บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า การวิเคราะห์อาคารแบบอีลาสติกไม่สามารถบอกถึงพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติกได้ใกล้เคียง และมีโอกาสที่จะทำให้ได้ข้อสรุปในการแก้ปัญหาที่ผิดพลาดได้ ดังเช่นที่พบในอาคารเรียน ก. ซึ่งหากวิเคราะห์โดยวิธีอีลาสติกแล้ว ชิ้นส่วนของอาคารที่จะมีการเสริมกำลังอาจจะเป็นเสาในชั้นที่ 2 และ 3 ในโครง ก1. และคานในโครง ก2. เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่เกิดการครากก่อน ซึ่งจากการวิเคราะห์แบบอินอีลาสติก พบว่าจุดที่เสียหายมากคือเสาในชั้นที่ 1 อาจไม่ได้รับการปรับปรุง ทำให้อาคารยังคงมีความอ่อนแอเช่นเดิม

การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารโดยการวิเคราะห์แบบอินอีลาสติก ทำได้ทั้งวิธีทางสถิตและวิธีทางพลศาสตร์ วิธีทางสถิตเป็นวิธีอย่างง่าย ใช้เวลาไม่นานในการวิเคราะห์ ทำให้สามารถทราบถึงความสามารถในการรับแรงด้านข้างของอาคาร รูปแบบความเสียหายและการวิบัติของอาคารได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ คือ การมีสมมุติฐานของการสั่นของอาคารอยู่ในโหมดพื้นฐาน การไม่พิจารณาถึงผลของการกระทำซ้ำกลับไปมาของแรง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารมากขึ้น และลักษณะที่ไม่สมมาตรของอาคาร ส่วนวิธีทางพลศาสตร์ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของอาคารที่ใกล้เคียงความจริงมากขึ้น โดยที่คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีจำนวนที่มากพอ เนื่องจากความไม่แน่นอนของแผ่นดินไหว และควรเป็นคลื่นที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว โดยที่การประเมินถึงระดับความเสียหายของอาคารพิจารณาได้จากค่าดัชนีความเสียหาย ส่วนระดับความเสียหายที่ยอมรับได้นั้นขึ้นอยู่กับประเภทและความสำคัญของอาคารที่พิจารณา หากอาคารมีความเสียหายมากกว่าระดับที่ยอมรับได้ ก็อาจต้องมีการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว

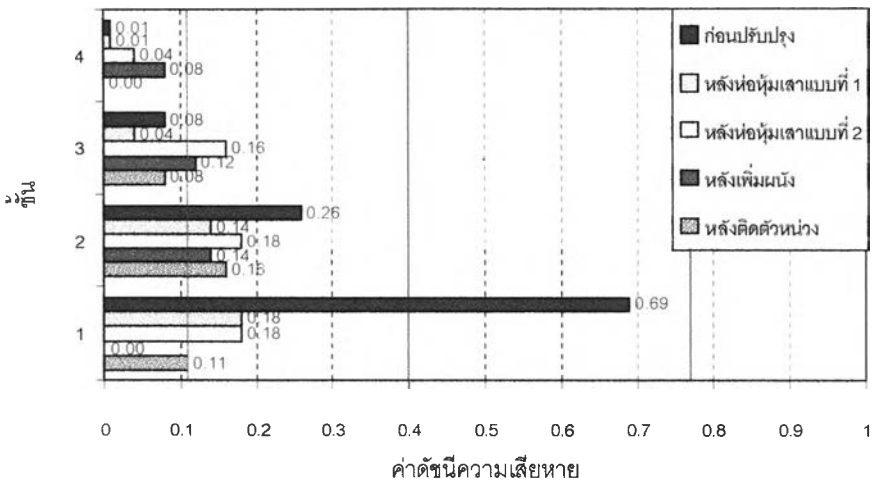
ในปัจจุบันการปรับปรุงอาคารเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวทำได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคารที่พิจารณา การวิเคราะห์อาคารหลังการปรับปรุงก็เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ทราบถึงความเพียงพอของการปรับปรุงและตรวจสอบว่าการปรับปรุงดังกล่าว ไม่ทำให้เกิดจุดอ่อนแอหรือความเสียหายมากในส่วนอื่นของอาคารแทน การวิเคราะห์มีหลักการเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์อาคารก่อนการปรับปรุง โดยอาจต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ได้รูปแบบการปรับปรุงอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมและความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารเรียนตัวอย่าง 2 อาคาร และศึกษาการเพิ่มความต้านทานแผ่นดินไหวให้กับอาคารเรียนดังกล่าว โดยคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาคือ คลื่น Chiangrai ซึ่งเป็นคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดภายในประเทศ และคลื่นที่ได้จากสถานีตรวจวัดในต่างประเทศอีก 3 คลื่นคือ คลื่น El Centro (1940), Loma Prieta (1989) และ Northridge (1994)

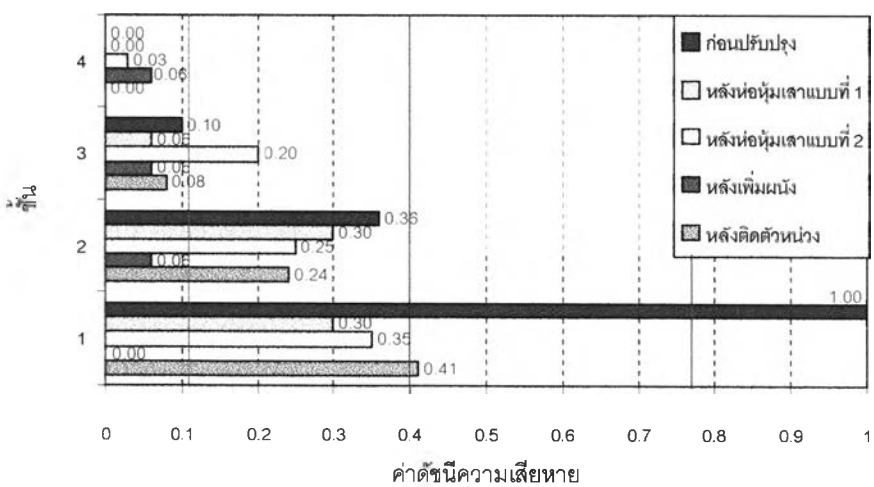
จากการวิเคราะห์อาคารเรียนก่อนการปรับปรุง พบว่าอาคารเรียนเกิดความเสียหายในแบบเสาอ่อน-คานแข็ง โดยพบความเสียหายในเสามากกว่าในคาน ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10g อาคารเรียน ก. พบความเสียหายเพียงเล็กน้อย สามารถซ่อมแซมได้ โดยพบว่าเกิดการครากในเสาในชั้นที่ 1, 2 และ 3 เป็นจำนวนมาก แต่เป็นการครากที่ไม่รุนแรง การครากในคานพบเฉพาะในโครง ก2. สำหรับอาคารเรียน ข. พบว่าโครงสร้างเกิดความเสียหายในระดับปานกลางถึงรุนแรง โดยพบการครากในเสาชั้นที่ 1 เป็นจำนวนมาก แต่ไม่พบการครากในคาน ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.20g อาคารเรียน ก. และ ข. เกิดความเสียหายอยู่ในระดับที่รุนแรง ซึ่งไม่สามารถซ่อมแซมได้ถึงระดับที่อาจเกิดการวิบัติ โดยพบการครากที่รุนแรงและการวิบัติของเสาชั้นที่ 1 เป็นจำนวนมากมีผลทำให้เกิดการวิบัติของชั้น 1 ซึ่งจากความเสียหายและลักษณะการวิบัติดังกล่าว พบว่าเป็นอันตรายมากต่อเสถียรภาพของโครงสร้าง ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่าอาคารเรียนมีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวไม่เพียงพอ การเพิ่มความต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับอาคารเรียนดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น นอกจากนี้ เนื่องจากการที่ประเทศไทยจัดอยู่ในเขตแผ่นดินไหวปานกลาง ซึ่งตามมาตรฐาน UBC กำหนดให้มีความเร่งของผิวดินสูงสุดเท่ากับ 0.15g ผลการวิเคราะห์ภายใต้แผ่นดินไหวขนาดดังกล่าวกับอาคารเรียน ก. พบว่าสามารถทำให้อาคารเกิดความเสียหายในระดับรุนแรงแต่ยังไม่เกิดการวิบัติขึ้นในอาคาร

การเพิ่มความต้านแผ่นดินไหวให้กับอาคารเรียนในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบไปด้วยการห่อหุ้มเสาด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก การเพิ่มผนังในโครงข้อแข็งเดิม และการติดตั้งตัวหน่วงความหนืดอีลาสติก ทุกวิธีสามารถทำให้อาคารต้านทานแผ่นดินไหวขนาด 0.10g ได้โดยที่เกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อย และภายใต้แผ่นดินไหว 0.20g เกิดความเสียหายระดับปานกลาง

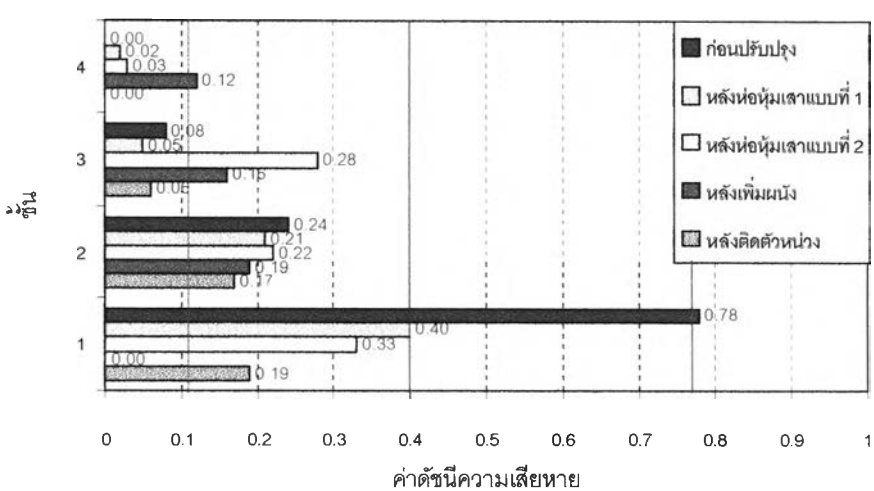
สำหรับอาคารเรียน ก. ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาปรับปรุงด้วยวิธีการห่อหุ้มเสา การเพิ่มผนัง และการติดตั้งตัวหน่วงความหนืดอีลาสติก หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการปรับปรุงวิธีต่างๆ ที่เลือกมาศึกษาครั้งนี้ โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความเสียหายของชิ้นส่วนเสาซึ่งเป็นส่วนเกิดความเสียหายมากและมีความสำคัญต่ออาคาร ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.20g แสดงดังรูปที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 พบว่าวิธี



รูปที่ 6.1 ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้แผ่นดินไหว El Centro 0.20g



รูปที่ 6.2 ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้แผ่นดินไหว Loma Prieta 0.20g



รูปที่ 6.3 ค่าดัชนีความเสียหายของเสาสูงสุดในแต่ละชั้นภายใต้แผ่นดินไหว Northridge 0.20g

การเพิ่มผนังให้กับอาคาร ทำให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเสามีค่ากระจายสม่ำเสมอในระดับที่ต่ำ และในกรณีคลื่น Loma Prieta สามารถลดความเสียหายได้มากที่สุด โดยที่ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงชิ้นส่วนจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการห่อหุ้มเสา ดังนั้นวิธีการเพิ่มผนังจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับอาคารเรียน ก. ในการศึกษาครั้งนี้ สำหรับอาคารเรียน ข. วิธีการห่อหุ้มเสาเป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากไม่กีดขวางพื้นใช้งานของอาคารเรียนเดิม

สำหรับอาคารที่จะมีการสร้างใหม่ในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว ควรมีการทบทวนแบบก่อสร้างหรือออกแบบใหม่ โดยพิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวร่วมด้วยระบบการออกแบบที่นิยมกระทำกันในประเทศไทย ซึ่งเสามักมีขนาดเล็ก ทำให้มีกำลังต่ำกว่าคานมาก ควรมีการปรับปรุง เนื่องจากเป็นระบบที่เป็นอันตรายหากเกิดแผ่นดินไหว ดังเช่นที่พบในอาคารเรียน ข. แม้ในแผ่นดินไหวขนาดไม่รุนแรง ก็เกิดความเสียหายในเสาอย่างมาก บริเวณที่มีโอกาสเกิดข้อหมุนพลาสติก ต้องมีการเสริมเหล็กตามขวางเป็นพิเศษ และต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อรับแรงเฉือนที่เพียงพอ นอกจากนี้การออกแบบโดยพิจารณาพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติกและพิจารณาสมรรถนะของอาคารที่ต้องการหลังเกิดแผ่นดินไหวจากค่าดัชนีความเสียหาย จะทำให้การออกแบบมีความถูกต้องยิ่งขึ้น เพราะทราบถึงความเสียหายของอาคารได้ชัดเจนมากกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบตามมาตรฐานเพียงอย่างเดียว จึงเป็นประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวให้เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภทมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคตได้ดังนี้

1. ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาอาคารตัวอย่างซึ่งเป็นอาคารเรียน 2 อาคาร แต่อย่างไรก็ตามยังมีอาคารอีกเป็นจำนวนมากที่ควรพิจารณา เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น

2. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม IDARC ต้องใช้ค่าพารามิเตอร์เพื่อจำลองพฤติกรรมฮีสเทอเรติคในชิ้นส่วนและชิ้นส่วนที่มีการเสริมกำลังด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบเพื่อหาค่าดังกล่าวมีอยู่ค่อนข้างจำกัด จึงเกิดข้อจำกัดในการเลือกวิธีเสริมกำลังให้กับอาคาร ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการเสริมกำลังไปมาก จึงควรมีการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเพิ่มเติม

3. ในการวิจัยนี้ ไม่ได้พิจารณาถึงผลของส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง ผลของการบิดของโครงสร้าง และการวิบัติจากการเฉือนซึ่งมีผลทำให้พฤติกรรมของอาคารเปลี่ยนแปลงไปมาก ดังนั้นในอนาคตควรมีการพิจารณารวมผลดังกล่าว