)	<u>6.5385</u>	
สัมประสิทธิ์เวลาเฉลี่ย (C_{tp})	<u>2.849</u>	
ความขรุขระมาตรฐาน (Roughness Length)	<u>0.05</u>	เมตร
เวลาเฉลี่ยมาตรฐาน	<u>3</u>	วินาที
ความสูงมาตรฐาน	<u>10</u>	เมตร
ความเร็วลมพื้นฐานที่คาบการกลับ 50 ปี	101.43	น็อต (52.14 เมตรต่อวินาที)

หมายเหตุ ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้เป็นข้อมูล

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์ระยะปลายโดยวิธี De Haan

ขั้นตอนการคำนวณค่าพารามิเตอร์ระยะปลายโดยวิธี De Haan ได้แสดงไว้ในบทวิธีดำเนินการวิจัยแล้ว ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณค่าพารามิเตอร์ระยะปลายตามการทำนายความเร็วลมวิธี Reverse Weibull ของสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2524 - 2544

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย

กำหนดขอบเขตความเร็วลม (Threshold, u) มีค่าเท่ากับมัธยฐานของความเร็วลมสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ	44.0	นี้คือ (22.62 เมตรต่อวินาที)
จำนวนความเร็วลมที่เกินขอบเขตความเร็วลม	15	ค่า
สัมประสิทธิ์การหาพารามิเตอร์ระยะปลายตัวที่ 1, M_1	0.0602	
สัมประสิทธิ์การหาพารามิเตอร์ระยะปลายตัวที่ 2, M_2	0.0055	
พารามิเตอร์ระยะปลาย	-0.3939	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์ระยะปลาย	0.0958	
หมายเหตุ ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้เป็นข้อมูล		

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการหาคุณสมบัติทางสถิติ

การหาคุณสมบัติทางสถิติใช้ขั้นตอนการคำนวณดังที่ได้แสดงในบทปริทรรศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณคุณสมบัติพื้นฐานทางสถิติของข้อมูล ความเร็วลมที่ได้รับ และผลของการคำนวณฟังก์ชันความน่าจะเป็นวิธี Reverse Weibull ของสถานี ตรวจอากาศเชียงใหม่ จากข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายปีระหว่างปี พ.ศ. 2503 - 2544 ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ค-1. ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายเดือนและสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ระหว่าง ปี พ.ศ. 2503 - 2544 หน่วยเป็น น็อต

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
1960	30	24	27	23	20	42	37	30	48	26	14	20	48
1961	45	54	55	55	55	28	30	55	17	21	22	11	55
1962	17	19	23	53	36	43	30	24	52	27	13	33	53
1963	17	26	18	55	37	30	18	25	29	30	26	37	55
1964	18	34	29	63	32	35	31	25	28	27	18	32	63
1965	16	29	22	32	40	25	38	32	29	30	22	28	40
1966	23	21	31	37	44	30	24	21	26	22	17	17	44
1967	19	22	25	37	37	38	32	38	17	21	17	30	38
1968	26	31	43	30	40	36	25	24	27	27	21	16	43
1969	17	19	22	41	60	37	23	32	31	26	19	24	60
1970	20	17	42	40	37	34	26	21	26	23	19	18	42
1971	26	18	35	36	32	28	29	21	28	27	23	23	36
1972	18	22	45	58	38	34	26	24	35	32	21	17	58
1973	20	15	25	42	49	37	31	28	23	32	20	19	49
1974	18	18	34	41	30	27	24	25	29	34	21	17	41
1975	25	44	27	38	39	29	22	56	11	22	30	15	56
1976	16	25	37	35	50	24	21	27	25	23	30	9	50
1977	13	15	33	43	20	29	13	37	15	24	16	42	43
1978	21	41	25	28	40	33	26	46	16	34	16	22	46
1979	14	17	22	20	57	23	36	28	22	9	19	20	57
1980	10	24	39	39	64	27	15	22	28	27	19	19	64
1981	15	19	24	34	34	20	40	24	22	-	26	30	40

ตารางที่ ก-1. ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดรายเดือนและสูงสุดรายปีสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ระหว่าง
ปี พ.ศ. 2503 - 2544 หน่วยเป็น น็อต (ต่อ)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
1982	15	19	25	28	36	28	28	22	25	4	23	22	36
1983	39	23	28	34	42	29	22	29	26	9	42	30	42
1984	16	16	17	46	33	26	25	30	21	-	15	14	46
1985	32	34	29	25	51	43	22	24	18	7	42	16	51
1986	23	14	18	60	43	30	24	42	41	5	22	22	60
1987	13	18	35	60	41	42	44	53	20	9	20	41	60
1988	8	11	16	38	21	28	16	28	28	5	10	7	38
1989	15	15	28	60	25	21	47	16	18	27	15	17	60
1990	11	26	20	20	22	20	20	22	35	16	45	16	45
1991	30	15	22	48	40	30	28	21	30	16	12	16	48
1992	11	18	14	50	35	34	24	24	24	20	28	26	50
1993	20	13	25	30	41	30	24	20	16	16	12	16	41
1994	10	15	20	42	32	23	24	20	30	25	14	30	42
1995	11	16	22	42	37	30	20	24	20	22	23	15	42
1996	12	15	20	28	28	29	17	26	18	23	15	13	29
1997	21	15	34	33	43	25	22	20	20	25	14	9	43
1998	15	19	18	46	49	29	23	25	30	18	28	22	49
1999	10	32	20	17	35	25	23	21	23	16	12	21	35
2000	11	27	22	21	23	20	22	23	20	25	13	10	27
2001	18	15	19	25	23	30	29	28	25	22	18	15	30

หมายเหตุ - หมายถึงไม่มีการบันทึกข้อมูลความเร็วลม

ตารางที่ ค-2. คุณสมบัติทางสถิติของสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่

ความเร็วลม (น็อต)	สูงสุดรายปี			ฟังก์ชันความหนาแน่นวิธี Reverse Weibull
	จำนวน	ความน่าจะเป็น	ความหนาแน่นสะสม	
27	1	0.02381	0.02381	0.01281
28	0	0	0.02381	0.01780
29	1	0.02381	0.04762	0.02426
30	1	0.02381	0.07143	0.03247
31	0	0	0.07143	0.04267
32	0	0	0.07143	0.05513
33	0	0	0.07143	0.07009
34	0	0	0.07143	0.08772
35	1	0.02381	0.09524	0.10817
36	2	0.04762	0.14286	0.13152
37	0	0	0.14286	0.15776
38	2	0.04762	0.19048	0.18684
39	0	0	0.19048	0.21860
40	2	0.04762	0.23810	0.25283
41	2	0.04762	0.28571	0.28923
42	4	0.09524	0.38095	0.32747
43	3	0.07143	0.45238	0.36716
44	1	0.02381	0.47619	0.40788
45	1	0.02381	0.5	0.44920
46	2	0.04762	0.547619	0.49067
47	0	0	0.547619	0.53187
48	2	0.04762	0.59524	0.57239
49	2	0.04762	0.64286	0.61185
50	2	0.04762	0.69048	0.64994
51	1	0.02381	0.71429	0.68635
52	0	0	0.71429	0.72086
53	1	0.02381	0.73810	0.75328
54	0	0	0.73810	0.78347

ตารางที่ ค-2. คุณสมบัติทางสถิติของสถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ (ต่อ)

ความเร็วลม (น็อต)	สูงสุดรายปี			ฟังก์ชันความหนาแน่นวิธี Reverse Weibull
	จำนวน	ความน่าจะเป็น	ความหนาแน่นสะสม	
56	1	0.02381	0.80952	0.83689
57	1	0.02381	0.83333	0.86008
58	1	0.02381	0.85714	0.88096
59	0	0	0.85714	0.89961
60	4	0.09524	0.95238	0.91611
61	0	0	0.95238	0.93058
62	0	0	0.95238	0.94316
63	1	0.02381	0.97619	0.95399
64	1	0.02381	1	0.96321
ผลรวม	42			

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการหาความดันเนื่องจากลม

การหาค่าความดันเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 โดยใช้ค่าความเร็วลมพื้นฐานที่ได้จากแผนที่ความเร็วลมที่คาบการกลับ 50 ปี สามารถคำนวณเป็นตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

สมการที่ใช้ในการคำนวณความดันเนื่องจากลม (Velocity Pressure: q_z):

$$q_z = 0.00483 K_z K_d K_f V^2 I \quad (\text{กิโลกรัมต่อตารางเมตร})$$

ข้อกำหนดในการคำนวณ :

ประเภทอาคาร (Category)	อาคารพักอาศัยและอาคารทั่วไป, (II)
สภาพภูมิประเทศ (Exposure)	แบบเปิดโล่งมีสิ่งกีดขวางน้อย, (C)
ความสูงจากระดับพื้นดิน	40 เมตร
ความสูงเกรเดียนท์	274 เมตร
สัมประสิทธิ์ยกกำลัง (Power-Law Constant)	1/9.5
ความเร็วลมพื้นฐาน	144 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (40 เมตรต่อวินาที)

ผลการคำนวณ :

แฟกเตอร์ความสำคัญของโครงสร้าง (Importance Factor, I)	1.00
แฟกเตอร์สภาพภูมิประเทศ (Topographic Factor, K_d)	1.00
แฟกเตอร์ทิศทางลม (Wind Directionality Factor, K_f)	0.85
แฟกเตอร์ระดับความสูง (Velocity Pressure Exposure Coefficient, K_z)	1.34
ความดันเนื่องจากลม ณ ระดับความสูง 40 เมตร	114.12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณความดันเนื่องจากลมตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASCE 7-98 สามารถเปรียบเทียบกับข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 แสดงในตาราง ง-1. หมายเหตุ ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้เป็นข้อมูล

ตารางที่ ง-1. การเปรียบเทียบความดันเนื่องจากลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ความสูงจาก ระดับพื้นดิน (เมตร)	ความดันเนื่องจากลม (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)												พ.ร.บ. 2522
	Exposure A : Category			Exposure B : Category			Exposure C : Category			Exposure D : Category			
	I	II	III and IV	I	II	III and IV	I	II	III and IV	I	II	III and IV	
4.57	23.6	27.1	31.19	42.6	48.9	56.25	62.9	72.3	83.12	76.3	87.7	100.9	50
10	32.3	37.1	42.66	53.2	61.2	70.35	74.2	85.2	98.02	87.5	100.5	115.60	50
20	42.58	48.95	56.29	64.88	74.57	85.76	85.80	98.62	113.42	98.66	113.4	130.41	80
30	50.08	57.57	66.20	72.85	83.73	96.29	93.45	107.4	123.52	105.9	121.7	139.94	120
40	56.19	64.59	74.27	79.09	90.91	104.54	99.28	114.1	131.24	111.3	127.9	147.12	120
50	61.44	70.62	81.21	84.30	96.89	111.42	104.1	119.6	137.55	115.7	133.0	152.94	160
60	66.08	75.96	87.35	88.80	102.1	117.38	108.1	124.3	142.93	119.4	137.3	157.87	160
70	70.29	80.79	92.91	92.80	106.7	122.67	111.7	128.4	147.64	122.7	141.0	162.16	160
80	74.14	85.22	98.01	96.41	110.8	127.44	114.9	132.1	151.85	125.6	144.3	165.97	160
90	77.72	89.33	102.73	99.71	114.6	131.80	117.8	135.4	155.67	128.2	147.3	169.40	160
100	81.07	93.18	107.16	102.8	118.1	135.83	120.4	138.4	159.16	130.5	150.0	172.53	160
120	87.20	100.2	115.26	108.2	124.4	143.09	125.1	143.8	165.39	134.7	154.9	178.09	160
140	92.75	106.6	122.59	113.1	130.0	149.53	129.2	148.6	170.84	138.4	159.1	182.93	160
160	97.83	112.5	129.32	117.5	135.1	155.35	132.9	152.8	175.71	141.6	162.8	187.23	160
180	102.6	117.9	135.56	121.6	139.7	160.67	136.3	156.6	180.12	144.6	166.2	191.10	160
200	107.0	123.0	141.39	125.3	144.0	165.58	139.3	160.1	184.16	147.3	169.3	194.64	160
225	112.1	128.9	148.21	129.6	148.9	171.24	142.8	164.2	188.79	148.9	171.1	196.78	160
250	117.0	134.4	154.59	133.5	153.5	176.48	146.0	167.8	193.02	148.9	171.1	196.78	160
275	121.5	139.7	160.60	137.1	157.5	181.16	148.9	171.1	196.78	148.9	171.1	196.78	160

ภาคผนวก จ

สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลม

การหาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากลมตามสมการที่ 3.21 ต้องใช้สัมประสิทธิ์ดังต่อไปนี้
สมการที่ใช้ในการคำนวณความดันเนื่องจากลม (Velocity Pressure: q_z):

$$q_z = 0.00483 K_z K_d K_f V^2 I$$

ตารางที่ จ-1. ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทอาคารกับแฟกเตอร์ทิศทางลม (ASCE, 2000)

ประเภทอาคาร	แฟกเตอร์ทิศทางลม, K_d
อาคารที่ต้านแรงลมหลัก (Main Wind Force Resisting System)	0.85
ชิ้นส่วนอาคารและพื้นผิวปกคลุม	0.85
หลังคาโค้ง	0.85
ปล่องไฟ, ถังน้ำ และ โครงสร้างที่มีลักษณะดังนี้	
รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	0.90
รูปหกเหลี่ยม	0.95
รูปวงกลม	0.95
โครงสร้างแข็งเกรง	0.85
โครงสร้างที่มีช่องเปิดบางส่วน	0.85
โครงถัก	
หน้าตัดสามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม, วงกลม	0.85
หน้าตัดอื่น ๆ	0.95

หมายเหตุ แฟกเตอร์สภาพภูมิประเทศ (Topographic Factor, K_z) สำหรับอาคารที่ตั้งอยู่บนพื้นราบ
มีค่าเท่ากับ 1.0 ส่วนกรณีอาคารตั้งอยู่บนพื้นที่อื่นให้ดูในภาพที่ 6-2 ในมาตรฐาน ASCE 7-98

ตารางที่ จ-2. การจำแนกประเภทของอาคารและสิ่งก่อสร้าง สำหรับรับน้ำหนักบรรทุกจรเนื่องจาก น้ำท่วม แรงลม หิมะ และแผ่นดินไหว (ASCE, 2000)

ลักษณะการใช้งาน	ประเภท
1. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ไม่เสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน เช่น 1.1 อาคารสภากาชาด 1.2 สิ่งก่อสร้างชั่วคราว 1.3 โรงเก็บวัสดุ	I
2. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ไม่ใช่ประเภท I, III และ IV	II
3. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน เช่น 3.1 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีผู้คนมากกว่า 300 คนมาทำกิจกรรมร่วมกัน 3.2 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีผู้อยู่อาศัยมากกว่า 150 คน 3.3 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างของโรงเรียนที่สามารถบรรจุผู้คนได้มากกว่า 250 คน 3.4 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างของวิทยาลัย มหาวิทยาลัย หรือสถานศึกษาที่บรรจุผู้คนได้มากกว่า 500 คน 3.5 อาคารสาธารณะและสุขภาพที่มีเตียงคนไข้มากกว่า 50 เตียงและไม่มีการคัดสรร 3.6 ลูกและเรือจ้ำ 3.7 สถานีผลิตกระแสไฟฟ้าและอาคารสาธารณะอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวในประเภท IV	III
4. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ใช้เก็บเชื้อโรค ระเบิด และมีความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน 4.1 อาคารเก็บวัสดุปิโตรเคมี 4.2 อาคารเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง 4.3 อาคารหรือโรงงานหรือโกดังเก็บสารเคมีอันตราย 4.4 อาคารหรือโรงงานหรือโกดังเก็บวัตถุระเบิด	
5. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีส่วนประกอบสำหรับใช้เก็บเชื้อโรคหรือระเบิดที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหวและมีความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน	
6. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีส่วนประกอบสำหรับใช้เก็บเชื้อโรคหรือระเบิดที่อยู่ภายในพื้นที่ที่อิทธิพลพายุไต้ฝุ่นที่ไม่ได้กล่าวในประเภท IV	

ตารางที่ จ-2. การจำแนกประเภทของอาคารและสิ่งก่อสร้าง สำหรับรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจาก น้ำท่วม แรงลม หิมะ และแผ่นดินไหว (ASCE, 2000) (ต่อ)

ลักษณะการใช้งาน	ประเภท
7. อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีความสำคัญต่อชีวิตและทรัพย์สิน 7.1 โรงพยาบาลหรือสถานอนามัยหรือสถานสุขภาพที่มีการศัลยกรรม 7.2 สถานีดับเพลิงหรือสถานีกู้ภัยหรือสถานีตำรวจ และอยู่ซ่อมรถ 7.3 อาคารที่หลบภัยเนื่องจากแผ่นดินไหว, พายุ และภัยธรรมชาติอื่น ๆ 7.4 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับการสื่อสาร 7.5 โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าหรืออาคารสาธารณะที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า 7.6 เสาสูงสำหรับการสื่อสาร, ถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง, อาคารหล่อเย็น, ถังเก็บน้ำ สำหรับดับเพลิง, ฐานรากรองรับน้ำหรือเครื่องมือหรือวัสดุดับเพลิง 7.7 หอควบคุมการจราจรทางอากาศและโรงเก็บเครื่องบิน 7.8 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างสำหรับเก็บกักน้ำและอาคารปั๊มน้ำเพื่อใช้ในการดับเพลิง 7.9 อาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีความสำคัญต่อการป้องกันเมื่อเกิดวิกฤตการณ์ของประเทศ	IV

ตารางที่ จ-3. ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของอาคารกับคาบการกลับ R ปีและแฟกเตอร์ความสำคัญของโครงสร้าง (ASCE, 2000)

ประเภทของอาคาร	แฟกเตอร์ความสำคัญของโครงสร้าง, I	คาบการกลับ R ปี
I	0.87	25
II	1.00	50
III	1.15	100
IV	1.15	100 หรือมากกว่า

ประวัติผู้เขียน

นายอติวัฒน์ วิมุตตะสูงวิริยะ เกิดเมื่อวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2516 ศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2527-2533, ศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาช่างสำรวจ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างปี พ.ศ. 2534-2536, ศึกษา
ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2538-2540, เคยทำงานกับบริษัทไทยนิคคอนส์ จำกัด ในปี พ.ศ. 2540 และได้เข้ารับราชการเป็นอาจารย์ประจำโปรแกรมศึกษาก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏบุรีรัมย์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 ถึงปัจจุบัน