

## บทที่ 7

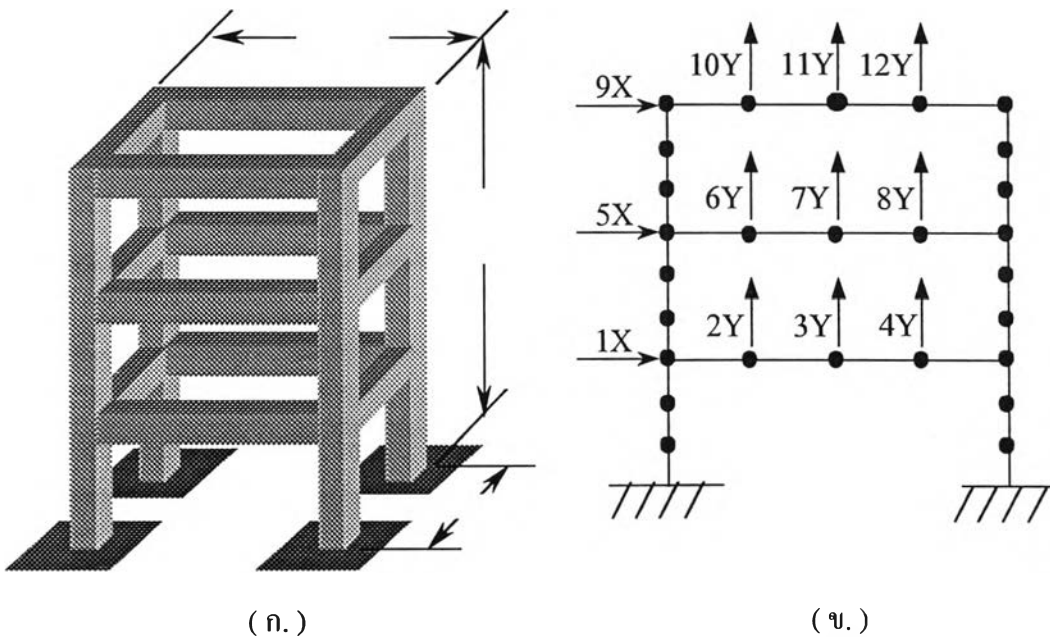
### การศึกษาการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TFRAME

ในบทนี้เป็นการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคาร โดยมีกรณีที่น่าสนใจ คือ ลักษณะทั่วไปของความถี่ธรรมชาติ และโหมดเชพของโครงสร้าง คิดทั้งกรณีที่เป็นโครงสร้างแบบไม่รับภาระ และโครงสร้างแบบรับภาระ จากน้ำหนักเฉลี่ยของพื้นหรือของเครื่องจักร ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ โหมดเชพ และความถี่ธรรมชาติเดิม เมื่อใช้ระบบแยกการสั่นสะเทือน และเครื่องจักรเพิ่มเข้าไปในโครงสร้าง และผลตอบสนองหรือการขจัดสูงสุดของการสั่นสะเทือนในแต่ละพิกัด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ อัตราส่วนมวล อัตราส่วนของความถี่ และสัมประสิทธิ์ของความหน่วง เป็นต้น

#### 7.1 ความถี่ธรรมชาติและโหมดเชพของโครงสร้างเสาและคาน

โครงสร้างเสาและคาน หมายถึง โครงสร้างที่คิดเฉพาะเสาและคานประกอบกันเป็นโครงข่าย โดยยังไม่คิดผลกระทบเนื่องจากแผ่นพื้นหรือมวลจากภายนอกอื่น ๆ เพิ่มเข้าไปในโครงสร้าง

##### ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 7-1 แบบจำลองของโครงสร้างอาคารสมมติที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปที่ 7-1 (ก.) แสดงลักษณะของโครงสร้างอาคาร 3 ชั้นที่สมมติขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนในอาคารจากเครื่องจักรไม่สมดุล ส่วนรูปที่ 7-1 (ข.) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรม TFRAME ของอาคารในรูปที่ 7-1 (ก.) สำหรับหัวข้อการหาค่าความถี่ธรรมชาติและโหมดเชพของโครงสร้างอาคารนี้ ได้แบ่งโครงสร้างทั้งหมดออกเป็น 30 เอลิเมนต์ และแสดงค่าโหมดเชพของพิกัดต่าง ๆ เฉพาะในจุดที่กำหนดไว้แล้วดังรูป โครงสร้างอาคารที่สมมติขึ้นนี้ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก มีเสาเข็ม 4 ต้น (อาคารแบบ 1 ช่วง) ขนาดของอาคารด้านกว้าง ด้านสูง และด้านลึก คือ  $4 \times 12 \times 4$  ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้นจากการคำนวณด้วยแบบจำลองซึ่งประมาณ โครงสร้างเป็นแบบระนาบ 2 มิติ นั้น คุณสมบัติของเสา และคาน แต่ละส่วนต้องเพิ่มเป็น 2 เท่า เนื่องจากมี 2 ระนาบ คือ ด้านหน้า และด้านหลัง และต้องเพิ่มน้ำหนักที่หัวเสาทั้งสองฝั่งด้วยน้ำหนักของคานที่อยู่ในแนวลึกของอาคารด้วย

คุณสมบัติของเอลิเมนต์ จากตารางในภาคผนวก ค.

เสา: พื้นที่หน้าตัด  $= 2 \times 0.3 \times 0.3 = 0.18$  ตารางเมตร

ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น  $= 25 \times 10^9$  นิวตันต่อตารางเมตร

ค่ามวลต่อหน่วยความยาว  $= 2 \times 0.3 \times 0.3 \times 2320 = 417.6$  กิโลกรัมต่อเมตร

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่  $= 2 \times 1/2 \times 0.3 \times 0.3^2 = 0.00135$  (เมตร)<sup>4</sup>

คาน: พื้นที่หน้าตัด  $= 2 \times 0.3 \times 0.5 = 0.3$  ตารางเมตร

ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น  $= 25 \times 10^9$  นิวตันต่อตารางเมตร

ค่ามวลต่อหน่วยความยาว  $= 2 \times 0.3 \times 0.5 \times 2320 = 696$  กิโลกรัมต่อเมตร

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่  $= 2 \times 1/2 \times 0.3 \times 0.5^2 = 0.00625$  (เมตร)<sup>4</sup>

ผลการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติและโหมดเชพของโครงสร้างด้วยโปรแกรม TFRAME

ค่าความถี่ธรรมชาติ 9 ค่าแรก และโหมดเชพเฉพาะบางพิกัด เป็นดังในตารางต่อไปนี้

โหมดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ความถี่ RAD./SEC.	19.19	57.99	92.76	236.91	251.27	281.60	344.44	368.26	383.89
ความถี่ RPM.	183.28	553.80	885.80	2262.30	2399.46	2689.04	3289.17	3516.71	3665.88
ตำแหน่ง	ค่า displacement ที่แต่ละตำแหน่ง ในรูป 7-1 (ข.) สำหรับความถี่ธรรมชาติ								
1X	4.270	3.799	3.287	-0.021	-0.048	0.005	0.081	-1.996	0.042
2Y	-0.091	-0.055	0.081	2.105	-0.325	1.444	0.163	-8.652	0.014

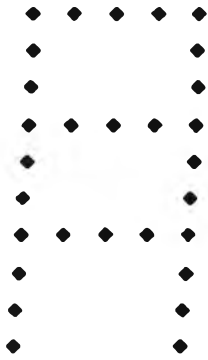
3Y	0.000	0.000	0.000	2.763	0.113	1.967	0.000	0.000	0.052
4Y	0.091	0.055	-0.081	2.105	-0.325	1.444	-0.163	8.652	0.014
5X	8.324	1.335	-4.109	0.012	-0.038	-0.031	0.125	-1.289	0.027
6Y	-0.036	0.068	0.035	-1.224	-7.629	0.598	-0.243	-13.761	-0.022
7Y	0.000	0.000	0.000	-1.945	-9.555	0.762	0.000	0.000	0.024
8Y	0.036	-0.068	-0.035	-1.224	-7.629	0.598	0.243	13.761	-0.022
9X	10.431	-3.688	2.782	0.034	0.036	-0.014	-0.316	0.611	0.009
10Y	0.025	0.013	-0.084	3.873	-5.972	-0.614	0.025	-16.680	-0.037
11Y	0.000	0.000	0.000	5.020	-7.037	-0.931	0.000	0.000	0.013
12Y	-0.025	-0.013	0.084	3.873	-5.972	-0.614	-0.025	16.680	-0.037

ตารางที่ 7-1 ค่าความถี่ธรรมชาติ และโหมดเซพของโครงสร้างเสาและคาน

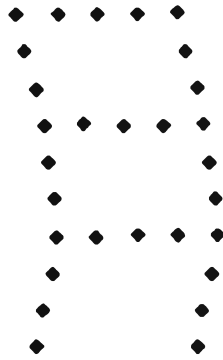
#### วิเคราะห์ผลการคำนวณ

จากค่าในตารางที่ 7-1 และรูปร่างของโหมดเซพในรูปที่ 7-2 พบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเสาและคานใน 3 โหมดแรกมีระดับขนาดของการสั่นในแนวนอนสูงกว่าในแนวตั้งมาก หรืออีกนัยหนึ่งคือความถี่ธรรมชาติของการสั่นใน 3 โหมดแรกของโครงสร้างเสาและคานเป็นความถี่ของการสั่นในแนวนอน โดยมีค่าความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 19 ถึง 93 เรเดียนต่อวินาที หรือประมาณ 181 ถึง 888 รอบต่อนาที ส่วนในโหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6 นั้นระดับขนาดของการสั่นในแนวตั้งสูงกว่าในแนวนอนมาก หรือกล่าวได้ว่าค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นในโหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6 ของโครงสร้างเสาและคานเป็นความถี่ของการสั่นในแนวตั้งและมีลักษณะสมมาตรรอบแกนกึ่งกลางของคาน (โหมดเซพมีรูปร่างเป็นการโก่งตัวหรือแอ่นตัวของคานโดยมีขนาดการขจัดสูงสุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางความยาวคานในทุก ๆ ชั้น) โดยมีค่าความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 237 ถึง 2816 เรเดียนต่อวินาที หรือประมาณ 2263 ถึง 2684 รอบต่อนาที และในโหมดที่ 7 ถึงโหมดที่ 9 เป็นการสั่นของเสาทางด้านข้างของอาคารซึ่งมีความถี่ธรรมชาติของการสั่นค่อนข้างสูง ในที่นี้มีค่าตั้งแต่ 345 เรเดียนต่อวินาที หรือประมาณ 3295 รอบต่อนาที ขึ้นไป

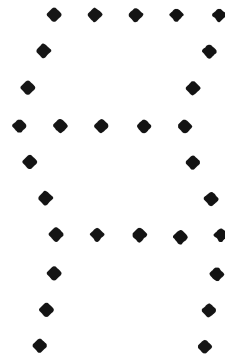
เนื่องจากลักษณะของการสั่นตั้งแต่ในโหมดที่ 7 ขึ้นไปมีรูปร่างที่ซับซ้อนมากไม่สามารถทำนายลักษณะการสั่นได้ชัดเจน ดังนั้นในลำดับต่อไปจะพิจารณาเฉพาะความถี่ของการสั่นสะเทือนใน 6 โหมดแรกเท่านั้น



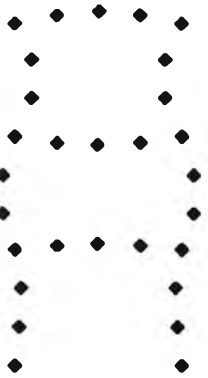
ความถี่ = 19.193 rad/s.



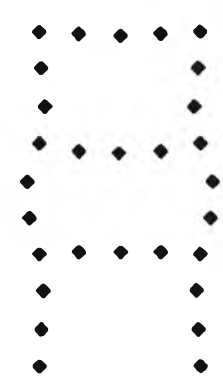
ความถี่ = 57.993 rad/s.



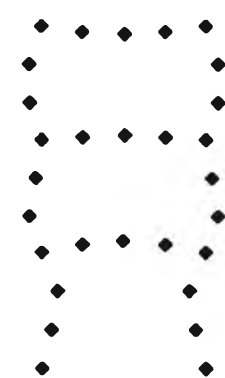
ความถี่ = 92.761 rad/s.



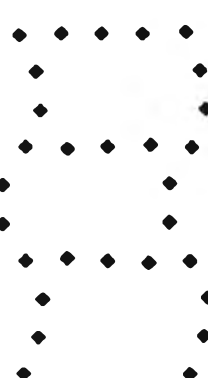
ความถี่ = 236.907 rad/s.



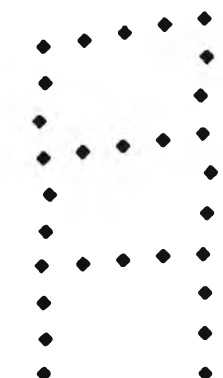
ความถี่ = 251.271 rad/s.



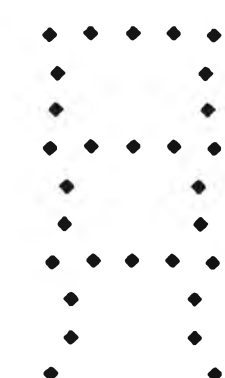
ความถี่ = 281.159 rad/s.



ความถี่ = 344.441 rad/s.



ความถี่ = 368.269 rad/s.



ความถี่ = 383.890 rad/s.

รูปที่ 7-2 โหมดเชพของโครงสร้างเสาและคานที่แต่ละค่าความถี่ธรรมชาติ

## 7.2 ความถี่ธรรมชาติและโหมดเซพของโครงสร้างเสาและคานเมื่อรับภาระเฉื่อยจากแผ่นพื้น

ได้แก่โครงสร้างของเสาและคาน เมื่อรับภาระสถิตย์เนื่องจากน้ำหนักเฉลี่ยของแผ่นพื้นคอนกรีตที่วางลงไปตลอดแนวความกว้างของอาคาร ในที่นี้สมมติให้พื้นคอนกรีตมีความหนา 5 เซนติเมตร ทำการศึกษาลักษณะของความถี่ธรรมชาติและโหมดเซพที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับกรณีที่เป็นโครงสร้างเสาและคาน (ในหัวข้อที่ 7.1) ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

### ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

คำนวณต่อจากหัวข้อที่ 7.1 โดยการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยของพื้นคอนกรีตที่เทลงไปซึ่งมีความหนา 5 เซนติเมตร ดังนั้น ค่ามวลต่อหน่วยความยาวของเอलिเมนต์คานที่รับภาระเฉื่อยจากพื้นคอนกรีตเพิ่มขึ้น  $= 2320 \times 4 \times 0.05 = 464$  กิโลกรัมต่อเมตร หลังจากนั้นทำการคำนวณเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 7.1 ได้ผลดังนี้

### ผลการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติและโหมดเซพของโครงสร้างด้วยโปรแกรม TFRAME

ค่าความถี่ธรรมชาติ 9 ค่าแรก และโหมดเซพเฉพาะบางพิกัด ตามตำแหน่งดังรูปที่ 7.1 (ข.)

โหมดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ความถี่ RAD./ SEC.	16.44	49.26	77.94	198.6	215.48	242.17	333.87	340.38	382.73
ความถี่ RPM	157.0	470.4	744.59	1896.	2057.68	2312.58	3188.28	3250.42	3654.8
ตำแหน่ง	ค่า displacement ที่แต่ละตำแหน่ง ในรูป 7-1 (ข.) สำหรับความถี่ธรรมชาติ								
1X	4.277	3.849	3.400	-0.004	-0.034	0.003	-0.038	0.110	0.045
2Y	-0.091	-0.057	0.076	4.047	1.329	1.983	-0.814	0.328	0.031
3Y	0.000	0.000	0.000	5.013	2.041	2.747	0.000	0.000	0.085
4Y	0.091	0.057	-0.076	4.047	1.329	1.983	0.814	-0.328	0.031
5X	8.382	1.561	-4.115	0.034	-0.004	-0.027	-0.018	0.096	0.031
6Y	-0.037	0.065	0.039	3.163	-5.350	0.590	-1.887	-0.063	-0.008
7Y	0.000	0.000	0.000	3.292	-7.152	0.761	0.000	0.000	0.053
8Y	0.037	-0.065	-0.039	3.163	-5.350	0.590	1.887	0.063	0.008
9X	10.60	-3.586	2.461	0.013	0.038	-0.009	-0.201	-0.256	0.010
10Y	0.025	0.017	--0.084	11.21	0.191	-0.092	-1.908	0.318	-0.025
11Y	0.000	0.000	0.000	14.19	0.651	-1.336	0.000	0.000	0.039
12Y	-0.025	-0.017	0.084	11.21	0.191	-0.902	1.908	-0.318	-0.025

ตารางที่ 7-2 ความถี่ธรรมชาติและโหมดเซพของโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักเฉลี่ยของพื้นคอนกรีต

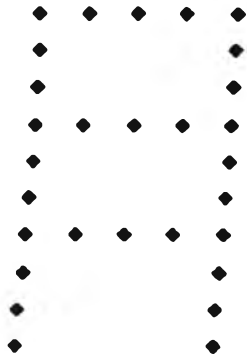
### วิเคราะห์ผลการคำนวณ

ค่าความถี่ธรรมชาติในตารางที่ 7-2 และรูปร่างโหมดเซพในรูปที่ 7-3 มีแนวโน้มคล้ายกับของโครงสร้างเสาและคานในหัวข้อที่ 7.1 คือใน 3 โหมดแรกระดับขนาดของการสั่นในแนวนอนสูงกว่าในแนวตั้งมาก ถือได้ว่าเป็นการสั่นของพิกัดตามแนวนอน สำหรับโหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6 ระดับขนาดของการสั่นในแนวตั้งสูงกว่าการสั่นในแนวนอนมาก ถือได้ว่าเป็นการสั่นของพิกัดในแนวตั้งแบบสมมาตร และสำหรับโหมดที่ 7 ถึง โหมดที่ 9 เป็นการสั่นของเสาทางด้านข้าง เมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติและโหมดเซพที่ได้จากหัวข้อที่ 7.2 กับหัวข้อที่ 7.1 แล้วปรากฏว่าค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างที่รับภาระจากพื้นคอนกรีตจะมีค่าต่ำกว่าค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเสาและคานในทุก ๆ โหมด ส่วนโหมดเซพนั้นมีลักษณะคล้ายกับโหมดเซพที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 7.1 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยแบบสถิตย์ลงบนโครงสร้างเป็นผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารลดต่ำลงในทุก ๆ โหมด พิจารณาลักษณะโหมดเซพของความถี่ 6 โหมดแรก ซึ่งเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่มีความสำคัญต่อขนาดของการขจัดสูงสุด

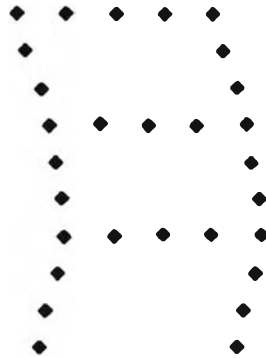
จากการคำนวณพบว่า การขจัดในแนวนอนที่แต่ละโหนดในชั้นเดียวกันจะให้ค่าออกมาใกล้เคียงกันมากจนถือว่าเท่ากันได้ ดังนั้นในโหมดของการสั่นในแนวนอนจะมีเฉพาะการขจัดในแนวนอนชั้นละ 1 ค่าเท่านั้น สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในโหมดที่ 1 นี้เป็นการสั่นทางด้านข้างของอาคาร โดยการขจัดสูงสุดคือการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 3 ถัดมาเป็นการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 2 และการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 1 มีขนาดต่ำที่สุด ส่วนความถี่ธรรมชาติของการสั่นในโหมดที่ 2 นี้เป็นการสั่นทางด้านข้างของอาคาร โดยการขจัดสูงสุดเป็นการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 1 ถัดมาเป็นการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 3 และการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 2 มีขนาดต่ำที่สุด ส่วนความถี่ธรรมชาติของการสั่นในโหมดที่ 3 นี้เป็นการสั่นทางด้านข้างของอาคาร โดยการขจัดสูงสุดเป็นการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 2 ถัดมาเป็นการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 1 และการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 3 มีขนาดการขจัดต่ำที่สุด และทั้ง 3 โหมดนี้มีลักษณะร่วมกันของการขจัดในแนวตั้งของทุก ๆ ชั้นคือมีรูปร่างเป็นคลื่น 1 ลูก ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางความยาวคาน และมีค่าสูงที่สุดหรือต่ำที่สุดในตำแหน่ง 1 ใน 4 และ 3 ใน 4 ของความกว้างอาคาร

การขจัดในโหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6 นั้นมีลักษณะเป็นการขจัดในแนวตั้งแบบสมมาตร นั่นคือจะมีขนาดสูงที่สุดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางความกว้างของคานในแต่ละชั้นเสมอ การสั่นสะเทือนในโหมดที่ 4 มีขนาดของการขจัดสูงที่สุดในแนวตั้งชั้นที่ 3 รองลงมาเป็นชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด ส่วนการสั่นสะเทือนในโหมดที่ 5 มีขนาดของการขจัดสูงที่สุดในแนวตั้งอยู่ในชั้นที่ 2 รองลงมา

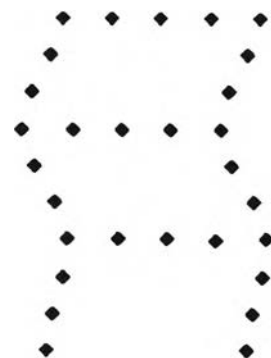
เป็นชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 มีค่าต่ำที่สุด และการสั่นสะเทือนในโหมดที่ 6 มีขนาดของการขจัดสูงสุด  
ในแนวตั้งอยู่ในชั้นที่ 1 ร่องลงมาเป็นชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด



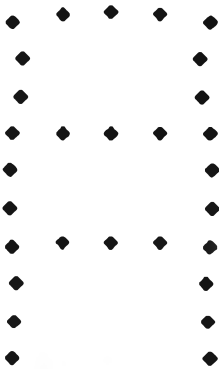
ความถี่ = 16.4441 rad/s.



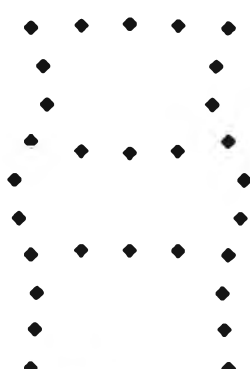
ความถี่ = 49.2623 rad/s.



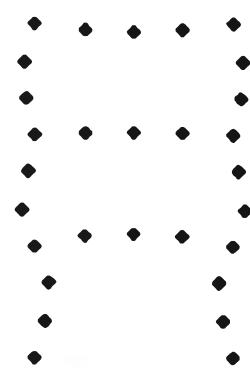
ความถี่ = 77.9736 rad/s.



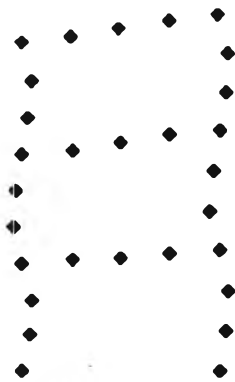
ความถี่ = 198.639 rad/s.



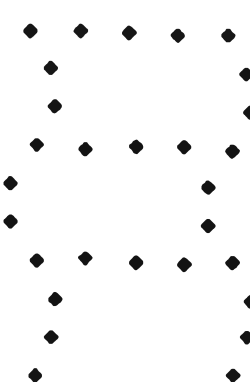
ความถี่ = 215.480 rad/s.



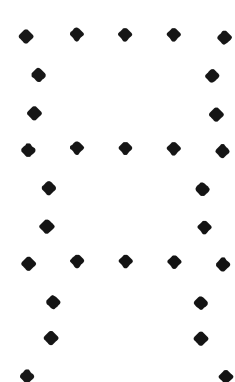
ความถี่ = 242.173 rad/s.



ความถี่ = 333.876 rad/s.



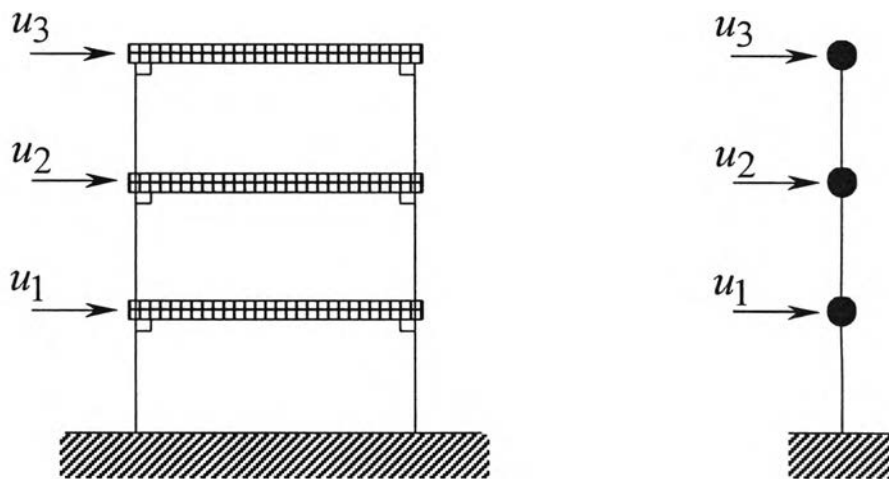
ความถี่ = 340.383 rad/s.



ความถี่ = 382.735 rad/s.

รูปที่ 7-3 โหมดเฉพของโครงสร้างเมื่อรับภาระเคลื่อนที่จากน้ำหนักของพื้นคอนกรีต

สำหรับการสันนิษฐานใน 3 โหมดแรก ซึ่งเป็นการสันนิษฐานทางด้านข้างของอาคารนำจะมีลักษณะใกล้เคียงกับเมื่อสมมติให้แบบจำลองของอาคารเป็นแบบอาคารรับแรงเฉือน (Shear building) ซึ่งตั้งสมมติฐานว่าพื้นอาคาร และเอलिเมนต์คานในแต่ละชั้นเปรียบเสมือนมวลก้อนเดียว (Lump mass) ที่ไม่มีความอ่อนตัวเลย ลักษณะแบบจำลองนี้ใช้กันมากทางด้านโยธาโดยเฉพาะการคำนวณอาคารสูงที่ต้องรับภาระเนื่องจากแผ่นดินไหวและลมเป็นต้น แสดงการคำนวณอย่างละเอียดไว้ในภาคผนวก ง. ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้



รูปที่ 7-4 แบบจำลองของโครงสร้างอาคาร 3 ชั้นแบบอาคารรับแรงเฉือน

การคำนวณ	ความถี่โหมดที่ ( เรเดียนต่อวินาที )		
	1	2	3
TFRAME ( FEM )	16.444	49.262	77.974
SHEAR BUILDING	18.378	51.498	74.411

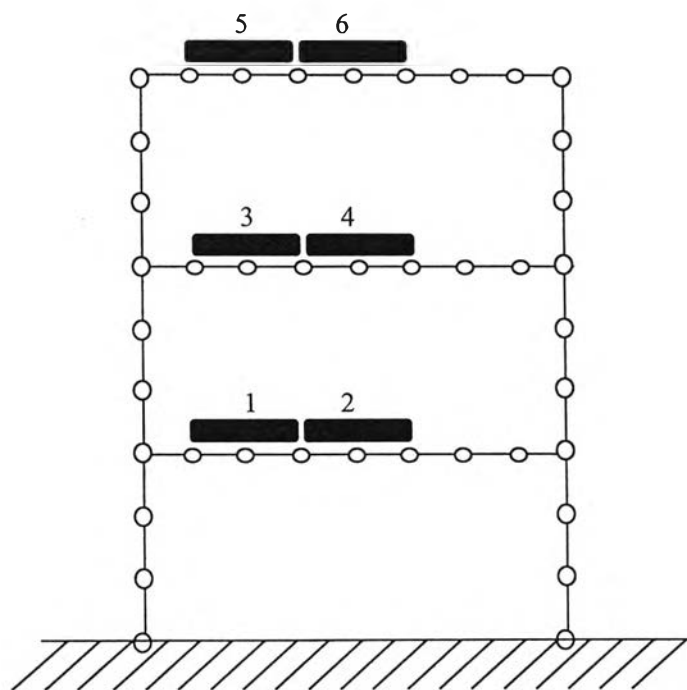
ตารางที่ 7-3 เปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติ 3 โหมดแรก ระหว่างแบบ Shear building กับ FEM

จากข้อมูลในตารางที่ 7-3 พบว่าการประมาณ โครงสร้างอาคารแบบอาคารรับแรงเฉือน ให้ค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นทางด้านข้างใกล้เคียงกับเมื่อคำนวณด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) จากโปรแกรม TFRAME ดังนั้นจะเห็นว่ามีปัญหาทางด้านวิศวกรรมส่วนมากนิยมใช้แบบจำลองแบบอาคารรับแรงเฉือนมากกว่า เพราะทำได้ง่าย ประหยัดเวลาและให้ผลที่ใกล้เคียงกับ FEM ด้วย



### 7.3 ความถี่ธรรมชาติของอาคารเมื่อมีการแบบสถิตย์กระทำโดยตรงจากน้ำหนักของเครื่องจักร

ในหัวข้อนี้ต้องการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารเมื่อรับภาระกระทำแบบสถิตย์เนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักร โดยสมมติให้เครื่องจักรมีขนาดกว้าง 1 เมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากันตลอดความกว้าง กำหนดมวลของเครื่องจักรไว้ 3 ขนาดด้วยกัน คือ 100 500 และ 1000 กิโลกรัม สมมติว่าติดตั้งเครื่องจักรแบบยึดกับพื้น โดยตรงในตำแหน่งดังรูปที่ 7-5 นี้ รวม 6 ตำแหน่ง แล้วคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบเทียบกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร (โครงสร้างของเสาและคานที่รับภาระเฉลี่ยเนื่องจากน้ำหนักของพื้น) ในหัวข้อที่ 7.2



รูปที่ 7-5 แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องจักร

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม TFRAME ถูกนำมาเปรียบเทียบในรูปผลต่างของความถี่ธรรมชาติหลังจากติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงกับความถี่ธรรมชาติก่อนการติดตั้งเครื่องจักร มีการเปรียบเทียบทั้งหมด 2 แบบด้วยกันได้แก่ แบบแรกเป็นการเปรียบเทียบผลต่างของค่าความถี่ธรรมชาติทั้ง 6 โหมด เมื่อติดตั้งเครื่องจักรในตำแหน่งเดียวกันทั้งนี้เพื่อดูว่าการติดตั้งในตำแหน่งเดียวกันนี้จะมีผลกับค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดต่าง ๆ กันอย่างไร มีทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดังในรูปที่ 7-5 แสดงผลการเปรียบเทียบในกราฟรูปที่ ข-1 และแบบที่สองเป็นการเปรียบเทียบผลต่างของความถี่ธรรมชาติในแต่ละโหมดเมื่อติดตั้งเครื่องจักรในโครงสร้างโดยตรงที่ตำแหน่งต่าง ๆ กันทั้ง 6

ตำแหน่ง เพื่อดูว่าความถี่ธรรมชาติทั้ง 6 โหมดมีผลกระทบกับการติดตั้งเครื่องจักรที่ตำแหน่งใด มากน้อยเพียงไร ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบในกราฟรูปที่ ซ-2

### วิเคราะห์ผลการคำนวณ

จากกราฟรูปที่ ซ-1 และ ซ-2 โดยแบ่งการขจัดออกเป็น 2 ทิศทาง คือในแนวนอน (มีผลกับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ถึงโหมดที่ 3) และในแนวตั้ง (มีผลกับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6) สามารถวิเคราะห์ผลการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

สำหรับความถี่ในแนวนอน : ติดตั้งเครื่องจักรในชั้นเดียวกันให้ผลเหมือนกัน

ชั้นที่ 1 (ตำแหน่งที่ 1 และ 2) สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวนอน (โหมดที่ 1 ถึง 3) นั้น ความถี่หลังการติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในอาคาร โหมดที่ 2 และ 3 มีค่าลดต่ำลงมากกว่าในโหมดที่ 1 ซึ่งเมื่อสังเกตจากลักษณะ โหมดเซพของอาคารที่ความถี่ทั้ง 3 นี้แล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ธรรมชาติ โหมดที่ 1 นั้นขนาดการขจัดในแนวนอนชั้นที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 2 การขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 1 มีค่าสูงที่สุด และสำหรับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 3 นั้นการขจัดในแนวนอนของชั้นที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงที่สุดในชั้นที่ 2

ชั้นที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวนอน (โหมดที่ 1 ถึง 3) นั้น ความถี่หลังการติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในอาคาร โหมดที่ 3 มีค่าลดต่ำลงมากที่สุด ซึ่งเมื่อสังเกตจากลักษณะโหมดเซพของอาคารที่ความถี่ทั้ง 3 นี้แล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 3 นั้นขนาดการขจัดในแนวนอนชั้นที่ 2 มีค่าสูงที่สุด

ชั้นที่ 3 (ตำแหน่งที่ 5 และ 6) สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวนอน (โหมดที่ 1 ถึง 3) นั้น ความถี่หลังการติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในอาคาร โหมดที่ 2 มีค่าลดต่ำลงมากที่สุด ซึ่งเมื่อสังเกตจากลักษณะโหมดเซพของอาคารที่ความถี่ทั้ง 3 นี้แล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 2 นั้นขนาดการขจัดในแนวนอนชั้นที่ 3 มีค่าสูงที่สุด

สำหรับความถี่ในแนวตั้ง : ติดตั้งเครื่องจักรในชั้นเดียวกันให้ผลคล้ายกันแต่ติดตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางให้ผลมากกว่า

ชั้นที่ 1 (ตำแหน่งที่ 1 และ 2) สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวดิ่ง(โหมดที่ 4 ถึง 6) นั้น ความถี่หลังการติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในอาคารโหมดที่ 6 มีค่าลดต่ำลงมากกว่าในโหมดที่ 4 และ 5 ซึ่งเมื่อสังเกตจากลักษณะโหมดเซพของอาคารที่ความถี่ทั้ง 3 นี้แล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 6 นั้น ขนาดการขจัดในแนวดิ่งชั้นที่ 1 มีค่าสูงที่สุด

ชั้นที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวดิ่ง(โหมดที่ 4 ถึง 6) นั้น ความถี่หลังการติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในอาคารโหมดที่ 5 มีค่าลดต่ำลงมากกว่าในโหมดที่ 4 และ 6 ซึ่งเมื่อสังเกตจากลักษณะโหมดเซพของอาคารที่ความถี่ทั้ง 3 นี้แล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 5 นั้น ขนาดการขจัดในแนวดิ่งชั้นที่ 2 มีค่าสูงที่สุด

ชั้นที่ 3 (ตำแหน่งที่ 5 และ 6) สำหรับความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวดิ่ง(โหมดที่ 4 ถึง 6) นั้น ความถี่หลังการติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในอาคารโหมดที่ 4 มีค่าลดต่ำลงมากกว่าในโหมดที่ 5 และ 6 ซึ่งเมื่อสังเกตจากลักษณะโหมดเซพของอาคารที่ความถี่ทั้ง 3 นี้แล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 4 นั้น ขนาดการขจัดในแนวดิ่งชั้นที่ 3 มีค่าสูงที่สุด

#### 7.4 ผลตอบสนองของอาคารเมื่อรับภาระโดยตรงแบบไม่สมดุลจากเครื่องจักรกลแบบหมุน

ทำการศึกษาโดยสมมติติดตั้งเครื่องจักรขนาด 100 กิโลกรัม ซึ่งมีภาระไม่สมดุลขนาด 100 นิวตัน และมีความถี่ 4 ค่าด้วยกันได้แก่ 50 200 300 และ 350 เรเดียนต่อวินาที นอกจากนี้ยังสมมติตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องจักรทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดังในรูปที่ 7-5 ผลการคำนวณแสดงในกราฟรูปที่ 7-3 แต่ละชุด (แยกตามความถี่) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือผลตอบสนองสูงสุดในแนวนอน (ผลตอบสนองสูงสุดในแนวนอนของแต่ละชั้น โดยถือว่าผลตอบสนองสูงสุดในแนวนอนที่ตำแหน่งใด ๆ ในชั้นเดียวกันมีค่าเท่ากันเสมอ) และผลตอบสนองในแนวดิ่ง ซึ่งพิกัดที่ระบุสามารถเทียบได้กับพิกัดที่แสดงไว้ในรูปที่ 7-1 ( ข.)

#### วิเคราะห์ผลการคำนวณที่ความถี่ของแรงไม่สมดุลขนาด 50 เรเดียนต่อวินาที

เนื่องจากความถี่ขนาด 50 เรเดียนต่อวินาทีนี้ใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 2 ของอาคาร (49.2623 เรเดียนต่อวินาที) ซึ่งเป็นโหมดการสั่นตามแนวนอน ขนาดการขจัดของ

ชั้นที่ 1 มีค่าสูงสุดถัดมาเป็นชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 มีขนาดการขจัดต่ำที่สุดในโหมคนี้ ดังนั้นจากกราฟพบว่า ระดับขนาดของผลตอบสนองสูงสุดตามแวนอน รูปที่ ช-3 ( ก. ) มีค่าสูงกว่าระดับขนาดของผลตอบสนองสูงสุดตามแวนอนมาก รูปที่ ช-3 ( ข. ) และสำหรับผลตอบสนองในแวนอนนั้น การติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 1 (ตำแหน่งที่ 1 และ 2) จะให้ผลตอบสนองสูงสุดในทุก ๆ พิกัดมีค่ามากที่สุด และใกล้เคียงกับเมื่อติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 3 (ตำแหน่งที่ 5 และ 6) แต่ผลตอบสนองสูงสุดนี้จะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) ซึ่งสอดคล้องกับโหมคเซพโหมคที่ 2 ของโครงสร้างอาคาร ส่วนผลตอบสนองสูงสุดในแวนอนพบว่า การติดตั้งเครื่องจักรที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละชั้นนั้นจะทำให้ผลตอบสนองสูงสุดในแวนอนมีค่าน้อยกว่าติดตั้งเครื่องจักรที่ตำแหน่ง อื่น ๆ ในชั้นเดียวกัน

#### วิเคราะห์ผลการคำนวณที่ความถี่ของแรงไม่สมดุลขนาด 200 เรเดียนต่อวินาที

ความถี่ของแรง 200 เรเดียนต่อวินาทีนี้ใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารโหมคที่ 4 ( 198.639 เรเดียนต่อวินาที) ซึ่งเป็นความถี่ของการสั่นในแวนอน โดยโหมคเซพมีขนาดของการขจัดสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นที่ 3 รองลงมาเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นที่ 1 และตำแหน่งกึ่งกลางชั้นที่ 2 มีค่าต่ำที่สุด จากกราฟพบว่าระดับขนาดของการสั่นในแวนอนรูปที่ ช-3 ( ง. ) มีค่าสูงกว่าระดับขนาดในแวนอนมากรูปที่ ช-3 ( ค. ) พิจารณาผลตอบสนองในแวนอนพบว่า การติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 1 (ตำแหน่งที่ 1 และ 2) จะให้ผลตอบสนองสูงสุดมีค่าน้อยที่สุดในชั้นที่ 2 ส่วนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 มีผลตอบสนองสูงสุดใกล้เคียงกัน สำหรับการติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) จะให้ผลตอบสนองสูงสุดในชั้นที่ 2 มากที่สุด และเมื่อติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 3 (ตำแหน่งที่ 5 และ 6) จะให้ผลตอบสนองสูงสุดมีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 3 เมื่อพิจารณาผลตอบสนองสูงสุดในแวนอนสามารถแบ่งออกเป็นกรณีกว้าง ๆ ได้ 2 กรณีคือ เมื่อติดตั้งเครื่องจักรในตำแหน่งที่โหมคเซพมีค่าต่ำ ๆ ซึ่งผลตอบสนองสูงสุดในโหมคนี้จะได้รับอิทธิพลจากตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องจักรมากกว่าอิทธิพลจากโหมคเซพ ส่วนอีกกรณีหนึ่งนั้นเป็นการติดตั้งเครื่องจักรในตำแหน่งที่โหมคเซพมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นจะให้ผลตอบสนองสูงสุดมีแวนอนแบบเดียวกันกับโหมคเซพ ตัวอย่างเช่นจากกราฟ ช-3 ( ง. ) เมื่อติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 3 จะให้ผลตอบสนองสูงสุดมีค่ามากที่สุด ในขณะที่เมื่อติดตั้งเครื่องจักรในชั้นที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) ซึ่งทั้ง 2 ตำแหน่งนี้โหมคเซพมีค่าต่ำมาก พบว่าขนาดของผลตอบสนองสูงสุดในแวนอนสำหรับในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงที่กระทำโดยตรง

### วิเคราะห์ผลการคำนวณที่ความถี่ของแรงไม่สมดุลขนาด 300 เรเดียนต่อวินาที

โดยรวม ๆ แล้วผลตอบสนองสูงสุดในทุก ๆ พิกัดมีค่าค่อนข้างน้อยเนื่องจากความถี่ของแรงมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าความถี่ธรรมชาติใน 6 โหมดแรก ดังนั้นแบ่งพิจารณาผลตอบสนองสูงสุดเป็น 2 แนวคือแนวนอนและแนวตั้ง ดังในกราฟรูปที่ ข-3 (จ.) และ ข-3 (ฉ.) จากกราฟพบว่าผลตอบสนองทั้ง 2 แนวนั้นไม่สามารถนำไปเทียบเคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติโหมดใดได้ เนื่องจากความถี่ช่วงนี้เกินจากค่าความถี่ธรรมชาติใน 6 โหมดแรกซึ่งสามารถทำนายลักษณะของการสั่นได้ ลักษณะของผลตอบสนองสูงสุดในแนวนอนที่น่าสนใจคือ ค่าผลตอบสนองสูงสุดเมื่อติดตั้งเครื่องจักรที่ตำแหน่งหนึ่งของความยาว (ตำแหน่ง 1 3 และ 5) ให้ค่ามากกว่าเมื่อติดตั้งเครื่องจักรที่ตำแหน่งหนึ่งของความยาว (ตำแหน่ง 2 4 และ 6) สำหรับผลตอบสนองสูงสุดในแนวตั้งนั้นพบว่าเทียบเคียงได้ยาก รู้เพียงว่าผลตอบสนองสูงสุดในแนวตั้งจะมีค่ามากที่สุดเมื่อติดตั้งเครื่องจักรในตำแหน่งที่ 2 เท่านั้น

### วิเคราะห์ผลการคำนวณที่ความถี่ของแรงไม่สมดุลขนาด 350 เรเดียนต่อวินาที

เช่นเดียวกับกรณีความถี่ 300 เรเดียนต่อวินาทีคือไม่สามารถนำไปเทียบเคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นใน 6 โหมดแรกได้ ลักษณะผลตอบสนองสูงสุดโดยรวมแล้วมีค่าค่อนข้างต่ำทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง สำหรับผลตอบสนองสูงสุดในแนวนอนไม่ว่าจะติดตั้งที่ตำแหน่งใดก็ตามผลตอบสนองสูงสุดจะมีค่ามากที่สุดในชั้นที่ 3 โดยเฉพาะเมื่อติดตั้งในตำแหน่งที่ 5 จะให้ค่ามากที่สุด ส่วนผลตอบสนองในแนวตั้งนั้นทำนายลักษณะผลตอบสนองสูงสุดได้ยาก เพราะประกอบด้วยผลตอบสนองจากหลายทิศทาง

### 7.5 ความถี่ของระบบโครงสร้างอาคารเมื่อติดตั้งเครื่องจักรผ่านชุดแยกการสั่นสะเทือน

ในหัวข้อนี้ต้องการศึกษาผลกระทบต่อความถี่ของระบบรวมโครงสร้างอาคารและเครื่องจักรเมื่อติดตั้งเครื่องจักรพร้อมชุดแยกการสั่นสะเทือนในอาคาร เปรียบเทียบกับความถี่เดิมของโครงสร้างอาคารจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TFRAME โดยสมมติให้ชุดแยกการสั่นสะเทือนมีทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดมีค่าความถี่ธรรมชาติแตกต่างกัน ดังนี้

ชุดที่	ความถี่ธรรมชาติในแนวนอน (เรเดียนต่อวินาที)	ความถี่ธรรมชาติในแนวตั้ง (เรเดียนต่อวินาที)
1	10.0000	14.1421

2	16.0000	22.6274
3	20.0000	28.2843

ตารางที่ 7-4 จำแนกค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแยกการสั่นสะเทือนที่สมมติติดตั้งในอาคาร

นอกจากนี้ยังสมมติให้มวลของชุดแยกการสั่นสะเทือนมี 2 ขนาดด้วยกันคือ 10 และ 100 กิโลกรัม ผลการทดลองแสดงในกราฟรูปที่ ๗-4 และ ๗-5 แยกตามมวลของชุดแยกการสั่นสะเทือน โดยกราฟแต่ละรูปมีข้อมูลทั้งหมด 8 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ความถี่ธรรมชาติของอาคาร 6 โหมดแรก รวมกับความถี่ธรรมชาติของชุดแยกการสั่นสะเทือนทางแนวนอนและทางแนวตั้ง กราฟที่ได้แสดงผลต่างระหว่างความถี่ธรรมชาติโหมดที่เกิดขึ้นใหม่กับความถี่ธรรมชาติเดิมก่อนทำการติดตั้งชุดแยกการสั่นสะเทือน และจากกราฟทั้งหมดสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

โดยรวมแล้วจะเห็นว่ากราฟในรูปที่ ๗-4 และ ๗-5 ทั้ง 3 ชุดมีลักษณะใกล้เคียงกันเว้นแต่ว่ากราฟในรูปที่ ๗-5 (มวลของชุดแยกการสั่นสะเทือนขนาด 100 กิโลกรัม) มีระดับขนาดของผลต่างมากกว่า สังเกตจากกราฟทั้ง 2 รูปพบว่าสำหรับความถี่ของชุดแยกการสั่นสะเทือนที่นำมาใช้ สูงสุดในแนวนอนคือ 20 เรเดียนต่อวินาที ส่วนในแนวตั้งคือ 28.2843 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคารในแนวนอนมีค่าอยู่ในช่วง 16 ถึง 78 เรเดียนต่อวินาที และในแนวตั้งอยู่ในช่วง 199 ถึง 243 เรเดียนต่อวินาที ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโหมดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดได้แก่โหมดการสั่นในแนวนอนโหมดที่ 1 หรือค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 และโหมดการสั่นในแนวนอนของชุดแยกการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ชุด จากกราฟในรูปที่ ๗-4 และ ๗-5 ในโหมดการสั่นอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ค่อนข้างคงที่ในทุก ๆ กราฟและมีขนาดผลต่างของความถี่ค่อนข้างน้อยประมาณไม่เกิน 0.1 เรเดียนต่อวินาที สำหรับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 คือ 16.4441 เรเดียนต่อวินาที และความถี่ธรรมชาติในแนวนอนของชุดแยกการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ชุดได้แก่ 10 16 และ 20 เรเดียนต่อวินาที กรณีที่มวลของชุดแยกการสั่นสะเทือนเป็น 10 กิโลกรัม การติดตั้งชุดแยกการสั่นสะเทือนชุดที่ 1 ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบที่เกิดขึ้นใหม่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ประมาณไม่เกิน 0.05 เรเดียนต่อวินาที ส่วนการติดตั้งชุดแยกการสั่นสะเทือนชุดที่ 2 เนื่องจากค่าความถี่ของชุดแยกการสั่นสะเทือนในแนวนอนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารโหมดที่ 1 ซึ่งเป็นการสั่นในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเมื่อติดตั้งชุดแยกการสั่นสะเทือนชุดนี้ในอาคาร เป็นผลให้ความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างสูง ประมาณ 0.1 เรเดียนต่อวินาทีเมื่อติดตั้งในชั้นที่ 3 (ตำแหน่ง 5 หรือ 6) และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคือความถี่ในแนวนอนของชุดแยกการ

สันสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ค่าความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ของอาคารเดิม มีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้การติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนในตำแหน่งที่โหมดเซพ ฅ ความถี่ที่เกี่ยวข้องกันของอาคารนั้น มีการขจัดสูงจะทำให้ความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่มีการเปลี่ยนแปลงสูงด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่นการติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนในชั้นที่ 3 (ตำแหน่งที่ 5 และ 6) จะทำให้ความถี่ธรรมชาติใหม่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากกว่าติดตั้งในชั้นที่ 2 (ตำแหน่งที่ 3 และ 4) และชั้นที่ 1 (ตำแหน่ง 1 และ 2) ตามลำดับ สำหรับการติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนชุดที่ 3 (ความถี่ธรรมชาติของการสันในแนวนอน 20 เรเดียนต่อวินาที) ซึ่งยังคงมีผลกระทบกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 (ขนาด 16.4441 เรเดียนต่อวินาที) แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจะต่างจากการติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนชุดที่ 2 โดยค่าความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ของอาคารหลังติดตั้งจะมีค่าลดต่ำลงในขณะที่ค่าความถี่ธรรมชาติในแนวนอนของชุดแยกการสันสะเทือนจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่าประมาณ 0.03 เรเดียนต่อวินาที และเช่นเดียวกันกับการติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนชุดที่ 2 นั่นคือการติดตั้งในตำแหน่งที่โหมดเซพมีขนาดการขจัดสูงกว่าจะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติหลังการติดตั้งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าด้วย กรณีที่มวลของชุดแยกการสันสะเทือนเป็น 100 กิโลกรัมจะให้ผลการเปลี่ยนแปลงออกมาในลักษณะเดียวกับมวล 10 กิโลกรัม แต่มีขนาดการเปลี่ยนแปลงมากกว่า โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดเมื่อติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนชุดที่ 2 และชุดที่ 3 มีค่าประมาณ 0.55 และ 0.25 เรเดียนต่อวินาที ตามลำดับ

#### 7.6 ผลตอบสนองสูงสุดของอาคารเมื่อติดตั้งเครื่องจักรไม่สมดุลผ่านชุดแยกการสันสะเทือน

หัวข้อต่อไปนี้ต้องการศึกษาถึงผลตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างอาคารภายใต้แรงไม่สมดุลที่เกิดจากเครื่องจักรซึ่งวางอยู่บนชุดแยกการสันสะเทือน โดยเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องจักร 6 ตำแหน่งดังรูปที่ 7-5 ให้มวลของเครื่องจักรบนชุดแยกการสันสะเทือนมี 2 ขนาดคือ 10 และ 100 กิโลกรัม ส่วนชุดแยกการสันสะเทือนมีอยู่ 3 ชุดความถี่เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 7.5 สำหรับแรงไม่สมดุลมีอยู่ 2 ขนาดได้แก่  $100 \sin 50 t$  และ  $100 \sin 200 t$  นิวตัน ผลการคำนวณในแต่ละกรณีแสดงในกราฟรูปที่ 7-6 ถึง 7-11 แต่ละกราฟแยกออกเป็น 3 รูปด้วยกัน รูปแรกเป็นกราฟแสดงขนาดของผลตอบสนองสูงสุดของพิกัดแนวนอนชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 3 ( พิกัด 1X 5X และ 9X ) เมื่อติดตั้งเครื่องจักรบนชุดแยกการสันสะเทือนเทียบกับเมื่อติดตั้งเครื่องจักรโดยตรง รูปที่สองเป็นกราฟแสดงขนาดของผลตอบสนองสูงสุดของพิกัดแนวตั้งดังในรูปที่ 7-1(ข.) เมื่อติดตั้งเครื่องจักรบนชุดแยกการสันสะเทือนเทียบกับเมื่อติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงเช่นเดียวกัน ส่วนกราฟรูปที่สามแสดงขนาดของการขจัดสูงสุดทั้งในแนวนอนและแนวตั้งของเครื่องจักรหรือของชุดแยกการสันสะเทือน ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลตอบแทนสูงสุดของอาคารแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ชุดแยกการสันสะเทือนมีความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร โหมดใดโหมดหนึ่งสำหรับการสั่นในทิศทางเดียวกัน (เช่นความถี่ธรรมชาติในแนวนอนกับความถี่ธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 1 ถึงโหมดที่ 3) และส่วนที่ความถี่ของทั้ง 2 ระบบมีค่าต่างกัน ในทิศทางการสั่นเดียวกันหรือมีค่าใกล้เคียงกันแต่ทิศทางการสั่นแตกต่างกัน โดยในส่วนแรกพบว่าการใช้ตัวแยกการสันสะเทือนที่มีความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารในทิศทางการสั่นเดียวกันนั้นกลับทำให้ผลตอบแทนสูงสุดของอาคารในพิกัดต่าง ๆ มีค่าสูงขึ้นบางที่อาจสูงกว่าเมื่อติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในโครงสร้าง แนวโน้มของผลตอบแทนสูงสุดที่เพิ่มขึ้นนี้ยังมีผลแม้กระทั่งกับกรณีที่ความถี่ของแรงกระตุ้นจากภายนอกมีค่าห่างจากความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ใกล้เคียงกันดังกล่าวด้วย ดังตัวอย่างในกราฟรูปที่ ๗-6 ถึง ๗-11 พบว่า การติดตั้งชุดแยกการสันสะเทือนชุดที่ 2 ที่มีความถี่ธรรมชาติในแนวนอน 16 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติโหมดแรกของอาคารที่ขนาด 16.4441 เรเดียนต่อวินาที โดยเป็นการสั่นในแนวนอนเช่นเดียวกัน พบว่าผลตอบแทนสูงสุดของอาคารในพิกัดสำหรับการสั่นในแนวนอน ( ได้แก่พิกัดที่ 1X 5X และ 9X ) เมื่อติดตั้งเครื่องจักรผ่านชุดแยกการสันสะเทือนกลับมีค่าสูงกว่าเมื่อติดตั้งเครื่องจักรลงไปอาคารโดยตรง ไม่ว่าความถี่ของแรงกระตุ้นจะเป็น 50 หรือ 200 เรเดียนต่อวินาทีก็ตาม แต่ในขณะที่เดียวกันพบว่าปัญหาดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มมวลของเครื่องจักรให้สูงขึ้น

ในส่วนที่ความถี่ของชุดแยกการสันสะเทือนมีค่าแตกต่างจากค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารในโหมดการสั่นทิศทางเดียวกันหรือความถี่ใกล้เคียงกันแต่เป็นการสั่นคนละทิศทาง ตัวแยกการสันสะเทือนจะทำหน้าที่ช่วยลดผลตอบแทนสูงสุดของอาคารจากแรงไม่สมดุลของเครื่องจักรที่ถ่ายทอดลงมาได้เป็นอย่างดี ยิ่งถ้าอัตราส่วนความถี่ของแรงกระตุ้นต่อความถี่ของชุดแยกการสันสะเทือนมีค่ามากขึ้นเท่าไร ผลตอบแทนสูงสุดสำหรับพิกัดต่าง ๆ ของอาคารก็จะยิ่งมีค่าน้อยลงเท่านั้นและนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการแยกการสันสะเทือนได้โดยการเพิ่มมวลของเครื่องจักรที่ตั้งอยู่บนชุดแยกการสันสะเทือนให้มากขึ้นด้วย โดยเฉพาะความถี่ธรรมชาติของการสั่นในแนวดิ่ง ( โหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6 ) ความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 4 ของอาคาร มีค่า 198.639 เรเดียนต่อวินาที ในขณะที่ความถี่ธรรมชาติของชุดแยกการสันสะเทือนในแนวดิ่งค่าสูงที่สุด (ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TFRAME) คือ 28.2843 เรเดียนต่อวินาที จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าความถี่ของแรงไม่สมดุลมาก และจากการคำนวณพบว่าการใช้ชุดแยกการสันสะเทือนทั้ง 3 ชุดความถี่ ล้วนแต่ช่วยลดผลตอบแทนสูงสุดของอาคารในพิกัดแนวดิ่ง ทั้งกรณี



ความถี่ของแรงกระตุ้นเป็น 50 และ 200 เรเดียนต่อวินาที และการเมื่อเพิ่มมวลของเครื่องจักรจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวแยกการสั่นสะเทือนสูงขึ้น

นอกจากนี้ในส่วนผลตอบสนองสูงสุดของเครื่องจักรทั้งในแนวนอนและในแนวตั้งหรือขนาดการสั่นสูงสุดของเครื่องจักร พบว่าไม่ว่าจะติดตั้งเครื่องจักรพร้อมตัวแยกการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งใด ๆ (ตำแหน่งที่ 1 ถึง 6 ในรูปที่ 7-5) ในอาคารก็ตาม ถ้ามวลรวมของเครื่องจักรและแรงไม่สมดุลเป็นค่าเต็มแล้ว ผลตอบสนองสูงสุดหรือการขจัดสูงสุดของเครื่องจักรในแนวนอนและแนวตั้งจะมีค่าเท่ากันเสมอ จากกราฟรูปที่ ๗-6 ถึง ๗-11 พบว่าแนวโน้มของผลตอบสนองสูงสุดสำหรับพิกัดของตัวแยกการสั่นสะเทือนทั้งในแนวนอนและในแนวตั้ง สอดคล้องกับเมื่อพิจารณาเป็นระบบเดียว (One degree of freedom) ซึ่งบริเวณแยกการสั่นสะเทือนมีค่าอัตราส่วนความถี่ของแรงไม่สมดุลต่อความถี่ธรรมชาติตั้งแต่ 1.414 เท่า สำหรับกรณีที่ใช้ในการคำนวณเพื่อศึกษาที่ค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแยกการสั่นสะเทือนที่สมมติขึ้นมาใช้ทั้ง 3 ชุด ในแนวนอน และแนวตั้งนี้ต่างก็มีค่าอยู่ในช่วงแยกการสั่นสะเทือนด้วยกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขนาดของการสั่นสะเทือนสูงสุดของเครื่องจักรในทุก ๆ กรณีที่ติดตั้งบนชุดแยกการสั่นสะเทือนมีค่าค่อนข้างต่ำ และเมื่ออัตราส่วนระหว่างความถี่ของแรงไม่สมดุลต่อความถี่ธรรมชาติของชุดแยกการสั่นสะเทือนในทิศทางเดียวกันมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ผลตอบสนองสูงสุดของเครื่องจักรในทิศทางดังกล่าวมีค่าลดต่ำลง และจากการคำนวณในกรณีต่าง ๆ ที่สมมติขึ้นนี้พบว่าการใช้ตัวหน่วงแทบจะไม่มีผลกับค่าผลตอบสนองสูงสุด ทั้งนี้จะเป็นผลเนื่องมาจากค่าอัตราส่วนความถี่ที่เลือกใช้ในการคำนวณมีค่าห่างจากช่วงความถี่ของการสั่นพ้อง (Resonance) ซึ่งโดยหลักการแล้วการใช้ตัวหน่วงจะช่วยลดผลตอบสนองสูงสุดได้ดีเมื่อระบบเข้าใกล้สภาวะการสั่นพ้องเท่านั้น และการเพิ่มมวลของเครื่องจักรหรือการเพิ่มอัตราส่วนมวลสามารถลดขนาดของการสั่นสะเทือนสูงสุดของเครื่องจักรได้ดี สังเกตได้จากกราฟในรูปที่ ๗-6 ถึง ๗-11 ซึ่งคำนวณโดยการเปลี่ยนมวลของเครื่องจักรจาก 10 กิโลกรัมเป็น 100 กิโลกรัม