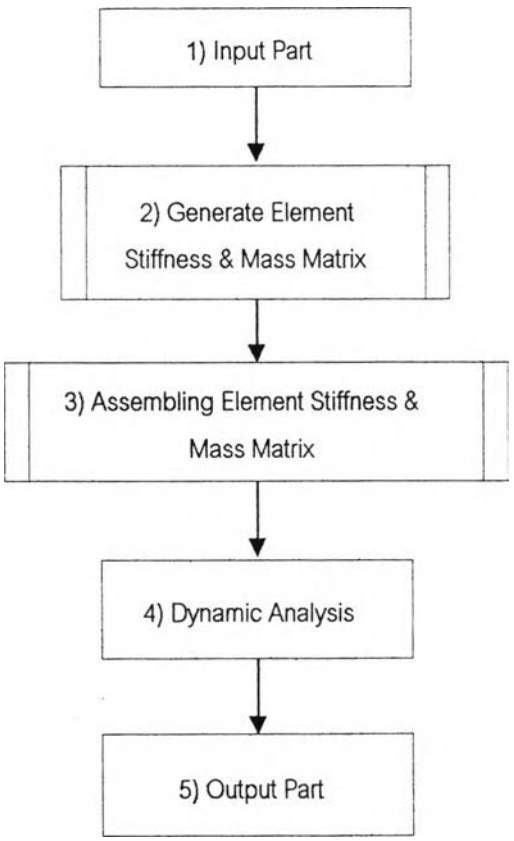
บทที่ 5
การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยมีความสามารถในการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงข้อแข็งสองมิติติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า ในช่วงอีลาสติก รับแรงแผ่นดินไหวและแรงลม โดยใช้ซอฟแวร์ MATLAB ซึ่งมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการเขียนโปรแกรม โดยมีหลักการวิเคราะห์ตามที่ได้กล่าวในบทก่อนหน้านี้

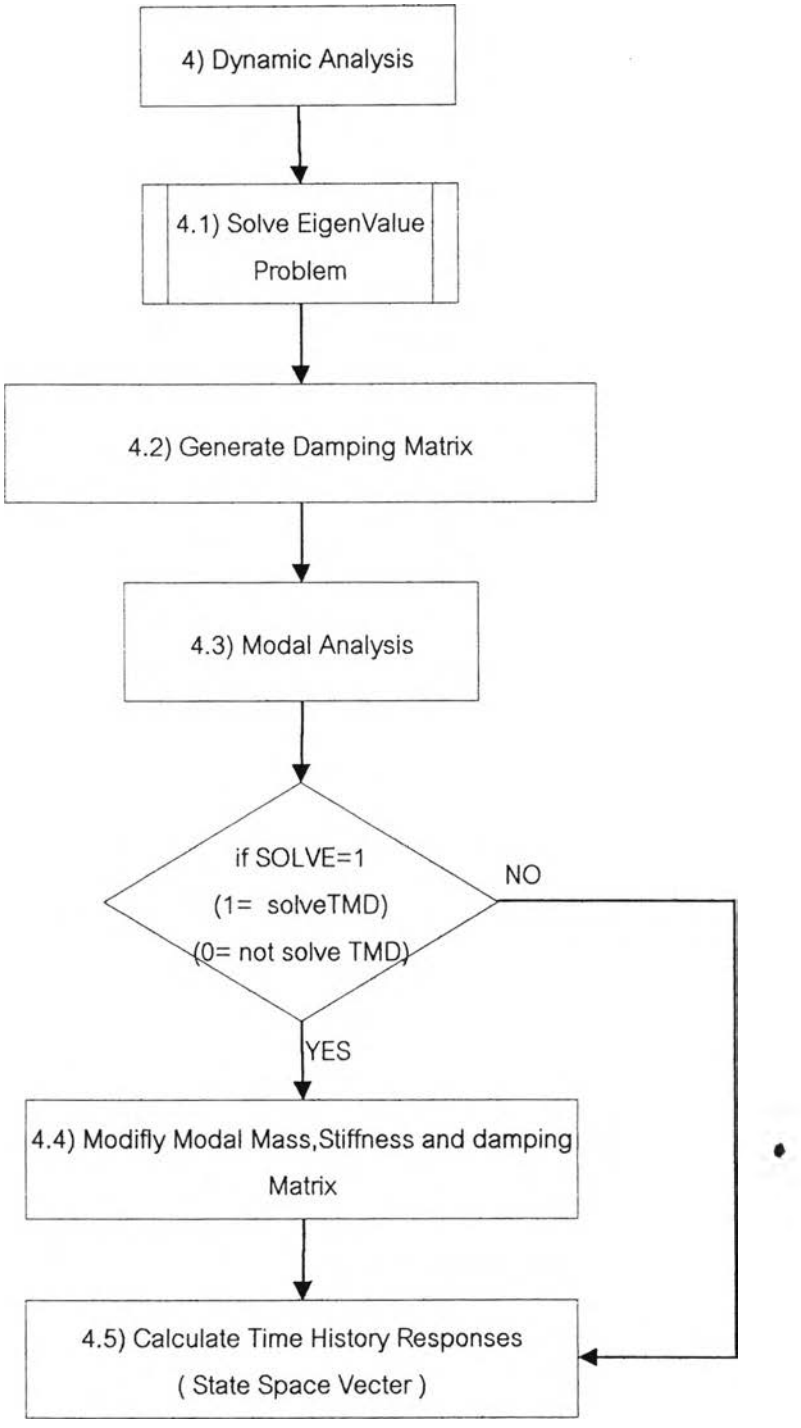
5.1 ขั้นตอนในการคำนวณของโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่พัฒนามีลำดับขั้นตอนในการทำงานแสดงดังรูปที่ 5.1



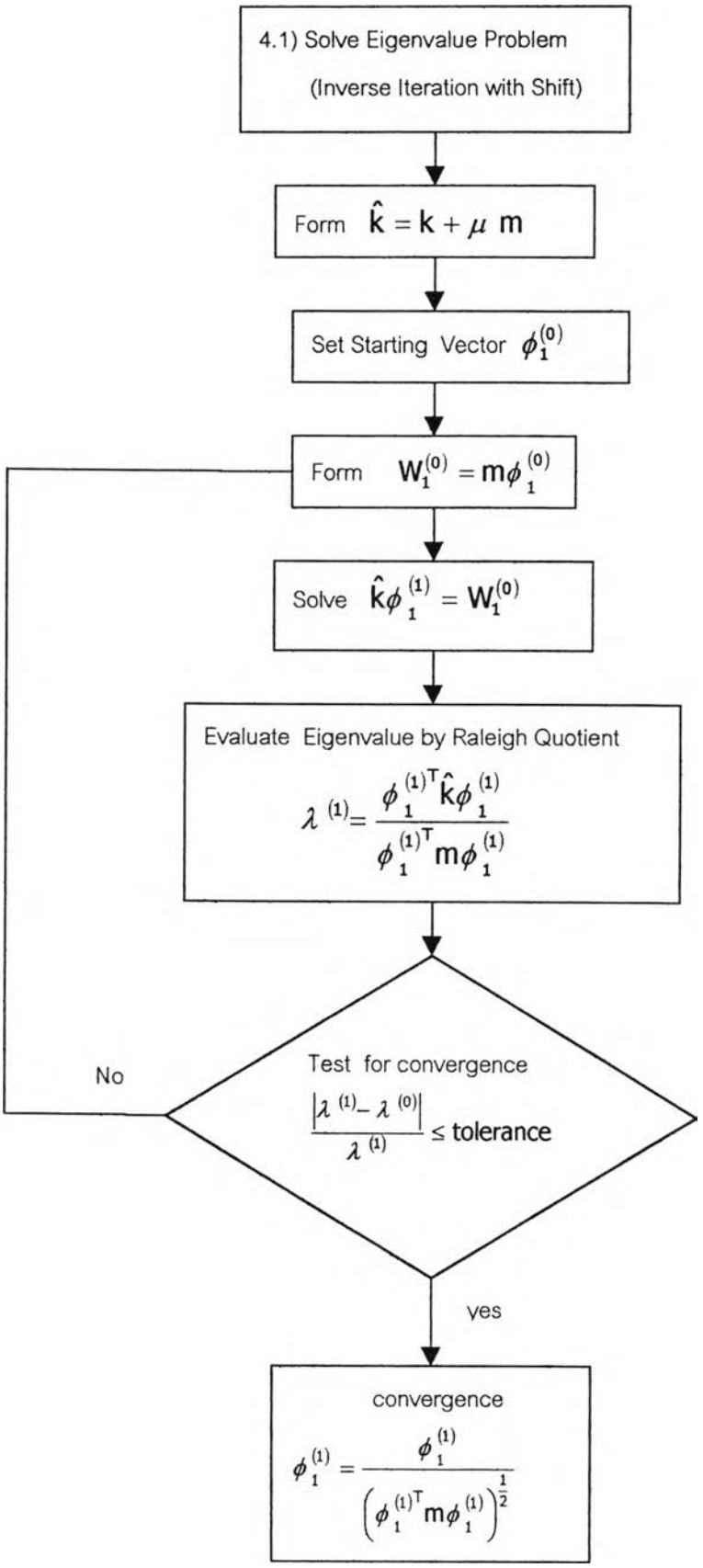
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนของโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

ในส่วนขั้นตอนในวิเคราะห์เชิงพลวัตสามารถเลือกคำนวณกรณีที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า และมีมวลหน่วงปรับค่าแสดงดังรูปที่ 5.2

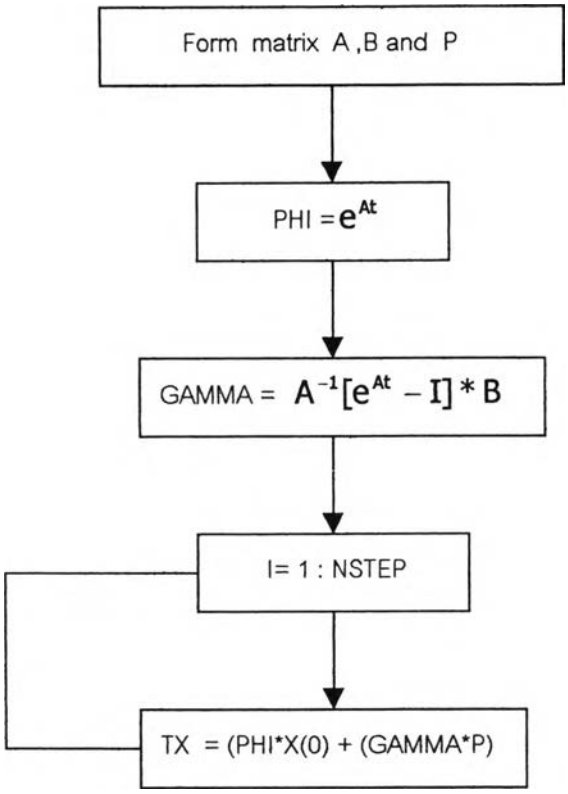


รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโปรแกรม

ในขั้นตอนที่หนึ่งของการวิเคราะห์เชิงพลวัตคือการหาค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง ด้วยวิธีการกระทำซ้ำผกผันซึ่งได้อธิบายหลักการในหัวข้อ 3.1.3 มีขั้นตอนดังนี้



หลังจากแยกแต่ละโหมด โปรแกรมที่พัฒนาหาการตอบสนองที่เวลาใดๆ ด้วยวิธีสถานะปริภูมิเวกเตอร์ ซึ่งอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.3 มีลำดับขั้นตอนในการคำนวณดังนี้



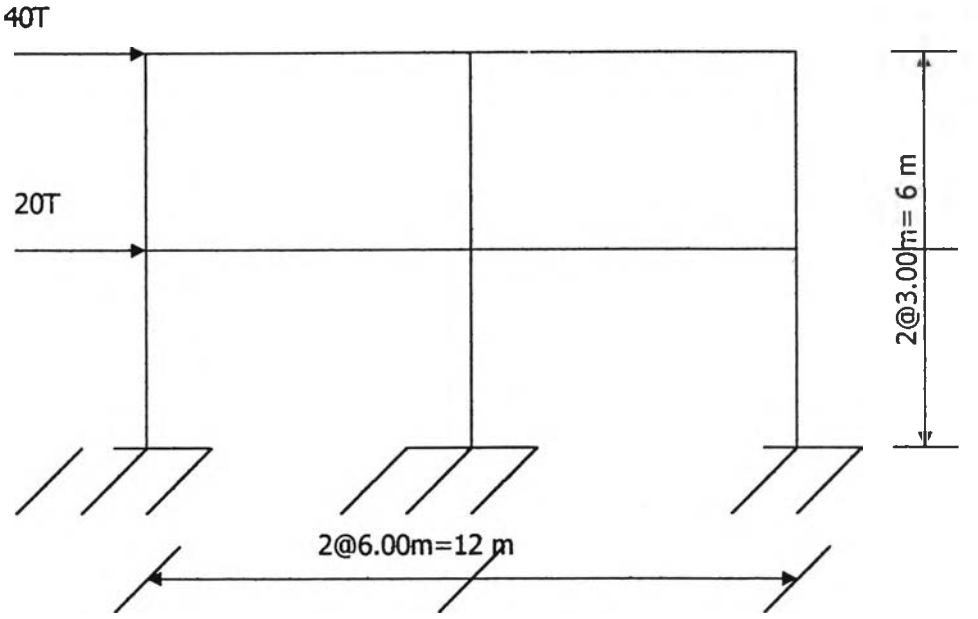
เพื่อให้มีความมั่นใจ โปรแกรมมีความถูกต้อง ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมในแต่ละขั้นตอนในการเขียนโปรแกรม โดยทำเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่าคำตอบแน่นอนและโปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตที่นิยมใช้งานทั่วไป เช่น STAAD III

5.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงสถิต

ทำการตรวจสอบโปรแกรมในการรวมเมตริกซ์สติฟเนสและตรวจสอบความถูกต้องเมตริกซ์สติฟเนสของโครงสร้าง โดยแก้สมการสมดุลสถิตของโครงสร้างสมการที่ 2.1 โดยทำการเปรียบเทียบผลการกระจัดในแต่ละระดับขั้นความเสรีกับโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง STAAD III

ความสูงโครงสร้างแต่ละชั้นเท่ากับ 3.00 เมตร ช่วงคานยาว 6.00 เมตร หน้าตัดของคานขนาด 0.25x0.50 เมตร หน้าตัดเสาขนาด 0.40x0.40 เมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของคานและเสาเท่ากับ 2,000,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังแสดงรูปที่ 5.3

ผลการคำนวณจากโปรแกรมพบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ระดับขั้นความเสรีต่าง ๆ ของโครงสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับ STAAD III แสดงดังตารางที่ 5.1 พบว่าโปรแกรมมีความถูกต้องจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดเป็นร้อยละ 0.7 ซึ่งน้อยมาก แสดงว่าโปรแกรมมีการรวมเมตริกซ์สติฟเนสถูกต้อง



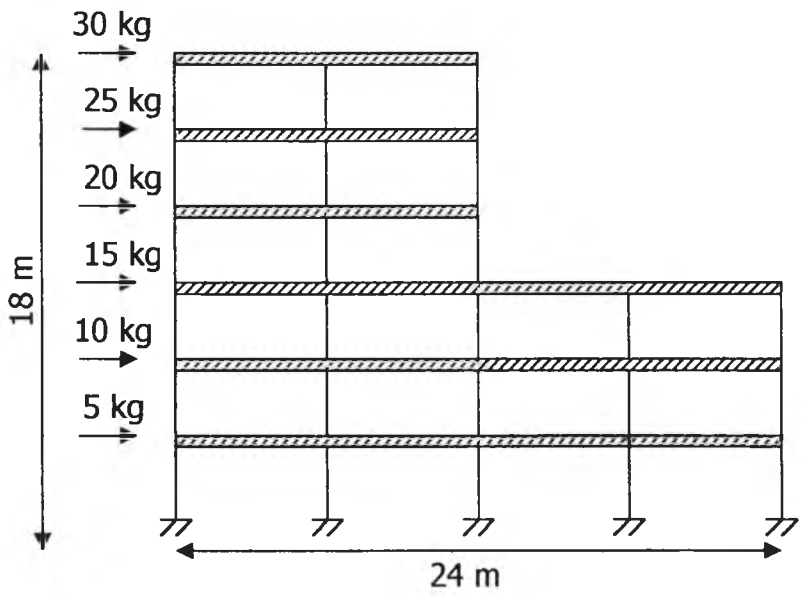
รูปที่ 5.3 โครงข้อแข็งในการวิเคราะห์เชิงสถิต

DOF NO.	PROG	STAAD III	Error (%)
8	-0.006	-0.007	-0.78
10	-0.005	-0.005	0.43
11	0.000	0.000	0.69
12	-0.006	-0.006	0.62
13	0.000	0.000	-0.50
14	-0.004	-0.004	-0.73
16	-0.003	-0.003	0.76
17	0.000	0.000	0.50
18	-0.004	-0.004	0.73
22	0.019	0.019	0.00
23	0.041	0.041	0.25

ตารางที่ 5.1 การกระจัดของโครงสร้างเทียบกับ STAAD III

และอีกตัวอย่าง โครงสร้างเป็นโครงข้อแข็งความสูงโครงสร้างแต่ละชั้นเท่ากับ 3.00 เมตร ช่วงคานยาว 6.00 เมตร หน้าตัดของคานขนาด 0.25x0.50 เมตร หน้าตัดเสาขนาด 0.40x0.40 เมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของคานและเสาเท่ากับ 2,000,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังแสดงรูปที่ 5.4

ผลการคำนวณจากโปรแกรมพบว่าการกระจัดแต่ละชั้นและแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับ STAAD III แสดงดังตารางที่ 5.2 ,5.3 พบว่าโปรแกรมมีความถูกต้อง จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ แสดงว่าโปรแกรมมีการรวมเมตริกซ์สติฟเนสถูกต้อง



รูปที่ 5.4 โครงข้อแข็งในการวิเคราะห์เชิงสถิต

Story	PROG (cm)	STAAD III (cm)	Error (%)
1	2.10	2.10	0.00
2	5.20	5.20	0.00
3	8.18	8.18	0.00
4	12.00	12.00	0.00
5	15.40	15.40	0.00

ตารางที่ 5.2 การกระจัดของโครงสร้างเทียบกับ STAAD III

Shear Force	PROG (kg)	STAAD III (kg)	Error (%)
1	17.59	17.59	0.00
2	23.24	23.24	0.00
3	22.76	22.76	0.00
4	23.54	23.54	0.00
5	17.87	17.87	0.00

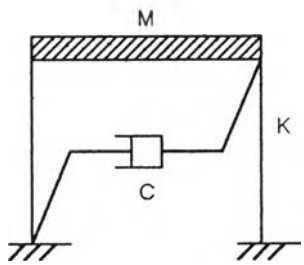
ตารางที่ 5.3 แรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้างเทียบกับ STAAD III

5.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้าง ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์โหมด ด้วยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลของคำตอบแน่นอน โดยทำการวิเคราะห์โครงข้อแข็ง 1ชั้น 1ช่วงคาน

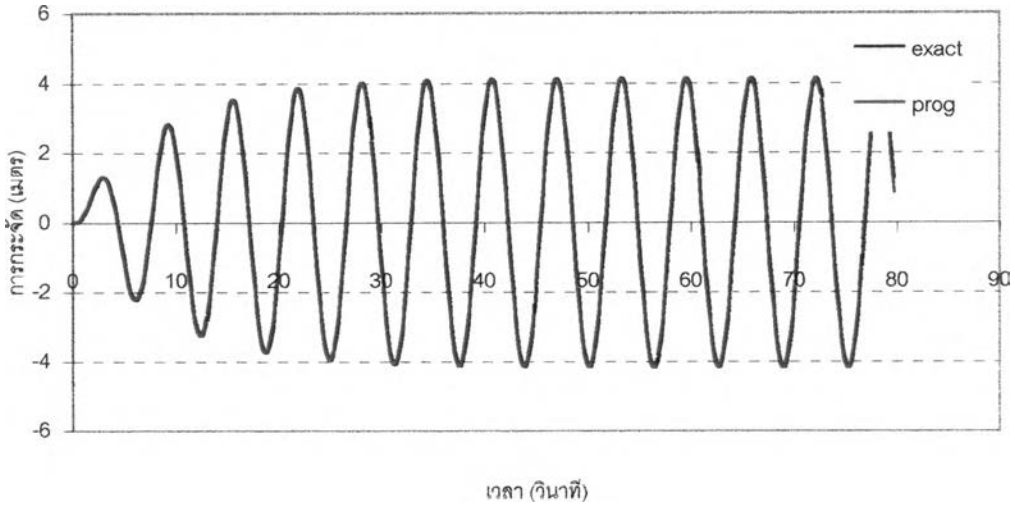
โครงสร้างมีมวลเท่ากับ 1 กิโลกรัม สติฟเนส 1นิวตันต่อเมตร อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 0.12 และโครงสร้างมีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 1 เรเดียนต่อวินาที

โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นแบบฮาร์โมนิคแบบรูปไซน์มีขนาดเท่ากับ1 นิวตันและความถี่ของแรงเท่ากับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง



รูปที่ 5.5 แบบโครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว

จากผลการวิเคราะห์หาการตอบสนองเชิงพลวัตจากโปรแกรมที่พัฒนาเปรียบเทียบกับผลคำตอบแน่นอนแสดงดังกราฟรูปที่ 5.6 พบว่าผลจากโปรแกรมที่พัฒนาและผลจากคำตอบแน่นอนมีค่าเท่ากับในทุกช่วงเวลา



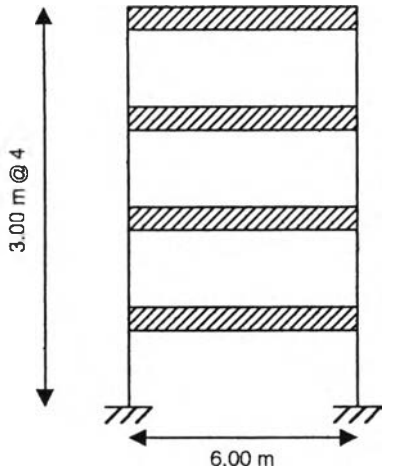
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์โครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียว

5.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงข้อแข็ง 4 ชั้น

เพื่อตรวจสอบขั้นตอนการหาค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง และการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์โหมดของโครงสร้างหลายระดับขั้นความเสรี ได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างตัวอย่างกับโปรแกรม STAAD III โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างแบบรับแรงเฉือน 4 ชั้น 1ช่วงคาน

โครงสร้างรับแรงเฉือนมีความสูงแต่ละชั้น 3.00 เมตร ช่วงคานยาว 6.00 เมตร หน้าตัดของคานมีขนาด 0.25x0.50 เมตร หน้าตัดเสามีขนาด 0.40x0.40 เมตร กำหนดให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาและคานมีขนาดเท่ากับ 2,000,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำหนดให้อัตราส่วนความหน่วงทั้ง 4 โหมดของโครงสร้างเท่ากับ 0.05

ในการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้าง สมมติให้โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว โดยใช้บันทึกคลื่นแผ่นดินไหว El Centro 1940 NS

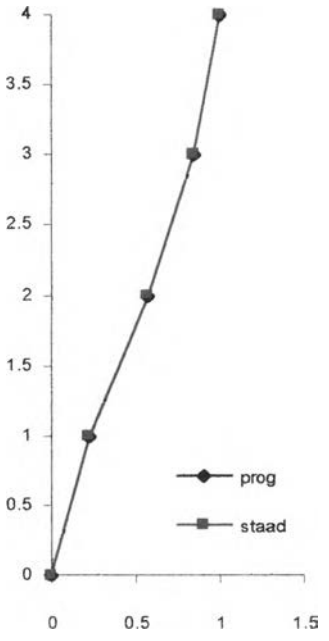


รูปที่ 5.7 โครงสร้างรับแรงเฉือน 4 ชั้น

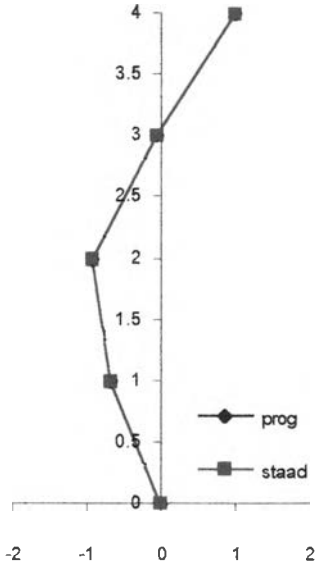
ผลการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างกับผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม STAAD III แสดงดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.8 –5.11 ความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนามีค่าตรงกับโปรแกรม STAAD III และการวิเคราะห์เชิงพลวัตเพื่อหาการตอบสนองของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว ผลการเปรียบเทียบกับโปรแกรม STAAD III พบว่ามีค่าการตอบสนองเท่ากันในทุกช่วงเวลาแสดงดังรูปที่ 5.12

โหมดที่	ความถี่ธรรมชาติ (prog)	ความถี่ธรรมชาติ(STAAD III)	ค่าความผิดพลาด
1	3.1	3.14	1.27
2	10.05	10.21	1.57
3	18.36	18.73	1.98
4	26.18	26.84	2.46

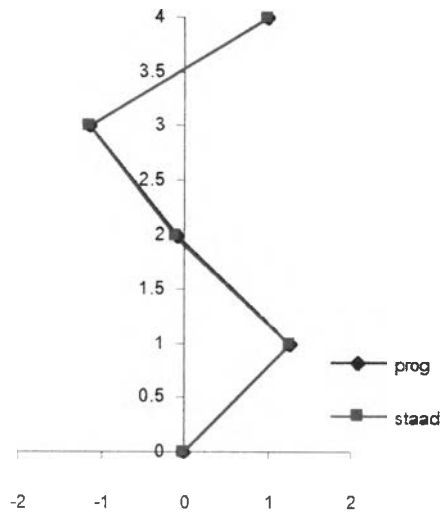
ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง



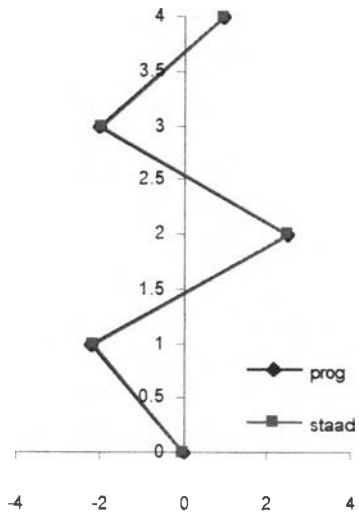
รูปที่5.8 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 1 โครงสร้าง 4 ชั้น



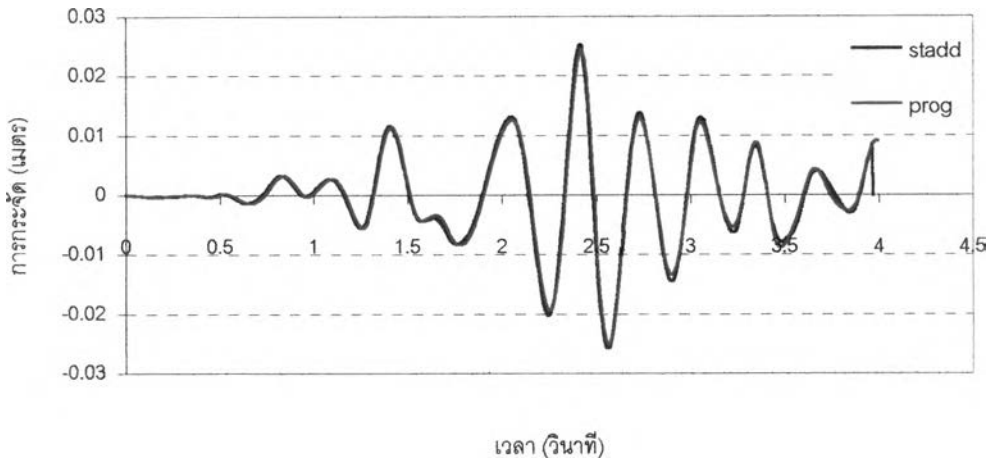
รูปที่ 5.9 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 2 โครงสร้าง 4 ชั้น



รูปที่ 5.10รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 3 โครงสร้าง 4 ชั้น



รูปที่ 5.11 รูปแบบการสั่นไหวโหมดที่ 4 โครงสร้าง 4 ชั้น



รูปที่ 5.12 การกระจัดของโครงสร้างชั้นที่ 4

5.5 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงสร้างระดับขั้นความเสรีเดียวติดมวลหน่วงปรับค่า

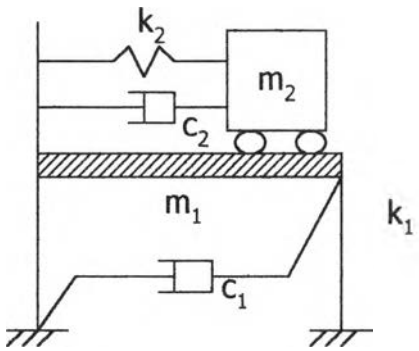
ทำการตรวจสอบความถูกต้องการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าของโปรแกรม ด้วยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าคำตอบแน่นอน โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างรับแรงเฉือน 1 ชั้น 1ช่วงคาน

โครงสร้างมีมวลเท่ากับ 1 กิโลกรัม สติฟเนส 1นิวตันต่อเมตร อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 0.02 และความถี่ธรรมชาติพื้นฐานของโครงสร้างเท่ากับ 1 เรเดียนต่อวินาที แสดงดังรูปที่ 5.13

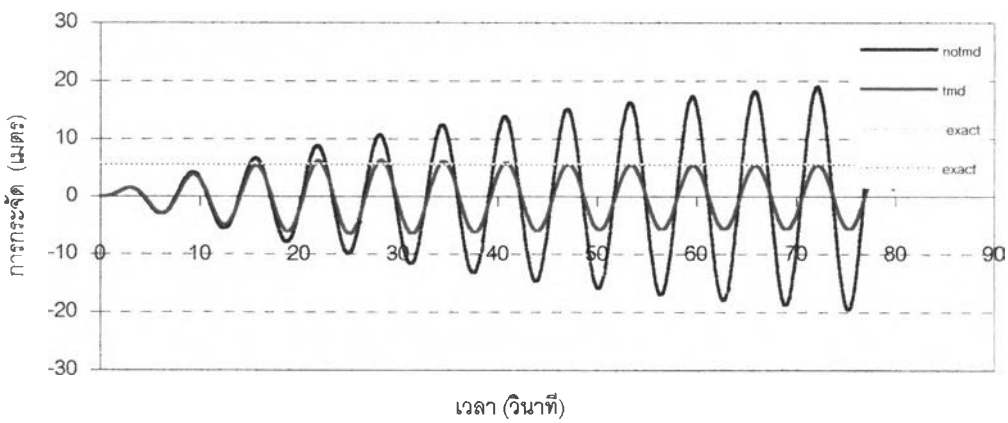
โครงสร้างสมมติให้รับแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นแบบฮาโมนิคแบบรูปไซน์มีขนาดเท่ากับ1 นิวตันและความถี่ของแรงเท่ากับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่มวลหน่วงปรับค่า ใช้สูตรของ Den hartog โดยกำหนดอัตราส่วนมวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อโครงสร้างเท่ากับ 0.03 จะได้มวล 0.03 กิโลกรัม จะได้ค่าความหน่วงของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.00609 นิวตัน วินาทีต่อเมตร สติฟเนสของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.02828 นิวตันต่อเมตร

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมที่พัฒนากับผลจากคำตอบแน่นอน แสดงดังรูปที่ 5.14 พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาแสดงผลการวิเคราะห์ถูกต้อง ในช่วงที่สภาวะคงที่ (steady state)ค่าการกระจัดสูงสุดและต่ำสุดของโปรแกรมเท่ากับค่าขอบเขตค่าสูงสุดและต่ำสุดของคำตอบแน่นอน



รูปที่ 5.13 โครงสร้าง 1 ระดับขั้นความเสรีติดมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 5.14 การกระจัดโครงสร้าง 1 ระดับขั้นความเสรีติดมวลหน่วงปรับค่า

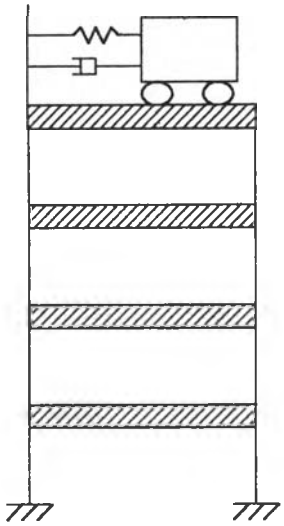
5.6 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงพลวัตโครงข้อแข็ง 4 ชั้น ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

ทำการตรวจสอบความถูกต้องการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าของโปรแกรม โครงสร้างที่วิเคราะห์เป็นโครงสร้างรับแรงเฉือน 4 ชั้น 1 ช่วงคาน

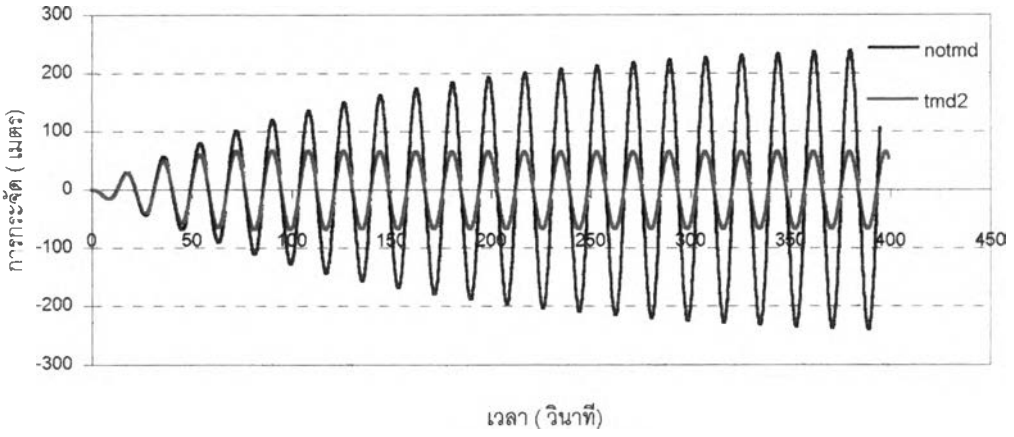
โครงสร้างมีมวลแต่ละชั้นเท่ากับ 1 กิโลกรัม
สติฟเนสแต่ละชั้น 1 นิวตันต่อเมตร
อัตราส่วนความหน่วงโหมดที่ 1และ 2 เท่ากับ 0.02
ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างโหมดที่ 1 เท่ากับ 0.3473 เรเดียนต่อวินาที
ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างโหมดที่ 1 เท่ากับ 1 เรเดียนต่อวินาที
สมมุติให้โครงสร้างรับแผ่นดินไหวแบบแรงฮาโมนิค 2แบบ มีขนาดเท่ากับ 1นิวตันและมีความถี่ของแรงเท่ากับความถี่ของโครงสร้างโหมดที่ 1 และ โหมดที่ 2

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่มวลหน่วงปรับค่าใช้ของ Den hartog โดยทำการปรับค่าของมวลหน่วงปรับค่าเพื่อลดการสั่นไหวเฉพาะโหมดที่ 1 ของโครงสร้าง ได้มวลของมวลหน่วงปรับค่า 0.05 กิโลกรัม ความหน่วงของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.00442 นิวตัน วินาทีต่อเมตร สติฟเนสของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ 0.00547 นิวตันต่อเมตร

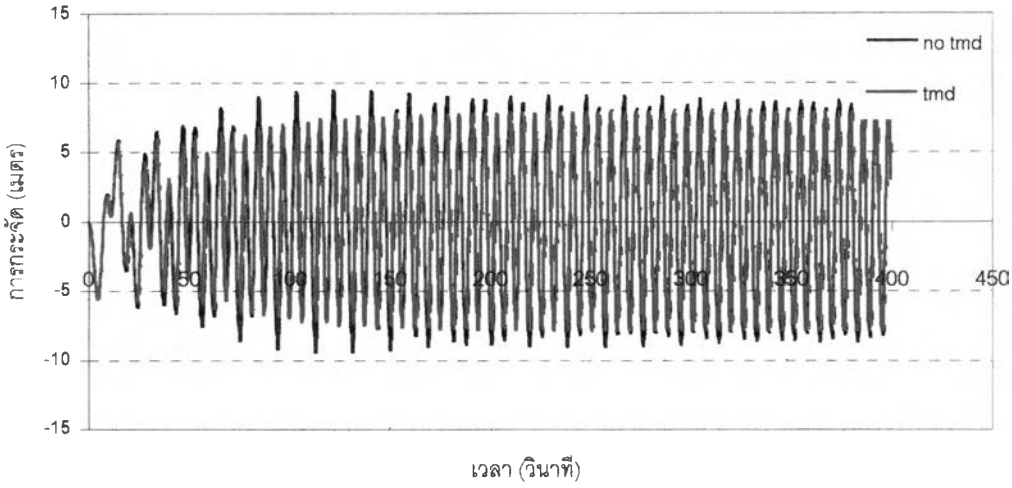
ผลการวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงสร้างเมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าภายใต้แรงฮาโมนิค มวลหน่วงปรับค่าสามารถการสั่นไหวได้ถึง 70 % แสดงดังรูปที่ 5.16 เมื่อความถี่ของแรงเท่ากับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ของโครงสร้าง แต่เมื่อเปลี่ยนแรงให้เท่ากับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 2 ของโครงสร้างมวลหน่วงปรับค่าไม่สามารถลดการสั่นไหวของโครงสร้าง เนื่องจากมวลหน่วงปรับค่าถูกปรับเพื่อลดการสั่นไหวโหมดที่ 1 ดังนั้นเมื่อแรงมีความถี่เท่ากับโหมดที่ 2 มวลหน่วงปรับค่าจึงไม่ช่วยลดการสั่นไหวของโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.15 โครงสร้าง 4 ชั้นติดมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 5.16 การกระจัดของโครงสร้างชั้นที่ 4 เมื่อแรงมีความถี่เท่ากับ 0.3474



รูปที่ 5.17 การกระจัดของโครงสร้างชั้นที่ 4 เมื่อแรงมีความถี่เท่ากับ 1