บทที่ 9
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาในงานวิจัยทำให้สามารถเข้าใจปัญหาการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารจากแรงไม่สมดุลของเครื่องจักรได้ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารเมื่อรับภาระจากแรงไม่สมดุลของเครื่องจักร ผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยสามารถนำมาสรุปเป็นกรณีต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. สำหรับอาคารทั่ว ๆ ไป จำนวน n ชั้น ที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบเสากับคานและเงื่อนไขที่ฐานเสาซึ่งยึดกับฐานรากของอาคารเป็นแบบตรึงแน่น (Fixed end) ในความเป็นจริงจะมีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ไม่จำกัด แต่ในงานวิจัยนี้ทำการแบ่งโครงสร้างอาคารออกเป็นส่วนย่อย ๆ ซึ่งแต่ละส่วนมีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่จำกัดจึงทำให้แบบจำลองของโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดมีค่าความถี่ธรรมชาติจำกัด โดยที่ค่าความถี่ธรรมชาติ n โหมดแรก จะเป็นค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นทางด้านข้างของอาคารเนื่องจากโหมดเชพของการสั่นมีการขจัดในแนวดิ่งน้อยมาก ดังนั้นถ้าสนใจเฉพาะค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นทางด้านข้างหรือค่าความถี่ธรรมชาติ n โหมดแรกนี้สามารถใช้วิธีการคำนวณแบบอาคารรับแรงเฉือน (Shear building) ในการหาค่าความถี่ธรรมชาติได้และได้ค่าออกมาใกล้เคียงกับวิธีการ FEM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย ดังนั้นจะเห็นว่าโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการอาคารรับแรงเฉือนนี้มากกว่าเพราะสะดวกและทำความเข้าใจได้ง่าย แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือสามารถหาค่าความถี่ธรรมชาติได้เฉพาะการสั่นในแนวนอนเท่านั้น ผลการคำนวณจากงานวิจัยพบว่าช่วงความถี่ธรรมชาติของการสั่นทางด้านข้างของอาคารมีค่าอยู่ในช่วงต่ำ ๆ (จากการคำนวณสำหรับอาคารจำลอง 3 ชั้น ให้ค่าสูงสุดของความถี่ธรรมชาติสำหรับการสั่นทางด้านข้างเป็น 77.9736 เรเดียนต่อวินาที หรือประมาณ 745 รอบต่อนาที) ดังนั้นแรงกระตุ้นจากภายนอกที่มีอิทธิพลกับการสั่นทางด้านข้างของอาคารจะเป็นแรงที่มีความถี่ค่อนข้างต่ำ อาทิเช่น แรงลม และแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว เป็นต้น

2. ค่าความถี่ธรรมชาติ n โหมดถัดจากความถี่ธรรมชาติของการสั่นทางด้านข้างจะเป็นความถี่ธรรมชาติของการสั่นแบบสมมาตรในแนวดิ่ง เนื่องจากโหมดเชพของความถี่เหล่านี้มีการขจัดของการสั่นในแนวนอนน้อยมาก ผลการคำนวณจากงานวิจัยพบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นในโหมดเหล่านี้มีค่าอยู่ในช่วงกลาง ๆ (จากการคำนวณสำหรับอาคารจำลอง 3 ชั้น ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 4 ถึงโหมดที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 198 ถึง 243 เรเดียนต่อวินาที หรือ

ประมาณ 1890 ถึง 2320 รอบต่อนาที) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับความถี่การทำงานของเครื่องจักรประเภทพัดลม หรือมอเตอร์ ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ในอาคาร จะก่อให้เกิดปัญหาการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งมากกว่าในแนวนอน และสำหรับภาระกระทำเนื่องจากแรงไม่สมดุลซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วงความถี่เหล่านี้ จำเป็นต้องใช้วิธีการ FEM เพื่อคำนวณเนื่องจากวิธีการดังกล่าวนี้จะให้การคำนวณครบทั้งในโหมดของการสั่นทางด้านข้างและโหมดของการสั่นในแนวดิ่งของอาคาร

3. การเพิ่มภาระสถิตย์ใด ๆ (Static load) ไม่ว่าจะเป็นภาระเฉลี่ยหรือภาระแบบจุด ลงบนโครงสร้างอาคาร อาทิเช่น ภาระเนื่องจากน้ำหนักแผ่นพื้นที่เททับบนคาน ภาระเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ล้วนเป็นผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดต่าง ๆ ของอาคารมีค่าลดต่ำลง และลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมวลของภาระและตำแหน่งที่ติดตั้ง โดยมวลของภาระที่มากกว่าจะทำให้ความถี่ธรรมชาติลดลงมากกว่าเมื่อติดตั้งภาระในตำแหน่งเดียวกัน ส่วนในกรณีที่มวลเท่ากันถ้าติดตั้งภาระในตำแหน่งที่โหมดเชพของการสั่นที่ค่าความถี่ธรรมชาติโหมดใดมีขนาดการขจัดสูงกว่าแล้ว ค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นในโหมดนั้นจะมีค่าลดต่ำลงมากกว่า ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยว่าสำหรับการสั่นทางด้านข้างโดยเฉพาะในโหมดที่ 1 นั้น ลักษณะโหมดเชพของการสั่นให้การขจัดในแนวนอนของชั้นบนสุดมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นการติดตั้งภาระในชั้นนี้ไม่ว่าตำแหน่งใด ๆ ก็ตาม (จากการคำนวณพบว่าการขจัดในแนวนอนของทุก ๆ ตำแหน่งในชั้นเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันมากจนถือว่าเท่ากัน) ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ลดต่ำลงมากกว่าเมื่อติดตั้งในชั้นอื่น ๆ หรือสำหรับโหมดการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งแบบสมมาตรนั้น การติดตั้งภาระในตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นที่ 3 ซึ่งลักษณะโหมดเชพของการสั่นในโหมดที่ 4 มีขนาดของการขจัดสูงที่สุด จะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดนี้มีค่าลดต่ำลงมากกว่าเมื่อติดตั้งในตำแหน่งอื่น ๆ

4. ผลตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างในแต่ละพิกัดเมื่อติดตั้งเครื่องจักรไม่สมดุลโดยตรงในโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับภาระไม่สมดุลจากเครื่องจักร (ทั้งขนาดและความถี่) และตำแหน่งที่ติดตั้งในโครงสร้าง โดยที่ขนาดของภาระไม่สมดุลมีผลในสัดส่วนคงที่คือถ้าแรงไม่สมดุลมีขนาดมากขึ้นผลตอบสนองสูงสุดจะมีขนาดสูงขึ้นด้วยในทุก ๆ พิกัด แต่เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ขนาดของแรงมีค่าเท่ากันแล้ว ถ้าความถี่ของแรงไม่สมดุลมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของการสั่นสะเทือนของอาคารในโหมดใดโหมดหนึ่งแล้ว ลักษณะของผลตอบสนองสูงสุดในแต่ละพิกัดจะเป็นแบบเดียวกับลักษณะของโหมดเชพของการสั่นในโหมดนั้น คือในพิกัดใดที่โหมดเชพมีการขจัดสูงจะมีค่าผลตอบสนองสูงสุดสูงด้วย และนอกจากนั้นผลตอบสนองสูงสุดจะมีค่ามากกว่าถ้าหากติดตั้งเครื่องจักรในตำแหน่งที่โหมดเชพมีการขจัดมากกว่าด้วย (ผลการคำนวณจากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า

สำหรับความถี่ของแรงไม่สมดุลขนาด 50 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารในโหมดที่ 2 นั้น จะให้ผลตอบสนองสูงสุดของพิกัดในแนวนอนสูงกว่าในแนวดิ่งมาก โดยเฉพาะเมื่อติดตั้งเครื่องจักรไม่สมดุลในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 จะทำให้ผลตอบสนองสูงสุดของพิกัดในแนวนอนมีค่ามากกว่าเมื่อติดตั้งในชั้นที่ 2) ส่วนภาระคงตัวของเครื่องจักรนั้นแทบจะไม่มีผลต่อผลตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างอาคาร

5. การติดตั้งเครื่องจักรผ่านชุดแยกการสั่นสะเทือนมีความจำเป็นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาด และความถี่ของแรงไม่สมดุลจากเครื่องจักรเทียบกับค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากน้อยแค่ไหน ถ้าหากว่าความถี่ของเครื่องจักรมีค่าใกล้เคียงกับความถี่โหมดใดโหมดหนึ่งของอาคารจะเป็นผลให้พิกัดต่าง ๆ ในอาคารมีการสั่นสูง โดยเฉพาะในทิศทางที่โหมดเชพของการสั่นในโหมดนั้นมีการขจัดสูง กรณีนี้จำเป็นต้องใช้ตัวแยกการสั่นสะเทือนลดขนาดของการสั่นสะเทือนในทิศทางดังกล่าว เช่นถ้าความถี่ของเครื่องจักรมีค่าใกล้เคียงกับความถี่โหมดใดโหมดหนึ่งของการสั่นในแนวดิ่งของอาคารแล้ว จะต้องใช้ตัวแยกการสั่นสะเทือนที่มีคุณสมบัติแยกการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งได้ดี ได้แก่ระบบของชุดแยกการสั่นสะเทือนที่มีค่าความถี่ธรรมชาติน้อยกว่าค่าความถี่ของแรงไม่สมดุลจากเครื่องจักรในระดับหนึ่ง (อัตราส่วนของความถี่ต้องอยู่ภายในบริเวณแยกการสั่นสะเทือน) และนอกจากนี้ขนาดของการสั่นสะเทือนจะลดลงถ้าเพิ่มมวลของเครื่องจักรหรือมวลของชุดแยกการสั่นสะเทือนให้มากขึ้น ในขณะที่รักษาความถี่ธรรมชาติของระบบแยกการสั่นสะเทือนให้เท่าเดิม (เพิ่มความแข็งเกร็งของสปริงให้มากขึ้นด้วย) ซึ่งเป็นการลดขนาดของการสั่นสะเทือนของทั้งอาคารและเครื่องจักร อีกกรณีหนึ่งที่ควรจะหลีกเลี่ยงคือกรณีที่ค่าความถี่ธรรมชาติของชุดแยกการสั่นสะเทือนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่เป็นการสั่นสะเทือนในทิศทางเดียวกันของโครงสร้างอาคาร เช่นความถี่ธรรมชาติในแนวดิ่งของชุดแยกการสั่นสะเทือนกับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 4 ของอาคาร เป็นต้น เนื่องจากพบว่าไม่ว่าความถี่ของแรงไม่สมดุลเป็นเท่าไหร่ก็ตามถ้าหากใช้ชุดแยกการสั่นสะเทือนตังที่กล่าวมานี้จะทำให้ผลตอบสนองสูงสุดของอาคารมีค่าสูง แต่ถ้าหากว่าค่าความถี่ของภาระการสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรมีความแตกต่างจากชุดความถี่ทั้งหมดของอาคารแล้วอาจไม่จำเป็นต้องใช้ชุดแยกการสั่นสะเทือนคือสามารถติดตั้งเครื่องจักรโดยตรงในโครงสร้างได้

9.2 ข้อเสนอแนะ

การคำนวณการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารด้วยวิธี FEM นั้นทำให้สามารถศึกษาปัญหาการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารจากแรงภายนอกแบบต่าง ๆ ได้มากมาย ซึ่งในงานวิจัย

นี้สนใจเฉพาะการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงไม่สมดุลของเครื่องจักรเท่านั้น ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างที่ทำให้โครงสร้างของอาคารสั่นสะเทือน อาทิเช่น การสั่นสะเทือนของอาคารเนื่องจากแผ่นดินไหว และการสั่นสะเทือนของอาคารเนื่องจากแรงลม เป็นต้น นอกจากนี้แนวทางการคำนวณการสั่นสะเทือนของโครงสร้างด้วยวิธีการ FEM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากโครงสร้างอาคารได้อีกมากมาย เช่น โครงสร้างของรถ โครงสร้างของเรือ และโครงสร้างของเครื่องบิน เป็นต้น