บทที่ 6
ตัวอย่างการใช้โปรแกรมออกแบบโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่า

ในบทนี้แสดงตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าติดตั้งในโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าที่พัฒนาขึ้น ตัวอย่างโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่ารับแรงแผ่นดินไหวและแรงลม ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าที่ใช้ออกแบบได้มีผู้เสนอไว้ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4.4

6.1 ขั้นตอนในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า

ขั้นตอนการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าเพื่อลดการสั่นไหวของโครงสร้างด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาความถี่ของของโครงสร้าง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเพราะถ้าคำนวณความถี่ของโครงสร้างผิด ประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าก็จะเปลี่ยนไป ดังนั้นต้องระมัดระวังในการจำลองโครงสร้างเพื่อให้สมจริง หรือทำการตรวจวัดความถี่ของโครงสร้างจริง
2. เลือกอัตราส่วนมวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อโครงสร้างจริง ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดค่าในช่วง 0.02 – 0.05 ของน้ำหนักของโครงสร้างในโหมดที่พิจารณา
3. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่า จากการวิจัยในอดีต ซึ่งเป็นสูตรอย่างง่ายสะดวกในการนำไปใช้ออกแบบ
4. เมื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่าแล้ว นำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่าใส่ในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า
5. ทำการวิเคราะห์การสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำแล้วพิจารณาประสิทธิภาพการสั่นไหวของมวลหน่วงปรับค่า
6. ทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆของมวลหน่วงปรับค่าเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามความเหมาะสม

6.2 ข้อพิจารณาในการติดมวลหน่วงปรับค่าในโครงสร้างจริง

ในการออกแบบโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าจริงให้มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายๆ อย่าง ที่มีผลต่อในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าดังต่อไปนี้

1. การติดมวลหน่วงปรับค่าในโครงสร้างจริง มวลของมวลหน่วงปรับค่าจะติดที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง ดังนั้นที่ชั้นบนของโครงสร้างต้องมีความเหมาะสมที่จะติดมวลหน่วงปรับค่า เช่น พื้นที่ชั้นบนต้องกว้างและมีความแข็งแรงเพียงพอ เพื่อความปลอดภัยของตัวโครงสร้างเมื่อมวลหน่วงปรับค่าเริ่มทำงาน
2. เมื่อโครงสร้างมีการสั่นไหว มวลหน่วงปรับค่าต้องมีการกระจัดอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งถ้าเกิดปัญหาอาจแก้ไขด้วยการปรับแก้มวลของมวลหน่วงปรับค่าหรือความหน่วงของมวลหน่วงปรับค่า
3. ด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายต่างๆเป็นอีกข้อสำคัญในการติดมวลหน่วงปรับค่าซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

   3.1 วิธีการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าของวิศวกร

   3.2 ระบบของมวลหน่วงปรับค่า ที่ต้องเหมาะสมกับโครงสร้าง เช่น กรณีที่โครงสร้างไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับเมื่อมวลหน่วงปรับค่าเริ่มทำงาน อาจต้องเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง

   3.3 อุปกรณ์ที่ยึดรั้งของมวลหน่วงปรับค่ากับโครงสร้าง

   3.4 อุปกรณ์ที่ลำเลียงชิ้นส่วนของมวลหน่วงปรับค่า โดยปกติโครงสร้างที่สูงต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการลำเลียงอุปกรณ์ของมวลหน่วงปรับค่า

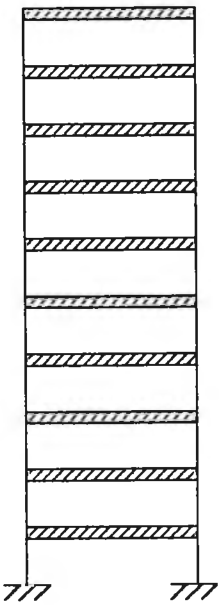
   3.5 ค่าบำรุงรักษามวลหน่วงปรับค่า

6.3 ตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าสำหรับโครงสร้างสูง 10 ชั้นรับแรงแผ่นดินไหว

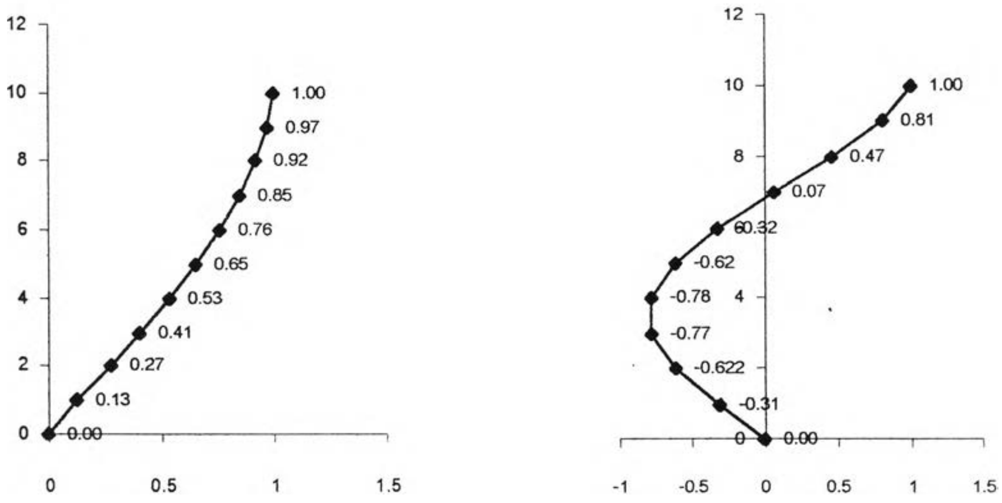
ตัวอย่างโครงสร้างเป็นโครงสร้างแบบรับแรงเฉือน 10 ชั้น 1 ช่วงคาน (18) แสดงดังรูปที่ 6.1 ซึ่งค่าคุณสมบัติของโครงสร้างแสดงดังตารางที่ 6.1 กำหนดคุณสมบัติทางพลวัตของโครงสร้าง อัตราส่วนความหน่วงโหมดที่ 1-10 มีค่าเท่ากับ 0.02 จากคุณสมบัติของมวลและสติฟเนสของโครงสร้างทำการวิเคราะห์ คำนวนหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวแสดงดังรูปที่ 6.2 จะได้มวลโหมดที่ 1เท่ากับ 609.2 ตัน

ชั้นที่	สติฟเนส (MN/m)	มวล (ton)
1	62.47	179
2	52.26	170
3	56.14	161
4	53.02	152
5	49.91	143
6	46.79	134
7	43.67	125
8	40.55	116
9	37.43	107
10	34.31	98

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่า



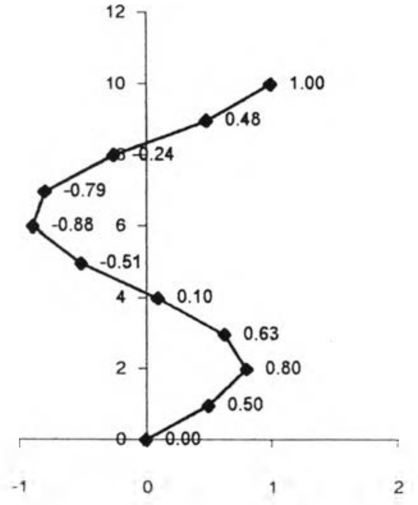
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างโครงสร้าง 10 ชั้น 1 ช่วงคาน



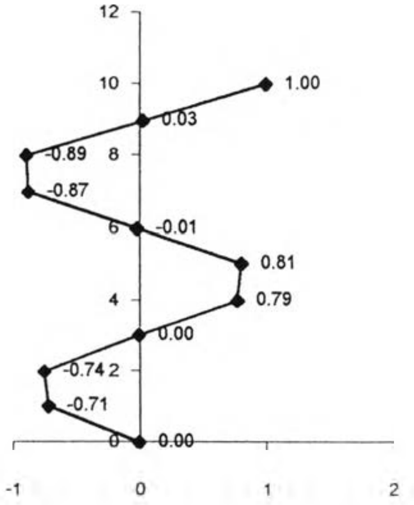
โหมดที่ 1 ความถี่ 3.07 เรเดียนต่อวินาที

โหมดที่ 2 ความถี่ 8.17 เรเดียนต่อวินาที

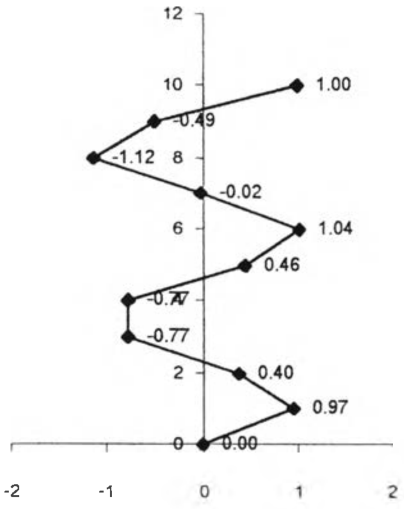
รูปที่ 6.2 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง



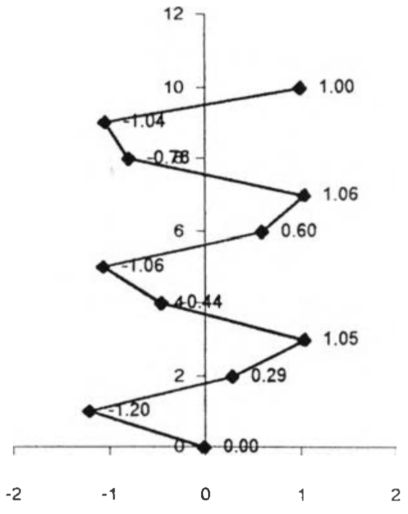
โหมดที่ 3 ความถี่ 13.34 เรเดียนต่อวินาที



โหมดที่ 4 ความถี่ 18.27 เรเดียนต่อวินาที

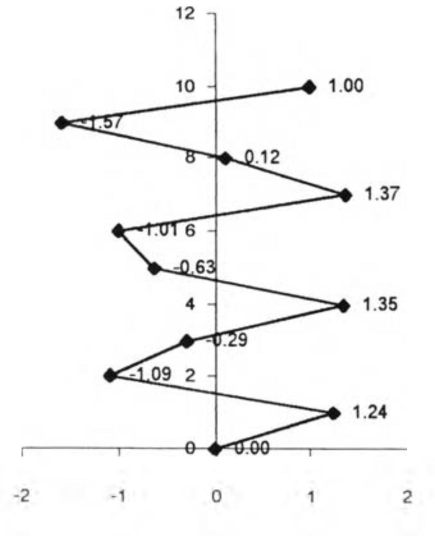


โหมดที่ 5 ความถี่ 22.74 เรเดียนต่อวินาที

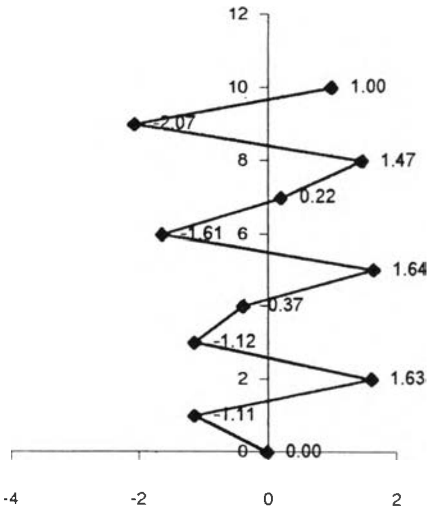


โหมดที่ 6 ความถี่ 26.61 เรเดียนต่อวินาที

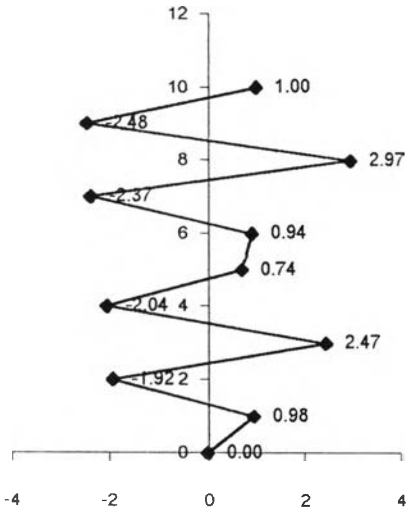
รูปที่ 6.2 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง



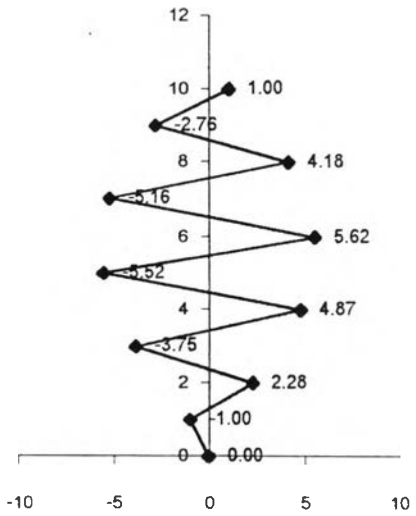
โหมดที่ 7 ความถี่ 29.91 เรเดียนต่อวินาที



โหมดที่ 8 ความถี่ 32.70 เรเดียนต่อวินาที



โหมดที่ 9 ความถี่ 34.88 เรเดียนต่อวินาที

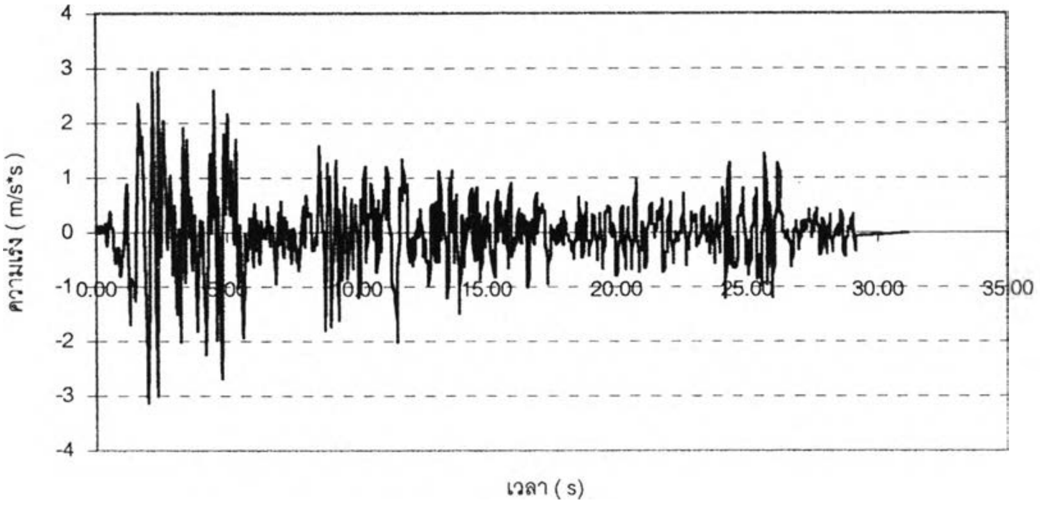


โหมดที่ 10 ความถี่ 36.28 เรเดียนต่อวินาที

รูปที่ 6.2 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง

คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการออกแบบโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเพื่อลดการสั่นไหวภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวของ El Centro 1940 ซึ่งเป็นคลื่นการสั่นสะเทือนที่มีช่วงเวลาสั้นเพียง 30 วินาที คลื่นแผ่นดินไหวมีความเร่งสูงในช่วง 5 วินาที แรกโดยมีความเร่งสูงสุด 3.18 เมตรต่อวินาที เนื่องจากความเร่งของคลื่นในช่วงเริ่มต้นมีค่ามาก อาจทำให้โครงสร้างมีการสั่นไหวที่รุนแรงทันทีที่คลื่นกระทำต่อโครงสร้าง ลักษณะของคลื่นแสดงดังรูปที่ 6.3



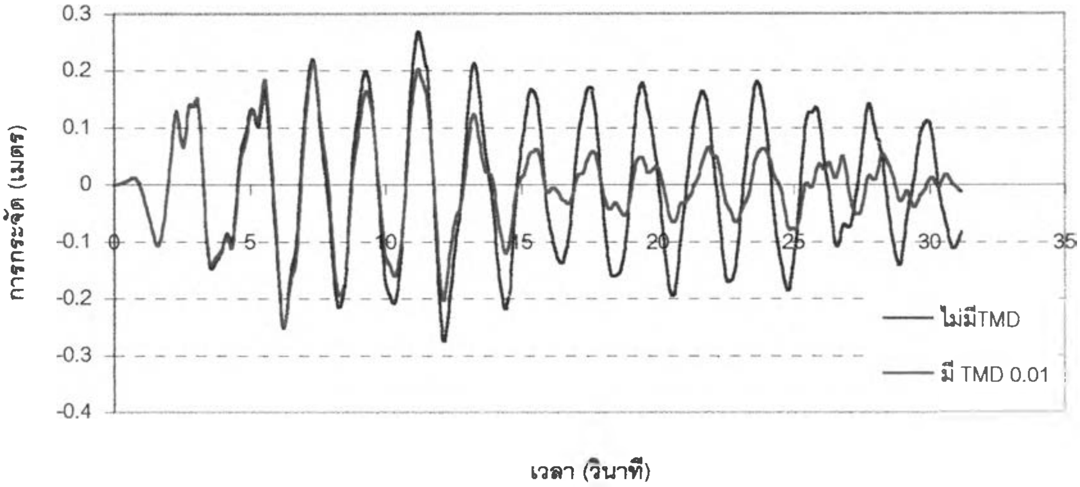
รูปที่ 6.3 คลื่นแผ่นดินไหว El Centro 1940 NS

6.3.1โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01

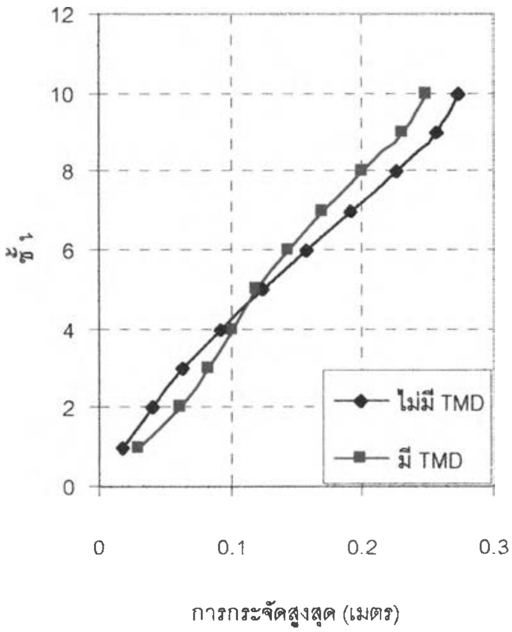
ในการออกแบบโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่า กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.01 ค่าความหน่วงและสติฟเนสของมวลหน่วงปรับค่าหาจากสูตรของ Den Hartog จะได้ค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 6.0 ตัน ค่าความหน่วงเท่ากับ 2,253.9 นิวตัน วินาทีต่อเมตร และค่าสติฟเนสเท่ากับ 56,145.03 นิวตันเมตร

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า พบว่าโครงสร้างที่ติดมวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้แสดงดังรูปที่ 6.4 และ 6.5 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้างกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าการกระจัดสูงสุดเท่า

กับ 0.275 เมตร เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.25 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 9.18 %



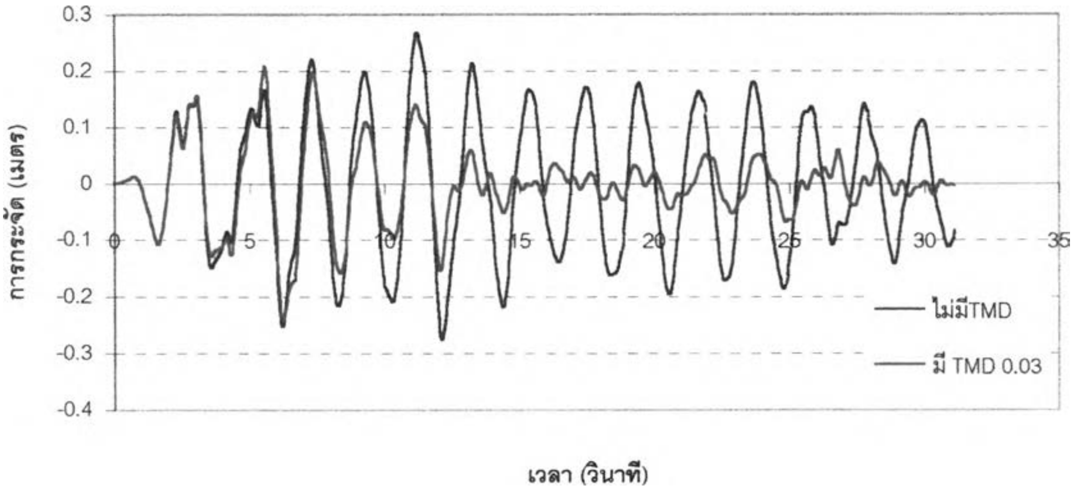
รูปที่ 6.4 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01)



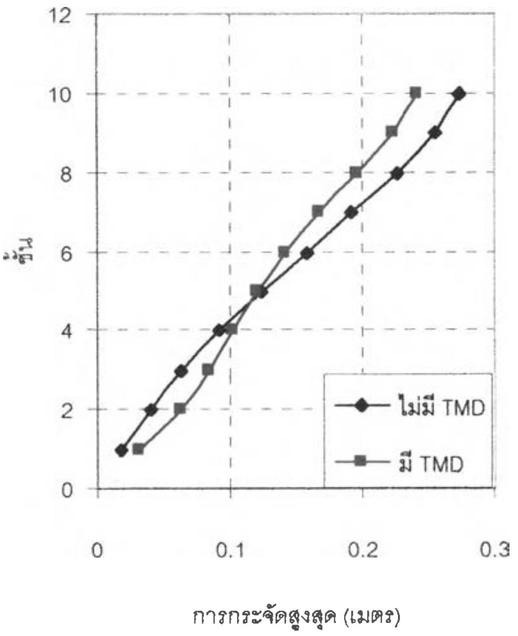
รูปที่ 6.5 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01)

6.3.2 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.03 เพิ่มขึ้นจากกรณีแรก ซึ่งค่าความหน่วงและสติฟเนสของมวลหน่วงปรับค่าหาจากสูตรของ Den Hartog จะได้ค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 18.27 ตัน ค่าความหน่วงเท่ากับ 11,372.44 นิวตันวินาทีต่อเมตร และค่าสติฟเนสเท่ากับ 161,957.44 นิวตันเมตร ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า พบโครงสร้างที่ติดมวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการสั่นไหวของโครงสร้างมากกว่าที่อัตราส่วนมวล 0.01 ดังรูปที่ 6.6 และ6.7 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.24 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างได้ 11.98 %



รูปที่ 6.6 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03)

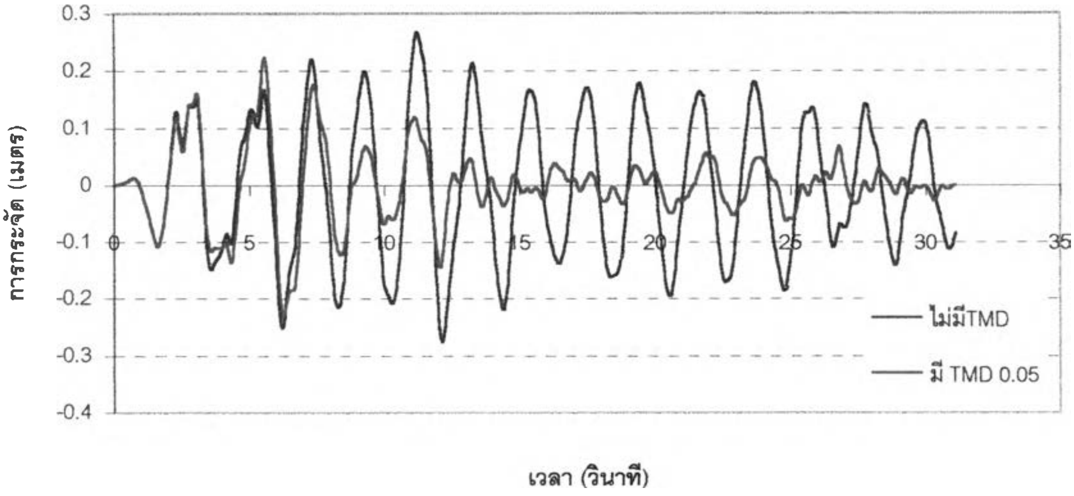


รูปที่ 6.7 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03)

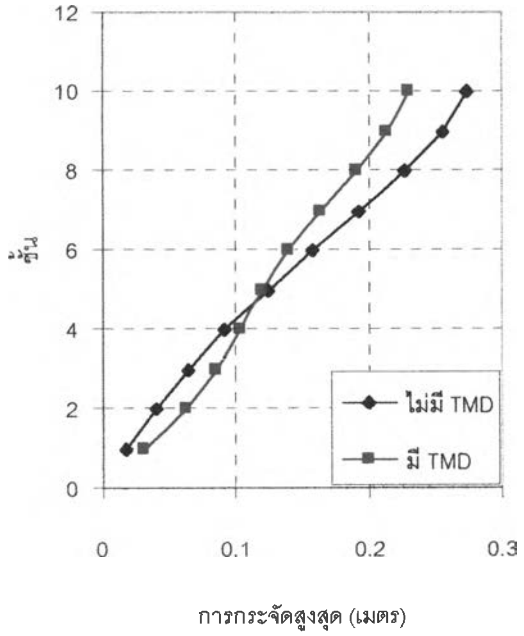
6.3.3 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05

ในตัวอย่างนี้เพิ่มน้ำหนักของมวลหน่วงปรับค่าขึ้น โดยกำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.05 ค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าหาจาก Den Hartog ได้ค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 30.46 ตัน ค่าความหน่วงเท่ากับ 23,773.80 นิวตัน วินาทีต่อเมตร และค่าสติฟเนสเท่ากับ 259,743.10 นิวตันเมตร

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า พบโครงสร้างที่ติดมวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการสั่นไหวของโครง แสดงดังรูปที่ 6.8 และ6.9 ชั้นที่ 10 เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.23 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 16.20 %



รูปที่ 6.8 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05)

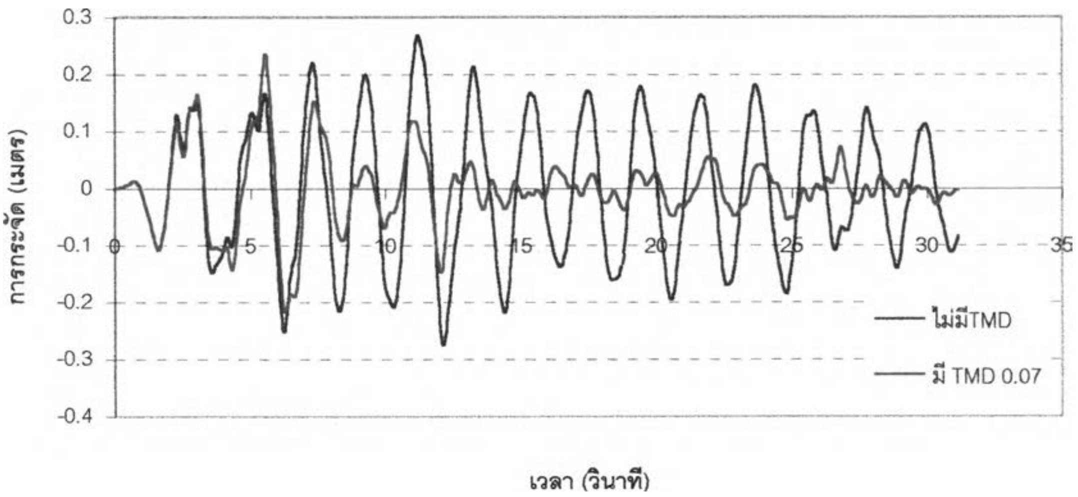


รูปที่ 6.9 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05)

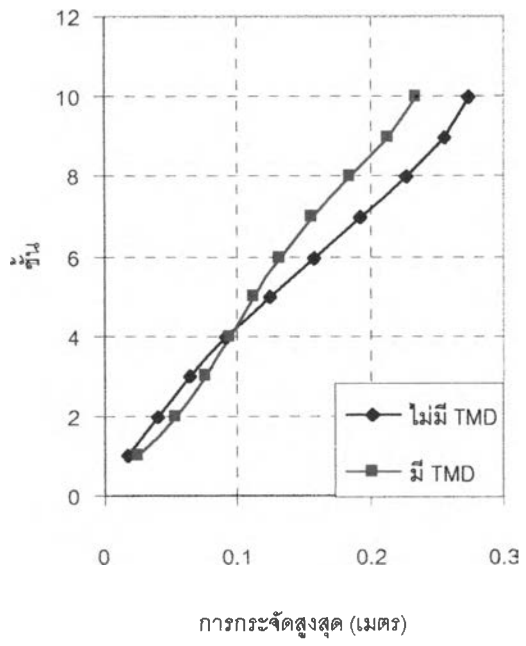
6.3.4 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.07 ค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าหาจาก Den Hartog ได้ค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 42.6 ตัน ความหน่วงเท่ากับ 38,282 นิวตัน วินาทีต่อเมตร และค่าสติฟเนสเท่ากับ 350,174 นิวตันเมตร

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า แสดงดังรูปที่ 6.10 และ 6.11 ชั้นที่ 10 เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.24 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 14.09 %



รูปที่ 6.10 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07)

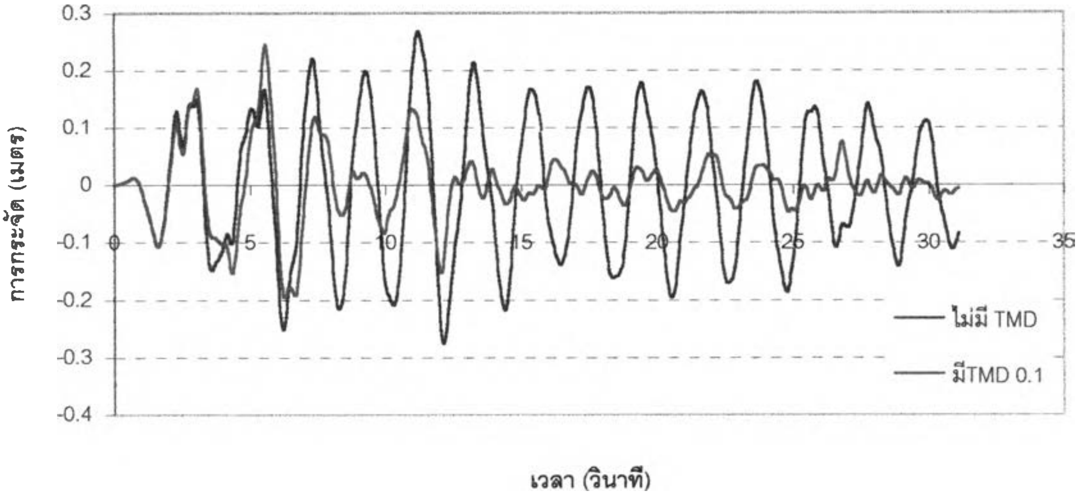


รูปที่ 6.11 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07)

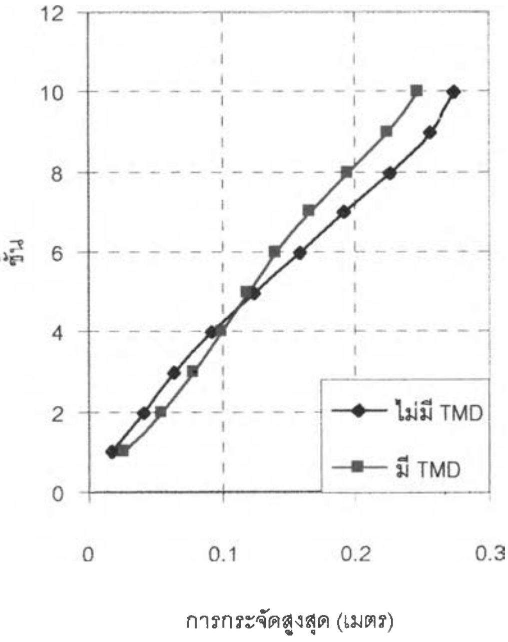
6.3.4 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.1 ค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าหาจาก Den Hartog ได้ค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 60.9 ตัน ความหน่วงเท่ากับ 62,710 นิวตัน วินาทีต่อเมตร และค่าสติฟเนสเท่ากับ 473,335 นิวตันเมตร

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า แสดงดังรูปที่ 6.12 และ 6.13 ชั้นที่ 10 เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.25 ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10.08 %

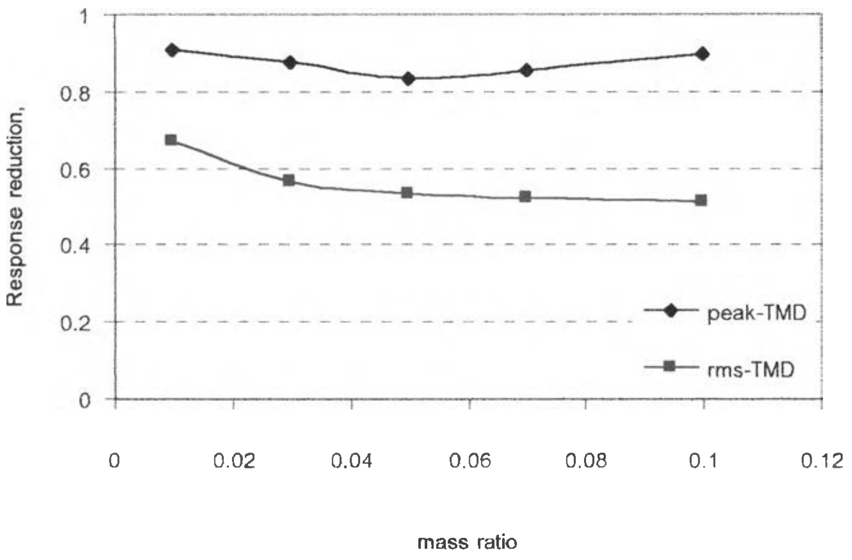


รูปที่ 6.12 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1)



รูปที่ 6.13 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1)

จากผลการวิเคราะห์ที่อัตราส่วนมวลของมวลหน่วงปรับค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6.14 พบว่าเมื่อมีการปรับค่าอัตราส่วนมวลเพิ่มขึ้น มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการกระจัดของโครงสร้างได้มากขึ้น โดยในช่วงอัตราส่วนมวลของของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.01-0.1 พบว่าสามารถลดการกระจัดสูงสุดลงได้ 10 - 18 %เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า ในส่วนค่าเฉลี่ยของการกระจัดทั้งหมดมีค่าลดลง 30 - 50%



รูปที่ 6.14 การกระจัดสูงสุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการกระจัดชั้นที่ 10

6.4 ตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าโครงสร้างสูง 10 ชั้น 3 ช่วงคานรับแรงแผ่นดินไหว

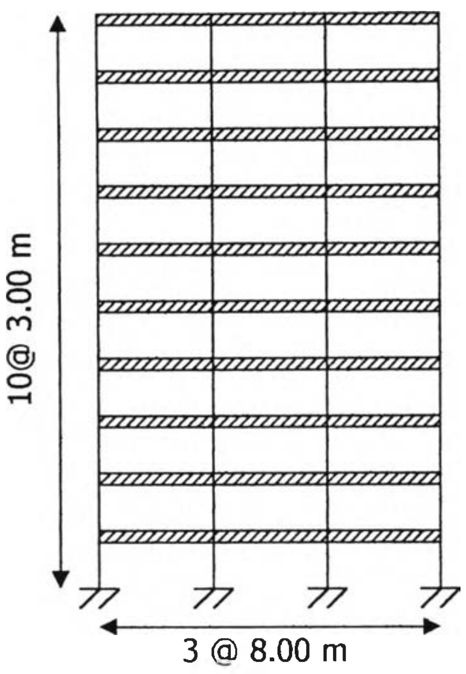
ตัวอย่างการออกแบบติดมวลหน่วงปรับค่า โครงสร้างแบบรับแรงเฉือนสูง 10 ชั้น 3 ช่วงคาน แสดงดังรูปที่ 6.15 ซึ่งค่าคุณสมบัติของโครงสร้างแสดงดัง ตารางที่ 6.2 กำหนดคุณสมบัติทางพลวัตของโครงสร้างอัตราส่วนการหน่วงโหมดที่ 1-10 มีค่าเท่ากับ 0.02 จากคุณสมบัติของมวลและสติฟเนสของโครงสร้างทำการวิเคราะห์คำนวนหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวจากโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 6.16 และคำนวณหามวลโหมดที่ 1 เท่ากับ 422 ตัน

ออกแบบมวลหน่วงปรับค่า ภายใต้แรงแผ่นดินไหวโดยใช้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro 1940 ในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง 6.3

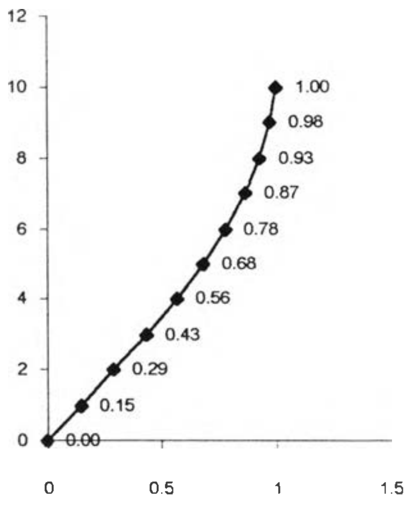
ในการออกแบบจะมีการปรับมวลของมวลหน่วงปรับค่าจาก อัตราส่วนมวล 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 เพื่อหามวลที่มีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้าง

ชั้นที่	สติฟเนส (MN/m)	มวล (ton)
1	60	80
2	60	80
3	60	80
4	60	80
5	60	80
6	60	80
7	60	80
8	60	80
9	60	80
10	60	80

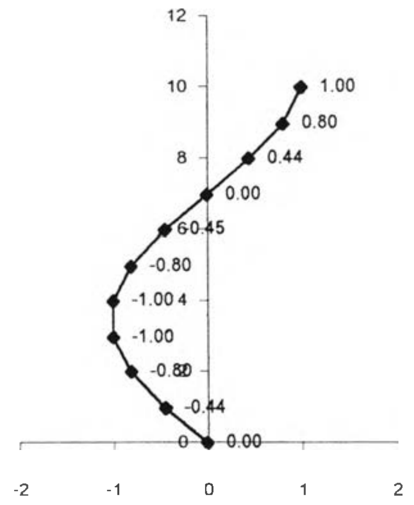
ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่า



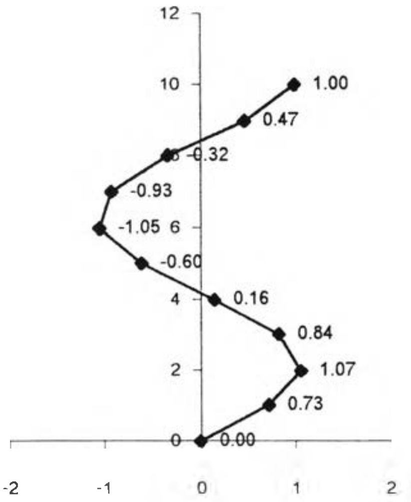
รูปที่ 6.15 โครงสร้างในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า



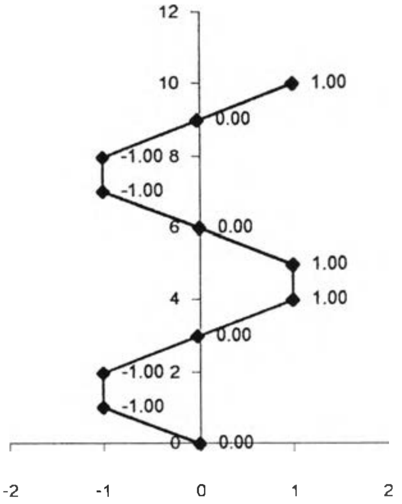
โหมดที่ 1 ความถี่ 4.07 เรเดียนต่อวินาที



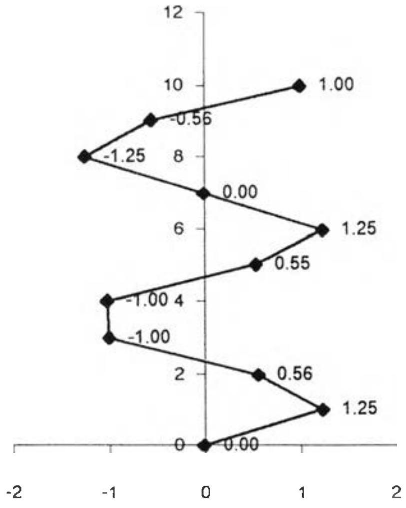
โหมดที่ 2 ความถี่ 12.13 เรเดียนต่อวินาที



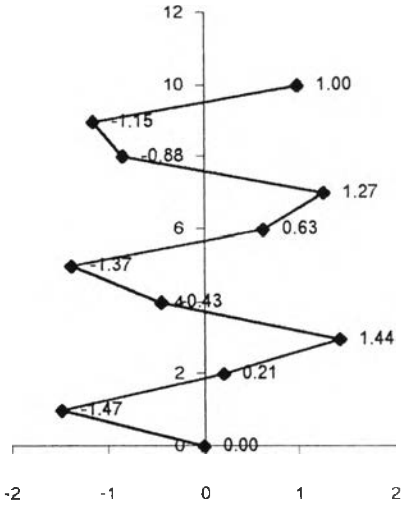
โหมดที่ 3 ความถี่ 19.92 เรเดียนต่อวินาที



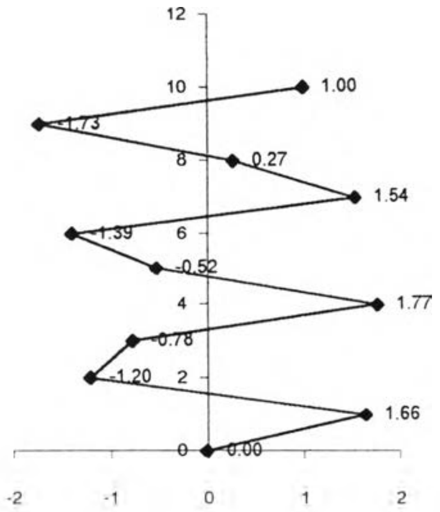
โหมดที่ 4 ความถี่ 27.28 เรเดียนต่อวินาที



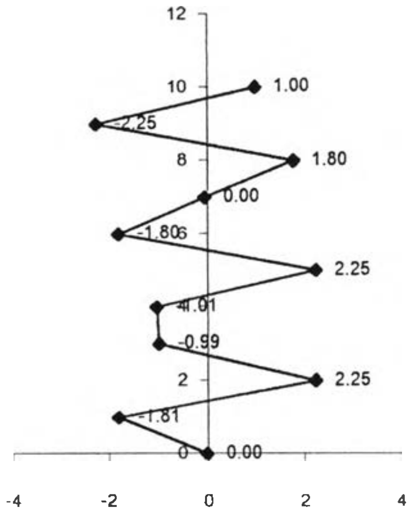
โหมดที่ 5 ความถี่ 34.05 เรเดียนต่อวินาที



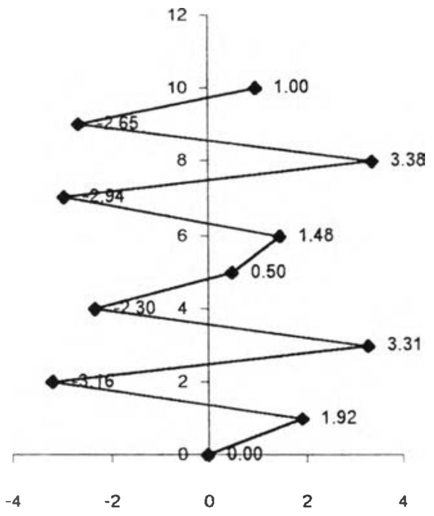
โหมดที่ 6 ความถี่ 40.06 เรเดียนต่อวินาที



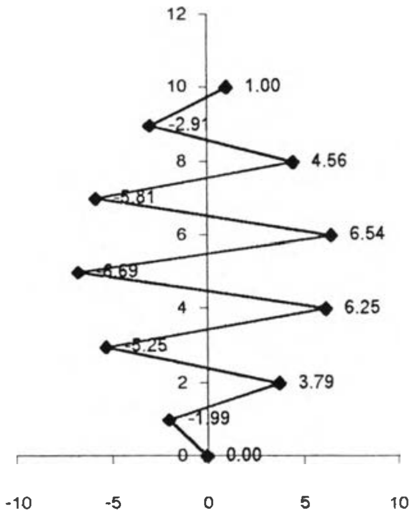
โหมดที่ 7 ความถี่ 45.18 เรเดียนต่อวินาที



โหมดที่ 8 ความถี่ 49.30 เรเดียนต่อวินาที



โหมดที่ 9 ความถี่ 52.32 เรเดียนต่อวินาที



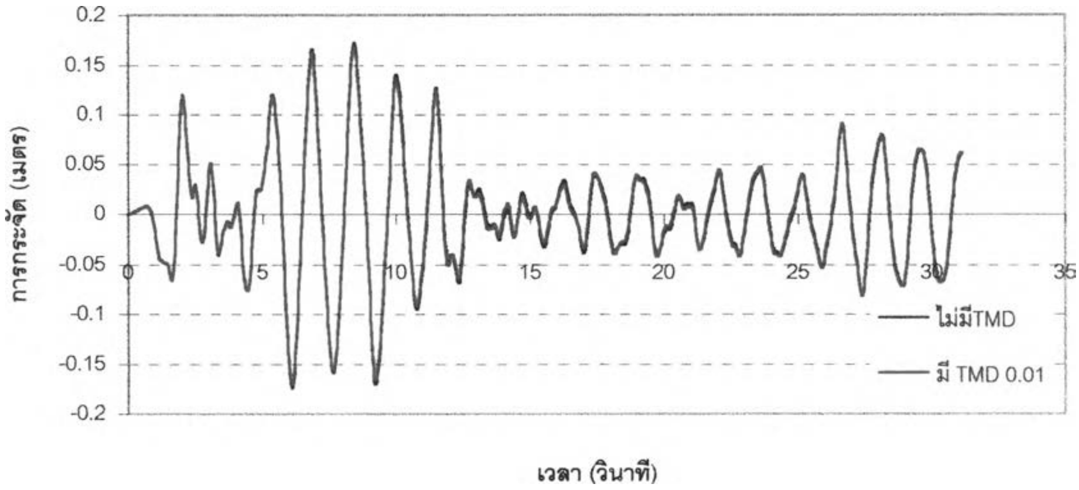
โหมดที่ 10 ความถี่ 54.15 เรเดียนต่อวินาที

รูปที่ 6.16 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง

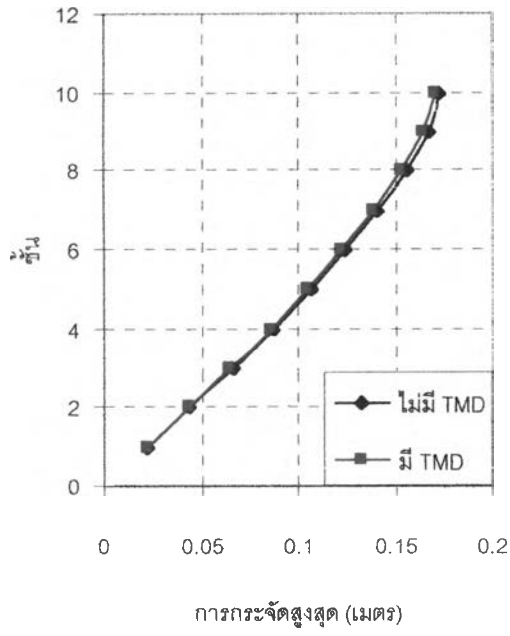
6.4.1โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01

ในตัวอย่างนี้กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.01 ค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าหาจาก Den Hartog

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.17 และ 6.18 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง ในกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าการกระจัดสูงสุดเท่ากับ 0.173 เมตร เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.170 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 1.67 %



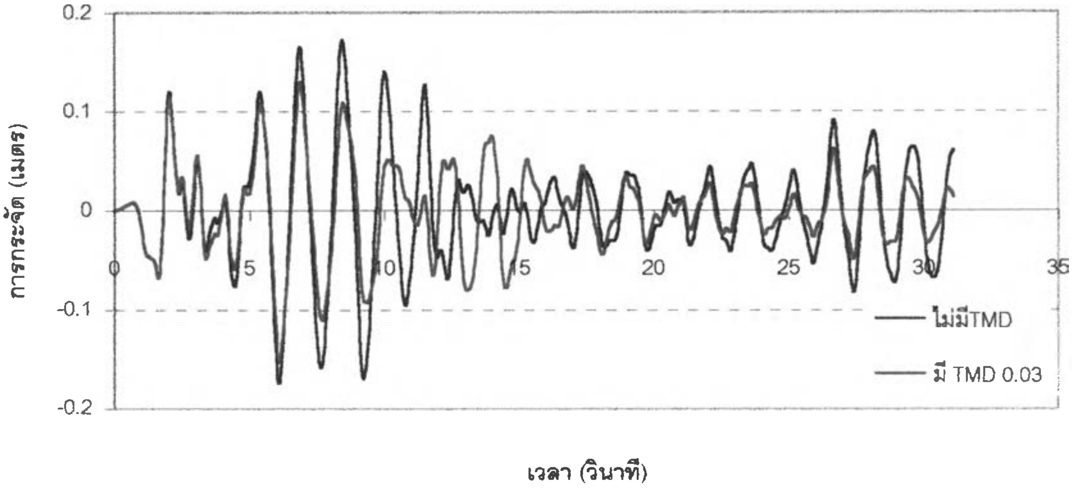
รูปที่ 6.17 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01)



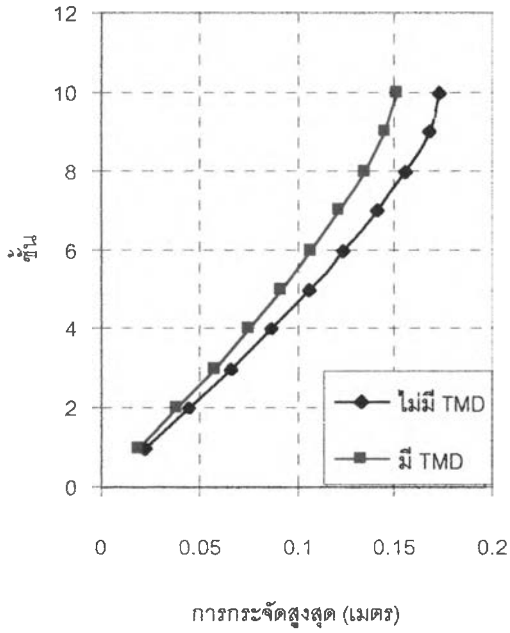
รูปที่ 6.18 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01)

โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.03 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.19 และ 6.20 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.152 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 12.55 %



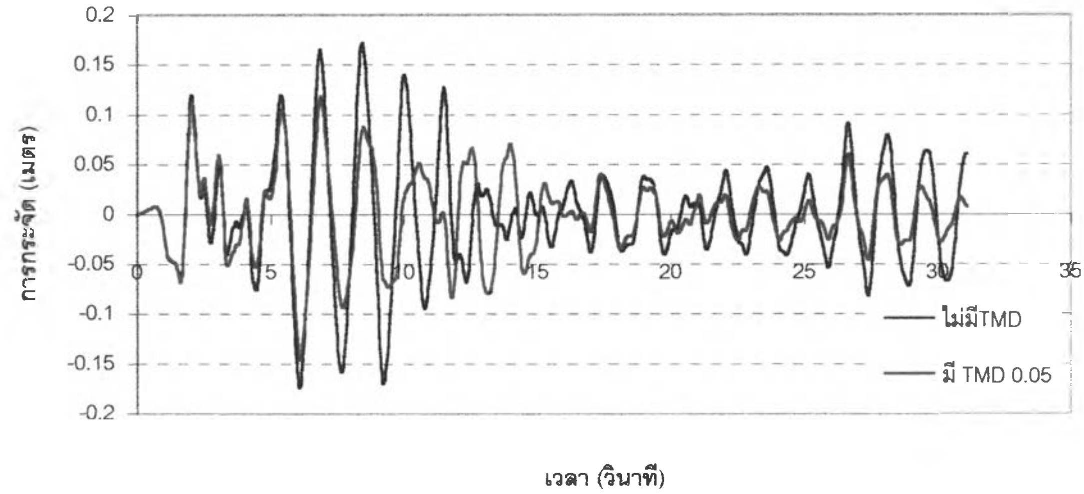
รูปที่ 6.19 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03)



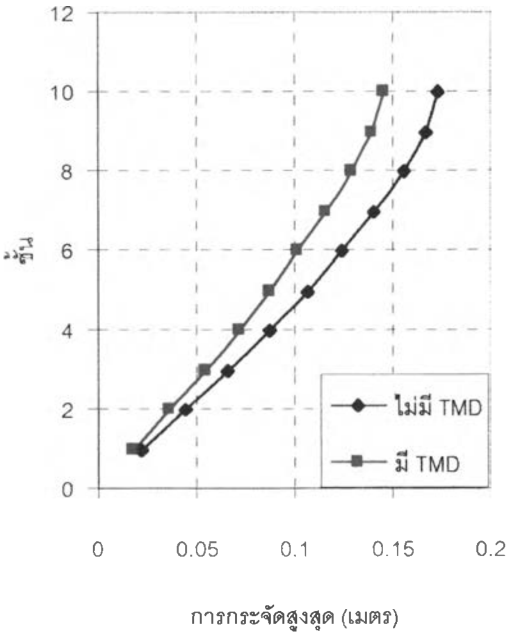
รูปที่ 6.20 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03)

6.4.3 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.05 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.21 และ 6.22 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.146 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 16.24 %



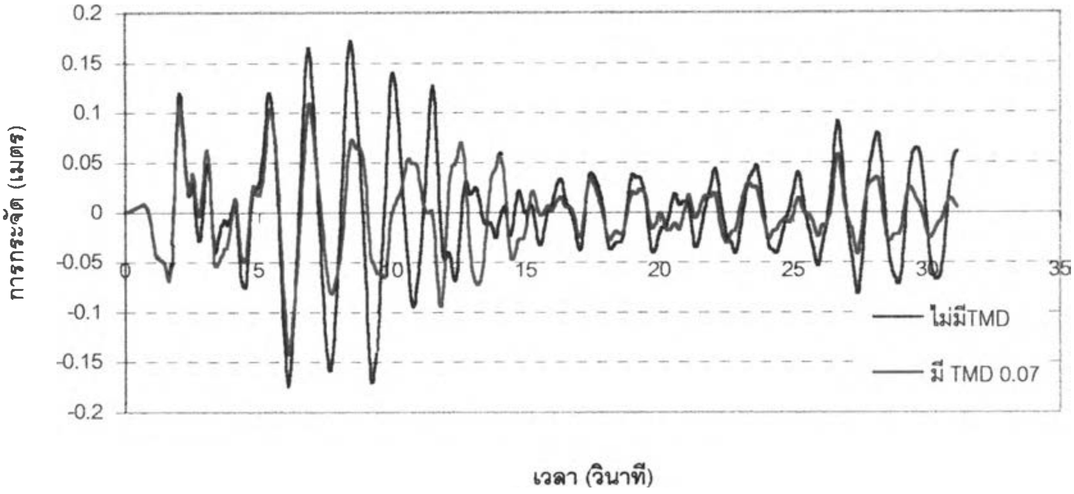
รูปที่ 6.21 การกระจัดชั้นที่10 ของโครงสร้างเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า (อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05)



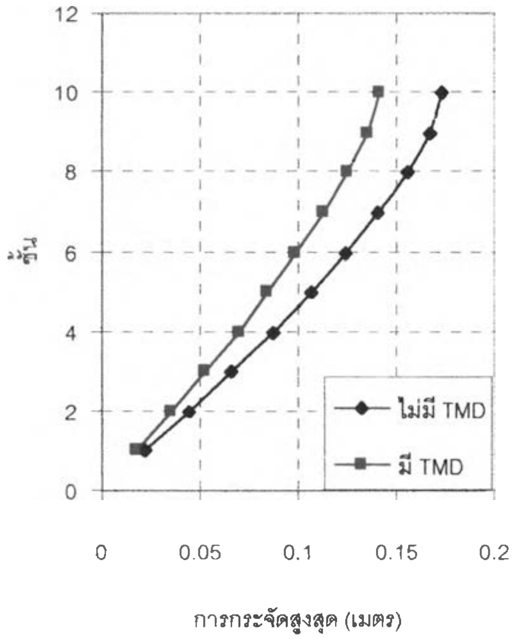
รูปที่ 6.22 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05)

6.4.4 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.07 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.23 และ 6.24 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.142 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 18.42 %



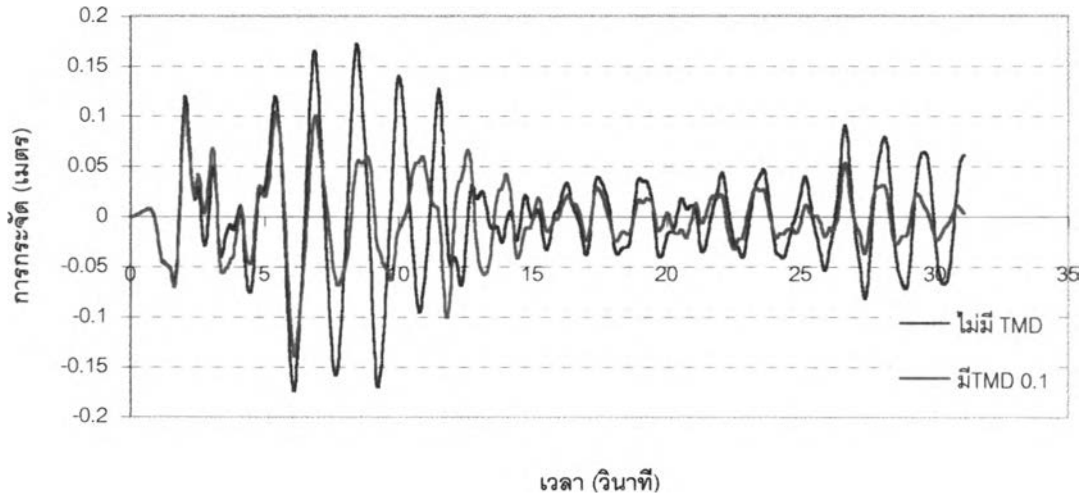
รูปที่ 6.23 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07)



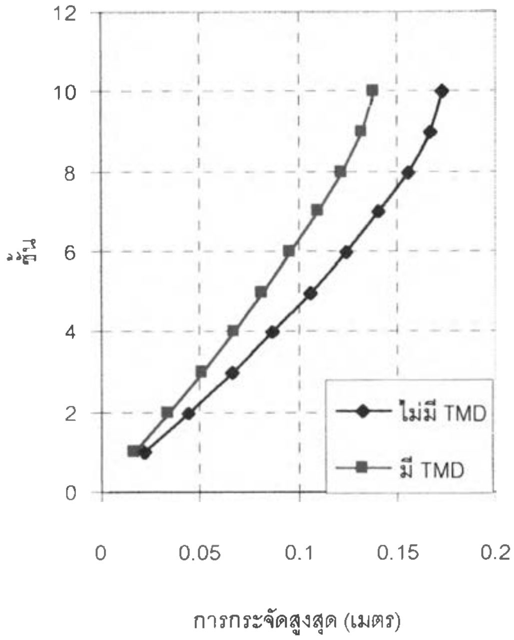
รูปที่ 6.24 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07)

6.4.5 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.1 จากการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.25 และ 6.26 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.139 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 20.03%

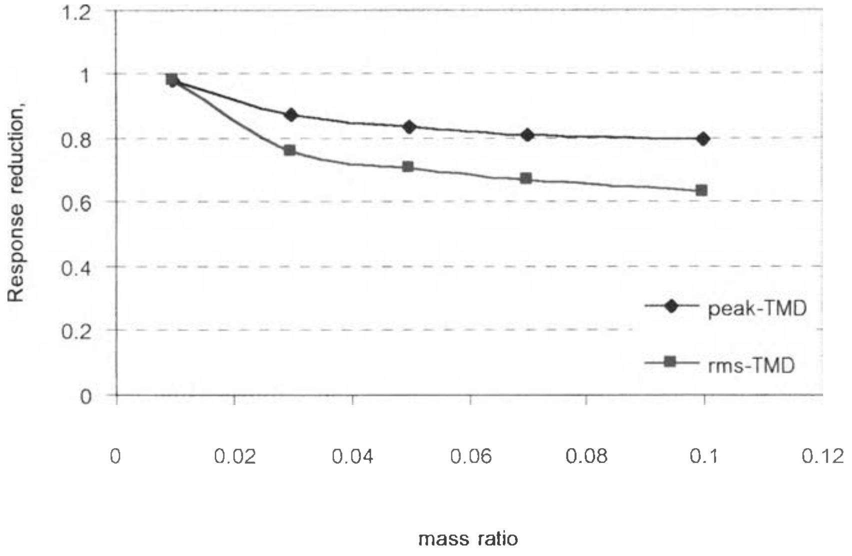


รูปที่ 6.25 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1)



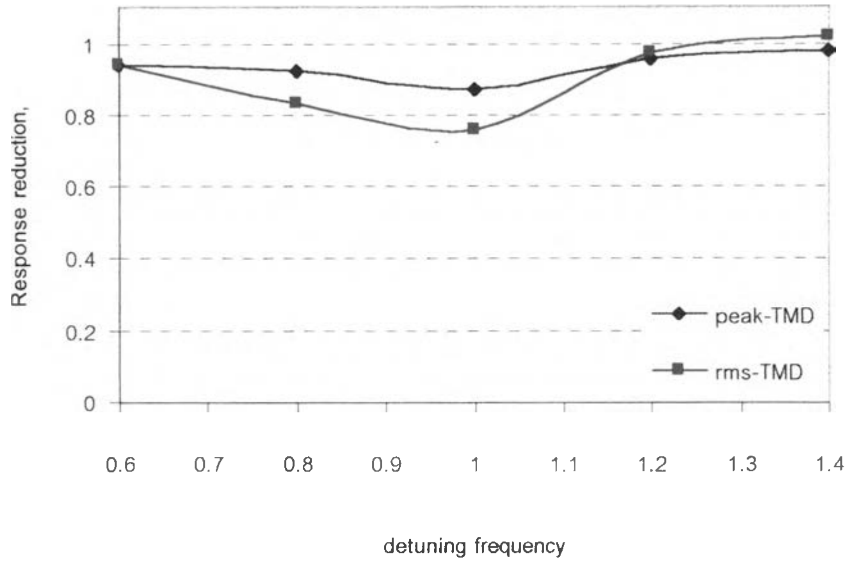
รูปที่ 6.26 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1)

จากผลการวิเคราะห์ที่อัตราส่วนมวลของมวลหน่วงปรับค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6.27 พบว่า เมื่อมีการปรับค่าอัตราส่วนมวลเพิ่มขึ้น มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการกระจัดของโครงสร้างได้ดีตั้งแต่อัตราส่วนมวลของของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.03 ขึ้นไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดลง 10 - 20 %เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า ในส่วนค่าเฉลี่ยของการกระจัดทั้งหมดมีค่าลดลง 20 -40% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 6.27 การกระจัดสูงสุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการกระจัดชั้นที่ 10

และในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า ขั้นตอนที่หาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเป็นการยากที่จะคำณวนค่าความถี่ธรรมชาติที่แท้จริงของโครงสร้าง ดังนั้นเมื่อออกแบบมวลหน่วงปรับค่าเข้ากับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ โดยรูปที่ 6.28 แสดงผลของความคลาดเคลื่อนในการปรับความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าเข้ากับโครงสร้างที่อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03 แกนราบคืออัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าต่อความถี่ของโครงสร้าง ส่วนแกนตั้งแทนค่าอัตราส่วนการกระจัดกรณีที่มีการติดมวลหน่วงปรับค่าต่อการกระจัดกรณีที่ไม่มีการติดมวลหน่วงปรับค่า พบว่าที่อัตราส่วนความถี่ 0.6 -1.4 มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการกระจัดสูงสุดลงได้ 2 – 12% และค่าเฉลี่ยของการกระจัดในช่วงอัตราส่วนความถี่ 0.6-1.2 มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการกระจัดของโครงสร้างได้ 5 – 15 % แต่ที่อัตราส่วนความถี่ตั้งแต่ 1.4 ขึ้นไปพบมวลหน่วงปรับค่าไม่ช่วยลดการสั่นไหวของโครงสร้าง



รูปที่ 6.28 ผลของความคลาดเคลื่อนการปรับค่าความถี่ต่อการการกระจัดของโครงสร้าง

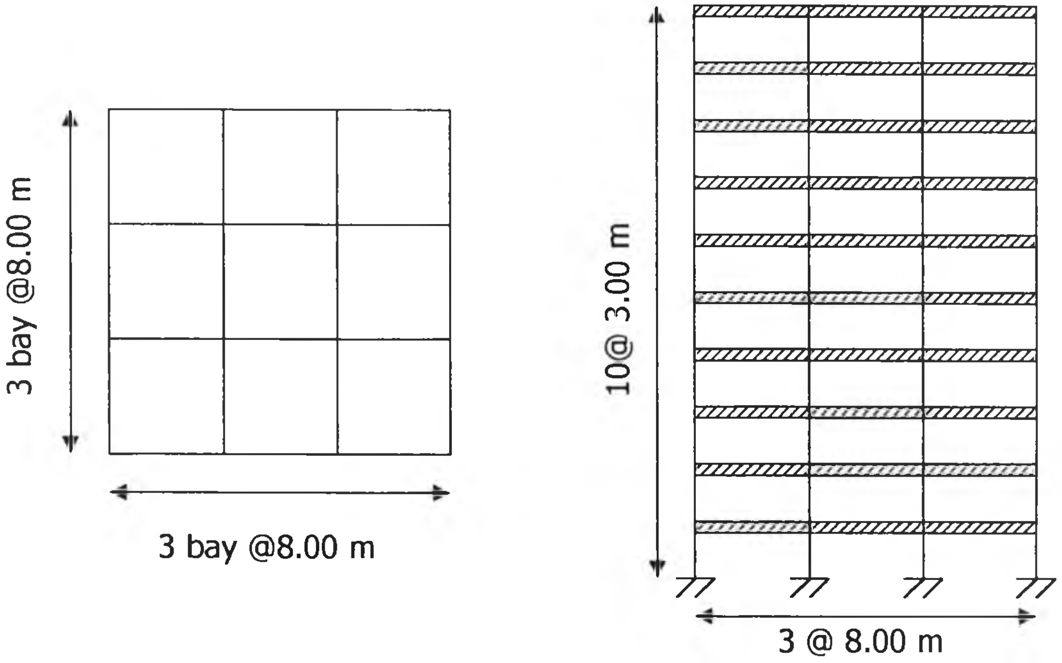
6.5 ตัวอย่างการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าสำหรับโครงสร้างสูง 10 ชั้น 3 ช่วงคาน เพื่อรับแรงลม

ตัวอย่างในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่าสำหรับโครงสร้างเพื่อรับแรงลม ตัวอย่างโครงสร้างเป็นโครงสร้างรับแรงเฉือน 10 ชั้น 3 ช่วงคาน แสดงดังรูปที่ 6.29 ซึ่งค่าคุณสมบัติของโครงสร้างแสดงดัง ตารางที่ 6.3 ทำการวิเคราะห์จำนวน 4 โหมด กำหนดคุณสมบัติทางพลวัตของโครงสร้างอัตราส่วนความหน่วงโหมดที่ 1 ถึงโหมดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.02 จากมวลและสติฟเนสของโครงสร้าง คำนวณหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้างโดยโปรแกรมที่พัฒนา แสดงดังรูปที่ 6.16 หลังจากทราบรูปแบบการสั่นไหวคำนวณหามวลโหมดที่ 1 ได้เท่ากับ 422 ตัน

ในการออกแบบจะมีการปรับมวลของมวลหน่วงปรับค่าจาก อัตราส่วนมวล 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 เพื่อหามวลที่มีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้าง

ชั้นที่	สติฟเนส (MN/m)	มวล (ton)
1	60	80
2	60	80
3	60	80
4	60	80
5	60	80
6	60	80
7	60	80
8	60	80
9	60	80
10	60	80

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 6.29 แปลนและรูปด้านหน้าของโครงสร้างในการออกแบบมวลหน่วงปรับค่า

แรงลมที่ใช้วิเคราะห์

แรงลมที่ใช้ในการออกแบบมาจากความเร็วลมกระทำที่ความสูง 30 เมตร ซึ่งความเร็วลมแสดงดังรูปที่ 6.30 จากความเร็วลมแปลงเป็นแรงจากสมการ 6.1

$$F(t) = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 D \quad (6.1)$$

โดยที่

$\rho = 650 * 10^{-6}$

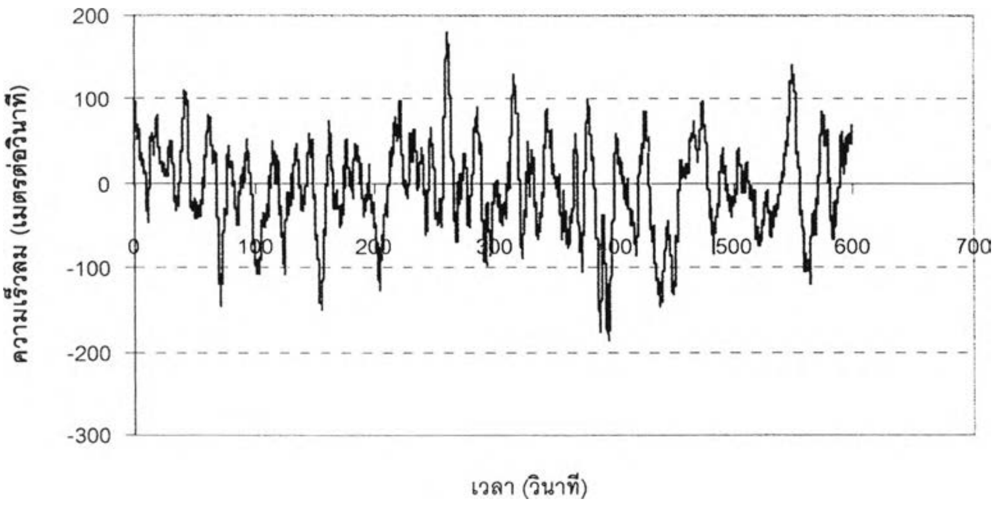
D คือพื้นที่รับแรงลม (m^2)

เมื่อแปลงเป็นแรงกระทำที่ชั้นที่ 10 ในชั้นถัดลงมาคูณแรงด้วยแฟกเตอร์ด้วยสมการที่ 6.2

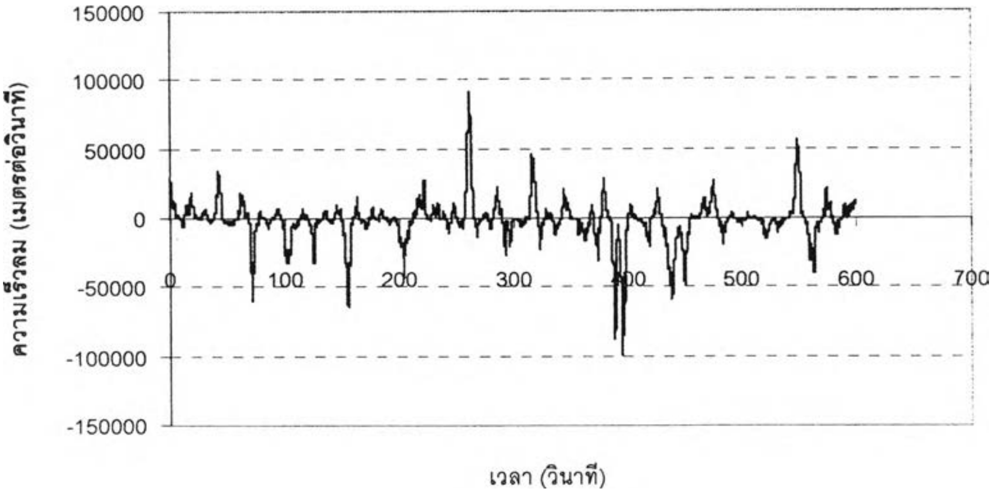
$$z(h) = \left\{0.5\left(\frac{h}{12.5}\right)^{0.5}\right\} / 0.7746 \quad (6.2)$$

โดยที่

h คือความสูงของโครงสร้าง



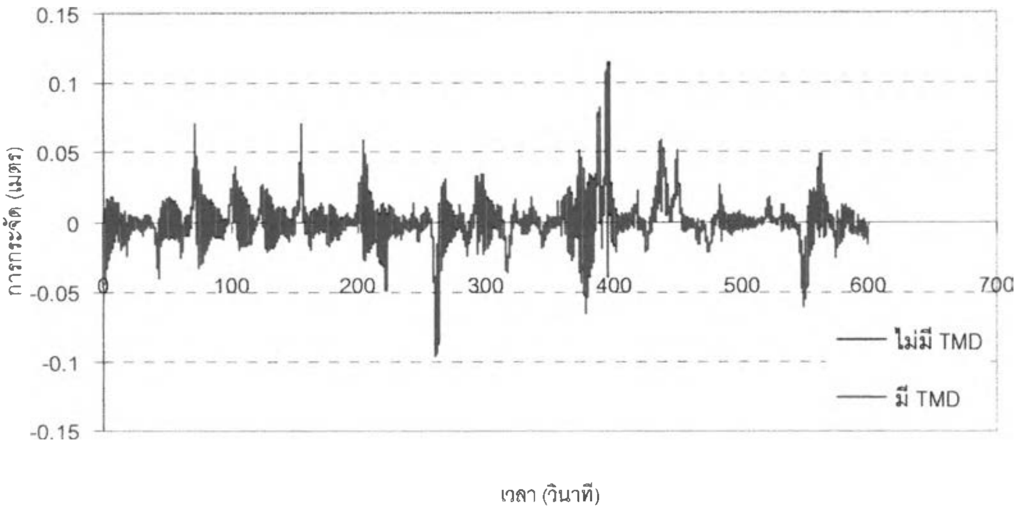
รูปที่ 6.30 ความเร็วลมที่ความสูง 30 เมตร



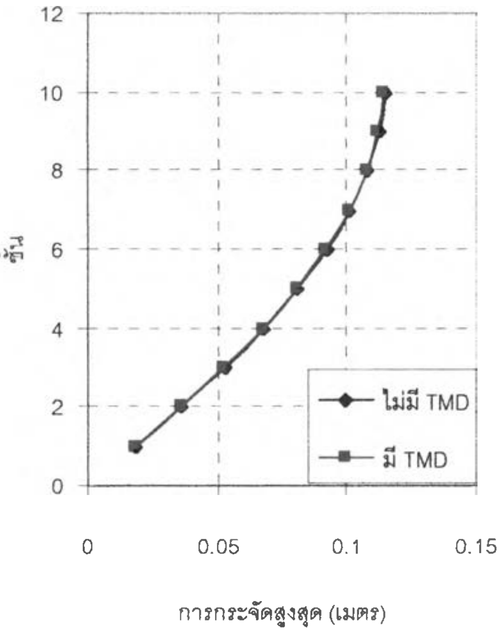
รูปที่ 6.31 แรงลมกระทำต่อโครงสร้างชั้นที่ 10

6.5.1 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01

ในตัวอย่างนี้ กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.01 จากการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.32 และ 6.33 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง การกระจัดสูงสุดกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.115 เมตร เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.114 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 0.43 %



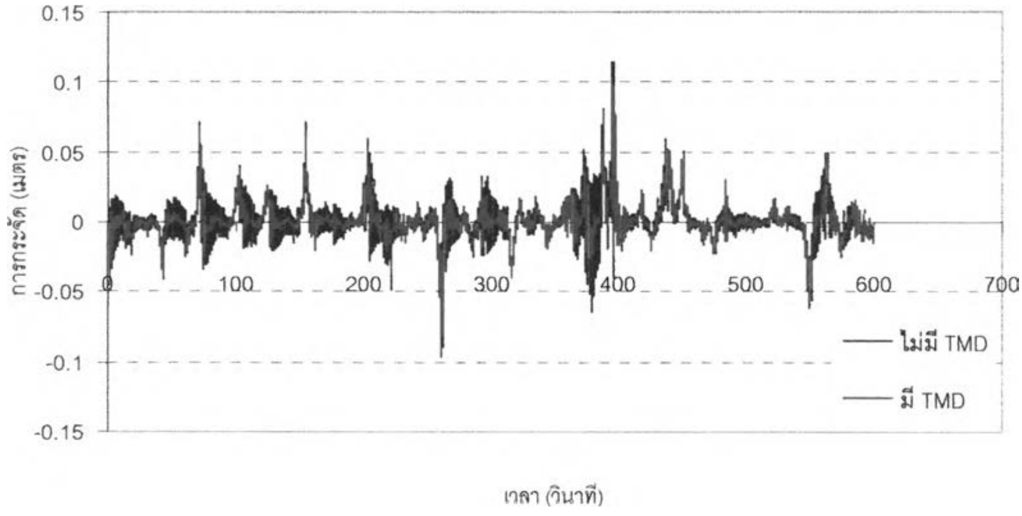
รูปที่ 6.32 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01)



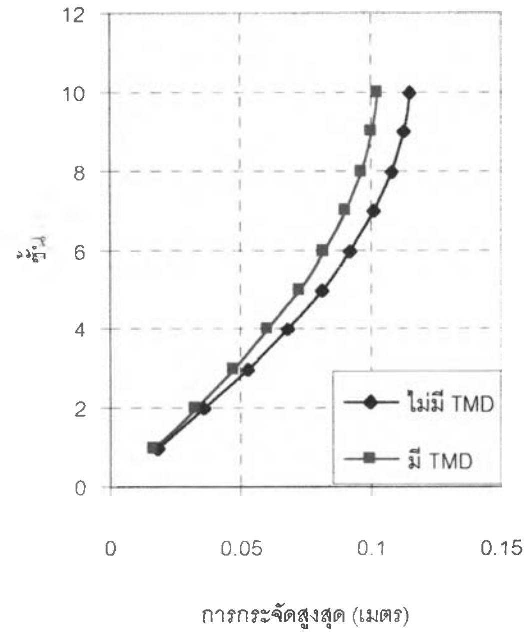
รูปที่ 6.33 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.01)

6.5.2 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.03 จากการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.34 และ 6.35 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.103 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 10.84 %



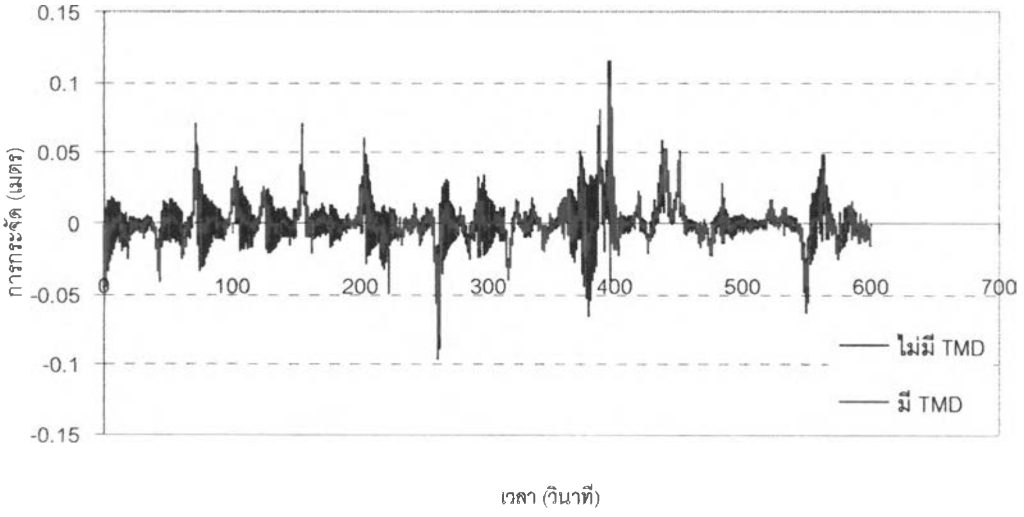
รูปที่ 6.34 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03)



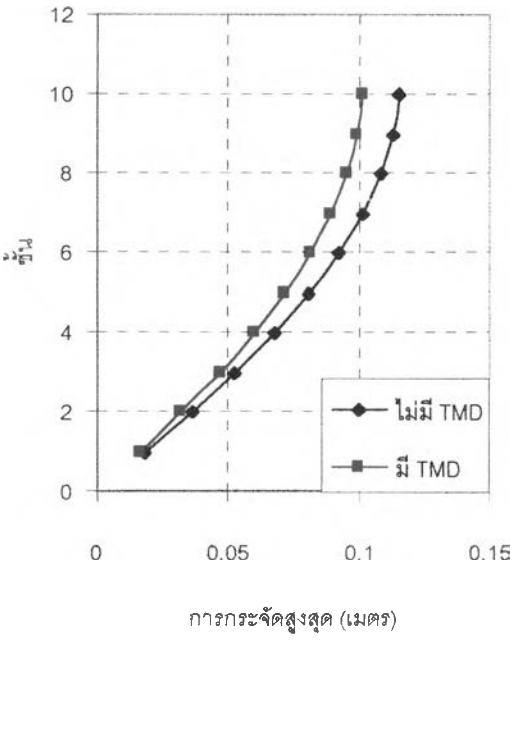
รูปที่ 6.35 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03)

6.5.3 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.05 จากการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.36 และ 6.37 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.102 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 11.62 %



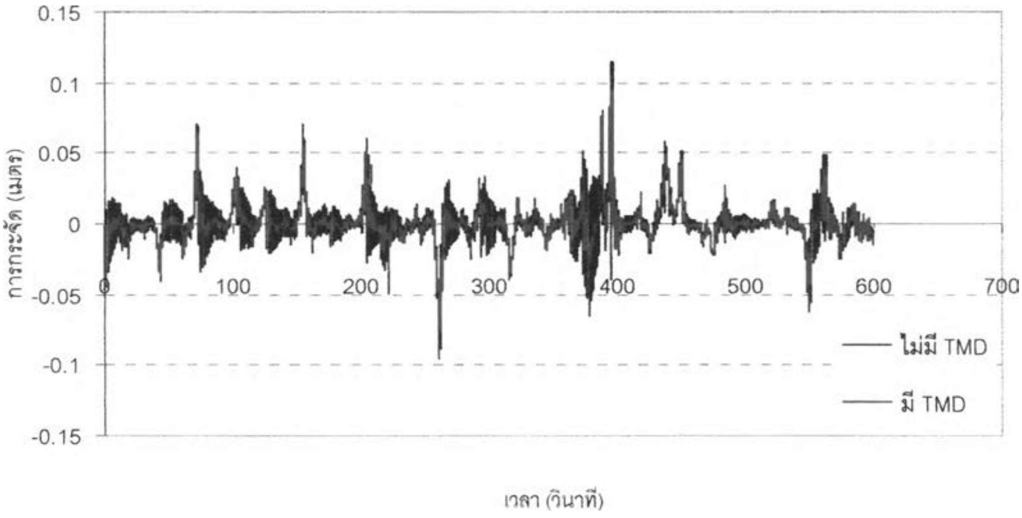
รูปที่ 6.36 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05)



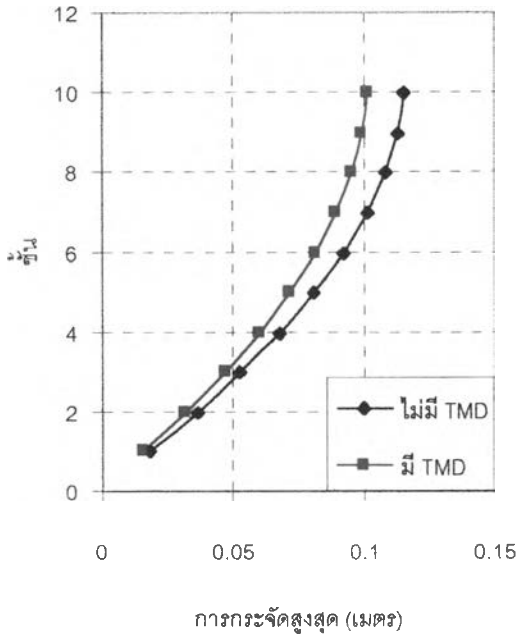
รูปที่ 6.37 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.05)

6.5.4 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.07 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.38 และ 6.39 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.102 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 11.62 %



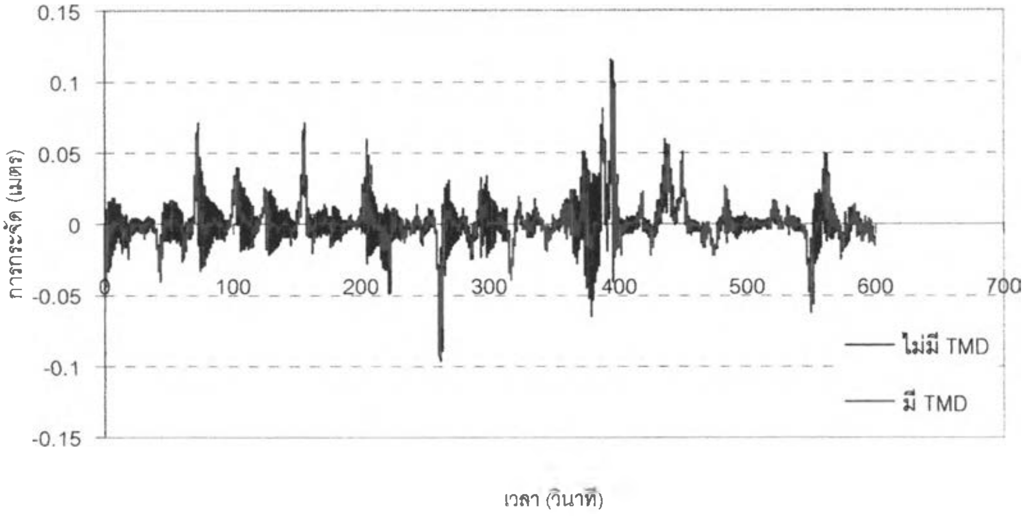
รูปที่ 6.38 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07)



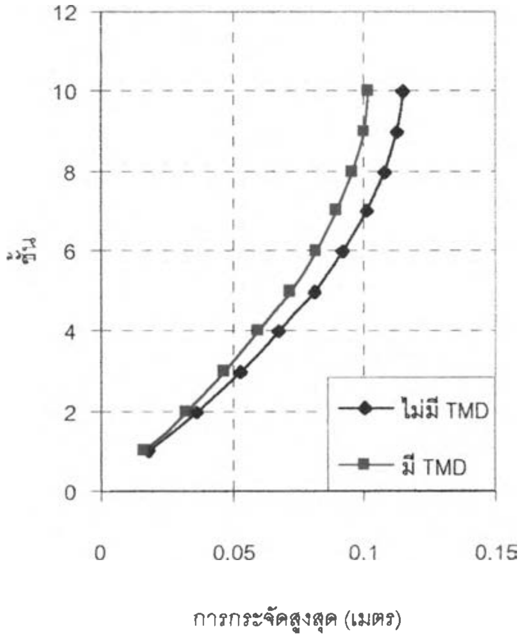
รูปที่ 6.39 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.07)

6.5.5 โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1

กำหนดค่ามวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลโหมดที่หนึ่งของโครงสร้างเท่ากับ 0.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ดังรูปที่ 6.40 และ 6.41 ชั้นที่ 10 ของโครงสร้าง เมื่อติดมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปสามารถลดการกระจัดสูงสุดของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่าลงเท่ากับ 0.102 เมตร ลดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างลง 11.27 %

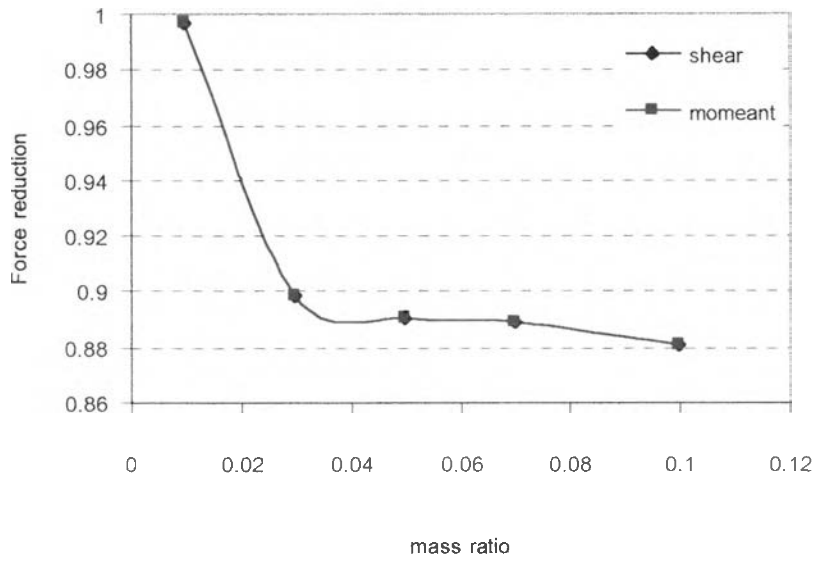


รูปที่ 6.40 การกระจัดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1)



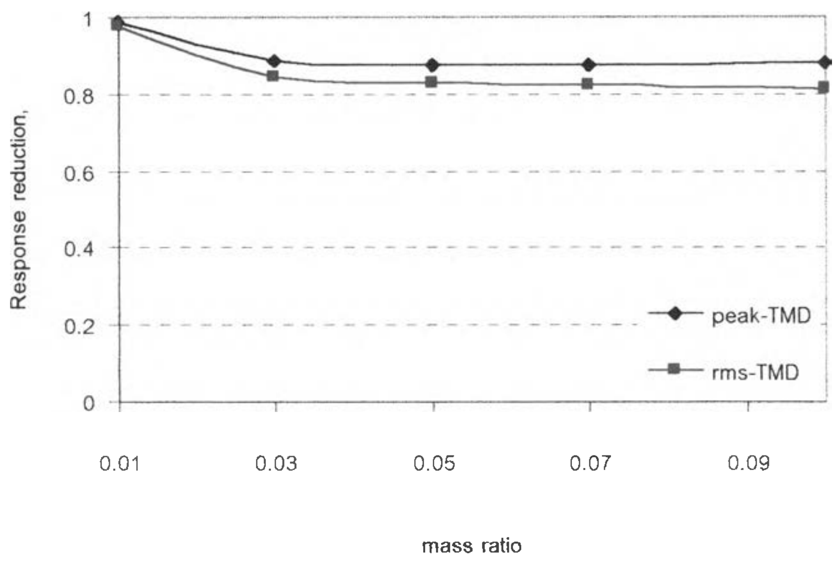
รูปที่ 6.41 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง 10 ชั้นเปรียบเทียบกรณีไม่มีและมีมวลหน่วงปรับค่า(อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.1)

จากผลการวิเคราะห์มวลหน่วงปรับค่าที่อัตราส่วนมวลต่างๆ ที่อัตราส่วนมวลหน่วงปรับค่า 0.01 แรงภายในไม่ลดลง เมื่อมีการปรับค่าอัตราส่วนมวลเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนมวล 0.03-0.1 มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดแรงเฉือนและโมเมนต์ในเสาชั้นแรกลดลงประมาณ 10 %เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า แสดงดังรูป 6.42



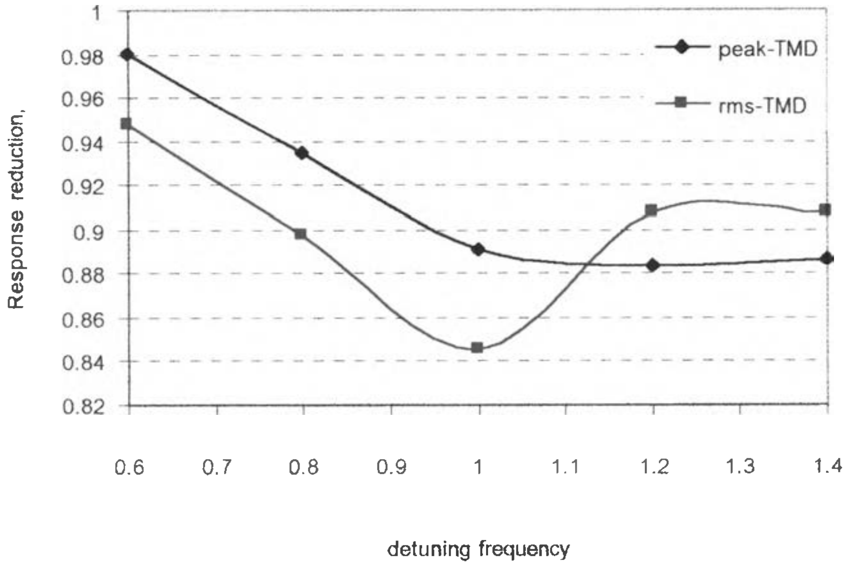
รูปที่ 6.42 แรงภายในของเสาต้นที่ 1 ที่อัตราส่วนมวลต่างๆ

และผลการวิเคราะห์ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อมีการปรับค่าอัตราส่วนมวลเพิ่มขึ้น มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการกระจัดของโครงสร้างได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีพบว่าการที่อัตราส่วนมวลมากกว่า 0.03 ทำให้ประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยมีค่าการกระจัดสูงสุดลดลงประมาณ 10%เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า ในส่วนค่าเฉลี่ยของการกระจัดทั้งหมดมีค่าลดลงประมาณ 15 %เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า แสดงดังรูปที่ 6.43



รูปที่ 6.43 การกระจัดสูงสุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการกระจัดของชั้นที่ 10

การออกแบบมวลหน่วงปรับค่า ขั้นตอนที่คำณวนหาความถี่ของโครงสร้างอาจคลาดคลื่นจากค่าความถี่ที่แท้จริงของโครงสร้างขึ้นอยู่กับการจำลองโครงสร้าง ดังนั้นทำให้มวลหน่วงปรับค่ามีประสิทธิภาพลดลง โดย รูปที่ 6.44 แสดงผลของความคลาดเคลื่อนในการปรับความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าเข้ากับโครงสร้างที่อัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.03 แกนราบคืออัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าต่อความถี่ของโครงสร้าง ส่วนแกนตั้งแทนค่าอัตราส่วนการกระจัดกรณีที่มีการติดมวลหน่วงปรับค่าต่อการกระจัดกรณีที่ไม่มีการติดมวลหน่วงปรับค่า พบว่าที่อัตราส่วนความถี่ 0.6 -1.4 มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการกระจัดสูงสุดลง 3 – 10% ส่วนค่าเฉลี่ยการกระจัดทั้งหมดลดลง 6 – 15 %



รูปที่ 6.42 ผลของความคลาดเคลื่อนการปรับค่าความถี่ต่อการการกระจัดของโครงสร้าง