โปรแกรมการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงข้อแข็ง 2 มิติที่ติดระบบมวลหน่วงปรับค่า

นาย ภาณุพงศ์ ไตรธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0444-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

21 ส.ค. 2545

A DYNAMIC ANALYSIS PROGRAM FOR 2-D FRAMES WITH TUNED MASS DAMPERS

Mr. Panupong Tritham

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0444-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงข้อแข็ง 2 มิติที่ติดระบบมวลหน่วงปรับค่า
โดย	นาย ภาณุพงศ์ ไตรธรรม
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงเดชา รัชตโพธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย)

ภาณุพงศ์ ไตรธรรม : โปรแกรมการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงข้อแข็ง 2 มิติที่ติดระบบมวลหน่วงปรับค่า. (DYNAMIC ANALYSIS PROGRAM FOR FRAMES 2-D WITH TUNED MASS DAMPERS) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว, 165 หน้า. ISBN 974-13-0444-7.

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงข้อแข็ง 2 มิติ ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า รับแรงแผ่นดินไหวและแรงลม การวิเคราะห์มีสมมติฐานให้โครงสร้างอยู่ในช่วงเชิงเส้นอีลาสติก ทำการหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้างโดยแก้ปัญหาเจาะจง (Eigenvalue Problem)ด้วยฟังก์ชันของ MATLAB โดยวิธีกระทำซ้ำผกผันด้วยค่าข้าม และวิเคราะห์เชิงพลวัตด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงโหมด โดยการจัดรูปสมการตามวิธีสถานะปริภูมิเวกเตอร์

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่พัฒนาได้ทำการเปรียบเทียบ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอย่างทั้งในกรณีการวิเคราะห์เชิงสถิตและเชิงพลวัติเปรียบเทียบกับโปรแกรม STAAD III และ ในกรณีการวิเคราะห์เชิงพลวัติของโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับค่าผลเฉลยแม่นตรง (Exact solution) พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาให้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับโปรแกรม STAAD III และค่าผลเฉลยแน่นอน

นอกจากนี้ได้ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อออกแบบโครงสร้าง 10 ชั้น 1ช่วงคานและ 3 ช่วงคานติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า รับแรงแผ่นดินไหวโดยซึ่งใช้บันทึกคลื่นแผ่นดินไหว El Centro 1940 และแรงลม โดยดูผลของอัตราส่วนมวลของมวลหน่วงปรับค่าและผลคลาดเคลื่อนในการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า เพื่อหาพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าที่เหมาะสม พบว่าอัตราส่วนมวลที่เหมาะสมของตัวอย่างโครงสร้างที่ออกแบบอยู่ในช่วง 0.03-0.07 และเมื่อมีความคลาดเคลื่อนในการตั้งค่าความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าคลาดเคลื่อนมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป มวลหน่วงปรับค่าจะไม่ช่วยลดการสั่นไหวอย่างมีนัยสำคัญ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2543

4170634621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: FRAMES / TUNED MASS DAMPER / DYNAMIC ANALYSIS

PANUPONG TRITHAM : DYNAMIC ANALYSIS PROGRAM FOR 2 – D FRAMES WITH TUNED MASS DAMPERS. THESIS ADVISOR : ASSIT PROF. TOSPOL PINKAEW, Ph.D. 165 pp.

ISBN 974-13-0444-7.

This research develops a computer program for dynamic analysis of linear elastic 2-D frames with tuned mass dampers (TMDs). Subjected to dynamic loads, such as earthquake and wind loadings. Invert iteration with shift method is employed to identify the natural frequencies and mode shapes of structures. Modal method is adopted for dynamic analysis with help of the state - space vector representation calculate time history respond of structure.

To verify the developed program, the results of static analysis of the example structures are compared with those from STAAD III. While the result dynamic analysis of the example structures with TMD are compared with exact solution. The comparison indicate that obtain result from the program are consistence and accurate.

Finally, the design examples of the 10- story frames with one and three bay with TMD subjected to earthquake (El Centro 1940) and wind loadings are considered. The effects of mass ratio and detuning of TMD are investigated in order to find an optimal parameters of TMD. It is found that the most effective mass ratio of TMD is around 0.03-0.07. However the error in installation of TMD which causes detuning more than 20% makes TMD's effectiveness becomes insignificant.

Department	CIVIL ENGINEERING	Student's signature	PANUPONG TRITHAM
Concentration	CIVIL ENGINEERING	Advisor's signature	Tospol P
Academic year	2000		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ติไชย ที่กรุณาเป็นกรรมการในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ของผู้ทำวิจัยที่สนับสนุนให้ผู้ทำวิจัยได้มีโอกาสทางการศึกษา

ขอขอบพระคุณทางบัณฑิตวิทยาลัยแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนที่ใช้ในการทำวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญภาพ.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ผลงานวิจัยในอดีต.....2

1.2 ปัญหาโปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า.....4

1.3 วัตถุประสงค์.....6

1.4 ขอบเขตการศึกษา.....6

1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....7

บทที่ 2 ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงสถิต

2.1 การสังเคราะห์เมตริกซ์สติฟเนส.....8

2.2 การรวมเมตริกซ์สติฟเนส.....13

2.3 การแก้สมการเชิงสถิต.....14

บทที่ 3 ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงพลวัต

3.1 โครงสร้างที่ไม่มีความหน่วง.....17

3.1.1 การสังเคราะห์เมตริกซ์มวล.....17

3.1.2 การหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหว.....19

3.1.3 การกระทำซ้ำผกผันพร้อมด้วยค่าข้าม (Inverse Iteration with Shift).....20

3.2 โครงสร้างที่มีความหน่วง.....22

3.2.1 การสังเคราะห์เมตริกซ์ความหน่วง.....23

3.2.2 การวิเคราะห์เชิงโหมด.....24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.2.2 สถานะปริภูมิเวกเตอร์ (State Space Vector)……..26

บทที่ 4 ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

4.1 โครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียวติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า……31

4.2 สมการการเคลื่อนที่โครงสร้างหลายระดับขั้นความเสรี ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า……36

4.3 การหาการตอบสนองโครงสร้างหลายระดับขั้นความเสรี ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า……38

4.4 พารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าในการออกแบบอาคาร……41

4.5 ตัวอย่างการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าในอาคารจริง……43

บทที่ 5 การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

5.1 ขั้นตอนในการคำนวณของโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า……47

5.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงสถิต……50

5.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว……54

5.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัติโครงข้อแข็ง 4 ชั้น……55

5.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงสร้างระดับความเสรีเดียวติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า……59

5.5 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงข้อแข็ง 4 ชั้น ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า……61

บทที่ 6 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

6.1 ขั้นตอนการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า……64

6.2 ข้อพิจารณาในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าในโครงสร้างจริง……65

6.3 ตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าสำหรับโครงสร้างสูง10 ชั้นรับแรงแผ่นดินไหว……66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

6.3.1 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.01.....70

6.3.2 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.03.....72

6.3.3 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.05.....73

6.3.4 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.07..... 75

6.3.5 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.1 76

6.4 ตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าสำหรับโครงสร้างสูง10 ชั้น 3 ช่วงคาน รับแรงแผ่นดินไหว.....79

6.4.1 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.01.....83

6.4.2 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.03.....84

6.4.3 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.05.....86

6.4.4 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.07..... 87

6.4.5 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.1.....89

6.5 ตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าสำหรับโครงสร้างสูง10 ชั้น 3 ช่วงคาน รับแรงลม.....92

6.5.1 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.01.....95

6.5.2 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.03.....97

6.5.3 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.05.....98

6.5.4 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.07.....100

6.5.5 โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวล 0.1.....101

บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผล.....106

7.2 เสนอแนะ.....107

รายการอ้างอิง.....108

ภาคผนวก 110

ภาคผนวก ก.....111

ภาคผนวก ข.....117

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ค.....131
ประวัติผู้เขียน.....165

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตาราง 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่า.....42
ตาราง 4.2 ข้อมูลของโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่า (Citycorp Center).....43
ตาราง 4.3 ข้อมูลของโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่า (Chiba Port Tower).....44
ตาราง 5.1 การกระจัดของโครงสร้างเทียบกับ STAAD III.....51
ตาราง 5.2 การกระจัดของโครงสร้างเทียบกับ STAAD III.....53
ตาราง 5.1 แรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างเทียบกับ STAAD III.....53
ตาราง 5.2 การเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง.....56
ตาราง 6.1 คุณสมบัติของอาคารติดมวลหน่วงปรับค่า.....66
ตาราง 6.2 คุณสมบัติของอาคารติดมวลหน่วงปรับค่า.....79
ตาราง 6.3 คุณสมบัติของอาคารติดมวลหน่วงปรับค่า.....93

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

รูปที่ 1.1 โครงสร้าง 2 ชั้น....4
รูปที่ 2.1 พิกัดของคาน....10
รูปที่ 3.1 โครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว....15
รูปที่ 3.2 แรงภายในของโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว....15
รูปที่ 3.3 ระดับขั้นความเสรีและการรวบมวลของคานและเสา....18
รูปที่ 3.4 สเปกตรัมความถี่ธรรมชาติ....20
รูปที่ 3.5 กราฟของแรงภายนอก....29
รูปที่ 4.1 โครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียวติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า....31
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบขยายและอัตราส่วนความถี่
ของแรงกระทำต่อความถี่ของโครงสร้าง....35
รูปที่ 4.3 โครงสร้างหลายระดับขั้นความเสรีเดียวติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า....36
รูปที่ 4.4 อาคาร Centerpoint และมวลหน่วงปรับค่า....43
รูปที่ 4.5 มวลหน่วงปรับค่าติดตั้งที่อาคาร Citycorp Center....45
รูปที่ 4.6 มวลหน่วงปรับค่าติดตั้งที่อาคาร Chiba Port....46
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนของโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัติของโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า....47
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงพลวัติของโปรแกรม....48
รูปที่ 5.3 โครงข้อแข็งในการวิเคราะห์เชิงสถิต....51
รูปที่ 5.4 โครงข้อแข็งในการวิเคราะห์เชิงสถิต....52
รูปที่ 5.5 แบบจำลองโครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว....54
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว....55
รูปที่ 5.7 โครงสร้างรับแรงเฉือน 4 ชั้น....56
รูปที่ 5.8 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 1....57
รูปที่ 5.9 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 2....57
รูปที่ 5.10 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 3....58
รูปที่ 5.11 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 4....58
รูปที่ 5.12 การกระจัดของโครงสร้างชั้นที่ 4....59

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 5.13 โครงสร้าง1 ระดับขั้นความเสรีติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า.....60
รูปที่ 5.14 การกระจัดโครงสร้าง1 ระดับขั้นความเสรีติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า.....60
รูปที่ 5.15 โครงสร้าง4 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า.....62
รูปที่ 5.16 การกระจัดของโครงสร้างชั้นที่ 4 เมื่อแรงมีความถี่เท่ากับ 0.3474.....62
รูปที่ 5.17 การกระจัดของโครงสร้างชั้นที่ 4 เมื่อแรงมีความถี่เท่ากับ 1.....63
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างโครงสร้าง 10ชั้น1 ช่วงคาน.....67
รูปที่ 6.2 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง.....67
รูปที่ 6.3 คลื่นแผ่นดินไหว Elcentro 1940 NS.....70
รูปที่ 6.4 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01).....71
รูปที่ 6.5 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01) 71
รูปที่ 6.6 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03) 72
รูปที่ 6.7 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03) 73
รูปที่ 6.8 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05) 74
รูปที่ 6.9 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05) 74
รูปที่ 6.10 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07) 75
รูปที่ 6.11 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07) 76
รูปที่ 6.12 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1) 77
รูปที่ 6.13 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1) 77

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 6.14 การกระจัดสูงสุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการกระจัดชั้นที่10.....78
รูปที่ 6.15 โครงสร้างในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า.....80
รูปที่ 6.16 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง.....82
รูปที่ 6.17 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01).....83
รูปที่ 6.18 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01) 84
รูปที่ 6.19 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03) 85
รูปที่ 6.20 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03) 85
รูปที่ 6.21 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05) 86
รูปที่ 6.22 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05) 87
รูปที่ 6.23 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07) 88
รูปที่ 6.24 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07) 88
รูปที่ 6.25 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1) 89
รูปที่ 6.26 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1) 90
รูปที่ 6.27 การกระจัดสูงสุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการกระจัดชั้นที่10.....91
รูปที่ 6.28 ผลของความคลาดเคลื่อนการปรับค่าความถี่ต่อการกระจัดของโครงสร้าง.....92
รูปที่ 6.29 แปลนและรูปด้านหน้าของโครงสร้างในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า.....93
รูปที่ 6.30 ความเร็วลมที่ความสูง 30 เมตร.....94
รูปที่ 6.31 แรงลมกระทำต่อโครงสร้างชั้นที่ 10.....95

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 6.32 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01).....96
รูปที่ 6.33 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01) 96
รูปที่ 6.34 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03) 97
รูปที่ 6.35 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03) 98
รูปที่ 6.36 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05) 99
รูปที่ 6.37 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05) 99
รูปที่ 6.38 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07) 100
รูปที่ 6.39 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07) 101
รูปที่ 6.40 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1) 102
รูปที่ 6.41 การกระจัดสูงสุดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า
(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1) 102
รูปที่ 6.42 แรงภายในของเสาต้นที่ 1 ที่อัตราส่วนมวลต่าง ๆ.....103
รูปที่ 6.43 การกระจัดสูงสุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการกระจัดชั้นที่10.....104
รูปที่ 6.44 ผลของความคลาดเคลื่อนการปรับค่าความถี่ต่อการกระจัดของโครงสร้าง.....105