

ผลกระทบของทิศทางลมต่อค่าแรงลมสูงสุดสำหรับการออกแบบผนังรอบอาคาร



นายปฏิพัทธ์ แจ่มมั่งคั่ง

ศูนย์วิทยพัทยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-688-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

II16697194

Wind Direction Effects on Peak Wind Loads for Cladding Design



Mr. Padipat Chaemmangkang

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School**

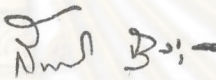
Chulalongkorn University

1995

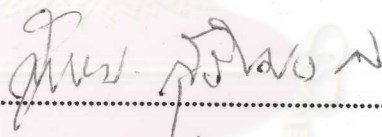
ISBN-974-631-688-5


หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของทิศทางลมต่อค่าแรงลมสูงสุดสำหรับการออกแบบ ผนังรอบอาคาร
โดย	นายปฏิพัทธ์ แจ่มมังคัง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. พูลศักดิ์ เพ็ชรสุสม

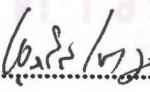
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

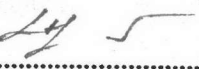

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. พูลศักดิ์ เพ็ชรสุสม)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)



ปฏิพัทธ์ แจ่มม่วงคั้ง : ผลกระทบของทิศทางลมต่อค่าแรงลมสูงสุด สำหรับการออกแบบผนังรอบอาคาร (WIND DIRECTION EFFECTS ON PEAK WIND LOADS FOR CLADDING DESIGN)
อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. พูลศักดิ์ เพ็ชรสุสม,
244 หน้า. ISBN 974-631-688-5

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาผลกระทบของทิศทางลมที่มีผลต่อค่าแรงลมสูงสุดที่เกิดขึ้นบนผนังโดยรอบอาคาร โดยพิจารณาถึงผลกระทบของอาคารข้างเคียง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในทิศทางต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการกำหนดค่าแรงลมสูงสุดที่ปลอดภัยและประหยัด สำหรับการออกแบบผนังรอบอาคาร

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการศึกษาผลกระทบของอาคารข้างเคียง โดยไม่พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมในทิศทางต่างๆ โดยการทดสอบแบบจำลองภายในอุโมงค์ลม โดยใช้อาคาร JEWELRY TRADE CENTER เป็นกรณีศึกษา ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความดันลม ซึ่งเมื่อนำไปพิจารณาประกอบกับค่าความเร็วลมสูงสุด จะได้ค่าแรงลมสูงสุดสำหรับการออกแบบผนังรอบอาคาร ค่าที่ได้จากการทดสอบเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดของ ANSI A58.1-1982 พบว่าในช่วงระดับความสูงซึ่งได้รับผลกระทบจากอาคารข้างเคียง (ระดับพื้นดินถึงระดับยอดของอาคารข้างเคียง) ค่าแรงลมสูงสุดจากการทดสอบมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 และลดลงเหลือร้อยละ 1 ถึง 35 เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น การทดสอบภายในอุโมงค์ลมจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการกำหนดค่าแรงลมสูงสุดที่ปลอดภัย ในการออกแบบผนังรอบอาคาร

ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วลมในทิศทางต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้แนวทางของ Simiu และ Filliben ในการศึกษาโดยใช้ค่าตัวแปรสุ่ม ซึ่งอยู่ในรูปของผลคูณระหว่างรากที่สองของค่าสัมประสิทธิ์ความดันลม (หรือหน่วยแรงดูด) สูงสุดและค่าความเร็วลมในแต่ละทิศทางในแต่ละปี ค่าที่มากที่สุดของค่าตัวแปรสุ่มในแต่ละปี จะถูกนำมาจำลองการกระจายด้วยทฤษฎีค่าปลายสุดแบบที่ 1 เพื่อหาค่าตัวแปรสุ่มสำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี จากการหาค่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย พบว่าการกระจายค่าปลายสุดแบบที่ 1 มีความสอดคล้องกับการกระจายของข้อมูลตัวแปรสุ่มมากและจากค่าแรงลมสูงสุดที่หาค่าตัวแปรสุ่ม พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าแรงลมสูงสุดเมื่อไม่พิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในทิศทางต่างๆ ประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 ซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบผนังรอบอาคารได้อย่างประหยัด โดยที่มีค่าความปลอดภัยอย่างเพียงพอ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
..... วิศวกรรมโครงสร้าง
สาขาวิชา
2537
ปีการศึกษา

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



#C315246 : MAJOR
KEY WORD:

CIVIL ENGINEERING
WIND DIRECTION / PEAK WIND LOADS / CLADDING


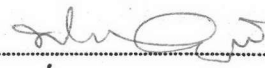

PADIPAT CHAEMMANGKANG : WIND DIRECTION EFFECTS ON PEAK WIND LOADS FOR CLADDING DESIGN. THESIS ADVISOR : PROF. PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : PHOONSAK PHIENSUSOM, Ph.D. 244 pp. ISBN 974-631-688-5

The objective of this research was to study the effects of wind directions on peak wind loads on claddings of a tall building, by considering the interference of adjacent buildings and variation of peak wind speeds with directions for use in a safe and economical cladding design.

The study consists of two parts. The first concerned the influence from adjacent buildings without taking into account variation of wind speeds with wind direction. Wind tunnel testing of a scale model of the JEWELRY TRADE CENTER was performed as a case study. Test results were obtained in the form of wind pressure (suction) coefficients which could be transformed to peak wind loads, assuming the maximum wind speed coincided with the direction of maximum wind pressures (suctions). The test results were compared with those determined from an analytical approach stipulated in ANSI A58.1-1982. The ANSI values were found to be approximately 50 to 60 per cent lower than the test results in the lower part of the building which was affected by adjacent buildings (approximately from ground level to the top of the adjacent buildings). The discrepancies reduced to 1 to 35 per cent in the upper portion of the building. The wind tunnel test is clearly essential for determining safe wind loads for cladding design.

The second part of the study investigated the effects of peak wind speeds variation with wind directions. This research applied the procedure proposed by Simiu and Filliben who considers a random variable which is a product of square root of peak pressure (or unsigned suction) coefficient and the annual peak wind speed in the wind direction. The maximum values of the random variables for each year were then fitted with the Extreme Value Type I Distribution, from which the random variable could be determined for any return period. By examining the simple correlation coefficient, the Extreme Value Type I Distribution was found to be a good fit for the peaks of the random variables. The peak wind loads thus obtained were found to be 30 to 40 per cent less than the results which disregarded the effects of wind speeds variation with wind directions, thereby yielding economical design of claddings.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา..... 2537

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



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และท่านอาจารย์ ดร.พูนศักดิ์ เพียรสุขสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ อีกทั้งได้คอยดูแลติดตามจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และท่านศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ กรรมการฯ ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ อรุณ ชัยเสรี แห่งบริษัท อรุณชัยเสรี คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียร์ จำกัด และคุณประสงค์ ธาราไชย แห่งบริษัท โปรเจกแพลนนิ่ง เซอร์วิส จำกัด ตลอดจนโครงการ จิวเวลรี่ เทค เซ็นเตอร์ คอมเพล็กซ์ ซึ่งให้การสนับสนุนทั้งทางด้านความคิดและการเงิน จนทำให้เกิดการทดสอบภายในอุโมงค์ลมขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย อันเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ซึ่งคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดเวลา

และท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้จัดการ บริษัท วี เอส แอล (ไทยแลนด์) จำกัด คุณชาติ เมฆพิศุทธิ์ไพโรจน์ ที่ได้กรุณาให้ผู้วิจัยลางาน ตลอดจนเพื่อนๆ ผู้ร่วมงานซึ่งช่วยแบกรับภาระการงานแทนผู้วิจัย จนกระทั่งสามารถปลื้มตัวมาทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีในที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ด
สัญลักษณ์.....	น
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
งานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
ขอบข่ายของงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	7
ทฤษฎีทางด้านอากาศพลศาสตร์.....	7
สมการเบอร์นูลลี.....	7
กฎยกกำลัง.....	8
ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น.....	9
การกระจายค่าปลายสุดแบบที่ 1.....	10
สหสัมพันธ์อย่างง่าย.....	12
บทที่ 3 การทดสอบภายในอุโมงค์ลม.....	20
ความนำ.....	20
ประเภทของอุโมงค์ลม.....	21
ประเภทของแบบจำลอง.....	21
ข้อกำหนดทางด้านความคล้ายคลึงกัน.....	22
อัตราการย่อส่วนของตัวประกอบพื้นฐาน.....	25
คำสัมประสิทธิ์ความดันลม.....	27
การทดสอบแบบจำลองแบบแข็งโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER.....	28

บทที่ 4	การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความดันลมสูงสุดสำหรับการออกแบบผนังรอบอาคาร.....	47
	สมมติฐาน.....	47
	การหาค่าความเร็วลมสูงสุดสำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี จากข้อมูลลม.....	47
	การวิเคราะห์หาค่าความดันลมสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดจากผลการทดสอบ	
	ภายในอุโมงค์ลมโดยไม่พิจารณาถึงผลกระทบของทิศทางลม.....	48
	การหาค่าความดันลมออกแบบโดยอาศัยข้อกำหนดของสถาบันมาตรฐาน	
	แห่งชาติอเมริกา ANSI CODE A58.1-1982.....	49
	การวิเคราะห์หาค่าความดันลมสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดจากผลการทดสอบ	
	ภายในอุโมงค์ลมโดยพิจารณาถึงผลกระทบของทิศทางลม.....	53
บทที่ 5	ผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบ.....	58
	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุดและค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดูดสูงสุด	
	จากผลการทดสอบภายในอุโมงค์ลม.....	58
	ค่าความดันลมสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดจากผลการทดสอบภายในอุโมงค์ลม	
	โดยไม่พิจารณาถึงผลกระทบของทิศทางลม.....	59
	ค่าความดันลมออกแบบ ตามข้อกำหนดของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกา	
	ANSI CODE A58.1-1982.....	60
	ค่าความดันลมสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุดจากผลการทดสอบภายในอุโมงค์ลม	
	ซึ่งพิจารณาผลกระทบของทิศทางลม ตามแนวทางที่เสนอโดย Simiu และ	
	Filliben [5].....	60
	การเปรียบเทียบค่าความดันลมสูงสุดและหน่วยแรงดูดสูงสุด.....	61
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัย.....	74
	รายการอ้างอิง.....	76
	ภาคผนวก.....	79
	ภาคผนวก ก.....	80
	ภาคผนวก ข.....	92
	ภาคผนวก ค.....	165
	ภาคผนวก ง.....	202
	ประวัติผู้ศึกษา.....	219

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	รายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ ตามข้อกำหนดของ ANSI A58.1-1982.[10]..14
ตารางที่ 2-2	รายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ ตามข้อกำหนดของDavenport [9].....15
ตารางที่ 5-1	การเปรียบเทียบค่าความดันลมออกแบบสูงสุด (Peak Wind Pressure) ที่ได้จากวิธีการต่างๆ.....63
ตารางที่ 5-2	การเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมดูดสูงสุด (Peak Wind Suction) ที่ได้จากวิธีการต่างๆ.....64
ตารางที่ 5-3	การเปรียบเทียบค่าความดันลมออกแบบสูงสุด (Peak Wind Pressure) สำหรับการทดสอบภายในอุโมงค์ลม เมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาผลของทิศทางลม.....65
ตารางที่ 5-4	การเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงลมดูดสูงสุด (Peak Wind Suction) สำหรับการทดสอบภายในอุโมงค์ลม เมื่อพิจารณาและไม่พิจารณาผลของทิศทางลม.....66
ตารางที่ ก-1	ค่าสัมประสิทธิ์ β ซึ่งขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ.....81
ตารางที่ ก-2	ค่าระยะความขรุขระ, Z_082
ตารางที่ ข-1	รายละเอียดการแบ่งทิศทางลม สำหรับการทดสอบ ภายในอุโมงค์ลม.....93
ตารางที่ ข-2	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมดูดสูงสุด สำหรับทิศทางลม 0 องศา ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....94
ตารางที่ ข-3	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมดูดสูงสุด สำหรับทิศทางลม 45 องศา ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....95
ตารางที่ ข-4	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมดูดสูงสุด สำหรับทิศทางลม 90 องศา ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....96
ตารางที่ ข-5	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมดูดสูงสุด สำหรับทิศทางลม 135 องศา ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....97
ตารางที่ ข-6	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมดูดสูงสุด สำหรับทิศทางลม 180 องศา ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....98
ตารางที่ ข-7	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมดูดสูงสุด สำหรับทิศทางลม 225 องศา ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....99

ตารางที่ ข-64	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ G.....	156
ตารางที่ ข-65	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ A.....	157
ตารางที่ ข-66	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ B.....	158
ตารางที่ ข-67	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ C.....	159
ตารางที่ ข-68	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ D.....	160
ตารางที่ ข-69	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ E.....	161
ตารางที่ ข-70	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ F.....	162
ตารางที่ ข-71	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ตำแหน่งวัดความดันลมระดับ G.....	163
ตารางที่ ข-72	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จากทุกทิศทางลม ในแต่ละระดับสำหรับแต่ละด้านของอาคาร.....	164
ตารางที่ ค-1	รายละเอียดการแบ่งทิศทางลมของสถานีตรวจอากาศดอนเมือง.....	166
ตารางที่ ค-2	ลักษณะสภาพภูมิประเทศในแต่ละทิศทางลมของสถานีตรวจอากาศ ดอนเมือง (อ้างอิงจาก Davenport [9]).....	167
ตารางที่ ค-3	ความเร็วลมสูงสุด (เมตร/วินาที) ที่ระดับความสูง 18.80 ม. จากระดับ พื้นดินใน 8 ทิศทางลมสำหรับช่วงเวลา 5 วินาที ณ สถานีตรวจอากาศ ดอนเมือง ช่วงปี พ.ศ.2494 ถึง ปี พ.ศ.2533.....	168
ตารางที่ ค-3 (ต่อ)	ความเร็วลมสูงสุด (เมตร/วินาที) ที่ระดับความสูง 18.80 ม. จากระดับ พื้นดินใน 8 ทิศทางลมสำหรับช่วงเวลา 5 วินาที ณ สถานีตรวจอากาศ ดอนเมือง ช่วงปี พ.ศ.2494 ถึง ปี พ.ศ.2533.....	169

ตารางที่ ค-4	ความเร็วลมสูงสุด (เมตร/วินาที) ที่ระดับความสูง 18.80 ม. จากระดับพื้นดินใน 8 ทิศทางลมสำหรับช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจอากาศคอนเมือง ช่วงปี พ.ศ.2494 ถึง ปี พ.ศ.2533.....	170
ตารางที่ ค-4(ต่อ)	ความเร็วลมสูงสุด (เมตร/วินาที) ที่ระดับความสูง 18.80 ม. จากระดับพื้นดินใน 8 ทิศทางลมสำหรับช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจอากาศคอนเมือง ช่วงปี พ.ศ.2514 ถึง ปี พ.ศ.2533.....	171
ตารางที่ ค-5	ความเร็วลมเกรเดียนต์ (เมตร/วินาที) ใน 8 ทิศทางลม สำหรับช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจอากาศคอนเมือง ช่วงปี พ.ศ.2494 ถึง ปี พ.ศ. 2533	172
ตารางที่ ค-5(ต่อ)	ความเร็วลมเกรเดียนต์ (เมตร/วินาที) ใน 8 ทิศทางลม สำหรับช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ณ สถานีตรวจอากาศคอนเมือง ช่วงปี พ.ศ.2494 ถึง ปี พ.ศ.2533.....	173
ตารางที่ ค-6	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม A33 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	174
ตารางที่ ค-6 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม A33 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	175
ตารางที่ ค-7	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม B39 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	176
ตารางที่ ค-7 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม B39 ช่วงปี พ.ศ 2594 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	177
ตารางที่ ค-8	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม C26 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	178
ตารางที่ ค-8 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม C26 ช่วงปี พ.ศ 2594 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	179
ตารางที่ ค-9	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม D37 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	180
ตารางที่ ค-9 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม D37 ช่วงปี พ.ศ 2594 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	181

ตารางที่ ค-17	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม E9 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	196
ตารางที่ ค-17 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม E9 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	197
ตารางที่ ค-18	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม F13 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	198
ตารางที่ ค-18 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม F13 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	199
ตารางที่ ค-19	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม G22 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	200
ตารางที่ ค-19 (ต่อ)	ค่าตัวแปรสุ่ม r^{dir} ตำแหน่งวัดความดันลม G22 ช่วงปี พ.ศ 2494 ถึง ปี พ.ศ.2533 สำหรับค่าหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	201



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1	ขั้นตอนการหาค่าความดันลมสูงสุด สำหรับการออกแบบผนังรอบอาคาร โดยพิจารณาถึงผลกระทบของทิศทางลมตามแนวทางของ Davenport [2].....	6
รูปที่ 2-1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมและความสูงจากระดับพื้นสำหรับภูมิประเทศแบบต่างๆ โดยกฎยกกำลัง [13].....	16
รูปที่ 2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมและความสูงจากระดับพื้นดินภายในบาวดารีเลเยอร์ สำหรับภูมิประเทศแบบต่างๆ โดยกฎยกกำลัง [13].....	16
รูปที่ 2-3	การเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลม V ตามเวลา t	17
รูปที่ 2-4	การเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วลม V ตามเวลา t ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนของค่าความเร็วลมเฉลี่ย, \bar{V} และค่าความเร็วลมกรรโชก V' [14].....	17
รูปที่ 2-5	ลักษณะของขบวนการสุ่มแบบต่างๆ [14] ก) ขบวนการสุ่มแบบไม่เคลื่อนที่ ข), ค), ง) ขบวนการสุ่มซึ่งมีค่าเฉลี่ยและ/หรือค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงตามเวลา.....	18
รูปที่ 2-6	ขบวนการสุ่มแบบไม่เคลื่อนที่เออร์กอดิก [14].....	19
รูปที่ 2-7	ลักษณะของขบวนการสุ่ม ที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องทางด้านสถานะและเวลา [15].....	19
รูปที่ 3-1	อุโมงค์ลม [14].....	32
รูปที่ 3-2	อุโมงค์ลมที่มีอุปกรณ์แบบพาสซีฟ [14].....	33
รูปที่ 3-3	อุโมงค์ลมที่มีอุปกรณ์แบบแอคทีฟ [14].....	33
รูปที่ 3-4	ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER [18].....	34
รูปที่ 3-5	แปลนแบบจำลองโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER และอาคารข้างเคียงภายในรัศมี 300 เมตร [18].....	35
รูปที่ 3-6	ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม สำหรับระดับชั้นความสูง A ถึง F [18].....	36
รูปที่ 3-7	ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม สำหรับระดับชั้นความสูง G [18].....	37
รูปที่ 3-7a	ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน A.....	38
รูปที่ 3-7b	ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน B.....	39
รูปที่ 3-7c	ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน C.....	40

รูปที่ 3-7d	ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัดความดันลม ด้าน D.....	41
รูปที่ 3-8	แบบจำลองของโครงการอาคาร JEWELRY TRADE CENTER และอาคารข้างเคียงหลังจากติดตั้งภายในอุโมงค์ลม [18].....	42
รูปที่ 3-9	แสดงการติดตั้งสไปร์และบล็อกสี่เหลี่ยมบนพื้นของอุโมงค์ลมเพื่อให้เกิดการก่อตัวของบาวคาร์ลีเลเยอร์ [14].....	43
รูปที่ 3-10	ค่าความแรงของการไหลวน และการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมตามความสูงของลมจำลองที่ใช้ในการทดสอบภายในอุโมงค์ลม.....	44
รูปที่ 3-11	การจัดอุปกรณ์วัดความดันลม.....	45
รูปที่ 3-12	แผนภูมิการทดสอบแบบจำลองแบบแข็ง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดโครงการ JEWELRY TRADE CENTER.....	46
รูปที่ 5-1	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม A33. สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	67
รูปที่ 5-2	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม B39 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	67
รูปที่ 5-3	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม C26 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	68
รูปที่ 5-4	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม D37 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	68
รูปที่ 5-5	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม E23 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	69
รูปที่ 5-6	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม F24 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	69
รูปที่ 5-7	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม G24 สำหรับค่าความดันลมสูงสุด.....	70
รูปที่ 5-8	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม A26 สำหรับหน่วยแรงลมสูงสุด.....	70

รูปที่ 5-9	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม B39 สำหรับหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	71
รูปที่ 5-10	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม C27 สำหรับหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	71
รูปที่ 5-11	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม D9 สำหรับหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	72
รูปที่ 5-12	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม E9 สำหรับหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	72
รูปที่ 5-13	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม F13 สำหรับหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	73
รูปที่ 5-14	การกระจายของตัวแปรสุ่ม, r^{dir} ในแต่ละปี ตำแหน่งวัดความดันลม G22 สำหรับหน่วยแรงลมจุดสูงสุด.....	73
รูปที่ ก-1	แผนที่แสดงค่าความเร็วลมพื้นฐาน ในเขตพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกา (American National Standard Institute) [10].....	83
รูปที่ ก-2	ตารางสรุปวิธีการวิเคราะห์ค่าความดันลมออกแบบสำหรับโครงสร้างหลักและผนังรอบอาคารตามวิธีของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกา (ANSI) [10].....	84
รูปที่ ก-3	ตารางแสดงค่าตัวประกอบความสำคัญ, I และค่าตัวประกอบภูมิประเทศความดันลมพลวัต, K_z ซึ่งใช้ในการหาค่าความดันลมพลวัตที่ระดับความสูงใดๆจากพื้นดินตามวิธีของ ANSI [10].....	85
รูปที่ ก-4	ตารางแสดงค่าตัวประกอบแรงลมกรรโชก G_h และ G_z และค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมภายในอาคาร, GC_{pi} ซึ่งใช้ในการหาค่าความดันลมออกแบบสำหรับผนังรอบอาคารตามวิธีของ ANSI [10].....	86
รูปที่ ก-5	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอก, GC_p , ซึ่งใช้ในการหาค่าความดันลมออกแบบสำหรับผนังรอบอาคารสำหรับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 60 ฟุต ตามวิธีของ ANSI [10].....	87
รูปที่ ก-6	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอก, GC_p , ซึ่งใช้ในการหาค่าความดันลมออกแบบสำหรับผนังรอบอาคาร สำหรับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 60 ฟุต ตามวิธีของ ANSI [10] (ใช้ประกอบกับรูปที่ (ก-5)).....	88

รูปที่ ก-7	ค่าสัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอก, GC_p , ซึ่งใช้ในการหาค่าความดันลมออกแบบ สำหรับผนังรอบอาคาร สำหรับอาคารที่มีความสูงเกิน 60 ฟุต ตามวิธีของ ANSI [10].....	89
รูปที่ ก-8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C(t)$ และเวลา, t (วินาที) สำหรับใช้ในการแปลงค่า ความเร็วลมระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ย 1 ชั่วโมง และค่าความเร็วไมล์สูงสุด [6].....	90
รูปที่ ก-9	ค่าอัตราส่วนความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาใดๆ ต่อความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง [10].....	91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์



A, B	เหตุการณ์
Cov(X, Y)	ค่าความแปรปรวนร่วมของ X และ Y
Cp	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวนภายนอก จากสมการที่ (4-10)
Cpi	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวนภายใน จากสมการที่ (4-10)
C _{PMAX} , C _{PMIN}	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวนสูงสุด, ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมจุดสูงสุด
\bar{C}_p	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวนเฉลี่ย
C _p ^v	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวนสูงสุด
C(t)	ค่าสัมประสิทธิ์จากรูปที่ ก-8
Cp(αi)	ค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวนในทิศทาง αi
D	มิติของแบบจำลอง
Dn/U	ค่าความถี่ลดรูป
E(X)	ค่าคาดหวังของตัวแปรสุ่ม X
E(Y)	ค่าคาดหวังของตัวแปรสุ่ม Y
E[X(t)]	ค่าคาดหวังของตัวแปรสุ่ม X(t)
f _{Yn} (y)	ฟังก์ชันความหนาแน่นของตัวแปรสุ่ม Yn
F	แรงที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง
F _X (x), F _X (y)	ฟังก์ชันการกระจายของตัวแปรสุ่ม X และ Y
F _{Yn} (y)	ฟังก์ชันการกระจายของตัวแปรสุ่ม Yn
F _U (u)	ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดค่าความเร็วลม แล้วไม่เกินค่า U
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
G	ค่าความเร็วลมเกรเดียนต์ และค่าตัวประกอบแรงลมกรรโชก จากสมการที่ (4-10)
G(N),G(NE),G(E),	ค่าความเร็วลมเกรเดียนต์ในแนวทิศเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ,
G(SE),G(S),G(SW),	ทิศตะวันออก, ทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศใต้, ทิศตะวันตกเฉียงใต้,
G(W), G(NW)	ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตามลำดับ
I	ตัวประกอบความสำคัญ
j	ลำดับที่ของข้อมูล

K_z	ตัวประกอบภูมิประเทศ - ความดันพลวัต
L	ช่วงเวลาในการหาค่าความเสี่ยงและมิติของแบบจำลอง
L_m	มิติของแบบจำลอง
L_p	มิติของต้นแบบ
m	ลำดับที่ของข้อมูล
M	ค่ามวลของแบบจำลอง
n	จำนวนประชากร, ค่าความถี่ธรรมชาติของแบบจำลอง
N	จำนวนของข้อมูล
$Np^v(p)$	อัตราการข้ามขอบเขตของความดันลมสูงสุด p
p	ค่าความดันสถิตย์ ในสมการที่ (2-1)
$p(t)$	ค่าความดันลมที่เวลา t ใดๆ
\bar{p}	ค่าความดันลมเฉลี่ย
p^v	ค่าความดันลมสูงสุด
$P(A)$	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A
$P(B)$	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ B
$P(A/B)$	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A เมื่อเกิดเหตุการณ์ B
$P(B/A)$	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ B เมื่อเกิดเหตุการณ์ A
$P(A \cap B)$	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ B พร้อมกัน
P_{MAX}, P_{MIN}	ค่าความดันลมสูงสุด, หน่วยแรงลมจุดสูงสุด
P_o	ค่าความดันลมสถิตย์
q	ค่าความดันลมพลวัต
q_h	ค่าความดันลมพลวัตที่ระดับยอดอาคารที่มีความสูง h ฟุต จากระดับพื้นดิน จากสมการที่ (4-10)
q_z	ค่าความดันลมพลวัตที่ระดับความสูง Z ฟุต
r	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย จากสมการที่ (2-32) ค่าตัวแปรยกกำลังในสมการที่ (3-11) และค่าตัวแปรสำหรับคาบการกลับใดๆ จากสมการที่ (4-26)
r^{dir}	ตัวแปรสัมพันธ์ตามแนวทางที่เสนอโดย Simiu และ Filliben [5]
R_p	คาบการกลับจากสมการที่ (4-4)
$R_x(P)$	คาบการกลับสำหรับความดันลมสูงสุด p

T	คาบของเวลา, เวลาสำหรับแบบจำลอง
Tm	เวลาของแบบจำลอง
Tp	เวลาของคันแบบ
U	ค่าความเร็วของของไหล, ค่าความเร็วลมสำหรับคาบการกลับใดๆ จากสมการที่ (4-2)
Un	ฐานนิยมของตัวแปรสุ่ม สำหรับการกระจายค่าปลายสุดแบบที่ 1
U/Dn, Ut/D	ค่าความเร็วลครูป
U(10) _A , U(10) _C	ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร ในสภาพภูมิประเทศแบบ A และ C
U(Z _{g1}) , U(Z _{g2})	ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง Z _{g1} และ Z _{g2} ตามลำดับ
Ut(10)	ค่าความเร็วไมล์สูงสุด เฉลี่ยในช่วงเวลา t วินาที ที่ระดับความสูง 10 เมตร จากระดับพื้นดินในสภาพภูมิประเทศแบบ C สำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี มีหน่วยเป็น ไมล์/ชั่วโมง ในสมการที่ (4-17)
\bar{U}^2	ค่าความเปลี่ยนแปลงของการไหลวนตามแนวยาว
V	ค่าความเร็วลมพื้นฐาน ซึ่งเป็นค่าความเร็วไมล์สูงสุด ที่ระดับความสูง 33 ฟุต (10 เมตร) ในสภาพภูมิประเทศแบบ C สำหรับคาบการกลับที่ 50 ปี มีหน่วย เป็น ไมล์/ชั่วโมง สมการที่ (4-17)
Var(X) , Var(Y)	ค่าความแปรปรวนของ X และ Y
V(α _i)	ค่าความเร็วลมสูงสุดในทิศทาง α _i
V(α _i) _{M/S} , V(α _i) _{Knot}	ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 18.80 เมตร ในทิศทาง α _i จากสมการที่ (4-20) ในหน่วย เมตร/วินาที และน็อต ตามลำดับ
V(α _i) _{HR} , V(α _i) _{SEC}	ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 18.80 เมตร ในทิศทาง α _i ในหน่วย เมตร/วินาที สำหรับช่วงเวลา 1 ชั่วโมง และ 5 วินาที ตามลำดับ
V _p (α, p)	ค่าความเร็วลมในทิศทาง α ที่ทำให้เกิดความดันลมสูงสุด p
\bar{V}	ค่าความเร็วลมสถิติ
V'	ค่าความเร็วลมกรรโชก
X ₁ , X ₂ ,.....X _n	ตัวแปรสุ่ม
Y ₁ , Y ₂ ,.....Y _n	ตัวแปรสุ่ม
Z _{g1} , Z _{g2}	ค่าความสูงจากระดับพื้นดิน
Z _o	ค่าระยะความขรุขระ ดังแสดงในตารางที่ ก-2

Z_r	ค่าความสูงอ้างอิงจากระดับพื้นดิน
α	ทิศทางลม, ค่าตัวเลขยกกำลัง
α_i	ทิศทางลมที่ i
$1/\alpha_n$	สัมประสิทธิ์การกระจายของตัวแปรสุ่ม สำหรับการกระจายค่าปลายสุดแบบที่ 1
β	ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ ดังแสดงในตารางที่ ก-1
$\alpha, \beta, r, \delta, \epsilon$	ตัวแปรยกกำลังในสมการที่ (3-1) และสมการที่ (3-8)
δ	ค่าความสูงเกรเดียนต์
ρ	ค่ามวลของอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย จากสมการที่ (2-31), ค่ามวลของของไหล
$\rho D/\mu$	ตัวเลขเรโนลด์
$1/2 \rho v^2$	ค่าความดันพลวัต ในสมการที่ (2-1)
$1/2 \rho V_o^2$	ค่าความดันลมพลวัตอ้างอิง
$\lambda_L, \lambda_T, \lambda_V$	อัตราการย่อส่วนทางด้านมิติ, เวลาและความเร็ว
μ^*	ค่าความเร็วเสียดทาน
$\phi_{(x)}, \phi_{(y)}$	ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม X และ Y

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย