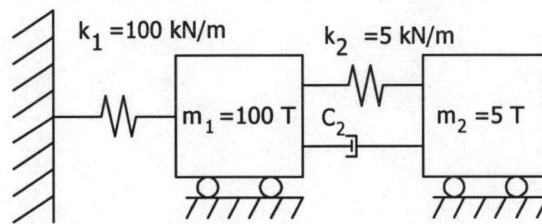


บทที่ 4

การปรับปรุงโปรแกรม IDARC

การปรับปรุงโปรแกรมจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ที่ทำการปรับปรุง ในส่วนของโปรแกรมที่ทำการปรับปรุงนั้นเป็นการปรับปรุงเพื่อการวิเคราะห์ โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟในช่วงอินอีลาสติก ซึ่งยังไม่มีโปรแกรมที่ทำ ได้ในขณะนี้ ดังนั้นการตรวจสอบโปรแกรมจะกระทำในช่วงอีลาสติกซึ่งสามารถกระทำได้ง่ายและ มีความถูกต้องสูงในการตรวจสอบ

การตรวจสอบโปรแกรม IDARC ที่ทำการปรับปรุงจะทำการเปรียบเทียบกับ โปรแกรม MATLAB ที่เขียนขึ้นเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างดังกล่าว โดยที่โปรแกรม IDARC ทำการ วิเคราะห์โดยใช้วิธีของนิวมาร์ค-เบต้า ส่วนโปรแกรม MATLAB ใช้วิธีสเตทสเปซ (State Space) ซึ่ง ตรวจสอบแล้วพบว่าค่าที่ได้เท่ากับการวิเคราะห์แบบแม่นยำตรง (Exact Solution) โดยเปรียบเทียบ สัมประสิทธิ์การขยายค่าทางพลศาสตร์ (Dynamic amplification factor, DAF) ในกรณีที่ โครงสร้างหลักมีดีกรีความอิสระเท่ากับ 1 และมีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟโดย โครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1

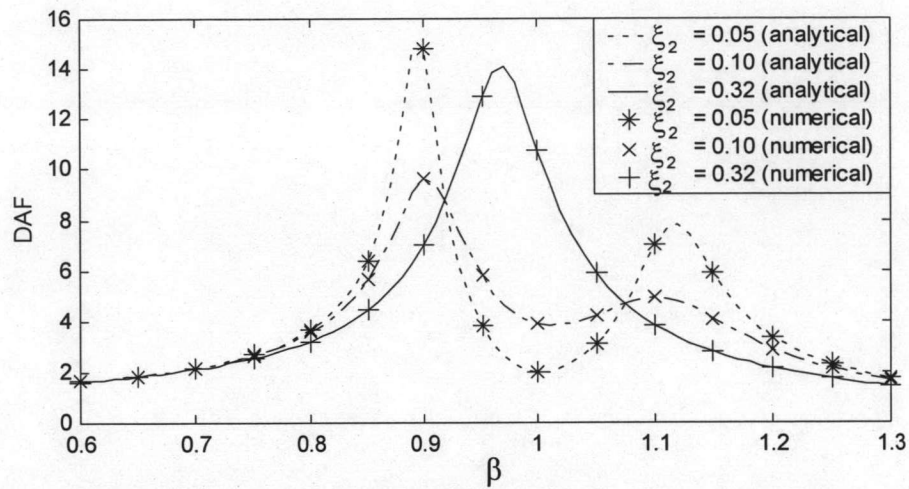


รูปที่ 4.1 โครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม MATLAB

ติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟโดยใช้อัตราส่วนมวล 5 เปอร์เซ็นต์ และติดตั้งที่ความถี่กำทอนของโครงสร้างหลัก โดยปรับเปลี่ยนค่าความหน่วงของตัวหน่วงโดยที่

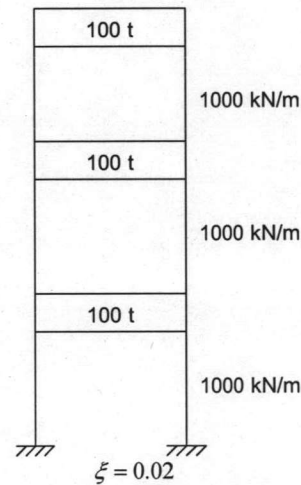
$$C_2 = 2 \cdot m_2 \cdot \xi \cdot \omega_1 \quad (4.1)$$

จากการตรวจสอบได้ผลดังรูปที่ 4.2 ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่าค่าที่ได้มีค่าตรง ตามทฤษฎี



รูปที่ 4.2 ผลการตรวจสอบโปรแกรมโดยใช้ระบบควบคุมแบบพาสซีฟ

จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม IDARC ที่ทำการปรับปรุงกับโปรแกรม MATLAB จะใช้โครงสร้างที่มีจำนวน 3 ชั้นและมี 1 ช่วงคาน โดยคานจะกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body) ดังแสดงในรูป 4.3



รูปที่ 4.3 โครงสร้างที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม IDARC

จากโครงสร้างดังกล่าวสามารถเขียนเมตริกซ์ของคุณสมบัติของโครงสร้างได้คือ

$$M = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 100 \end{bmatrix} \text{ ตัน} \quad (4.2 \text{ ก})$$

$$K = \begin{bmatrix} 2000 & -1000 & 0 \\ -1000 & 2000 & -1000 \\ 0 & -1000 & 1000 \end{bmatrix} \text{ กิโลนิวตัน / เมตร} \quad (4.2 \text{ ข})$$

จากการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างจะได้

$$\Phi_1 = [1.0000 \quad 0.8019 \quad 0.4450]^T \quad \omega_1 = 1.4073 \text{ เรเดียน / วินาที} \quad (4.3 \text{ ก})$$

$$\Phi_2 = [-0.8019 \quad 0.4450 \quad 1.0000]^T \quad \omega_2 = 3.9433 \text{ เรเดียน / วินาที} \quad (4.3 \text{ ข})$$

$$\Phi_3 = [0.4450 \quad -1.0000 \quad 0.8019]^T \quad \omega_3 = 5.6982 \text{ เรเดียน / วินาที} \quad (4.3 \text{ ค})$$

เมตริกซ์ของค่าความหน่วงที่ใช้ในโปรแกรม IDARC เป็นแบบอัตราส่วนตามมวล (mass proportional) ดังนั้นจะใช้ค่าความหน่วงดังกล่าวในโปรแกรม MATLAB ด้วย โดยเมตริกซ์ของค่าความหน่วงคือ

$$C = 2M\xi\omega_1 \quad (4.4 \text{ ก})$$

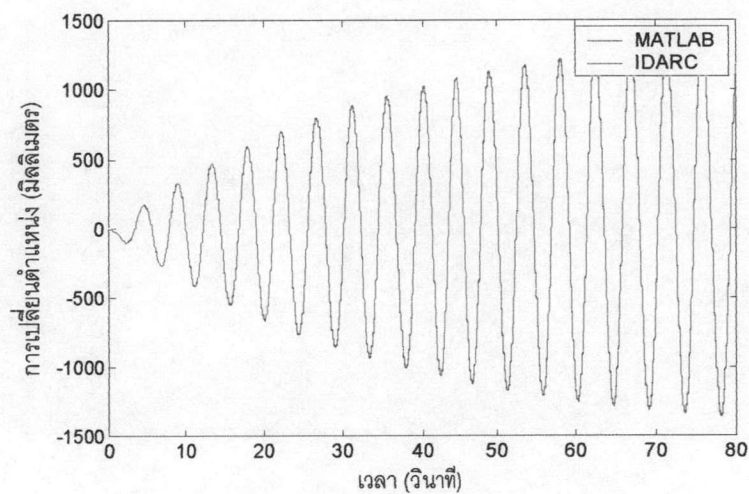
$$C = \begin{bmatrix} 5.6294 & 0 & 0 \\ 0 & 5.6294 & 0 \\ 0 & 0 & 5.6294 \end{bmatrix} \text{ กิโลนิวตัน - วินาที / เมตร} \quad (4.4 \text{ ข})$$

คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง จะใช้คลื่นแผ่นดินไหว 4 คลื่น ได้แก่ คลื่นที่เป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีความถี่ของคลื่นเป็นความถี่สั่นพ้องที่โหมดแรก คลื่นแผ่นดินไหว El Centro, คลื่นแผ่นดินไหว Northridge และคลื่นแผ่นดินไหว SCT โดยทั้ง 4 คลื่นมีค่าความเร่งสูงสุดที่พื้นดิน 0.01 เท่าของความเร่งโลก คลื่นที่เป็นฟังก์ชันไซน์สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4.4

$$a(t) = 0.01g \sin(\omega_1 t) \quad (4.5)$$

4.1 โครงสร้างที่ไม่มีระบบควบคุมการสั่นไหว

จากการวิเคราะห์โครงสร้างที่ไม่มีระบบควบคุมการสั่นไหวกับคลื่นแผ่นดินไหวฟังก์ชันไกเซอร์ จะได้การเคลื่อนที่ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้างดังรูปที่ 4.4 และค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 การเคลื่อนที่ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง

ตารางที่ 4.1 ค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่ใช้คลื่นแผ่นดินไหวฟังก์ชันไกเซอร์

	MATLAB (มิลลิเมตร)	IDARC (มิลลิเมตร)	ความแตกต่าง (เปอร์เซ็นต์)
การเคลื่อนที่ที่ชั้น 1	1343.85	1343.73	0.0101
การเคลื่อนที่ที่ชั้น 2	1077.63	1077.57	0.0050
การเคลื่อนที่ที่ชั้น 3	597.98	598.04	0.0091

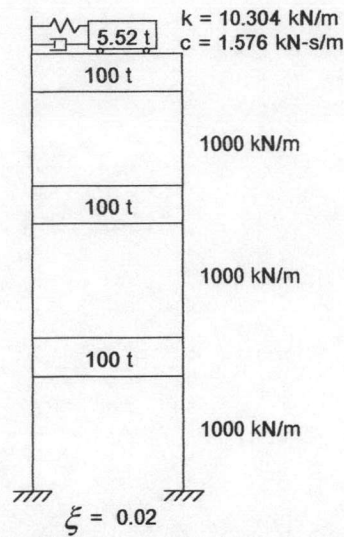
ตารางที่ 4.2 ค่าความแตกต่างในการวิเคราะห์โครงสร้างที่ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมการสั่นไหว

คลื่นแผ่นดินไหว	ค่าความแตกต่าง (เปอร์เซ็นต์)
ฟังก์ชันไกโซร์	0.0091
El Centro	0.0218
Northridge	0.0338
SCT	0.0295

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการให้ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม IDARC และ MATLAB แสดงให้เห็นว่าการคำนวณทั้งสองวิธีคือวิธีของนิวมาร์ค-เบต้าและวิธีสเตทสเปซให้ผลการตอบสนองของโครงสร้างตรงกัน นอกจากนี้แสดงว่าข้อมูลที่ใช้ในทั้ง 2 โปรแกรมใช้ค่าชุดเดียวกัน โดยที่การให้ค่าแก่โปรแกรม MATLAB เป็นการให้ค่าโดยตรงคือ การให้ค่า มวล สติฟเนสและค่าความหน่วง ส่วนการให้ค่าแก่โปรแกรม IDARC เป็นการให้ค่ามวล ค่าEIของหน้าตัดซึ่งโปรแกรมจะแปลงเป็นสติฟเนส และค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างซึ่งโปรแกรมจะแปลงเป็นค่าความหน่วง ความคลาดเคลื่อนส่วนหนึ่งมาจากการแปลงหน่วยเพื่อการใส่ข้อมูลโดยทั้งสองโปรแกรมใช้หน่วยที่ต่างกัน และการสมมติให้คานในโปรแกรม IDARC ว่ามีค่าแข็งมากเทียบกับเสา ซึ่งมีข้อจำกัดเชิงตัวเลขในการให้ค่า

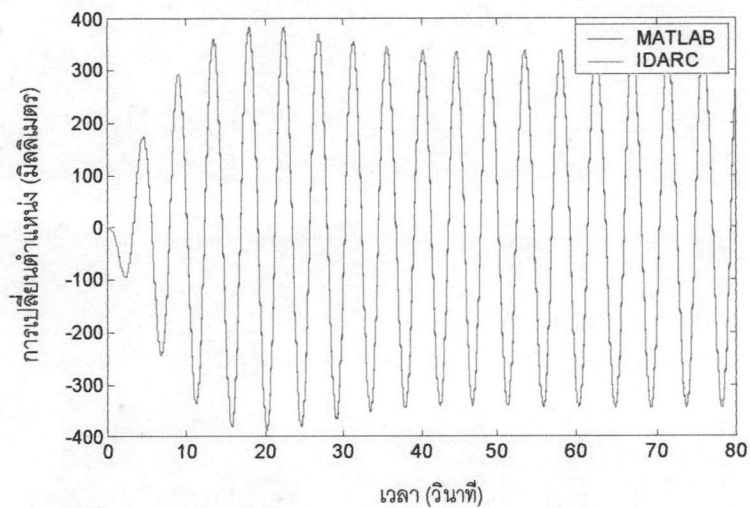
4.2 ระบบควบคุมการสั่นไหวแบบแพสซีฟ

โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงแบบแพสซีฟที่ใช้ในการตรวจสอบ จะติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟที่ความถี่กำหนด ใช้มวลของมวลหน่วงเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ของมวลในโหมดพื้นฐาน และสมการของ Den Hartog ในการหาค่าคุณสมบัติต่างๆของมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟ โครงสร้างที่มีมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟแสดงได้ดังในรูปที่ 4.5

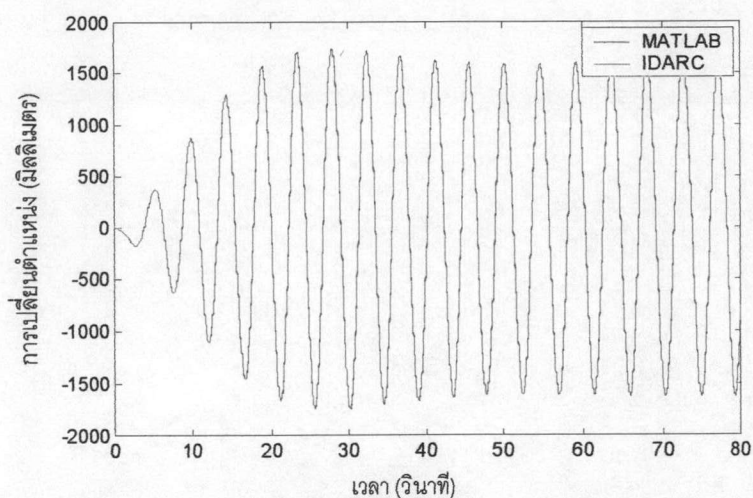


รูปที่ 4.5 โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟกับคลื่นแผ่นดินไหวฟังก์ชันไกไซน์ จะได้การเคลื่อนที่ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้างและการเคลื่อนที่ของมวลหน่วงดังรูปที่ 4.6 และค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.3



(ก) การเคลื่อนที่ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง



(ข) การเคลื่อนที่ของมวลหน่วงปรับค่าแบบพลัสทีฟ

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพลัสทีฟ

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพลัสทีฟที่ใช้คลื่นแผ่นดินไหว ฟังชันไก์ไซน์

	MATLAB (มิลลิเมตร)	IDARC (มิลลิเมตร)	ความแตกต่าง (เปอร์เซ็นต์)
การเคลื่อนที่ ที่ชั้น 1	171.22	171.26	0.0262
การเคลื่อนที่ ที่ชั้น 2	308.50	308.71	0.0657
การเคลื่อนที่ ที่ชั้น 3	385.96	386.27	0.0802
การเคลื่อนที่ของมวลหน่วง	1747.84	1744.35	0.1998

ตารางที่ 4.4 ค่าความแตกต่างในการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบ
แพสซีฟ

คลื่นแผ่นดินไหว	ค่าความแตกต่าง (เปอร์เซ็นต์)
ฟังก์ชันไกโซน์	0.1998
El Centro	0.1499
Northridge	0.1833
SCT	0.1267

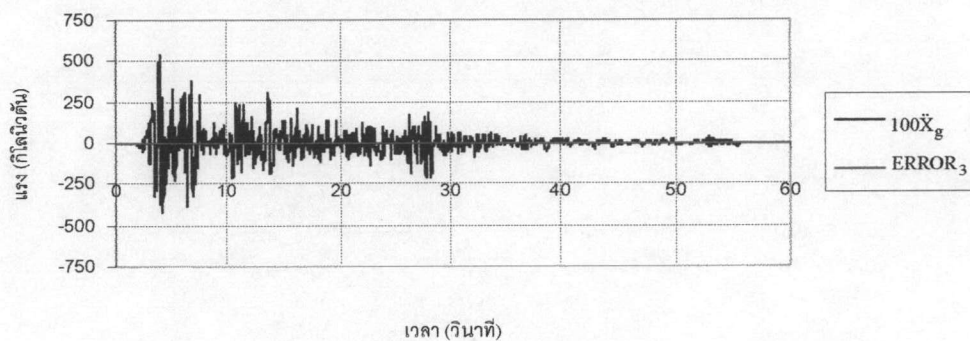
ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม IDARC ที่ทำการแก้ไขมีความถูกต้อง โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีของสเตสเปซแล้วพบว่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณมีค่าน้อย คือ ไม่ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ยังพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณเมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟได้จากสมการสมดุล โดยเลือกพิจารณาเฉพาะสมการสมดุลของชั้นที่ 3 และของมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟเนื่องจากเป็นสมการที่มีความคลาดเคลื่อนมากเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนตำแหน่ง สมการสมดุลของชั้นที่ 3 และของมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟคือ

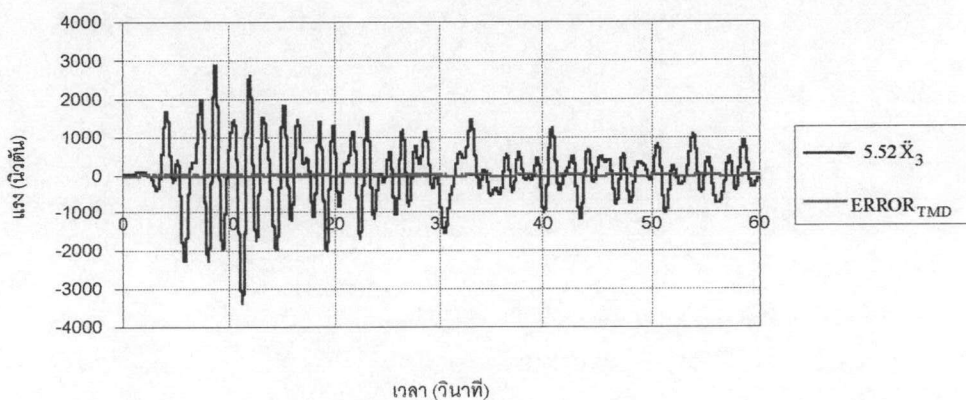
$$100\ddot{X}_3 + 5.6294\dot{X}_3 - 1.576\dot{X}_{TMD} + 1010.304X_3 - 1000X_2 - 10.304X_{TMD} = -100\ddot{X}_g + \text{ERROR}_3 \quad (4.6 \text{ ก})$$

$$5.52\ddot{X}_{TMD} + 1.576\dot{X}_{TMD} + 10.304X_{TMD} = -5.52\ddot{X}_3 + \text{ERROR}_{TMD} \quad (4.6 \text{ ข})$$

จากสมการข้างต้นสามารถแสดงความคลาดเคลื่อนได้ดังในรูปที่ 4.7 - 4.8 และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนได้ดังในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.7 แรงกระทำเทียบเท่าและค่าความคลาดเคลื่อนของสมการสมดุลของชั้นที่ 3



รูปที่ 4.8 แรงกระทำเทียบเท่าและค่าความคลาดเคลื่อนของสมการสมดุลของมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟ

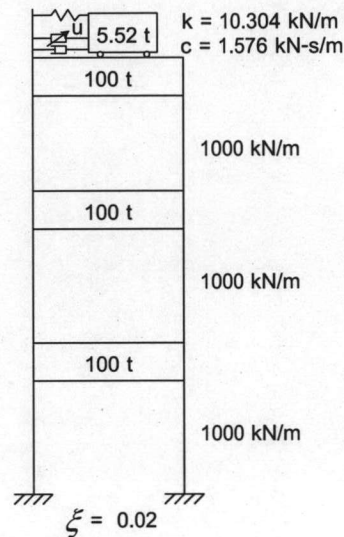
ตารางที่ 4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการสมดุล

ชั้นที่	แรงกระทำเทียบเท่าสูงสุด (กิโลนิวตัน)	ค่าความคลาดเคลื่อน (กิโลนิวตัน)	ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
3	541.51	0.12	0.023
TMD	2.889	0.001	0.035

จากการตรวจสอบสมการสมดุลพบว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงมีค่าน้อยคือประมาณ 0.035 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

4.3 ระบบควบคุมการสั่นไหวแบบแยกทีฟ

ระบบควบคุมการสั่นไหวแบบมวลหน่วงปรับค่าแยกทีฟเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมการสั่นไหวแบบมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟ โดยการติดตั้งตัวออกแรงกระทำระหว่างมวลหน่วงและโครงสร้างหลัก โครงสร้างที่มีมวลหน่วงปรับค่าแบบแยกทีฟแสดงได้ดังในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแยกทีฟ

การออกแรงกระทำของตัวออกแรงควบคุมโดยอัลกอริทึมดังแสดงในบทที่ 3 ในโครงสร้างที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมนี้ จะใช้เมตริกซ์ Q และ R ดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \quad (4.7 \text{ ก})$$

$$R = 1.0E-4 \quad (4.7 \text{ ข})$$

โดยที่

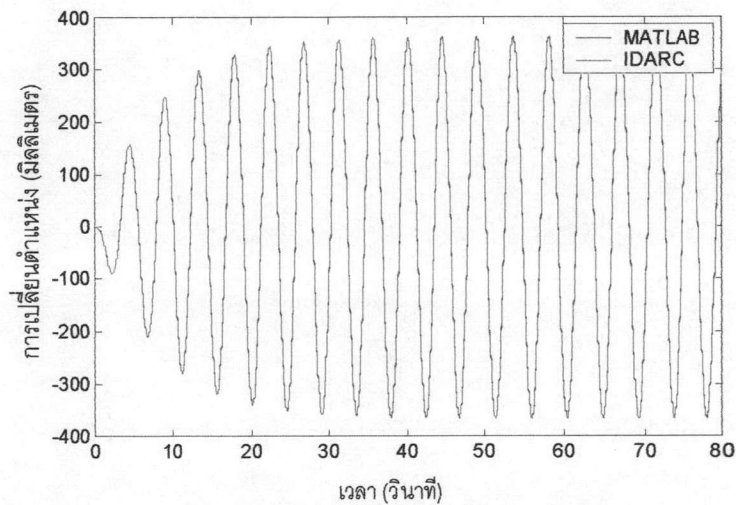
$$M = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5.52 \end{bmatrix} \text{ ตัน}$$

$$K = \begin{bmatrix} 2000 & -1000 & 0 & 0 \\ -1000 & 2000 & -1000 & 0 \\ 0 & -1000 & 1010.304 & -10.304 \\ 0 & 0 & -10.304 & 10.304 \end{bmatrix} \text{ กิโลนิวตัน / เมตร}$$

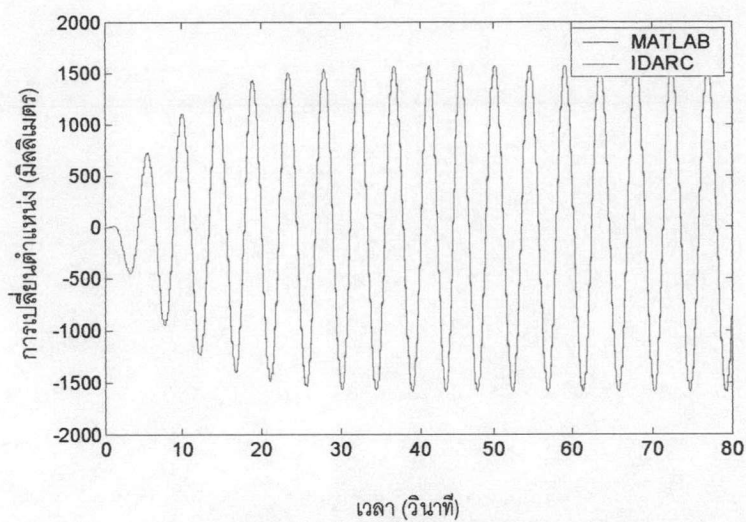
จากคุณสมบัติของโครงสร้างดังกล่าวจะได้เมตริกซ์ความคัมคือ

$$G = [-786.14 \quad 5911.29 \quad -6293.45 \quad 310.86 \quad 283.14 \quad -48.25 \quad 587.39 \quad 286.76] \quad (4.8)$$

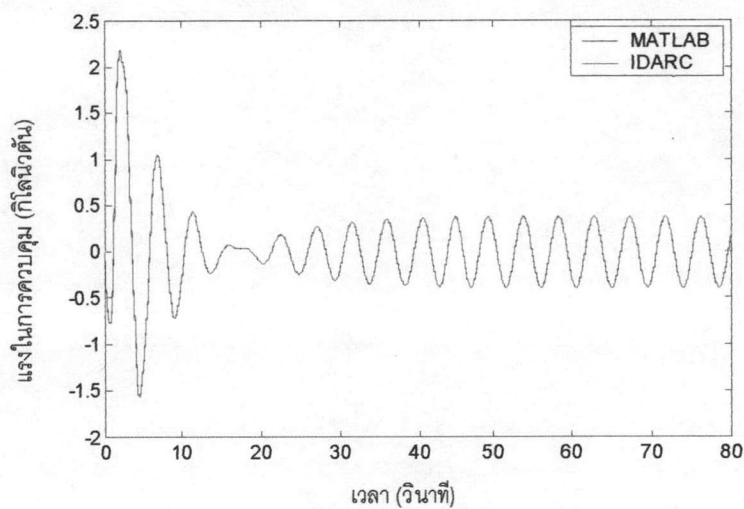
จากการวิเคราะห์ที่โครงสร้างที่ติดตั้งมวลห้วงปรับค่าแบบแยกทีฟ จะได้การเคลื่อนที่ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง การเคลื่อนที่ของมวลห้วงและแรงที่กระทำโดยตัวออกแรงดังรูปที่ 4.10 และค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.6



(ก) การเคลื่อนที่ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง



(ข) การเคลื่อนที่ของมวลห้วงปรับค่าแบบแอกทีฟ



(ค) แรงที่กระทำโดยตัวออกแรง

รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลห้วงปรับค่าแบบแอกทีฟ

ตารางที่ 4.6 ค่าแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟ

	MATLAB	IDARC	ความแตกต่าง (เปอร์เซ็นต์)
การเคลื่อนที่ ที่ชั้น 1 (มิลลิเมตร)	161.12	161.12	0.0006
การเคลื่อนที่ ที่ชั้น 2 (มิลลิเมตร)	290.97	290.97	0.0002
การเคลื่อนที่ ที่ชั้น 3 (มิลลิเมตร)	364.26	364.25	0.0003
การเคลื่อนที่ของมวลหน่วง (มิลลิเมตร)	1584.04	1580.00	0.2548
แรงกระทำโดยตัวออกแรง (กิโลนิวตัน)	2.20	2.20	0.0029

ตารางที่ 4.7 ค่าความแตกต่างในการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟ

คลื่นแผ่นดินไหว	ค่าความแตกต่าง (เปอร์เซ็นต์)
ฟังก์ชันไกไซน์	0.2548
El Centro	0.3767
Northridge	0.4176
SCT	0.3862

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม IDARC ที่ทำการแก้ไขมีความถูกต้อง โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีของสเตทสเปซแล้วพบว่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณมีค่าน้อย คือ ไม่ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์