4

การวิเคราะห์พลศาสตร์ของอาคารสูงภายใต้แรงลม

นายวิศิษย์ เพชรภูวดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531

ISBN 974-568-545-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014159

i17430957

DYNAMICS ANALYSIS OF TALL BUILDINGS SUBJECTED TO WIND LOAD

Mr.Wisit Petchphuvadee

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-560-545-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์พลศาสตร์ของอาคารสูงภายใต้แรงลม
โดย	นายวิศิษย์ เพชรภูวดี
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

_____กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

_____กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

_____กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

_____กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์)

วิศิษย์ เพชรภูวดี : การวิเคราะห์พลศาสตร์ของอาคารสูงภายใต้แรงลม (DYNAMICS ANALYSIS OF TALL BUILDINGS SUBJECTED TO WIND LOAD) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์, 109 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างประเภทโครงข้อแข็งในระนาบ (Plane Frame) ภายใต้แรงลมโดยใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์สองทฤษฎี คือ ทฤษฎีสถิตยศาสตร์ (Statics) และทฤษฎีพลศาสตร์ (Dynamics) ในการวิเคราะห์โดยทฤษฎีสถิตยศาสตร์ ขนาดแรงลมที่ใช้มีค่าตามข้อกำหนดของเทศบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 ส่วนการวิเคราะห์โดยทฤษฎีพลศาสตร์ ใช้ข้อมูลลมจำลองจากลมที่เกิดขึ้นจริงในเขตกรุงเทพมหานคร ตามที่ได้มีการศึกษาไว้แล้ว และข้อมูลแรงลมที่เกิดขึ้นจริง ตามกราฟลมมุนโรไดน์ ของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่วัดจากสถานีตรวจอากาศกรุงเทพมหานคร ถนนสุขุมวิท ระหว่าง ปี พ.ศ. 2512 ถึง พ.ศ. 2519 โดยขนาดความเร็วสูงสุดเท่ากับ 110.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความสูงจากพื้นดิน 45 เมตร

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ได้นำหลักทฤษฎีพลศาสตร์มาประยุกต์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยให้การวิเคราะห์สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยใช้วิธีแอ็คทิฟว์คอลัมน์ (Active Column Method) ในการลดระดับขั้นความเสรี ใช้วิธีการทำซ้ำในสเปซย่อย (Subspace Iteration Method) ในการแก้ปัญหาเจาะจง (Eigenproblem) และใช้วิธีรวมโหมด (Modal Superposition Method) ในการหาการตอบสนองของโครงสร้าง

การศึกษาพบว่า สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 15 ชั้น ผลการวิเคราะห์แบบสถิตยศาสตร์ที่ใช้ขนาดแรงลมตามเทศบัญญัติของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 จะให้ค่าการตอบสนองของโครงสร้างใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลลมจำลองจากลมที่เกิดขึ้นจริงในเขตกรุงเทพมหานคร

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต วิศิษย์ เพชรภูวดี

สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง

ปีการศึกษา 2530-31 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

WISIT PETCHPHUVADEE : DYNAMICS ANALYSIS OF TALL BUILDINGS SUBJECTED TO WIND LOAD. THESIS ADVISOR : PROF.THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D, THESIS CO-ADVISOR : ASST.PROF.ROENGDEJA RAJATABHOTHI, Ph.D, 109 PP.

The research compares the results of the analysis of plane frames subjected to wind load. Two theories, statics and dynamics, were employed to obtain the structural responses. The lateral load used in the static analysis was in accordance with the Wind Load Code under the Bangkok Metropolitan Act (1979). The dynamic analysis, on the other hand, utilized wind simulation for Bangkok in a previous study, together with actual wind data recorded by the Meteorological Department during 1969 - 1976 at the Bangkok Metropolitan Station on Sukhumvit Road. The maximum wind velocity was 110.1 kilometers per hour at a height of 45 meters above ground level.

In analysing the results, a dynamic analysis program was written for the microcomputer in order to expedite the analyses. The active column method was used in reducing the degrees of freedom and the method of subspace iteration was employed in solving the eigenproblem. The structural responses were calculated using the modal superposition method.

It was found that for a 15 - story reinforced concrete building the structural responses calculated by static analysis were similar to those calculated by dynamic analysis.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง

ปีการศึกษา 2530-31 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย ตลอดจนกรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้กรุณาให้ข้อมูลมาใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จึงกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตารางประกอบ.....ฌ
สารบัญรูปประกอบ.....ญ
สัญญลักษณ์.....ฏ
บทที่
1 บทนำ.....1
1.1 ความนำ.....1
1.2 ความเป็นมาของปัญหาในการวิจัย.....1
1.3 ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....4
1.6 สมมุติฐาน.....4
2 การวิเคราะห์ข้อมูลลม.....6
2.1 ความนำ.....6
2.2 แรงลม.....7
2.3 ระดับชั้นของความเร็วลม.....8
3 การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์.....11
3.1 ความนำ.....11
3.2 วิธีอินทิเกรตโดยตรง.....11
3.3 วิธีการรวมโหมด.....12
3.4 การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์.....17
4 โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์.....21
4.1 ความนำ.....21
4.2 การป้อนข้อมูล.....21
4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์.....23
4.4 การทำงานของโปรแกรมย่อย.....27

บทที่ หน้า

5 ตัวอย่างการวิเคราะห์.....29

5.1 ความนำ.....29

5.2 ตัวอย่างที่ 1.....29

5.3 ตัวอย่างที่ 2.....31

6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....42

6.1 สรุปผลการวิจัย.....42

6.2 ข้อเสนอแนะ.....43

เอกสารอ้างอิง.....44

ภาคผนวก.....46

ภาคผนวก ก วิธีการป้อนข้อมูลและการแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูล.....47

ภาคผนวก ข รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....68

ประวัติ.....109

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าคงที่ α และ Z_{α}	8
5.1	ขนาดของเสาและคานของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (ตัวอย่างที่ 2)	31
5.2	ขนาดของหน่วยแรงลมตามเทศบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522	31
5.3	พื้นที่หน้าตัด โมเมนต์อินเนอร์เชีย และมวล ของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น	33
5.4	ค่าการสั่นไหวแบบอิสระของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (ตัวอย่างที่ 2)	33
5.5	เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อาคารสูง 15 ชั้น	41
5.6	เวลาการทำงานของโปรแกรมย่อยในตัวอย่างที่ 2	41

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ K_z	10
4.1	ตัวประกอบของแรงลมกรรโชก G	10
4.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	22
4.2	แผนภูมิแสดงการทำงานของการวิเคราะห์	22
4.3 ก	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป	25
4.3 ข	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป (ต่อ)	26
4.3 ค	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสังเขป (ต่อ)	27
5.1	โครงข้อแข็ง ตัวอย่างที่ 1	30
5.2	โครงข้อแข็ง ตัวอย่างที่ 2	34
5.3	ลักษณะและขนาดของแรงลมตามเทศบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522	35
5.4	ลักษณะแรงลมพลศาสตร์ที่กระทำกับโครงสร้างสูง 15 ชั้น	36
5.5	กราฟลมจำลองแรงลมจากเอกสารอ้างอิงที่ (6) ที่ความสูงจากพื้นดิน 45 เมตร	37
5.6	ลักษณะและขนาดของกราฟลมมุนโรไดน์ ที่ความสูงจากพื้นดิน 9 เมตร (11)	37
5.7	เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวราบที่ข้อต่อ 61 ตัวอย่างที่ 2	38
5.8	เปรียบเทียบแรงในแนวแกนที่ข้อต่อ 1 ตัวอย่างที่ 2	38
5.9	เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ข้อต่อ 2 ตัวอย่างที่ 2	39
5.10	เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ข้อต่อ 2 ตัวอย่างที่ 2	39
5.11	เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ชิ้นส่วน 27 ข้อต่อ 18 ตัวอย่างที่ 2	40
5.12	เปรียบเทียบโมเมนต์ที่ชิ้นส่วน 27 ข้อต่อ 18 ตัวอย่างที่ 2	40

สัญญาลักษณ์

A	=	มุมของความเร็วลมที่กระทำกับแกนหมุนของโลก
C	=	เมตริกซ์ของความหน่วง
C_P	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความดันลม
dn	=	ระยะทางระหว่างเส้นความกดอากาศ
dP	=	ความแตกต่างระหว่างเส้นความกดอากาศ
F	=	แรงเสียดทาน
F_C	=	Coriolis Force
F_C'	=	แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force)
F_P	=	แรงดันลม
G	=	ตัวประกอบของแรงลมกรรโชก (Gust Factor)
$\underset{\sim}{K}$	=	เมตริกซ์ของสติฟเนส
K_Z	=	ค่าสัมประสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเป็นความดันลม
k	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
L	=	ความยาวของชิ้นส่วนของโครงสร้าง
$\underset{\sim}{M}$	=	เมตริกซ์ของมวล
m	=	มวลต่อหน่วยความยาวบนชิ้นส่วนของโครงสร้าง
m_K	=	ความกว้างของแถบสมมาตร (Half-band Width)
n	=	ระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom)
P	=	ความดันลม
p	=	จำนวนโหมดที่สำคัญ
Q	=	ความดันของความเร็วลม
Q_{eff}	=	ความดันประสิทธิผล
Q_Z	=	ความดันของความเร็วลมที่ความสูง Z
q	=	จำนวนโหมดที่การคำนวณ = min (2p, p+8, n)
$\underset{\sim}{R}$	=	เวคเตอร์ของแรงกระทำภายนอก
r	=	รัศมีความโค้งของโลก
S	=	จำนวนช่วงเวลาที่ทำการอินทิเกรต
T	=	เวลาที่มากที่สุดของการอินทิเกรต
t	=	เวลาใด ๆ
Δt	=	ช่วงเวลาในการอินทิเกรต
$\underset{\sim}{U}$	=	เวคเตอร์ของการเคลื่อนที่

$\dot{\underset{\sim}{U}}$ = เวคเตอร์ของความเร็ว

$\ddot{\underset{\sim}{U}}$ = เวคเตอร์ของอัตราเร่ง

$\underset{\sim}{U}_o$ = เวคเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่ t = 0

$\dot{\underset{\sim}{U}}_o$ = เวคเตอร์ของความเร็วที่ t = 0

$\ddot{\underset{\sim}{U}}_o$ = เวคเตอร์ของอัตราเร่งที่ t = 0

V = ความเร็วลม

V_{30} = ความเร็วลมที่ความสูงจากพื้นดิน 30 ฟุต

$\underset{\sim}{X}$ = เวคเตอร์ของการเคลื่อนที่ทั่วไป

Z = ความสูงจากพื้นดิน

Z_g = Gradient Height

$\underset{\sim}{\Phi}$ = เมตริกซ์ของการแปลงเมตริกซ์

$\underset{\sim}{\phi}$ = เวคเตอร์ของรูปแบบของโหมด

$\underset{\sim}{\Omega}$ = เมตริกซ์ของค่าความถี่ของการสั่นไหวแบบอิสระ

ω = ค่าความถี่ของการสั่นไหวแบบอิสระ

ξ = อัตราการสูญเสียพลังงาน

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

λ = ละติจูดของจุดที่กำลังพิจารณา

α = พารามิเตอร์ของกฎแห่งกำลัง (Power-law Parameter)

α_1 = เงื่อนไขเริ่มต้นของโครงสร้าง

β_1 = เงื่อนไขเริ่มต้นของโครงสร้าง