ค่าแรงลมสถิตเทียบเท่าเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพ

นาย อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-069-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016691

i 16309214

Equivalent Static Wind Load for Design of High Rise Buildings in Bangkok

Mr. Uthai Lerksirirat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-069-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ค่าแรงลมสถิตเทียบเท่าเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพ
โดย	นาย อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์ : ค่าแรงลมสถิตเทียบเท่าเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารสูงในกรุงเทพ (EQUIVALENT STATIC WIND LOAD FOR DESIGN OF HIGH RISE BUILDINGS IN BANGKOK) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.เริงเดชา รัชตไพธิ์ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผ.ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 141 หน้า. ISBN 974-577-069-8

ปัจจุบันมีการออกแบบ และ ก่อสร้างอาคารที่มีความสูงเป็นจำนวนมากในกรุงเทพฯ อีกทั้งยังมีแนวโน้มว่าจะมีความสูงมากขึ้น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปีพ.ศ. 2522 ก็ได้ใช้มานานกว่า 10 ปีแล้ว ซึ่งจะให้ค่าหน่วยแรงลมต่ำไปหากนำค่าขั้นต่ำไปใช้ในการออกแบบอาคารสูง เนื่องจากทฤษฎีพื้นฐานเดิมที่ใช้จำกัดที่ความสูงราว 100 เมตร การศึกษาในครั้งนี้ได้นำเอาวิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ทฤษฎีการสั่นสะเทือนแบบสุ่ม เพื่อหาค่าการตอบสนองของโครงสร้างอาคารสูงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าต่อแรงลม แล้วนำค่าการตอบสนองของโครงสร้างที่ได้ ไปหาค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่ใช้ในการออกแบบอาคาร

ในการวิจัยนี้ ได้ใช้ทฤษฎีค่าปลายสุด (Extreme Value Theory) หาค่าความเร็วลมสูงสุดที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในรอบ 50 ปี และ 100 ปี โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมสูงสุดในแต่ละปี จากสถานีตรวจอากาศดอนเมือง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 ถึง พ.ศ. 2530 หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าการตอบสนองของโครงสร้างต่อแรงลม โดยใช้วิธีที่เสนอโดย Solari และ คณะกรรมการทางด้านลม และ พลศาสตร์ของ ASCE ตัวแปรที่พิจารณาได้แก่ ความสูงของโครงสร้าง สัดส่วน (ความสูงต่อความลึก) และค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง ตลอดจนลักษณะของสภาพภูมิประเทศที่โครงสร้างนั้นตั้งอยู่ ตัวแปรเหล่านี้ได้เลือกให้ครอบคลุมอยู่ในช่วงที่พบมากในทางปฏิบัติ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นค่าหน่วยแรงลมเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นแต่ค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมจะลดลง และ ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น การลดค่าอัตราส่วนความกว้างของด้านปะทะลมต่อความสูงของโครงสร้างจาก 1:3 เป็น 1:7 จะให้ค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซนต์ การเพิ่มค่าอัตราส่วนความกว้างของด้านปะทะลมต่อระยะในแนวทิศทางลม จะทำให้ค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมเพิ่มขึ้นน้อยมาก (น้อยกว่า 2 เปอร์เซนต์) สำหรับโครงสร้างที่มีความสูง และ สัดส่วนเท่ากัน โครงสร้างที่ค่อนข้างอ่อน จะให้ค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมมากกว่าโครงสร้างที่แข็งกว่า ค่าแตกต่างนี้อยู่ในราว 5 เปอร์เซนต์ สำหรับช่วงสดิฟเนสที่พิจารณา

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปีพ.ศ. 2522 ในส่วนที่ว่าด้วยหน่วยแรงลมออกแบบ พบว่า เมื่อโครงสร้างมีความสูงมากกว่าประมาณ 100 เมตร หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่ได้จะมีค่าสูงกว่าค่าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ เช่น ในโครงสร้างที่สูง 200 เมตร ค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่ระดับความสูงของโครงสร้าง จะให้ค่าที่มากกว่าที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดฯ ประมาณ 25 เปอร์เซนต์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

UTHI LERKSIRIRAT : EQUIVALENT STATIC WIND LOAD FOR DESIGN OF HIGH RISE BUILDINGS IN BANGKOK. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. ROENGDEJA RAJATABHOTHI, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : PROF. PANITAN LAKKUNAPRASIT, Ph.D. 144 pp. ISBN 974-577-069-8

At present, the design and construction of tall buildings are common in Bangkok and there is a trend towards taller and taller buildings. The Bangkok Metropolitan By - Law of 1979 has been in force for more than 10 years and the minimum values of wind pressure specified in it may be too low for application in very tall buildings, since the basis for arriving at the code values is limited to a height of approximately 100 meters. In this study an existing method of random vibration analysis of structures was employed to find the response of rectangular tall buildings under wind load. The equivalent static wind load was then obtained for use in the design of buildings.

Based on the maximum annual wind velocity data at Don Muang meteorological station from 1951 - 1987, an extreme value theory was employed to get the probable extreme wind velocities in 50 and 100 year return periods. Analyses of structures against wind load were performed by using the method presented by Solari and the ASCE Committee on Wind Load and Dynamic Effects. The variables considered are the height, the width to height ratio, the aspect ratio and the natural frequencies of the structure, as well as the roughness of the terrain where structure is located. These variables were chosen to cover the range possibly found in practice.

From the analyses, it is found that the mean wind pressure increases with increase in height whereas the gust response factor decreases, with the net result of increase in static wind pressure. Decreasing the width to height ratio from 1:3 to 1:7 results in an increase of the gust response factor of about 5 percent. Increasing the width to depth ratio results in insignificant increase of the gust response factor (less than 2 percent). For structures of the same height and proportion, the gust response factor for flexible structures is greater than that for stiffer structures, the difference being about 5 percent for the range of stiffness considered.

The comparison between the results from this study and the wind pressure stipulated in the Bangkok Metropolitan By - Law shows that, when the height of the structure exceeds 100 meters, the equivalent static wind pressure found in this study is greater than the minimum value specified in the Bangkok Metropolitan By - Law. For example, for a structure of 200 meters in height, the equivalent static wind pressure at its top is about 25 percent more than the minimum value stipulated in the Bangkok Metropolitan By - Law.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และ คำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี และ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี กรรมการฯ ที่ได้กรุณาตรวจสอบ และ แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของกรมอุตุนิยมวิทยาทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณต่อ บิดา มารดา และ ญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน และ ขอขอบพระคุณต่อ พี่ น้อง และ เพื่อนๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และ คอยให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเป็นอย่างมาก จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฑ

สัญญลักษณ์ ..... ด

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบข่ายงานวิจัย 3

1.4 งานวิจัยที่ผ่านมา 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ 9

2.1 อากาศพลศาสตร์ 9

2.2 กฎลอการิธึม 10

2.3 สมการเบอนูลี 11

2.4 พลศาสตร์ของโครงสร้าง 11

2.5 ทฤษฎีค่าปลายสุด 15

2.6 วิธีของเดรเมอร์ 17

บทที่ 3 การวิเคราะห์เพื่อหาค่าการตอบสนองของโครงสร้างเมื่อรับแรงลม 22

3.1 สมมติฐาน 22

3.2 การวิเคราะห์ 23

3.3 การหาค่าความเร็วลมออกแบบจากข้อมูล 35

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ และ การเปรียบเทียบ 39
4.1 ลักษณะของข้อมูล 39
4.2 สมมติฐาน 39
4.3 ค่าความเร็วลมออกแบบ 40
4.4 หน่วยแรงลมสถิตสำหรับอาคารเตี้ย 41
4.5 ผลการวิเคราะห์การตอบสนองของโครงสร้าง 41
4.6 ตัวอย่างการประยุกต์ 45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ 113
เอกสารอ้างอิง 115
ภาคผนวก 119
ภาคผนวก ก. 120
ประวัติผู้ศึกษา 124

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ (1-1) ค่าหน่วยแรงลมที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครปี พ.ศ. 2522 7

ตารางที่ (2-1) ค่า z_o p และ β 20

ตารางที่ (2-2) ลักษณะของสภาพภูมิประเทศแบบต่างๆ 20

ตารางที่ (4-1) ค่าความเร็วลมสูงสุด(น็อต)ในแต่ละปีของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง 46

ตารางที่ (4-2) ค่าคาดหวังของความเร็วลม 47

ตารางที่ (4-3) ความเร็วลมออกแบบ (เมตรต่อวินาที) สำหรับคาบการกลับ 50 ปี 48

ตารางที่ (4-4) เปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมสถิตของข้อกำหนดของแต่ละประเทศสำหรับโครงสร้างสูง 60 เมตร ในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 49

ตารางที่ (4-5) ค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมของโครงสร้างสำหรับคาบการกลับ 50 ปี 50

ตารางที่ (4-6) ค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของลมของโครงสร้างสำหรับคาบการกลับ 100 ปี 51

ตารางที่ (4-7) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:3 คาบการกลับ 50 ปี 52

ตารางที่ (4-8) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:5 คาบการกลับ 50 ปี 53

ตารางที่ (4-9) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:7 คาบการกลับ 50 ปี 54

ตารางที่ (4-10) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:3 คาบการกลับ 50 ปี 55

หน้า

ตารางที่ (4-11) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 5 b:H = 1:5 คาบการกลับ 50 ปี 56
ตารางที่ (4-12) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 5 b:H = 1:7 คาบการกลับ 50 ปี 57
ตารางที่ (4-13) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 4 b:H = 1:3 คาบการกลับ 100 ปี 58
ตารางที่ (4-14) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 4 b:H = 1:5 คาบการกลับ 100 ปี 59
ตารางที่ (4-15) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 4 b:H = 1:7 คาบการกลับ 100 ปี 60
ตารางที่ (4-16) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 5 b:H = 1:3 คาบการกลับ 100 ปี 61
ตารางที่ (4-17) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 5 b:H = 1:5 คาบการกลับ 100 ปี 62
ตารางที่ (4-18) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศ
แบบที่ 5 b:H = 1:7 คาบการกลับ 100 ปี 63
ตารางที่ (4-19) เปรียบเทียบค่าความเร็วลมเฉลี่ย และ หน่วยแรงลมเฉลี่ยที่ระดับ
ความสูงของโครงสร้าง 64
ตารางที่ (4-20) เปรียบเทียบลักษณะภูมิประเทศของข้อกำหนดของแต่ละประเทศ 65
ตารางที่ (4-21) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศอังกฤษ 66
ตารางที่ (4-22) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ
30 ปี b:H = 1:3 67

หน้า

ตารางที่ (4-23) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ
30 ปี b:H = 1:5 68
ตารางที่ (4-24) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ
30 ปี b:H = 1:7 69
ตารางที่ (4-25) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ C คาบการกลับ
30 ปี b:H = 1:3 70
ตารางที่ (4-26) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ C คาบการกลับ
30 ปี b:H = 1:5 71
ตารางที่ (4-27) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ C คาบการกลับ
30 ปี b:H = 1:7 72
ตารางที่ (4-28) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:3 73
ตารางที่ (4-29) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:5 74
ตารางที่ (4-30) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:7 75

หน้า

ตารางที่ (4-31) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ A คาบการกลับ 50 ปี b:H = 1:3 76

ตารางที่ (4-32) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ A คาบการกลับ 50 ปี b:H = 1:5 77

ตารางที่ (4-33) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ A คาบการกลับ 50 ปี b:H = 1:7 78

ตารางที่ (4-34) เปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:3 79

ตารางที่ (4-35) เปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:5 80

ตารางที่ (4-36) เปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:7 81

ตารางที่ (4-37) เปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:3 82

ตารางที่ (4-38) เปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:5 83

ตารางที่ (4-39) เปรียบเทียบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:7 84

ตารางที่ (4-40) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชก และความสูงของโครงสร้าง ในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 85

ตารางที่ (4-41) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชก และความสูงของโครงสร้าง ในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 85

หน้า

ตารางที่ (ก-1) เปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่ใช้ในการออกแบบ
อาคาร 121

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ (1-1) โครงสร้างเปรียบเทียบ 8

รูปที่ (2-1) แบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่ายในการวิเคราะห์โครงสร้างทางพลศาสตร์ 21

รูปที่ (3-1) โครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ 37

รูปที่ (3-2) ค่า $H^2(f)$ 38

รูปที่ (3-3) ค่าอินทิกรัลในสมการที่ (3-26) 38

รูปที่ (4-1) การกระจายของข้อมูลความเร็วลมสูงสุดในแต่ละปีของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง 86

รูปที่ (4-2) ค่าอัตราส่วนของความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาใดๆ ต่อความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง 86

รูปที่ (4-3) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:3 คาบการกลับ 50 ปี 87

รูปที่ (4-4) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:5 คาบการกลับ 50 ปี 88

รูปที่ (4-5) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:7 คาบการกลับ 50 ปี 89

รูปที่ (4-6) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:3 คาบการกลับ 50 ปี 90

รูปที่ (4-7) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:5 คาบการกลับ 50 ปี 91

รูปที่ (4-8) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:7 คาบการกลับ 50 ปี 92

หน้า

รูปที่ (4-9) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:3 คาบการกลับ 100 ปี 93

รูปที่ (4-10) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:5 คาบการกลับ 100 ปี 94

รูปที่ (4-11) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 b:H = 1:7 คาบการกลับ 100 ปี 95

รูปที่ (4-12) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:3 คาบการกลับ 100 ปี 96

รูปที่ (4-13) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:5 คาบการกลับ 100 ปี 97

รูปที่ (4-14) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบที่ 5 b:H = 1:7 คาบการกลับ 100 ปี 98

รูปที่ (4-15) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของประเทศอังกฤษ 99

รูปที่ (4-16) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 30 ปี b:H = 1:3 100

รูปที่ (4-17) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 30 ปี b:H = 1:5 101

รูปที่ (4-18) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 30 ปี b:H = 1:7 102

รูปที่ (4-19) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ C คาบการกลับ 30 ปี b:H = 1:3 103

หน้า

รูปที่ (4-20) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ C คาบการกลับ 30 ปี
b:H = 1:5 104

รูปที่ (4-21) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ประเทศแคนาดาสำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ C คาบการกลับ 30 ปี
b:H = 1:7 105

รูปที่ (4-22) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:3 106

รูปที่ (4-23) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:5 107

รูปที่ (4-24) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ B คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:7 108

รูปที่ (4-25) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ A คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:3 109

รูปที่ (4-26) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ A คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:5 110

รูปที่ (4-27) หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (กก./ตร.ม.) โดยข้อกำหนดของ
ANSI สำหรับสภาพภูมิประเทศแบบ A คาบการกลับ 50 ปี
b:H = 1:7 111

รูปที่ (4-28) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชก และ
ความสูงของโครงสร้าง ในสภาพภูมิประเทศแบบที่ 4 และ 5 112

สัญญลักษณ์

b = ระยะราบในทางตั้งฉากกับทิศทางลมของโครงสร้าง

d = ระยะราบในทางขนานกับทิศทางลมของโครงสร้าง

f = ความถี่

$\bar{f}$ = fH/u_*

f_o = ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง

$f_x(x)$ = ฟังก์ชันความหนาแน่นของ X

g = ตัวประกอบสูงสุด

m = มวล

n = จำนวนตัวอย่าง

p = ค่าในตารางที่ (2-1)

$\bar{p}_w$ $\bar{p}_1$ = แรงดันลมเฉลี่ยที่กระทำต่อด้านปะทะลม และ ด้านหลบลม

q_* = $\frac{1}{2}\rho u_*^2$

t = เวลาใดๆ

$\bar{u}$ $\bar{p}$ = ความเร็ว และ ความดันลมเฉลี่ย

u' p' = ความเร็ว และ ความดันลมในส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย

u_* = ความเร็วลมของการเฉือน

$u(z)$ = ความเร็วลมที่ความสูง z

$\ddot{y}$ $\dot{y}$ y = ความเร่ง ความเร็ว และ การเคลื่อนที่ของมวล

y_{max} $\bar{y}$ y'_{max} = ค่ามากที่สุด ค่าเฉลี่ย และ ส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยมากที่สุดของการเคลื่อนที่ตอบสนอง

z = ความสูง

z_o = ระยะสิ่งกีดขวาง

A_1 A_2 = พื้นที่ที่รับแรงลม

A_w A_l = พื้นที่ด้านปะทะลม และ ด้านหลบลม

B R = ค่าพื้นที่ในสมการที่ (3-36) และ (3-37)

C_w C_l = สัมประสิทธิ์ของแรงดันลมในด้านปะทะลม และ ด้านหลบลม

$C_d = C_w + C_l$

$D = 2\ln(H/z_o) - 1$

F(t) = แรงกระทำ

F_o = ขนาดของคลื่นฮาร์มอนิก

$F_x(x)$ = ฟังก์ชันการกระจายของ X

G = ตัวประกอบการตอบสนองการกรรโชกของโครงสร้าง

H = ความสูงของโครงสร้าง

H(f) = ส่วนขยายทางกลศาสตร์ของระบบ

I = ตัวประกอบเนื่องจากความสำคัญของโครงสร้าง

$J(x_1,x_2,z_1,z_2,f)$ = ค่าในสมการที่ (3-29)

K = สติฟเนสของโครงสร้าง

K(z) = ค่าปรับแก้ความเร็วลมเนื่องจากการเปลี่ยนสภาพภูมิประเทศ หรือความสูง

L_n = ฟังก์ชันในสมการที่ (2-28)

M = มวลวางนัยทั่วไป

N(f) = สหสัมพันธ์ของความเร็วลมระหว่างด้านปะทะลม และ ด้านหลบลม

$\bar{P}$ = หน่วยแรงลมเฉลี่ย

P(z) = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่ความสูง z

$P(X_1,X_2,\ldots,X_n)$ = ความน่าจะเป็นในการเกิดค่า $X_1,X_2,\ldots,X_n$

Q = แรงกระทำวางนัยทั่วไป

R_p = คาบการกลับ

$R(x_1,x_2,z_1,z_2,f)$ = สหสัมพันธ์ของความเร็วลมระหว่างจุด (x_1,z_1) และ (x_2,z_2)

$S_F(f)$ = สเปกตรัมความหนาแน่นของแรง

$S_p(M_1,M_2,f)$ = สเปกตรัมความหนาแน่นของหน่วยแรงลมที่กระทำที่จุดศูนย์กลางมวล M_1 และ M_2

$S_u(f)$ = สเปกตรัมความหนาแน่นของความเร็วลมในแนวทิศทางลม

$S_y(f)$ = สเปกตรัมความหนาแน่นของการเคลื่อนที่

S_{uu} S_{u1} S_{11} = ค่าในสมการที่ (3-14)

T = ช่วงเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยความเร็วลม

$X^2(f)$ $\alpha^2(f)$ = ค่าในสมการที่ (3-27) และ (3-28)

$X_i(t)$ = ตัวแปรสุ่มตัวที่ i

Y_n Y_1 = ค่ามากที่สุด และ ค่าน้อยที่สุดของตัวแปรสุ่ม

$\Phi(x)$ = ฟังก์ชันการกระจายแบบปกติ

$1/\alpha_n$ u_n = การกระจาย และ ฐานนิยมของตัวแปรสุ่ม

ρ = มวลของอากาศ

Δ = ระยะที่สั้นที่สุดระหว่าง b d และ H

σ_u = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลม

β = ค่าในตารางที่ (2-1)

ν = ความถี่ตอบสนอง

ξ = อัตราส่วนการหน่วง

ϕ = มุมวัฏภาค

$\mu(z)$ = รูปร่างการเคลื่อนที่