

บทที่ 4

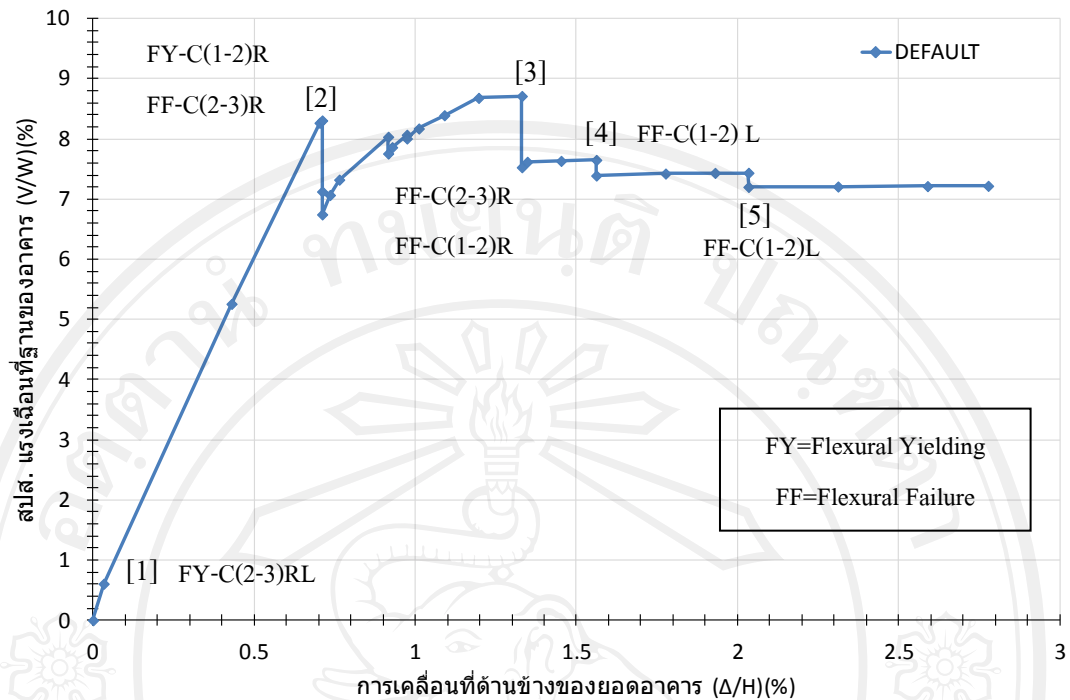
ผลการวิเคราะห์ประเมินความอ่อนแอของอาคารโรงเรียนมาตรฐาน

บทนี้กล่าวถึงผลการประเมินความต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารโรงเรียนตัวอย่างดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pushover Analysis ซึ่งผลการศึกษาของแบบจำลองได้นำเสนอในรูปกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานกับระยะเคลื่อนตัวของอาคาร (Capacity Curve) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมความเร่งกับสเปกตรัมของระยะเคลื่อนตัวของอาคาร รวมถึงจุดพิกัดสมรรถนะของอาคาร (Acceleration Displacement Response Spectrum) และ พฤติกรรมของอาคารโดยการพลักแรงด้านข้างตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งพังทลายพร้อมทั้งระบุระดับความเสียหาย และสุดท้ายได้กล่าวถึงการวิจารณ์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในกรณีต่าง ๆ จากการวิเคราะห์โดยการกำหนดคุณสมบัติหน้าตัดพลาสติกโดยโปรแกรม SAP2000 (2002) ซึ่งแบ่งเป็น การกำหนดหน้าตัดพลาสติกโดยค่ามาตรฐานจากโปรแกรม(Default) และ การกำหนดหน้าตัดพลาสติกโดยค่าระบุเฉพาะ(User define) และการวิเคราะห์ Nonlinear Fiber Model โดยการกำหนดตามความสัมพันธ์คุณสมบัติวัสดุด้วยโปรแกรม SeismoStruct (2011)

4.1 ผลการวิเคราะห์อาคารในทิศ Y-Y ด้วยหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

4.1.1 พฤติกรรมการรับแรง

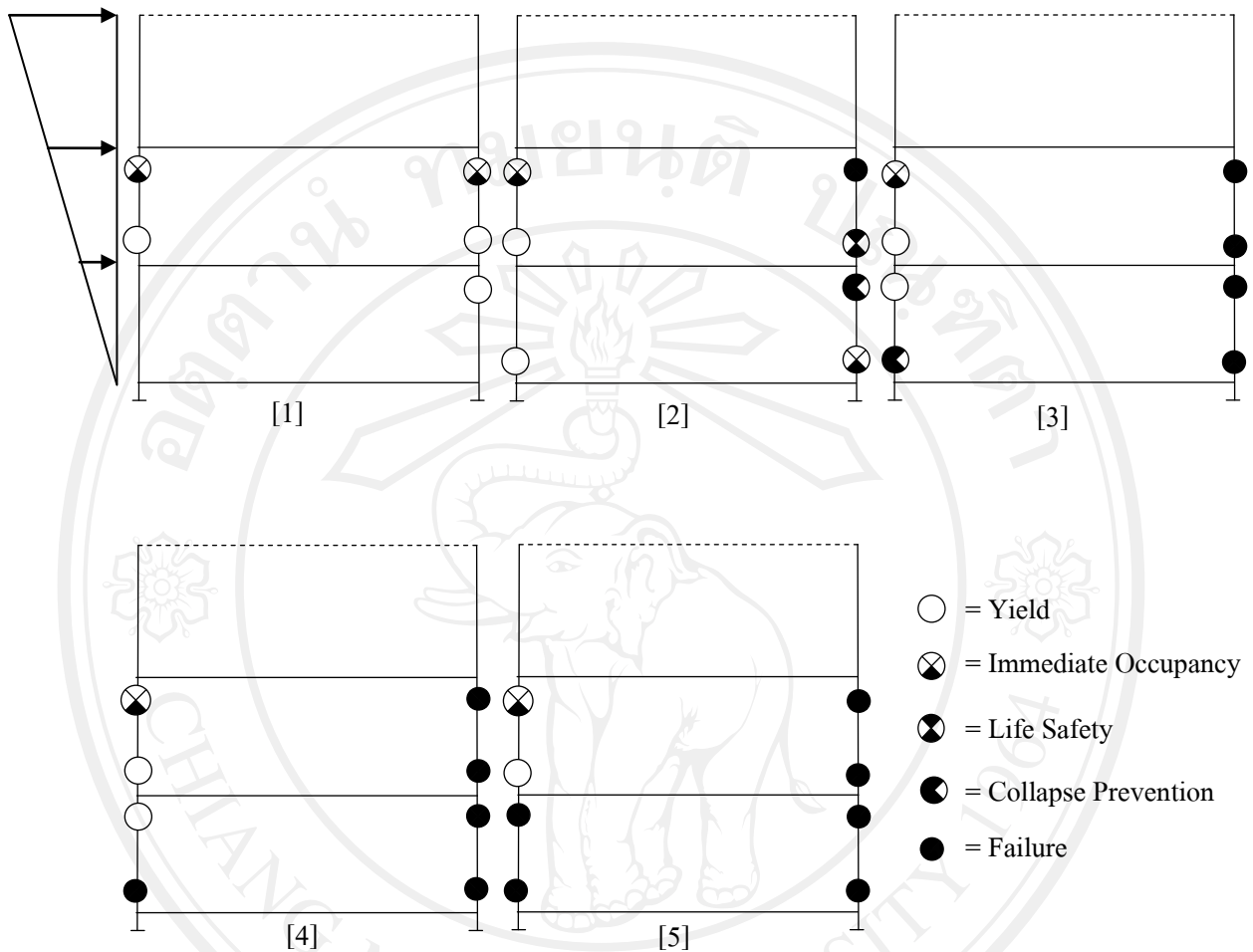
เส้นโค้งสมรรถนะในทิศ Y-Y แสดงในรูป 4.1 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 8.71% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของอาคารเท่ากับ 1.33% ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อน ณ จุดที่อาคารวิบัติ (85% ของแรงสูงสุด) มีค่า 1.56% ของความสูงอาคาร และระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดจุดที่ [5] มีค่า 2.03% ของความสูงอาคาร เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของแรงแผ่นดินไหว 42.0% กำหนดตาม มยผ. 1302 นั้นพบว่าอาคารนั้นมีความสามารถรับแรงแผ่นดินไหว ได้น้อยกว่าแรงแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา



รูป 4.1 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) รับแรงในทิศ Y-Y
กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

ระดับความเสียหายที่ระดับเริ่มแรกจนเสียหายมากขึ้นจะให้คำนิยามเป็นลำดับดังต่อไปนี้ Yield (Y) หมายถึงหน้าตัดเมื่อเกิดการครากของเหล็กเสริม, Immediate Occupancy (IO) หมายถึงระดับความเสียหายเพิ่มขึ้นจากจุดครากเพียงเล็กน้อยถือว่ายังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย, Life Safety (LS) หมายถึง ระดับความเสียหายเพิ่มขึ้นเป็น 75% ของความสามารถในการเคลื่อนตัวของหน้าตัดพลาสติก, Collapse Prevention (CP) หมายถึง ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ 90% ของความเสียหายทั้งหมด และ Failure (F) หมายถึง ระดับความเสียหายนั้นเกิดจุดสูงสุดของความสามารถของหน้าตัดพลาสติกที่จะรับได้ หรือเกิดการวิบัติของหน้าตัดพลาสติก

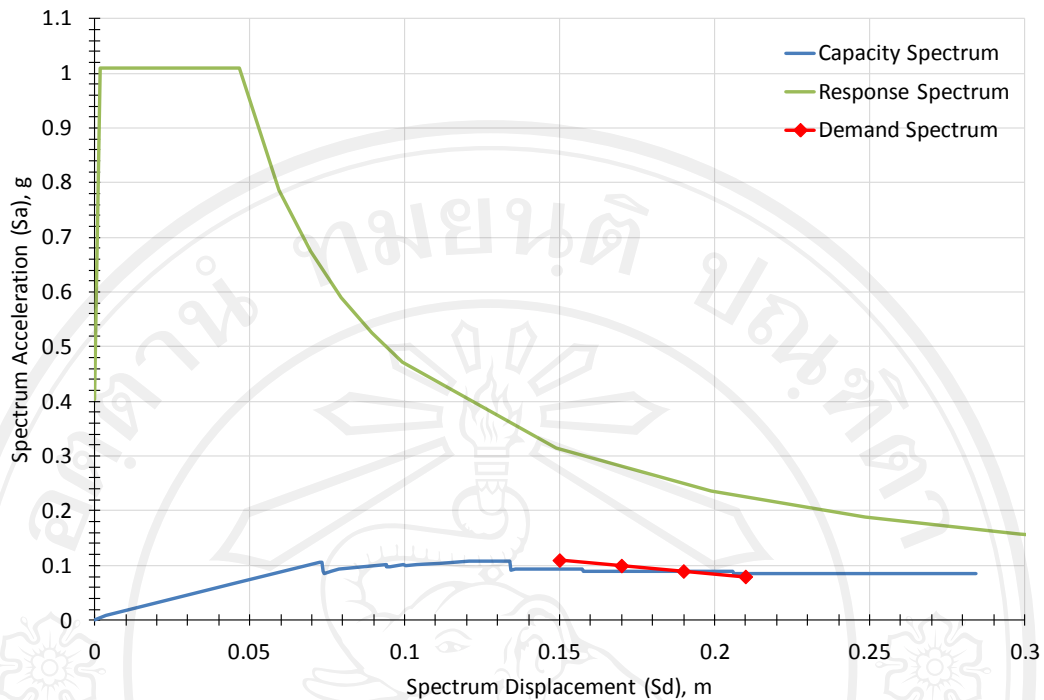
สำหรับพฤติกรรมของการเกิดหน้าพลาสติกของอาคาร แสดงไว้ในรูป 4.1 และ 4.2 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] (รูป 4.1) เกิดการครากที่เสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ทางด้านขวา และด้านซ้าย เกิดความเสียหายระดับ Y และ IO ทำให้ความชันของกราฟลดลงต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวา ระดับความเสียหายที่ระดับ IO และ CP ส่วนในเสาชั้นที่ 2 เกิดระดับความเสียหายมากขึ้นที่ระดับ IO และ F จากนั้นในจุดที่ [3] ระดับความเสียหายที่หน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ทางด้านขวากำลังลดลงจนกระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ Failure ในเสาชั้นที่ 1 ทั้งสองข้าง



รูป 4.2 พฤติกรรมการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคารในทิศ Y-Y
กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

4.1.2 พิกัดสมรรถนะ

จากรูป 4.3 พิกัดของจุดตัดมีค่า Spectrum Acceleration (S_a) = 0.09 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.19 (m) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จากเส้นสมรรถนะ และ พฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้นได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารมีระดับความเสียหายมากอยู่ในระดับ Failure โดยพิจารณาจากรูป 4.2 อยู่ระหว่างจุดที่ [4] และจุดที่ [5] พบว่าอยู่ในช่วงที่เกิดหน้าตัดพลาสติกในเสาทั้งสองชั้น โดยที่หน้าตัดพลาสติกที่เกิดในเสาชั้นที่ 1 มีระดับความเสียหายระดับ Failure ทั้งสองข้างส่วนเสาชั้นที่ 2 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Failure ทางด้านขวาเช่นกัน

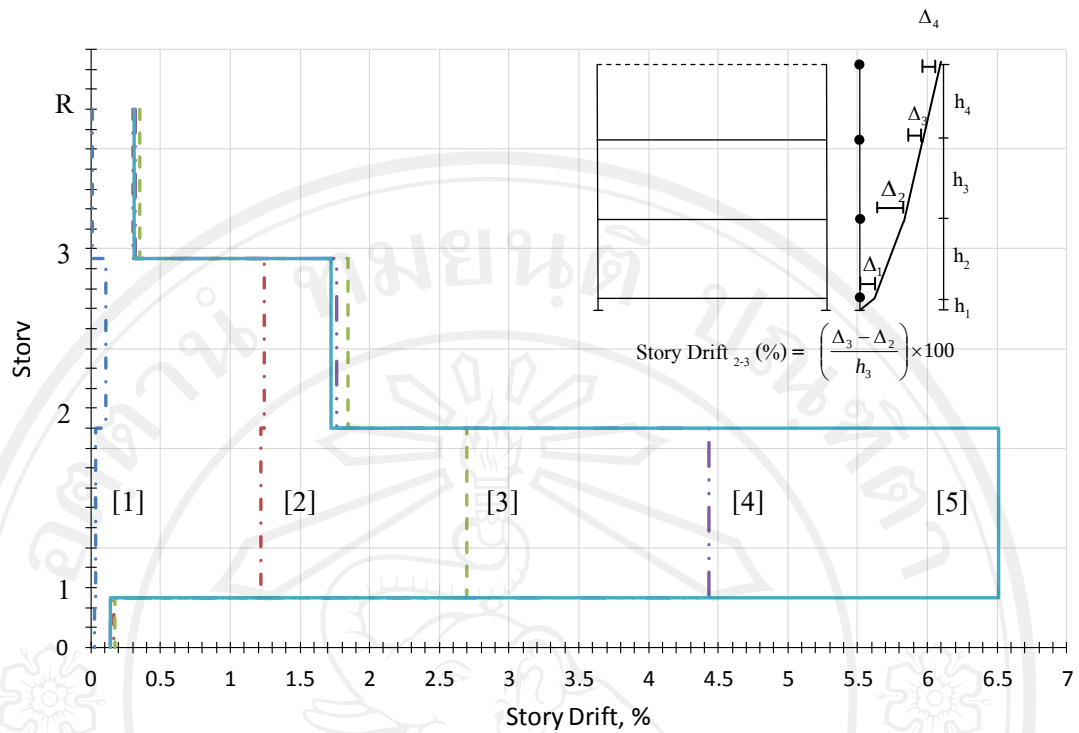


รูป 4.3 พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ Y-Y กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

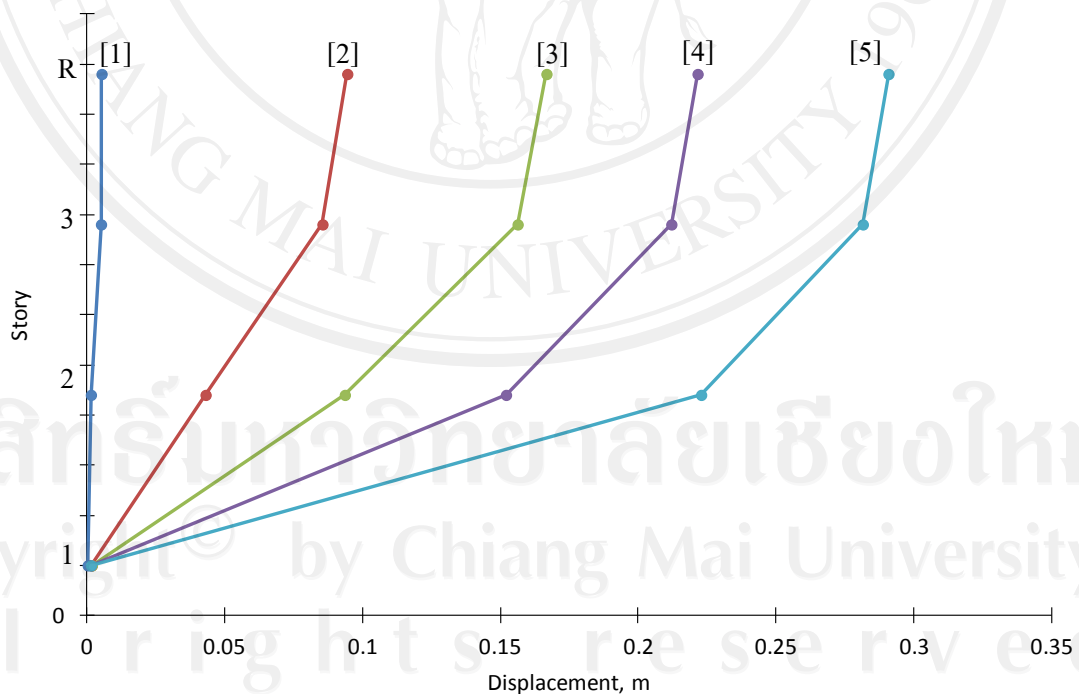
4.1.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 4.4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.03% ของความสูงอาคาร โครงสร้างอาคารเริ่มวิบัติที่ระยะการเคลื่อนที่ 1.56% ของความสูงอาคารและที่โครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนที่ 2.03% ของความสูงอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4.1 ระดับความเสียหายของอาคารที่สภาวะวิบัติอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมถึงเสียหายมาก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะความเสียหายของอาคารตั้งแต่จุดที่ [4] ถึง จุดที่ [5] โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุด 6.5% ของความสูงระหว่างชั้น

จากรูป 4.5 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ในช่วงฐานรากถึงชั้นที่ 1 น้อยมาก อาคารเริ่มเคลื่อนที่มากขึ้นตั้งแต่จุดที่ [2] เนื่องจากอาคารเริ่มเกิดความเสียหายในเสาทั้งสองชั้น จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่เกิดมากที่สุดที่ชั้นที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคาร เนื่องจากเกิดการวิบัติของเสาทั้งสองข้างในช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 ทั้งหมดซึ่งเห็นได้ชัดเจนในจุดที่ [5]



รูป 4.4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (story drift) ของอาคารในทิศ Y-Y
กรณีกำหนดคัตหน้าพลาสติกโดยโปรแกรม



รูป 4.5 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารในทิศ Y-Y
กรณีกำหนดคัตหน้าพลาสติกโดยโปรแกรม

เมื่อพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ด้านข้างของแต่ละชั้น สามารถจำแนกระดับความสามารถของอาคารได้เช่นกันดังตาราง 4.1(Mansour, Mahmoud, 2010)

ตาราง 4.1 ระดับสมรรถนะของอาคารต่อข้อจำกัดอัตราการเคลื่อนที่ของอาคาร

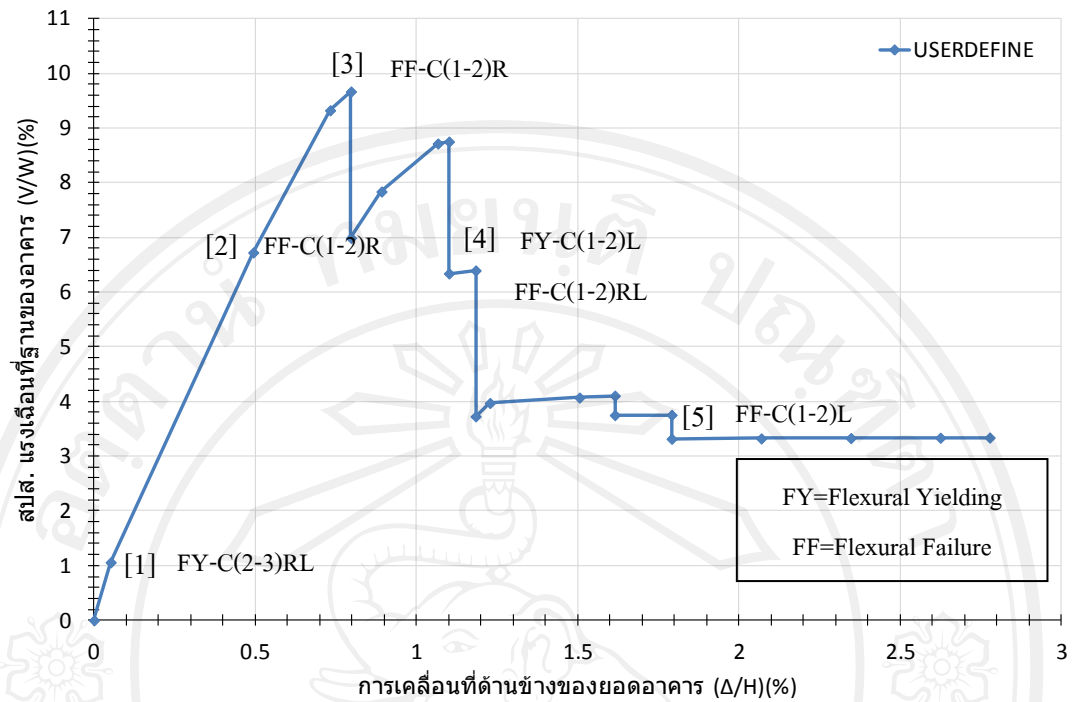
Performance levels, corresponding damage state and drift limits		
Fully operational, Immediate occupancy	No damage	< 0.2%
Operational, Damage control, Moderate	Repairable	< 0.5%
Life safe , Damage state	Irreparable	< 1.5%
Near collapse, Limited safety, Hazard reduced	Severe	< 2.5%
Collapse	-	> 2.5%

4.2 ผลการวิเคราะห์อาคารในทิศ Y-Y ด้วยหน้าตัดพลาสติกกระบวนเฉพาะ

4.2.1 พฤติกรรมการรับแรง

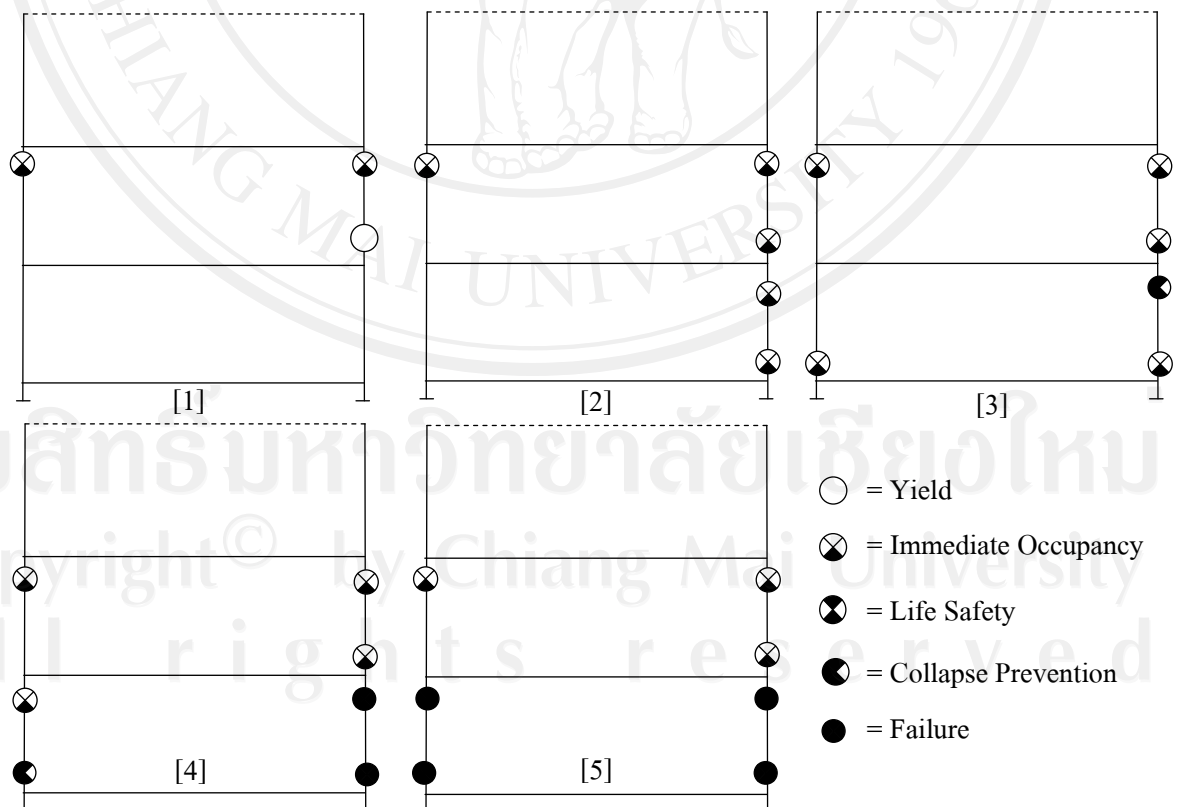
รูป 4.6 แสดงเส้นสมรรถนะของอาคารรับแรงในทิศ Y-Y คุณสมบัติของหน้าตัดพลาสติกขององค์อาคารด้วยค่าระบุเฉพาะ อาคารให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 9.66% และอาคารวิบัติที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารมีค่าเท่ากับ 0.79% ของความสูงอาคาร ความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่า 1.79% ของความสูงอาคาร ณ จุดที่อาคารวิบัติสูงสุดจุดที่ [5] เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของแผ่นดินไหว 42.0% ดังนั้นอาคารนั้นสามารถรับขนาดแรงแผ่นดินไวน้อยกว่าแรงแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

จากรูป 4.6 และ 4.7 พบว่าเมื่อรับแรงจนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการร้าวที่เสาชั้นที่ 2 ทางด้านขวา และด้านซ้าย ความเสียหายระดับ Y ต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวาและเกิดระดับความเสียหายที่ระดับ IO ขึ้นที่เสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวา ส่วนเสาชั้นที่ 2 เกิดระดับความเสียหายยังเพิ่มขึ้นถึงระดับ IO จากนั้นในจุดที่ [3] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวาอยู่ในระดับ CP จุดที่ [4] เสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวาระดับความเสียหายอยู่ในระดับ F และเสาชั้นที่ 1 ทางด้านซ้ายระดับความเสียหายเพิ่มเป็น IO จนกระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ F ในเสาทั้งสองชั้นซึ่งหมายความว่าอาคารไม่สามารถรับแรงแผ่นดินไหวต่อไปได้อีก



รูป 4.6 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) รับแรงในทิศ Y-Y

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ

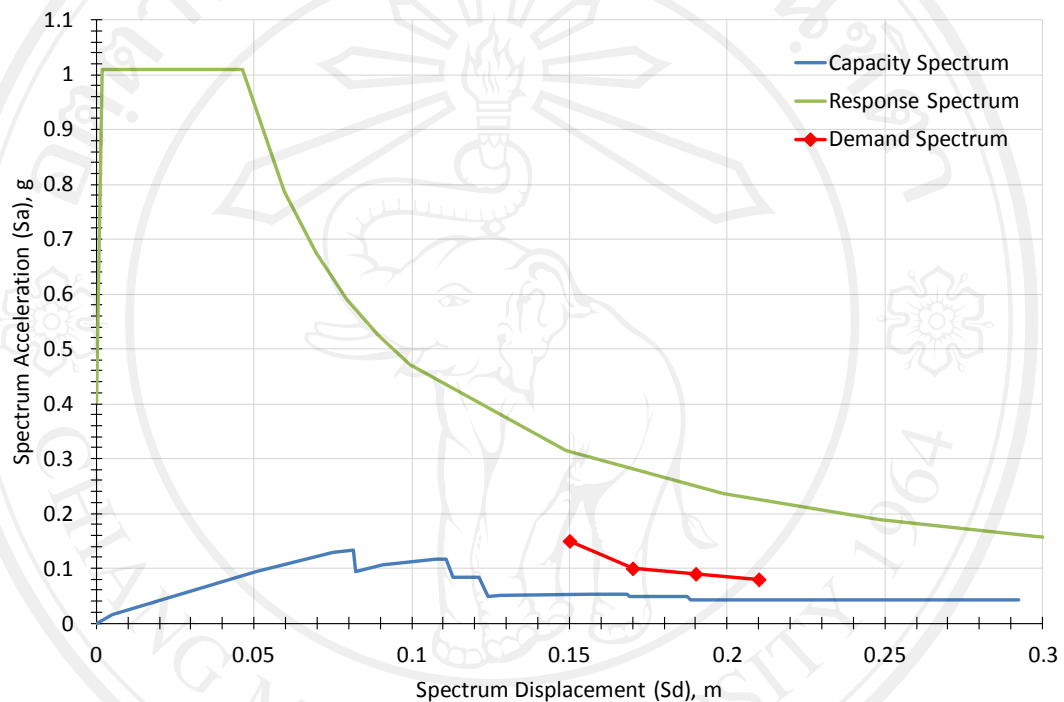


รูป 4.7 พฤติกรรมการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคารในทิศ Y-Y

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ

4.2.2 พิกัดสมรรถนะ

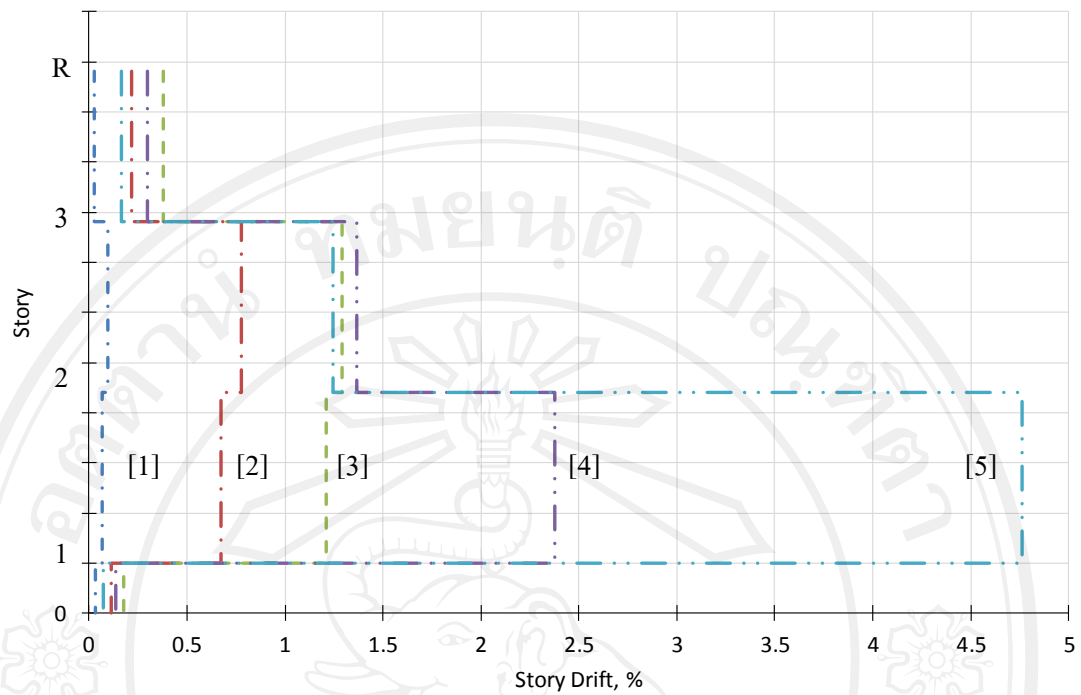
จากรูป 4.8 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ เส้นสเปกตรัมสมรรถนะและเส้นสเปกตรัมตอบสนองความต้องการแสดงให้เห็นว่าอาคารไม่สามารถรับแรงแผ่นดินไหวได้ อาคารเกิดการพังทลายก่อนจะแตะเส้นสเปกตรัมสมรรถนะ เนื่องจากอาคารขาดความสามารถทั้งด้านความเหนียวและด้านกำลัง ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของอาคารที่มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของแรงแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาเช่นกัน



รูป 4.8 พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ Y-Y กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ

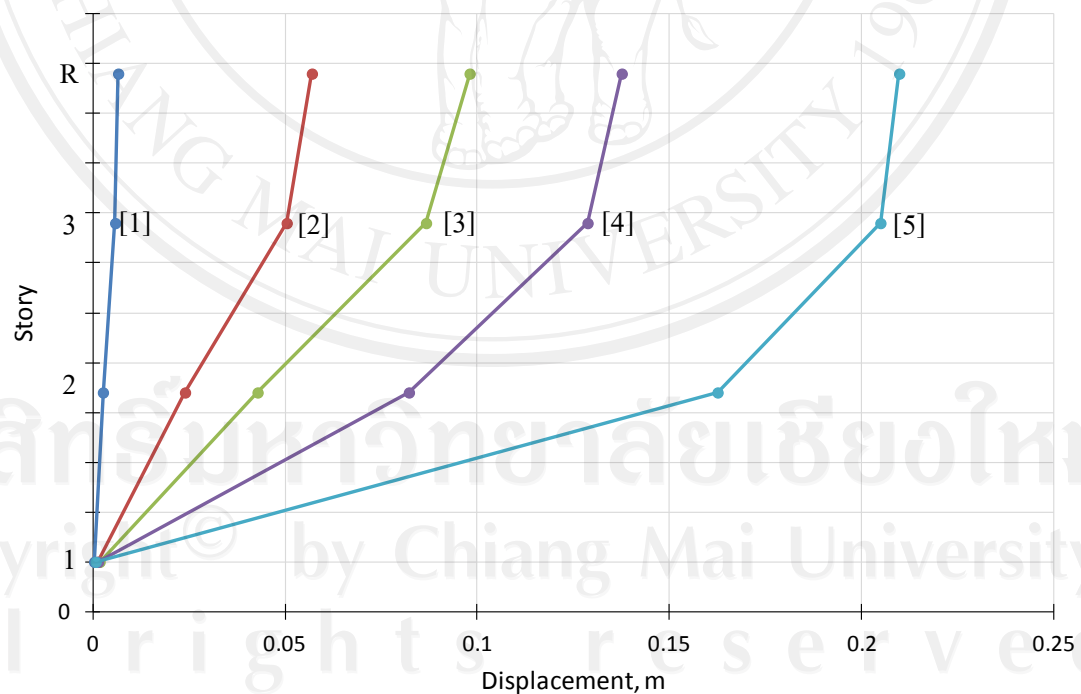
4.2.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 4.9 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่มีการเคลื่อนที่มากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.05% ของความสูงอาคาร สภาวะที่อาคารวิบัติระยะการเคลื่อนที่มีค่า 0.79% ของความสูงอาคารและ โครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนที่ 1.79% ของความสูงอาคาร เมื่อเปรียบเทียบจากตาราง 4.1 ระดับความเสียหายของอาคารที่สภาวะวิบัติอยู่ในระดับที่เสียหายมากไม่สามารถซ่อมแซมได้ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะความเสียหายของอาคารตั้งแต่จุดที่ [4] ถึง จุดที่ [5] โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุด 4.75% ของความสูงระหว่างชั้น



รูป 4.9 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story drift) ของอาคารในทิศ Y-Y

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ



รูป 4.10 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารในทิศ Y-Y

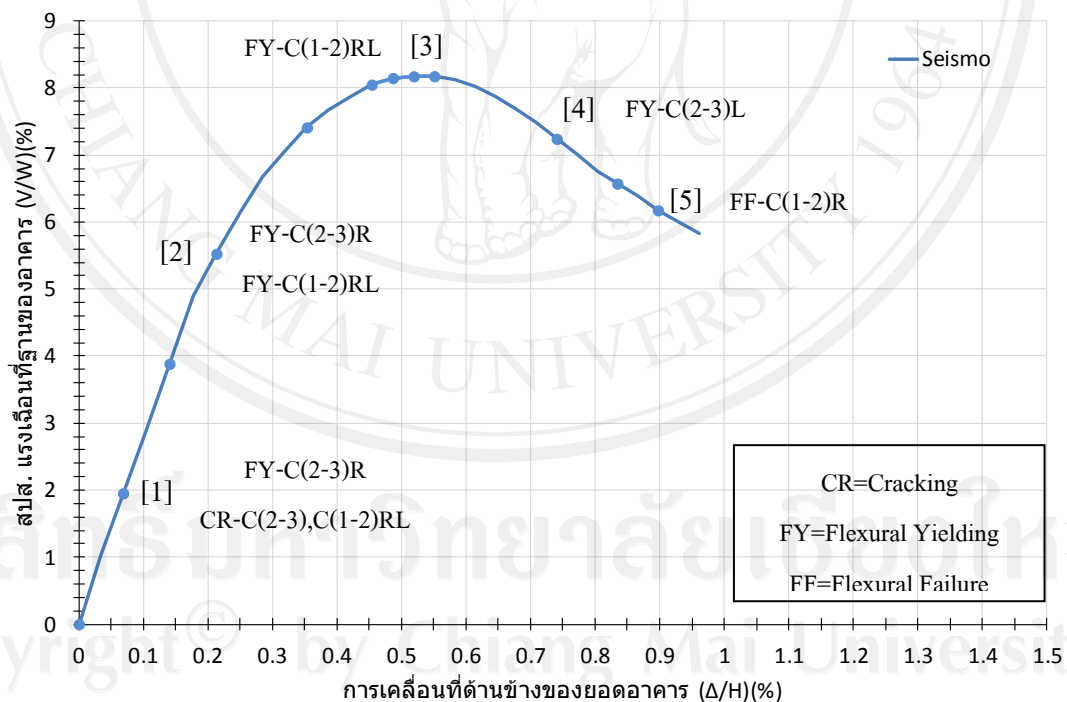
กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ

จากรูป 4.10 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ในช่วงฐานรากถึงชั้นที่ 1 น้อยมาก อาคารเริ่มเคลื่อนที่มากขึ้นตั้งแต่จุดที่ [2] เนื่องจากอาคารเริ่มเกิดความเสียหายในเสาทั้งสองชั้น จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ที่เกิดมากที่สุดในชั้นที่สองซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคาร เนื่องจากเกิดการบิดของเสาทั้งสองข้างในช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 ทั้งหมดซึ่งเห็นได้ชัดเจนในจุดที่ [5]

4.3 ผลการวิเคราะห์อาคารในทิศ Y-Y ด้วยแบบจำลองไฟเบอร์

4.3.1 พฤติกรรมการรับแรง

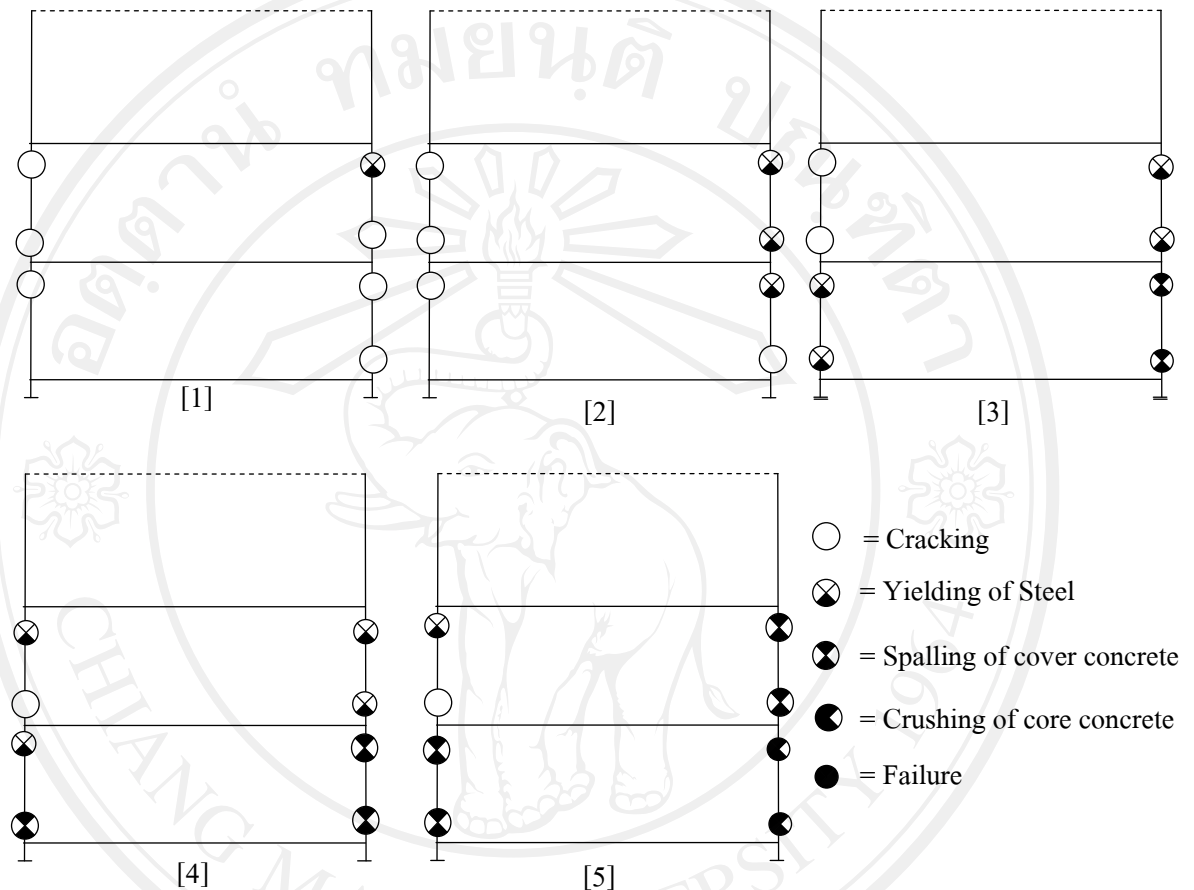
สำหรับเส้นสมรรถนะของอาคารที่วิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟเบอร์ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 8.17% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารเท่ากับ 0.55% ของความสูงอาคาร สภาวะที่อาคารวิบัติระยะการเคลื่อนที่มีค่า 0.77% ของความสูงอาคาร และการเคลื่อนตัวของยอดอาคารมีค่า 0.89% ของความสูงอาคาร เทียบกับสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของแรงแผ่นดินไหว 42.0% คำนวณตาม มยพ. 1302 นั้นพบว่าอาคารโรงเรียนมาตรฐานนั้นสามารถรับขนาดแรงแผ่นดินไหวได้น้อยกว่าแรงแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ ดังรูป 4.11



รูป 4.11 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) รับแรงในทิศ Y-Y โดยวิธีแบบจำลองไฟเบอร์

สำหรับพฤติกรรมการเสียหายของอาคารที่วิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์ในจุดที่ [1] นั้นเกิดการแตกของคอนกรีตที่ผิวนอก และเกิดการครากของเหล็กในเสาชั้นที่ 2 ต่อมาจุดที่ [2] เกิดการครากของเหล็กเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 1 ในจุดที่ [3] สภาวะที่อาคารรับแรงด้านข้างมาก

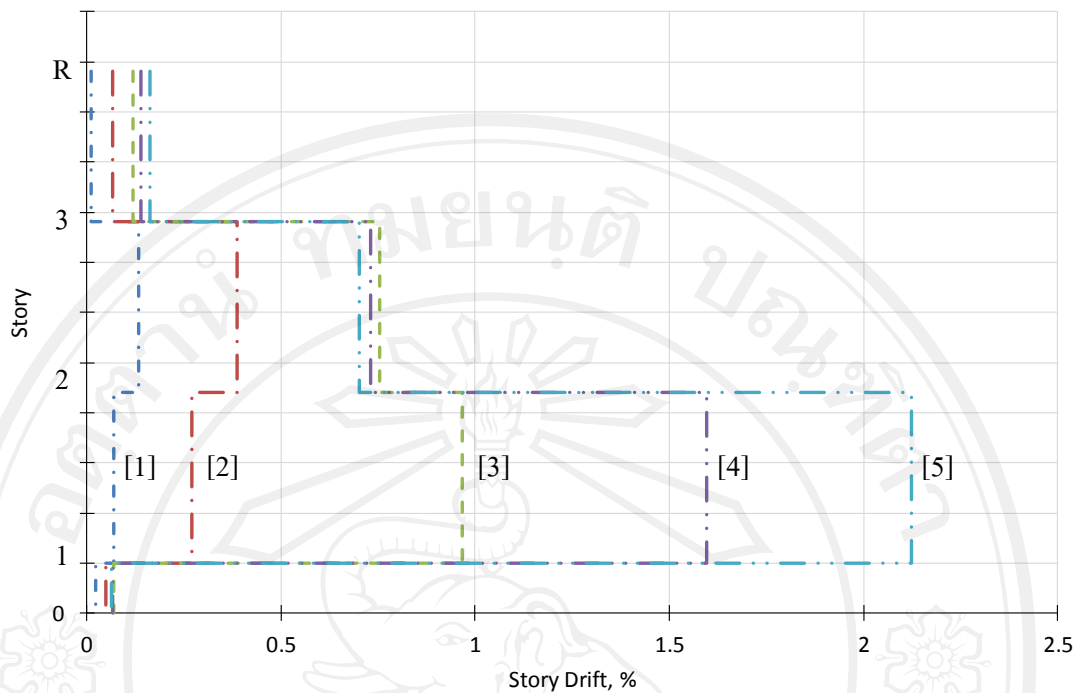
ที่สุดเกิดการกะเทาะของคอนกรีตในเสาชั้นที่ 1 จากนั้นระดับความเสียหายของเสาชั้นที่ 1 ได้เพิ่มขึ้นเกิดการแตกของคอนกรีตที่อยู่ภายในของเหล็กรัดรอบ และจุดที่ [5] สุตท้ายเหล็กเสริมไม่สามารถรับแรงได้อีกต่อไป



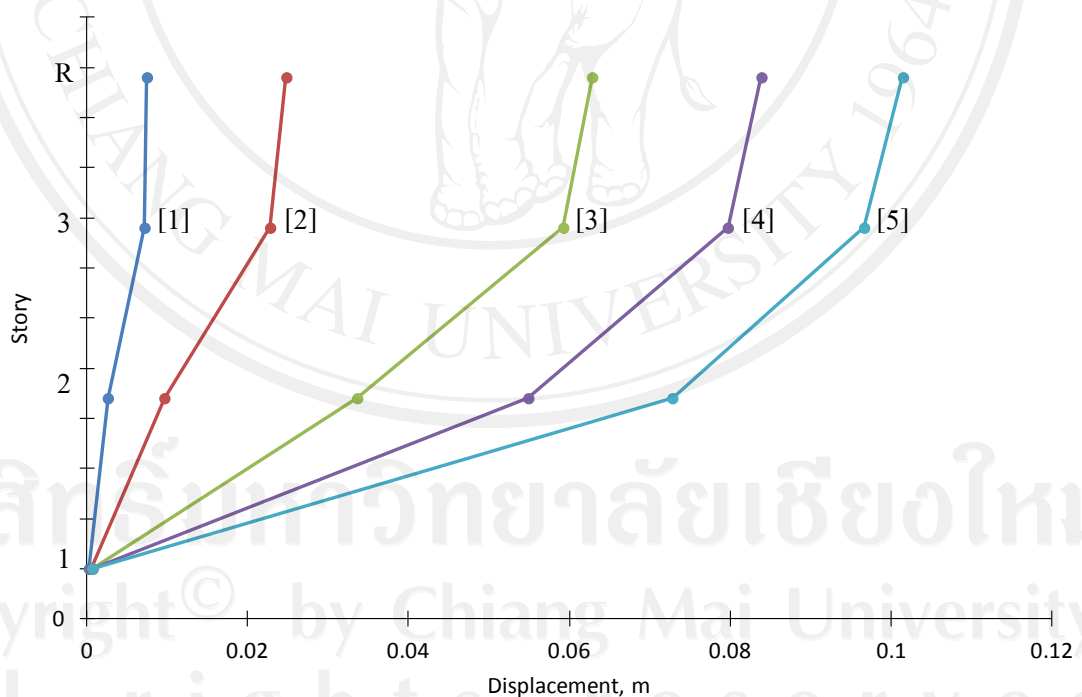
รูป 4.12 พฤติกรรมการเกิดความเสียหายของอาคารในทิศ Y-Y โดยวิธีแบบจำลองไฟเบอร์

4.3.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 4.13 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่มีการเคลื่อนที่มากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.55% ของความสูงของอาคาร สภาวะที่อาคารวิบัติมีระยะการเคลื่อนที่ 0.77% ของความสูงอาคาร และโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.89% ของความสูงของอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4.1 ระดับความเสียหายของอาคารที่สภาวะวิบัติอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมถึงเสียหายมาก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะความเสียหายของอาคารตั้งแต่จุดที่ [4] ถึง จุดที่ [5] โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุด 2.1% ของความสูงระหว่างชั้น



รูป 4.13 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Story drift) ของอาคารในทิศ Y-Y โดยวิธีแบบจำลองไฟเบอร์



รูป 4.14 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารในทิศ Y-Y โดยวิธีแบบจำลองไฟเบอร์

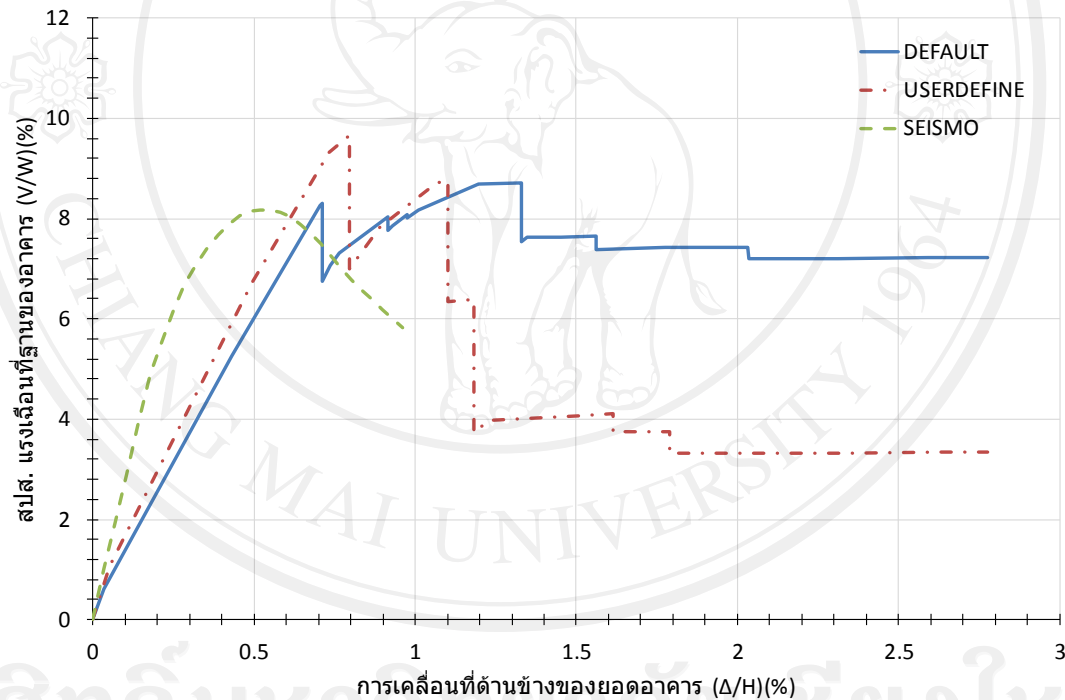
จากรูป 4.14 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ในช่วงฐานรากถึงชั้นที่ 1 น้อยมาก อาคารเริ่มเคลื่อนที่มากขึ้นตั้งแต่จุดที่ [3] เนื่องจากอาคารเริ่มเกิดความเสียหายในเสาทั้งสองชั้น จะเห็นได้ว่าการ

เคลื่อนที่เกิดมากที่สุดในช่วงที่สองซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคาร เนื่องจากเกิดการวิบัติของเสาทั้งสองข้างในช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 ทั้งหมดซึ่งเห็นได้ชัดเจนในจุดที่ [5]

4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในทิศ Y-Y

4.4.1 กำลังและเส้นโค้งสมรรถนะ

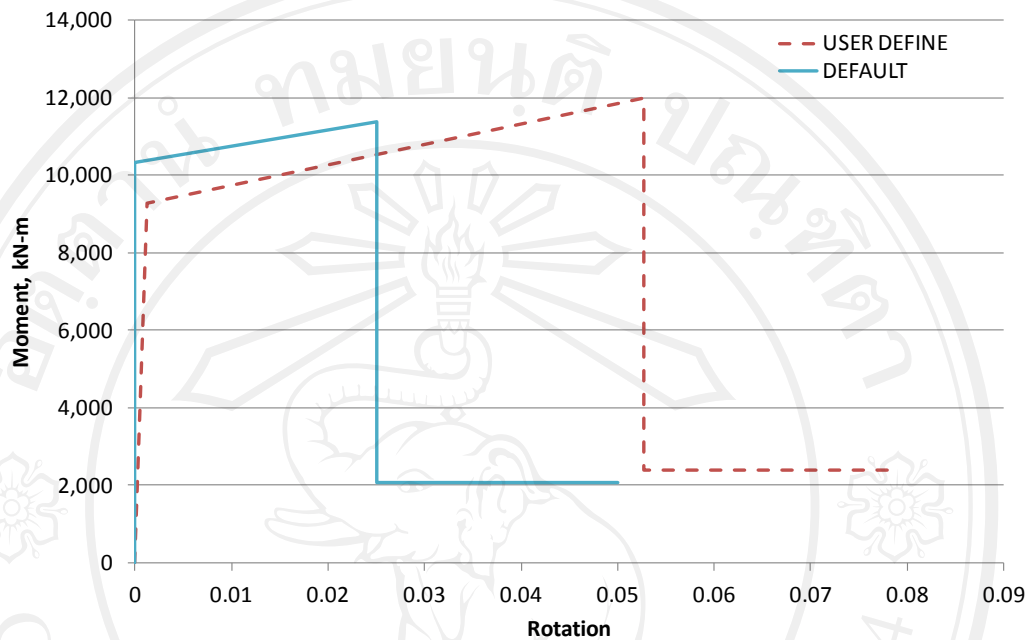
จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์แบบการกำหนดหน้าตัดพลาสติกกระบวนเฉพาะให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานมากที่สุด รองลงมาคือการวิเคราะห์แบบการกำหนดหน้าตัดพลาสติกโดยโปรแกรมและการวิเคราะห์โดยวิธีแบบจำลองไฟเบอร์ตามลำดับ ในส่วนสตีเฟนเริ่มต้นของอาคารนั้นการใช้แบบการกำหนดหน้าตัดพลาสติกให้ค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติหน้าตัดพลาสติกที่แตกต่างกันของทั้งสองแบบเนื่องจากค่า Moment-Rotation แบบกำหนดโดยค่าระบุเฉพาะนั้นมีค่าโมเมนต์ดัดที่มากกว่าแบบกำหนดโดยโปรแกรม ดังรูป 4.16 4.17 และ 4.18



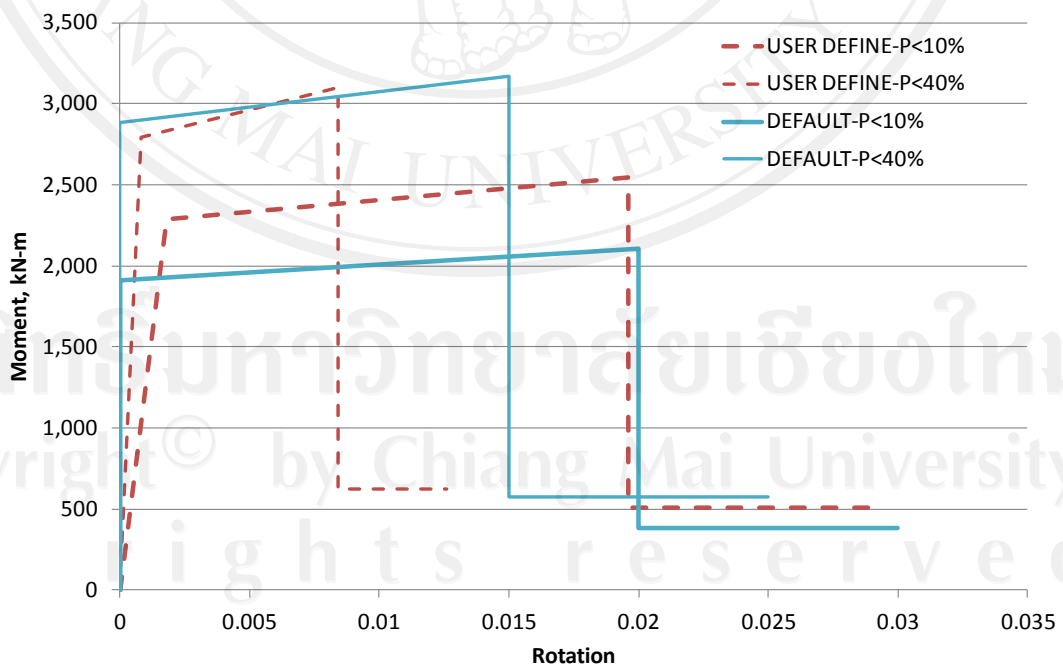
รูป 4.15 เปรียบเทียบกราฟสมรรถนะ (Capacity Curve) ในทิศ Y-Y ด้วยวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ

สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์นั้นให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบการกำหนดหน้าตัด เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์ จะเกิดการเสียหายขยายไปตามชิ้นส่วนข้างเคียงด้วย ทำให้ความยาวของหน้าตัดพลาสติกมีได้จำกัดที่ตำแหน่งของหน้าตัดที่กำหนดเช่นเดียวกับกรณีการวิเคราะห์แบบการกำหนดหน้าตัดพลาสติก ส่วนค่าสตีเฟนที่ได้มานั้นเป็นเพราะในช่วงแรกวัสดุเป็นอิลาสติกเต็มหน้าตัดการเกิดความเสียหายจะเกิดเฉพาะ

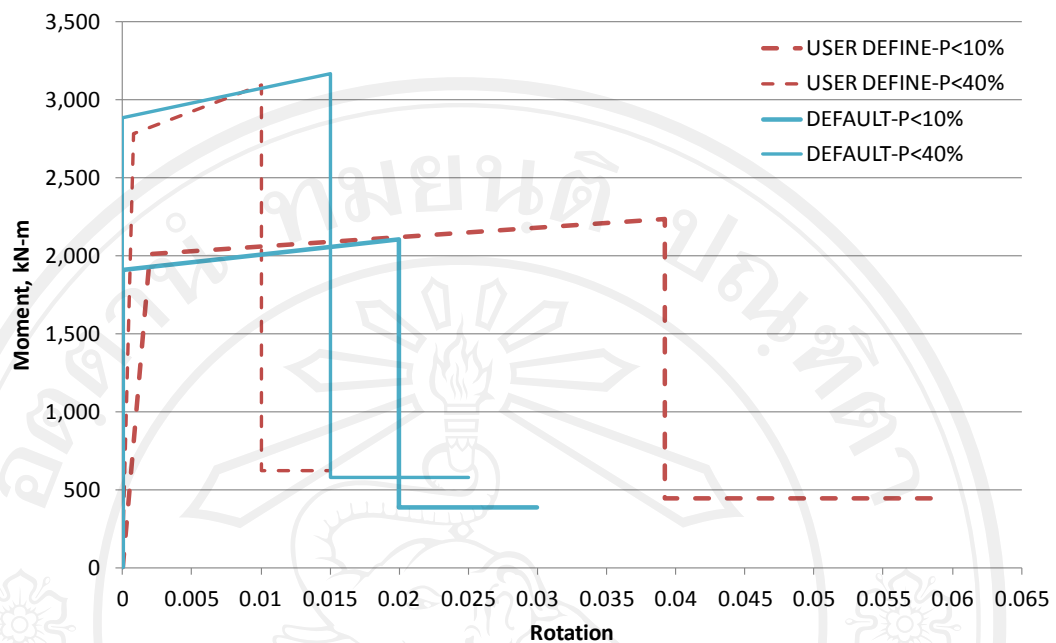
เซลล์นั้น ๆ ส่วนการวิเคราะห์แบบกำหนดหน้าตัดนั้นจะกำหนดให้เป็นหน้าตัดแตกร้าว (Cracked Section) ตั้งแต่เริ่มต้น และจะเกิดการลดค่าสติฟเนสทันทีเมื่อเหล็กเสริมเกินค่าหน่วยแรงคราก



รูป 4.16 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของคาน B1-END



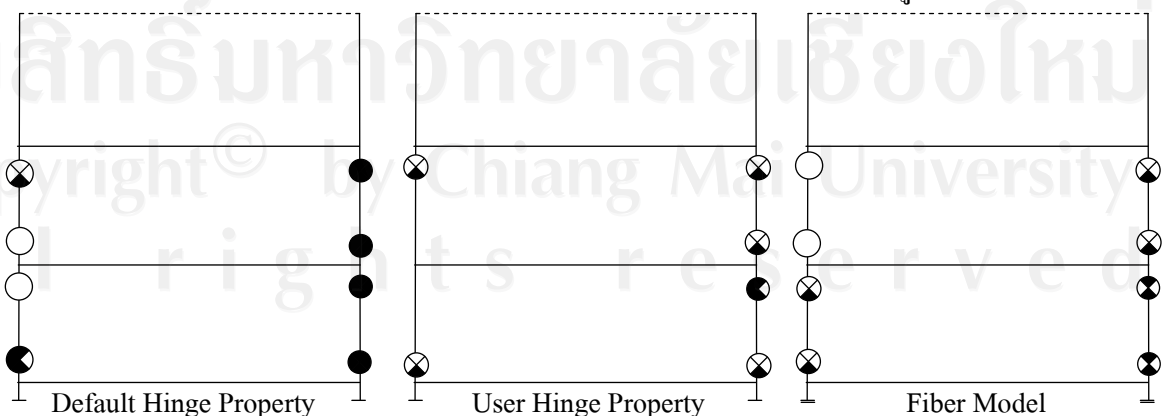
รูป 4.17 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของเสาชั้นที่ 1 (C1-2) ในทิศ Y-Y



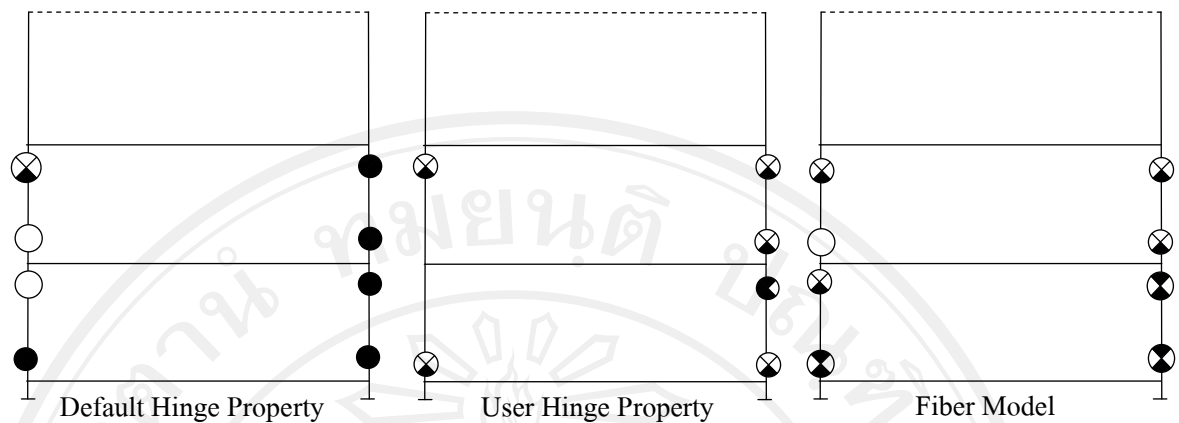
รูป 4.18 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของเสาชั้นที่ 2 (C2-3) ในทิศ Y-Y

4.4.2 รูปแบบการเสียหาย

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคารสภาพโดยรวมแล้วมีลักษณะการเกิดความเสียหายคล้ายกัน โดยส่วนมากเกิดการเสียหายที่เสาชั้นที่ 2 ก่อนและเริ่มเกิดการเสียหายในเสาชั้นที่ 1 ตามมา ส่วนระดับความเสียหายของอาคาร การวิเคราะห์แบบหน้าตัดพลาสติกโดยโปรแกรม ที่โครงสร้างเกิดแรงกระทำสูงสุด เสาชั้นที่ 1 และ 2 ทางด้านขวาเกิดความเสียหายระดับ F ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้ค่าระบุเฉพาะ และการวิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์ ระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ IO เฉพาะเสาชั้นที่ 1 เกิดการเสียหายในระดับ CP และ LS ตามลำดับดังรูป 4.19



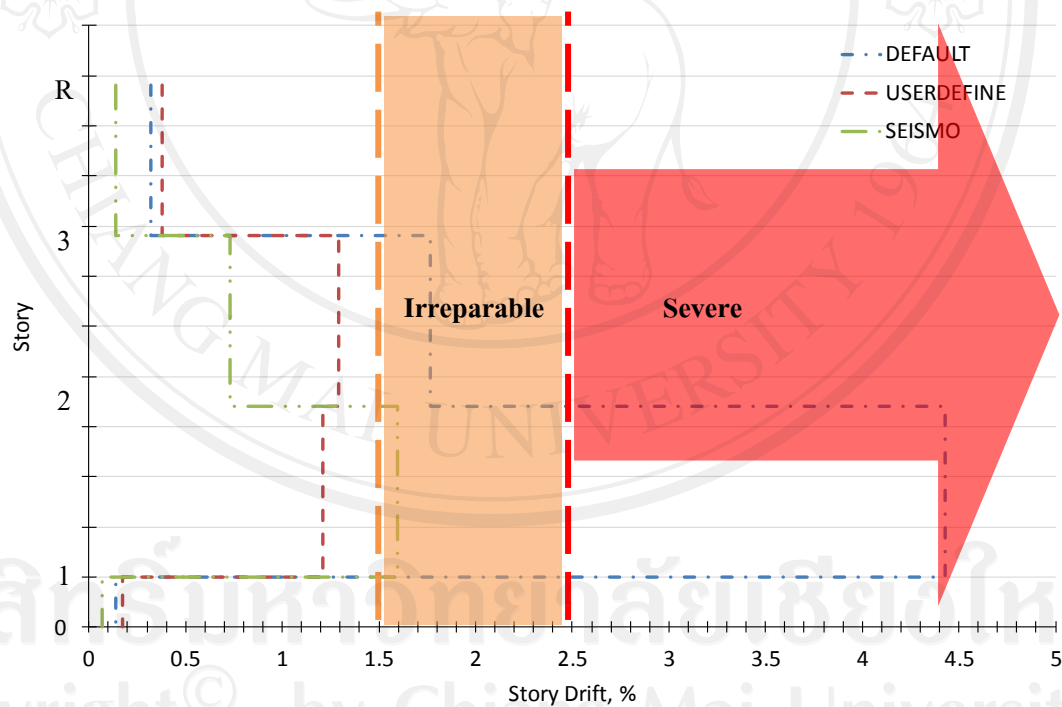
(ก) โครงสร้างเกิดแรงกระทำสูงสุด



(ข) โครงสร้างเกิดการวิบัติ

รูป 4.19 เปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคารในทิศ Y-Y

(ก) แรงกระทำสูงสุด (ข) จุดวิบัติของอาคาร



รูป 4.20 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ จุดที่อาคารวิบัติในทิศ Y-Y

4.4.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

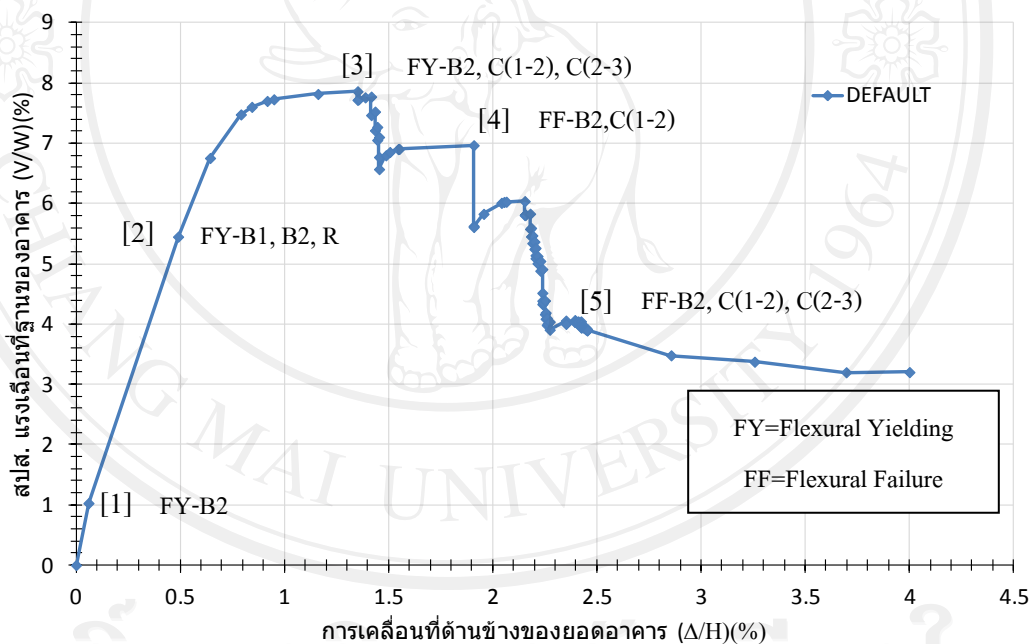
จากรูป 4.20 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 นั้นมีค่ามากซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคารดังรูป 4.19 และเมื่อเทียบกับตาราง 4.1 ระดับสมรรถนะของอาคารอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมถึงเสียหายมากในกรณีของ กำหนดหน้าตัดพลาสติกโดย

โปรแกรมและวิเคราะห์แบบจำลองไฟเบอร์ โดยทั้ง 2 กรณีมีลักษณะที่คล้ายกันโดยเกิดความเสียหายมากในช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2

4.5 ผลการวิเคราะห์อาคารในทิศ X-X ด้วยหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

4.5.1 พฤติกรรมการรับแรง

จากรูป 4.21 อาคารให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 7.86% และการเคลื่อนตัวทางด้านข้างประมาณ 1.30% ของความสูงอาคารและความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่าเท่ากับ 2.44% ของความสูงอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของแผ่นดินไหวที่มีค่า 42.0% นั้นพบว่าอาคารนั้นสามารถรับขนาดแรงแผ่นดินไหว ได้น้อยกว่าแรงแผ่นดินไหว ออกแบบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

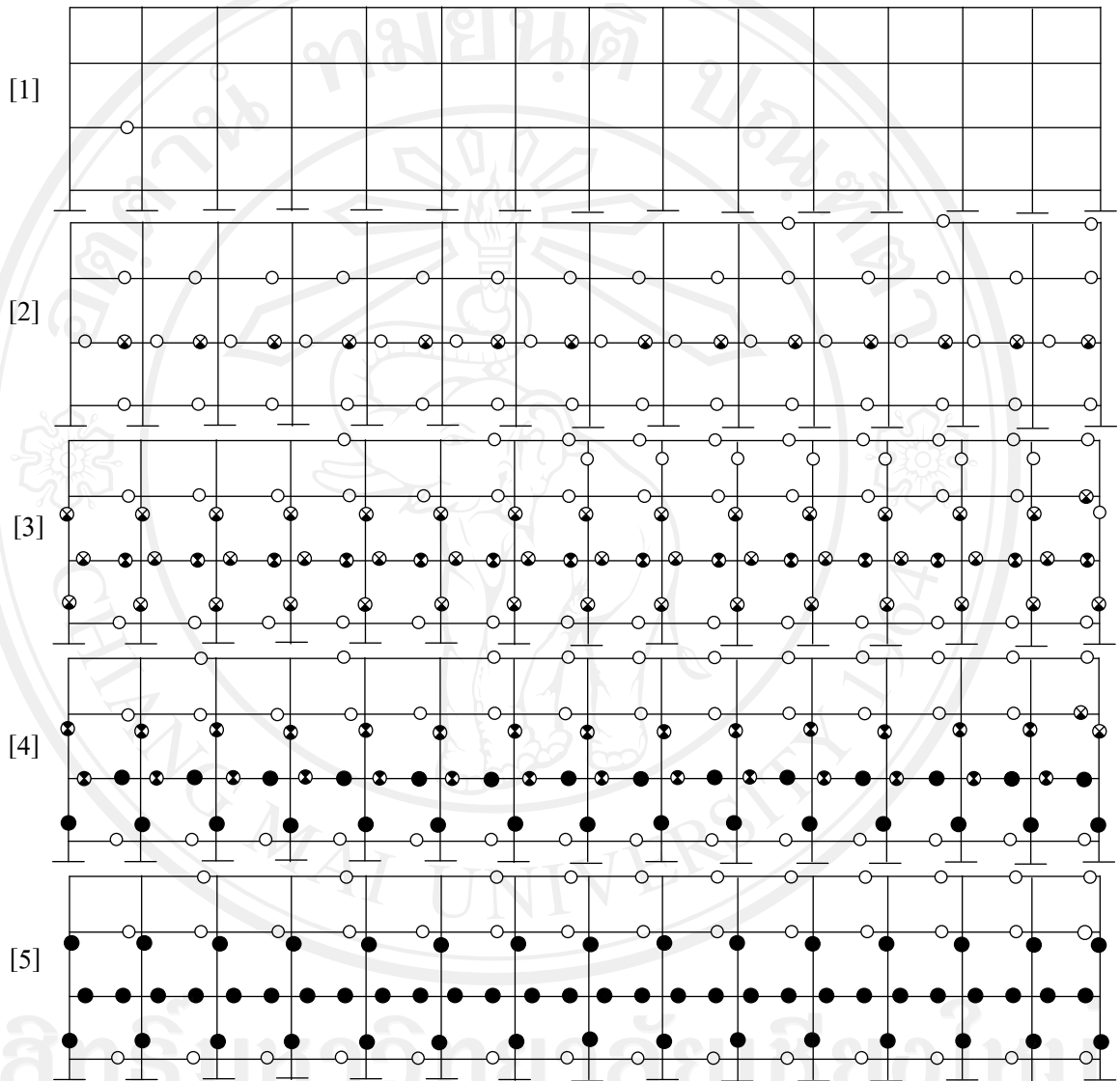


รูป 4.21 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) รับแรงในทิศ X-X

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

สำหรับพฤติกรรมของการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคาร แสดงไว้ในรูป 4.21 และ 4.22 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จุดที่ [1] เกิดหน้าตัดพลาสติกที่คานชั้นที่ 2 เพียงเล็กน้อย หน้าตัดพลาสติกเกิดความเสียหายระดับ Y ต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในคานชั้นที่ 1 2 3 และชั้นหลังคา ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกอยู่ในระดับ Y และ IO จุดที่ [3] ระดับความเสียหายที่หน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นในคานชั้นที่ 2 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ LS และเกิด

หน้าตัดพลาสติกขึ้นในเสาชั้นที่ 1 โดยระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO จากนั้นในจุดที่ [4] คาน
ชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายในระดับ F และเสาชั้นที่ 2 เกิดความเสียหายในระดับ LS
กระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ F ในเสาชั้นที่ 1 และเสาชั้นที่ 2



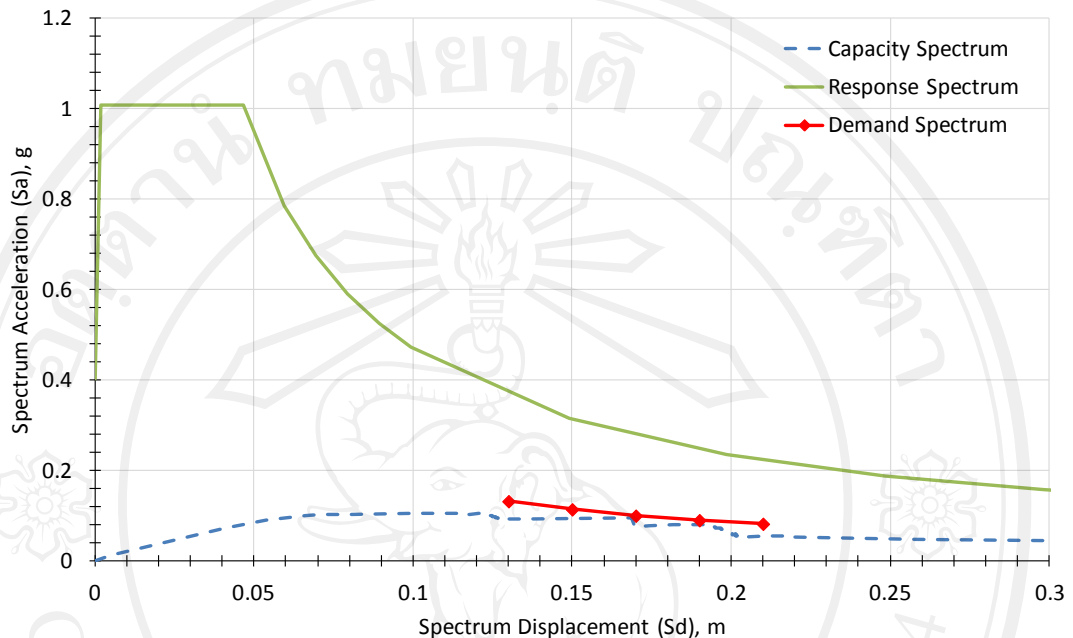
รูป 4.22 พฤติกรรมของการเกิดหน้าตัดพลาสติกในเสาและคานของอาคารในทิศ X-X

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

4.5.2 พิกัดสมรรถนะ

จากรูป 4.22 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ เส้นสเปกตรัมสมรรถนะและเส้นสเปกตรัมตอบสนอง
ความต้องการแสดงให้เห็นว่าอาคารไม่สามารถรับแรงแผ่นดินไหวได้ อาคารเกิดการพังทลายก่อน
จะแตะเส้นสเปกตรัมสมรรถนะ เนื่องจากอาคารมีความสามารถในการแรงต้านข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้อง

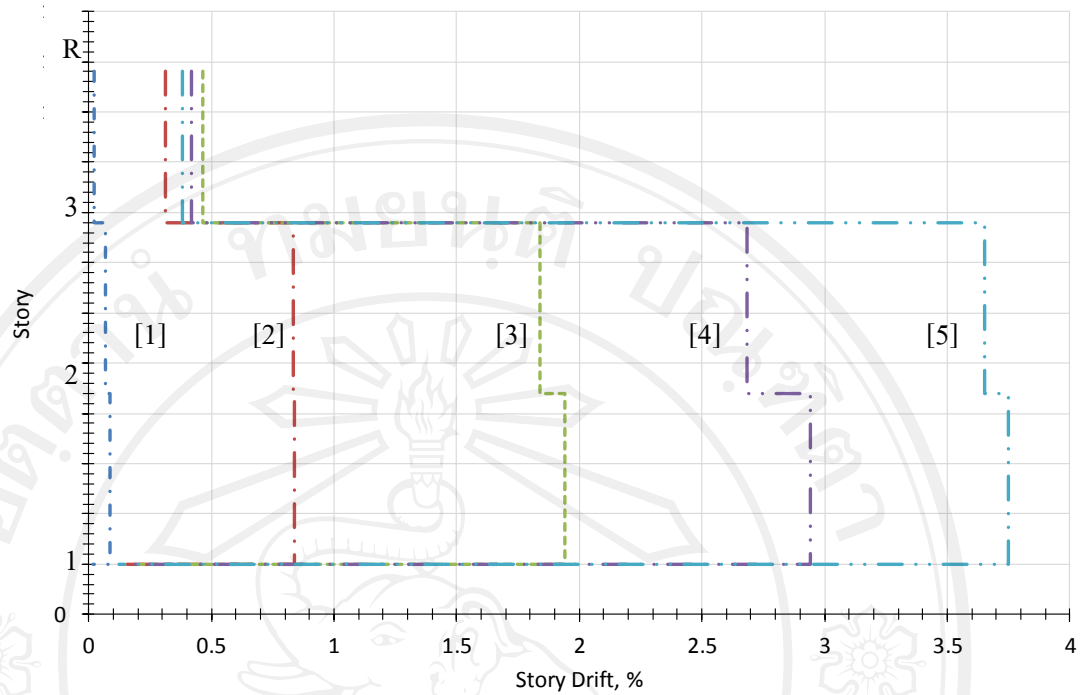
กับค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนพื้นฐานของอาคารที่มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนพื้นฐานของแรงแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา



รูป 4.23 จุดพิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ X-X กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

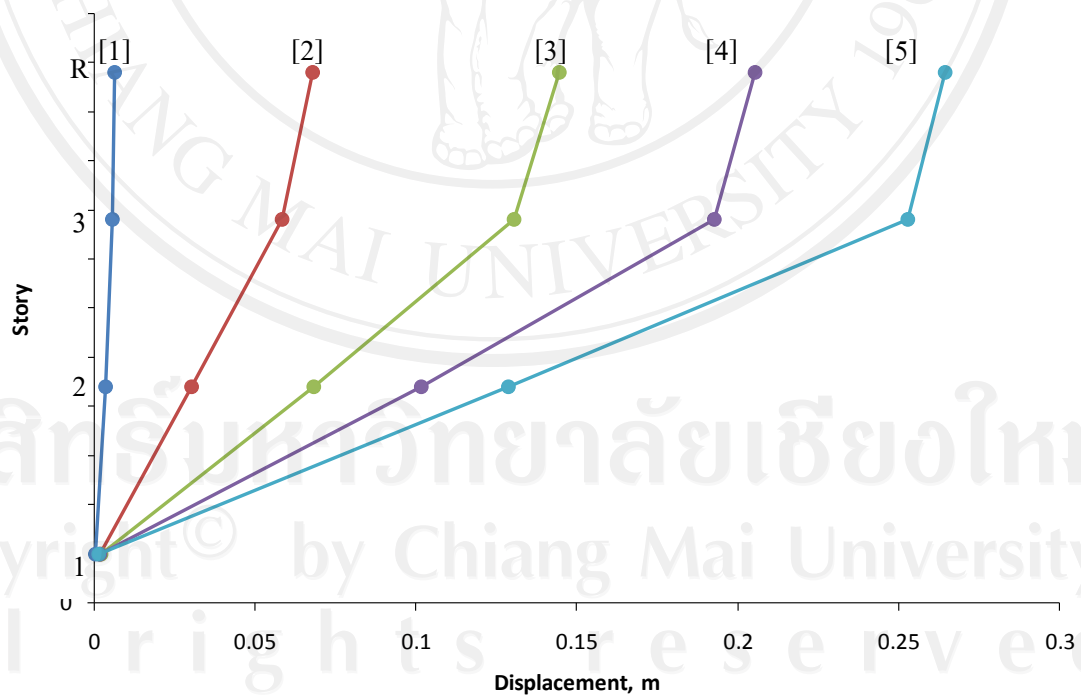
4.5.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 4.24 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.056% ของความสูงอาคาร สภาวะวิบัติของอาคารระยะการเคลื่อนที่ 1.45% ของความสูงอาคารและโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนที่ 2.44% ของความสูงอาคาร เมื่อพิจารณาในตาราง 4.1 ระดับความเสียหายของอาคารที่สภาวะวิบัติอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมถึงเสียหายมาก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะความเสียหายของอาคารตั้งแต่จุดที่ [4] ถึง จุดที่ [5]



รูป 4.24 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (story drift) ของอาคารในทิศ X-X

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม



รูป 4.25 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารในทิศ X-X

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดโดยโปรแกรม

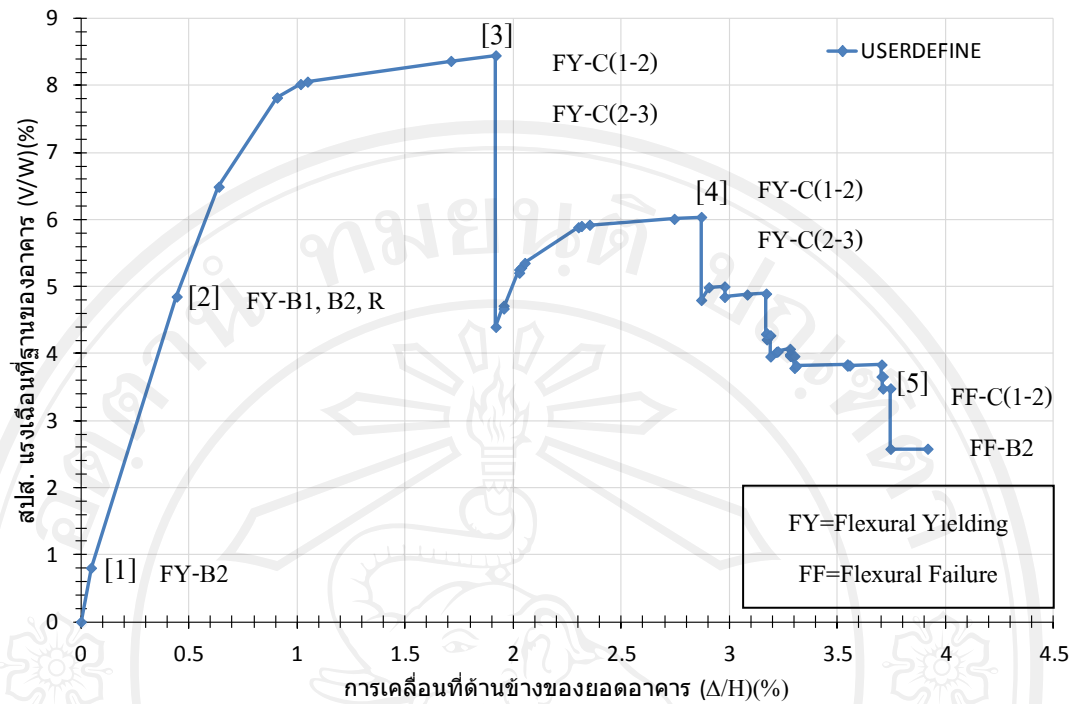
จากรูป 4.25 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ในช่วงฐานรากถึงชั้นที่ 1 น้อยมาก อาคารเริ่มเคลื่อนที่มากขึ้นตั้งแต่จุดที่ [2] เนื่องจากอาคารเริ่มเกิดความเสียหายในเสาทั้งสองชั้น จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่เกิดมากที่สุดในชั้นที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคาร เนื่องจากเกิดการบิดของเสาในช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 3 และเกิดการบิดของคานในชั้นที่ 2 ทั้งหมดซึ่งเห็นได้ชัดเจนในจุดที่ [5]

4.6 ผลการวิเคราะห์อาคารในทิศ X-X ด้วยหน้าตัดพลาสติกระบุเฉพาะ

4.6.1 พฤติกรรมการรับแรง

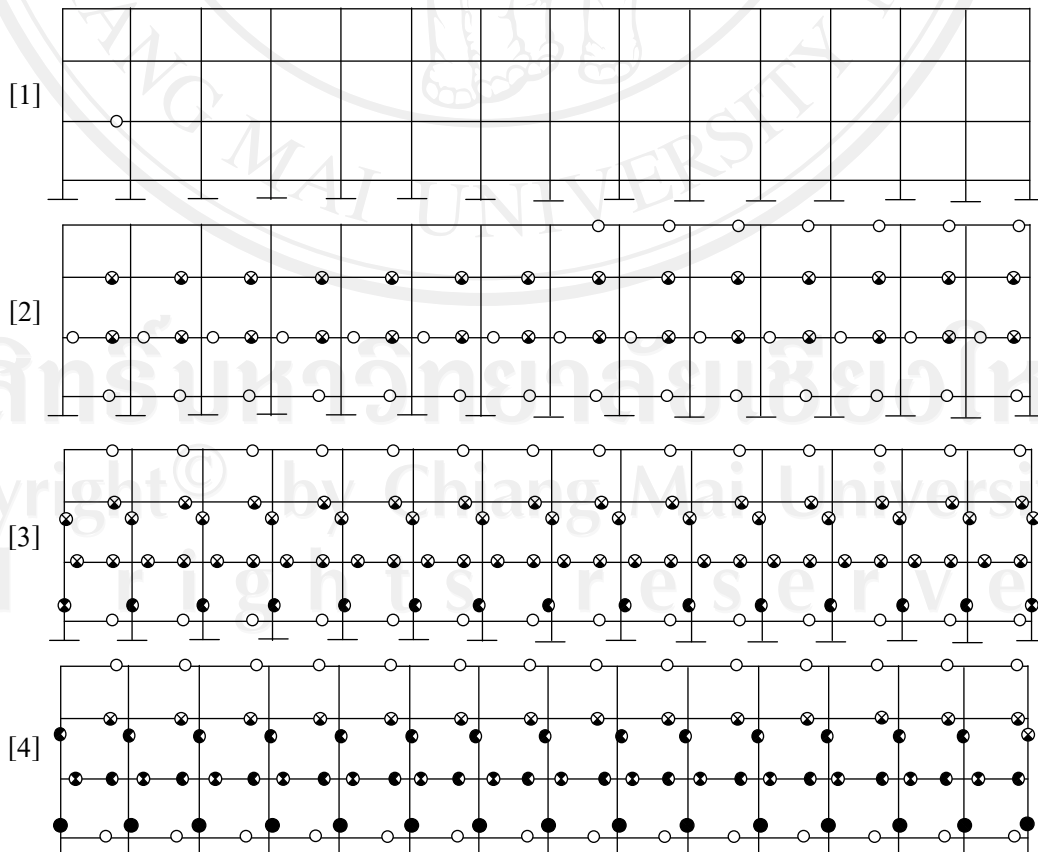
เส้นโค้งสมรรถนะในทิศ X-X แสดงในรูป 4.26 ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 8.45% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารค่าเท่ากับ 1.91 %ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่าเท่ากับ 3.74 %ของความสูงอาคาร ณ จุดที่อาคารบิด จุดที่ [5] เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของแผ่นดินไหว 42.0% ดังนั้นอาคารนั้นสามารถรับขนาดแรงแผ่นดินไวน้อยกว่าแรงแผ่นดินไหวที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

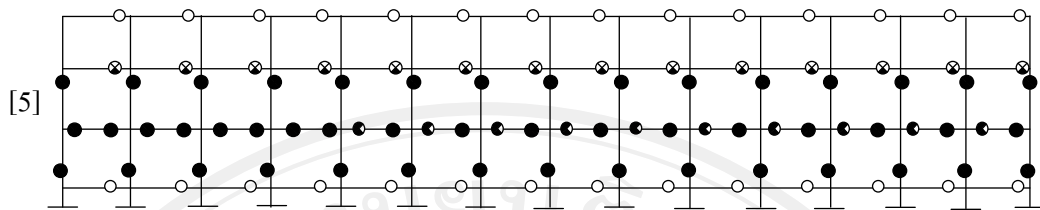
จากรูป 4.26 และ 4.27 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จุดที่ [1] เกิดการร้าวที่คานชั้นที่ 2 เกิดหน้าตัดพลาสติกเล็กน้อยระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Y ต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในคานชั้นที่ 1 2 3 และหลังคา ระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ที่ระดับ Y และ IO จากนั้นในจุดที่ [3] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาและคานชั้นที่ 1 ระดับความเสียหายที่หน้าตัดพลาสติกอยู่ในระดับ CP จากนั้นจุดที่ [4] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นในคานชั้นที่ 2 สำหรับเสาชั้นที่ 1 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ F เมื่อถึงจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกของเสาชั้นที่ 2 อยู่ในระดับ F หมายความว่าอาคารเกิดความเสียหายมากเป็นอันตรายต่อการใช้อาคาร



รูป 4.26 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) รับแรงในทิศ X-X

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ





รูป 4.27 พฤติกรรมของการเกิดน้ำตดพลาสติกของอาคารในทิศ X-X

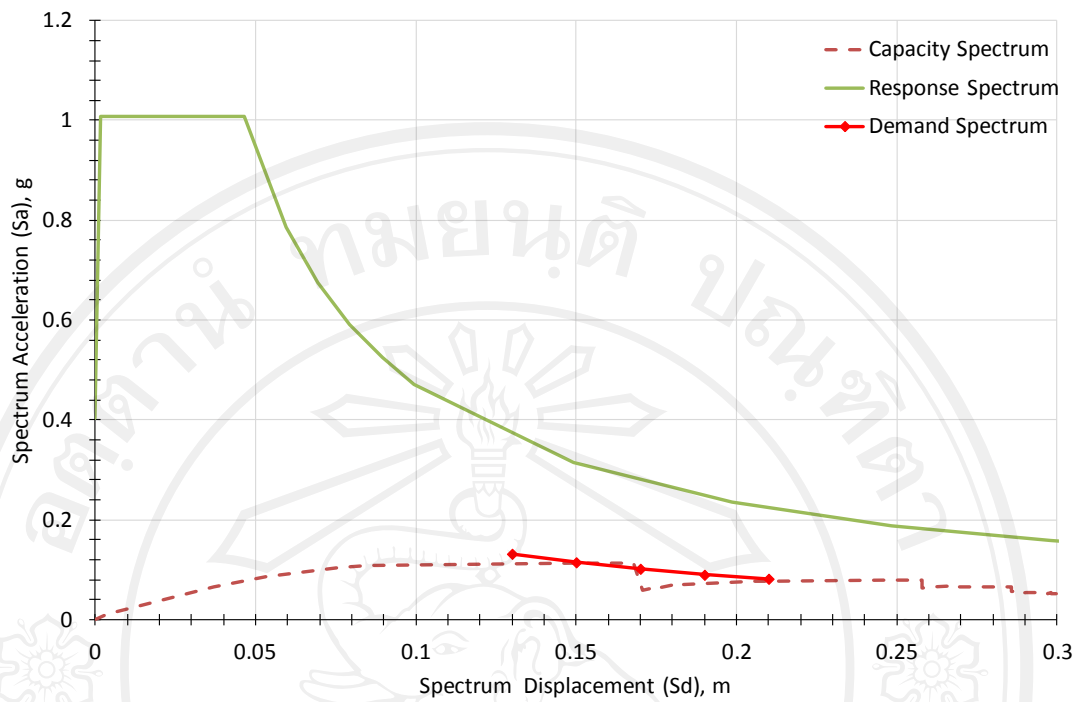
กรณีหน้าตดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ

4.6.2 พิกัดสมรรถนะ

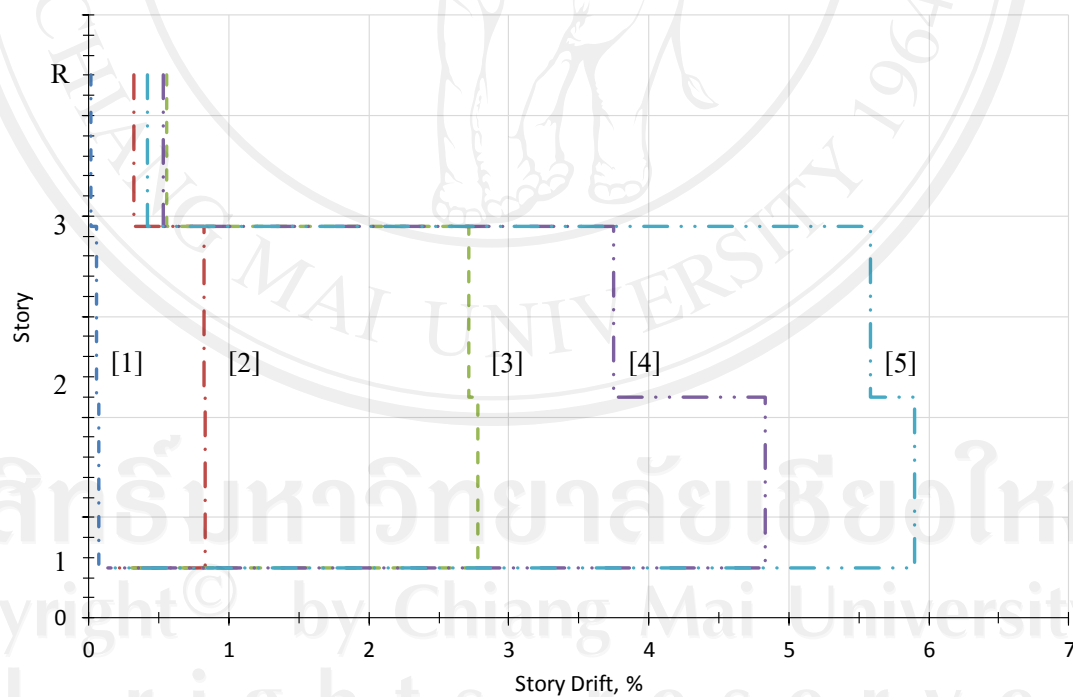
จากรูป 4.28 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ เส้นสเปกตรัมสมรรถนะและเส้นสเปกตรัมตอบสนองความต้องการแสดงสำหรับพิกัดสมรรถนะอาคารแบบระบุเฉพาะพิกัดของจุดตัดอยู่ที่ Spectrum Acceleration (S_a) = 0.115 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.15 (m) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จาก เส้นสมรรถนะ และ พฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้น ได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่กำหนดด้วยค่าระบุเฉพาะนั้นอยู่ในระดับที่เกิดความเสียหายมากโดยพิจารณาจากรูป 4.26 พบว่า อยู่ในจุดที่ [3] เกิดหน้าตดพลาสติกในเสาชั้นที่ 1 มีระดับความเสียหาย LS และ CP ซึ่งถือว่าเกิดความเสียหายมากและพิกัดสมรรถนะของอาคารสามารถรับแรงต่อได้อีกเพียงเล็กน้อยทั้งหมดนี้ถือว่าอาคารอยู่ในสภาพที่เป็นอันตราย

4.6.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 4.29 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่มีการเคลื่อนที่มากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 0.043% ของความสูงอาคารและโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 1.90% ของความสูงอาคาร เมื่อพิจารณาในตาราง 4.1 ระดับความเสียหายของอาคารอยู่ในระดับที่เสียหายรุนแรง โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 5.89% ของความสูงชั้น

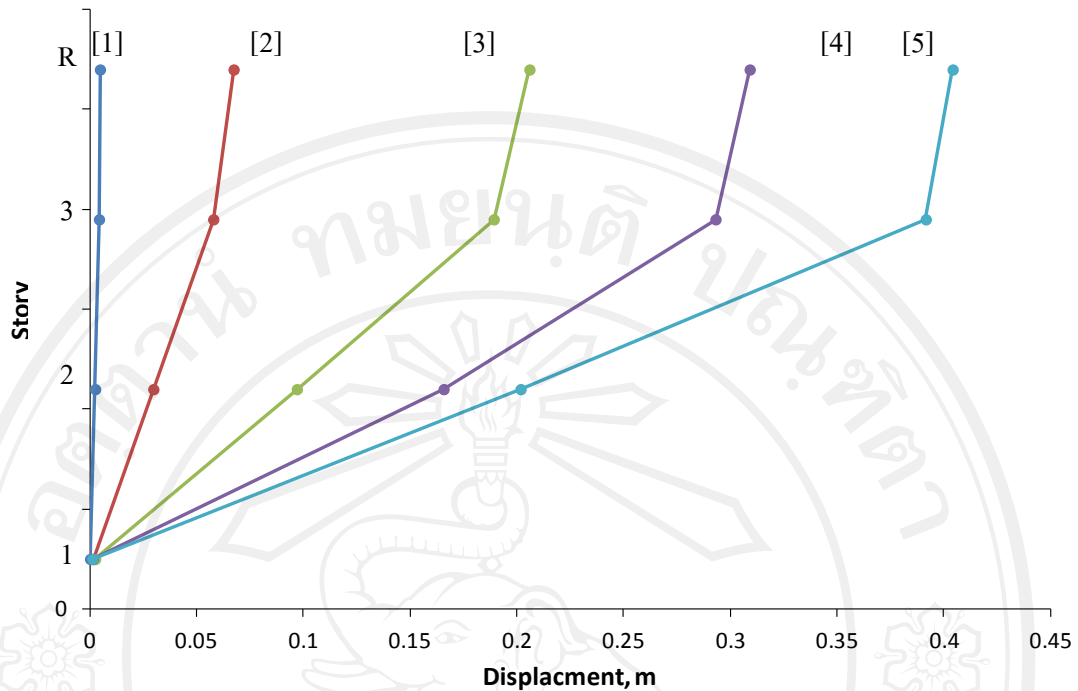


รูป 4.28 พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ X-X กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ



รูป 4.29 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story drift) ของอาคารในทิศ X-X

กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ



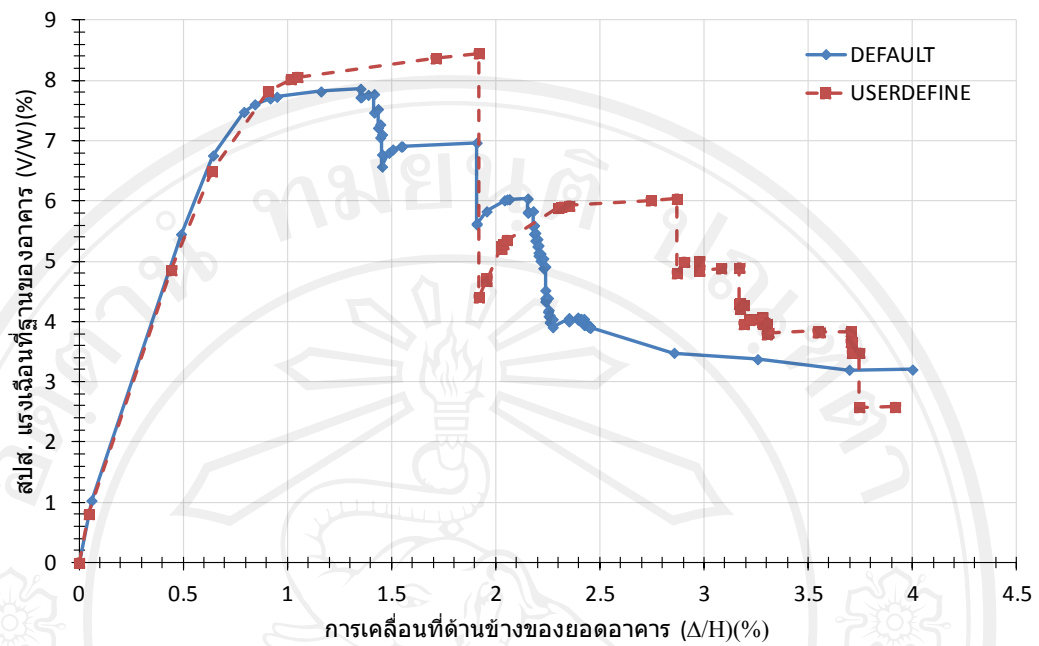
รูป 4.30 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารในทิศ X-X
กรณีหน้าตัดพลาสติกกำหนดค่าระบุเฉพาะ

จากรูป 4.30 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นเริ่มต่างกันตั้งแต่จุดที่ 2 อย่างเห็นได้ชัดการเคลื่อนที่ในชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เริ่มมากกว่าชั้นที่ 1 และชั้นที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคารจะเห็นได้ชัดเจนจากจุดที่ 2 ที่อาคารเริ่มเกิดความเสียหายขึ้นในคานชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 จากนั้นความเสียหายเริ่มเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ถึงคานชั้นที่ 2 จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นในชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 จนถึงจุดที่ 5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอาคารเกิดการวิบัติที่เสาชั้นที่ 1 คานชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 2

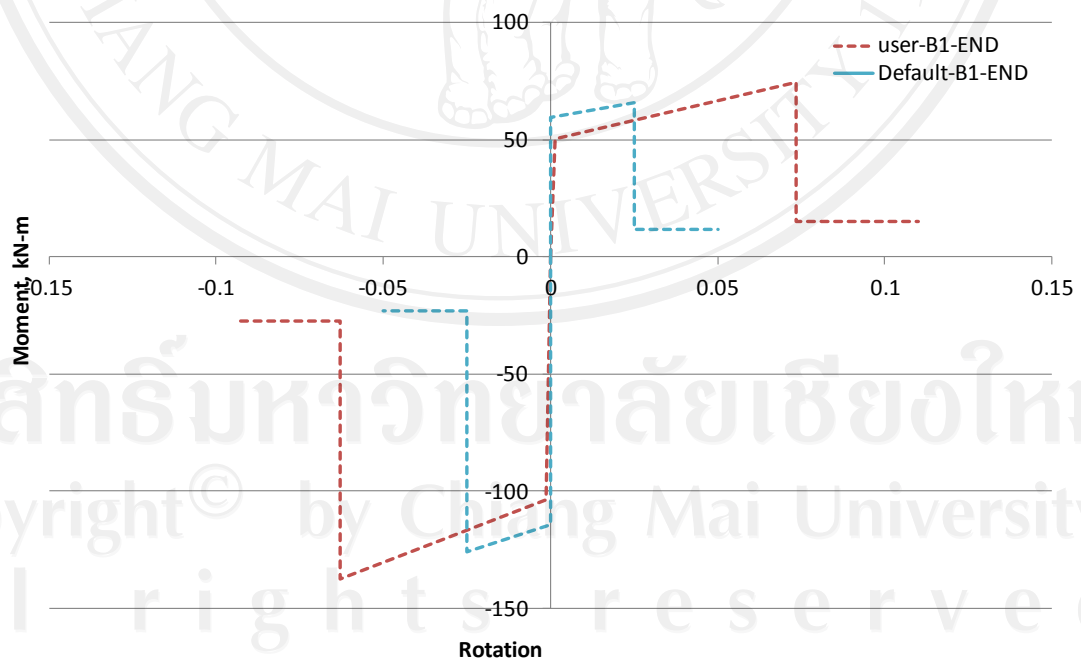
4.7 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในทิศ X-X

4.7.1 กำลังและเส้นโค้งสมรรถนะ

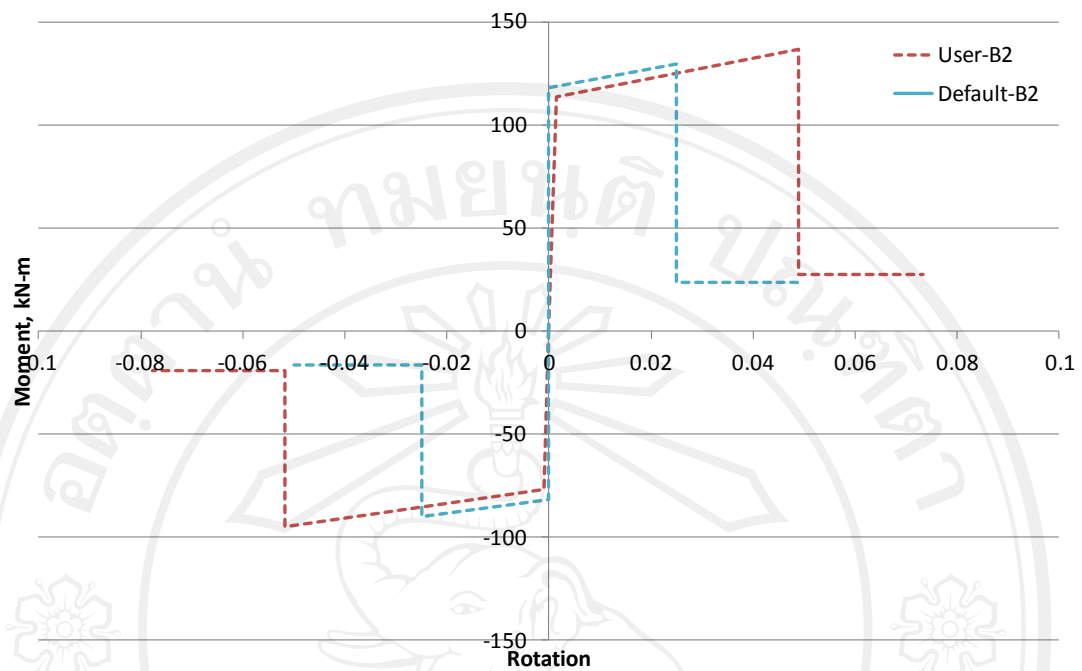
จากรูป 4.31 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์แบบการกำหนดหน้าตัดพลาสติกแบบระบุเฉพาะให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานมากกว่าการวิเคราะห์แบบกำหนดโดยโปรแกรมส่วนสถิติเฟสเริ่มต้นของอาคารนั้นใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติหน้าตัดพลาสติกที่แตกต่างกันของทั้งสองแบบเนื่องจากค่า Moment-Rotation แบบกำหนดโดยระบุเฉพาะนั้นมีค่าโมเมนต์ดัดที่มากกว่าแบบกำหนดโดยโปรแกรม ดังรูป 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 และ 4.36



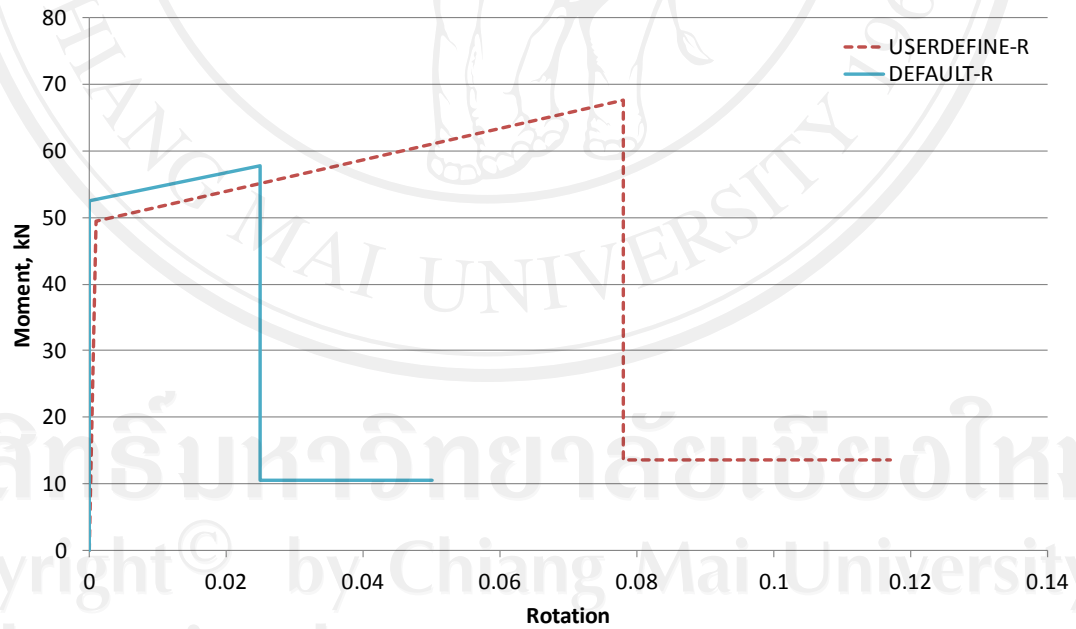
รูป 4.31 เปรียบเทียบกราฟสมรรถนะ (Capacity Curve) ในทิศ X-X ด้วยวิธีกำหนดหน้าตัดพลาสติก



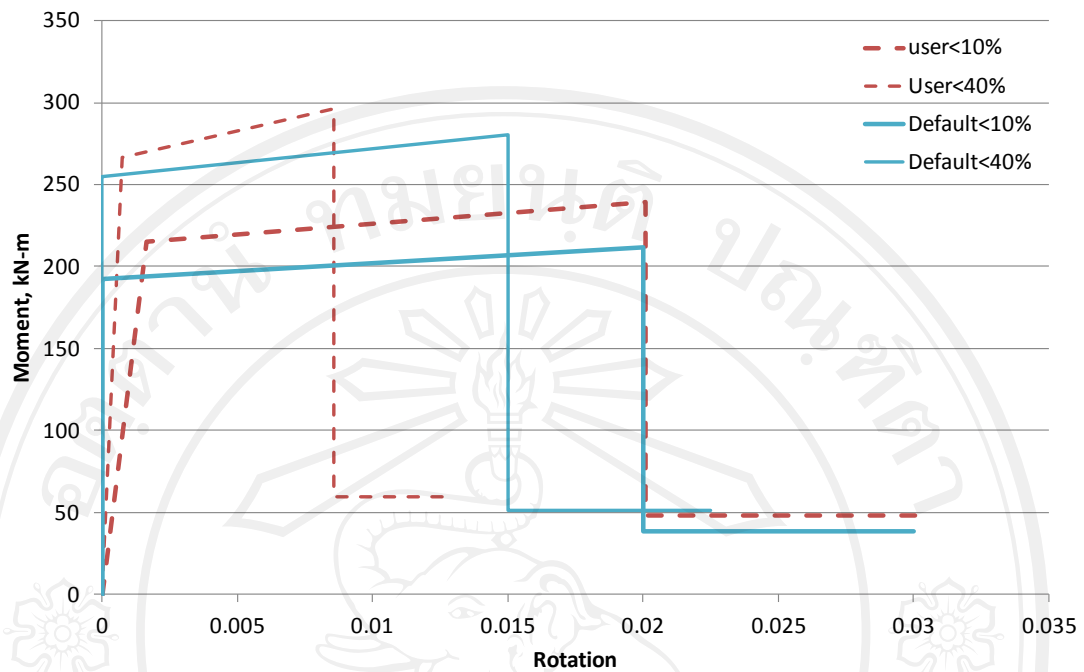
รูป 4.32 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของคาน B1-END



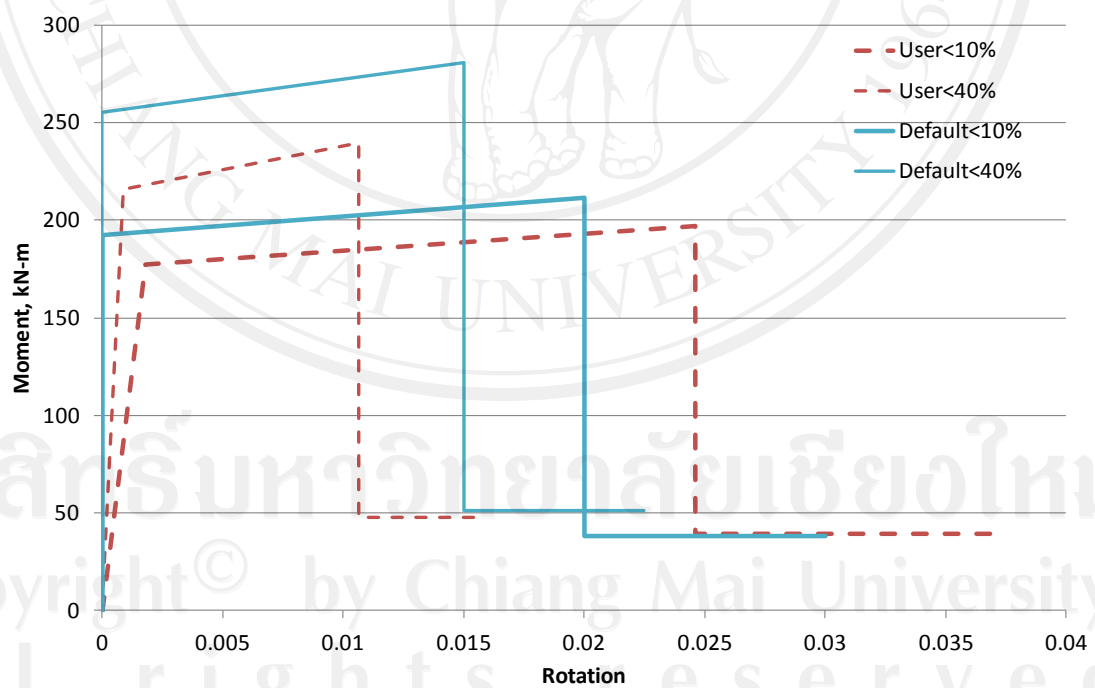
รูป 4.33 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของคาน B2



รูป 4.34 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของคาน R



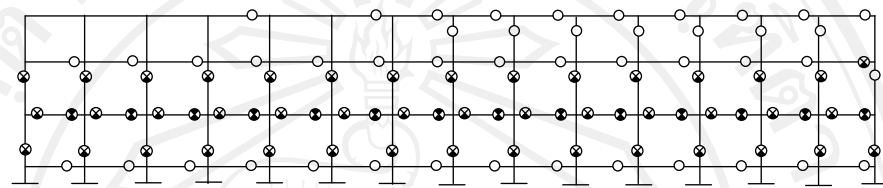
รูป 4.35 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของเสาชั้นที่ 1 (C1-2) ด้าน X-X



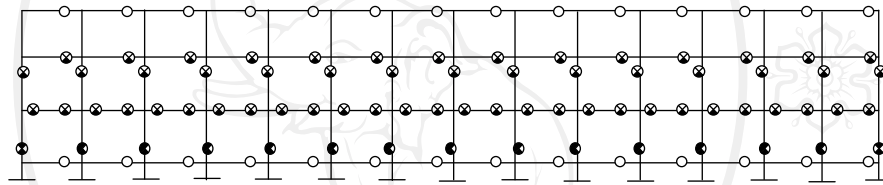
รูป 4.36 ความสัมพันธ์โมเมนต์และระยะหมุนของเสาชั้นที่ 2 และ 3 (C2-3 และ C3-2) ด้าน X-X

4.7.2 รูปแบบการเสียหาย

จากรูป 4.37 จะเห็นได้ว่าลักษณะโดยรวมมีความเสียหายคล้าย ๆ กันเช่นเกิดความเสียหายมากในเสาชั้นที่ 1 และคานชั้นที่ 2 แต่ระดับความเสียหายที่ต่างกันนั้นเนื่องจากคุณสมบัติหน้าตัดพลาสติกที่ความแตกต่างกันดังรูป 4.33 ถึงรูป 4.36 ค่าโมเมนต์ของหน้าตัดพลาสติกแบบกำหนดโดยโปรแกรมมีค่ามากกว่าจึงทำให้อาคารมีความเสียหายน้อยกว่าค่าที่กำหนดด้วยหน้าตัดพลาสติกแบบระบุเฉพาะ แต่สุดท้ายอาคารวิบัติด้วยความเสียหายของเสาชั้นที่ 1 เช่นเดียวกัน

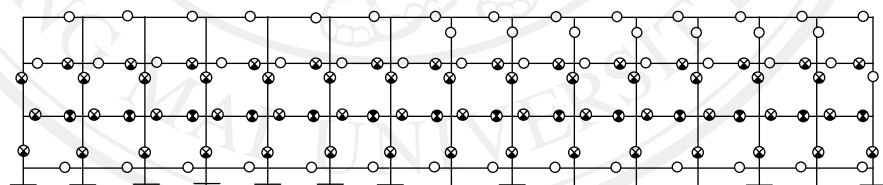


Default Hinge Property

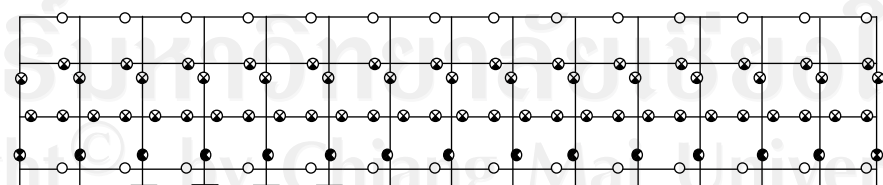


User Hinge Property

(ก) โครงสร้างเกิดแรงกระทำสูงสุด



Default Hinge Property



User Hinge Property

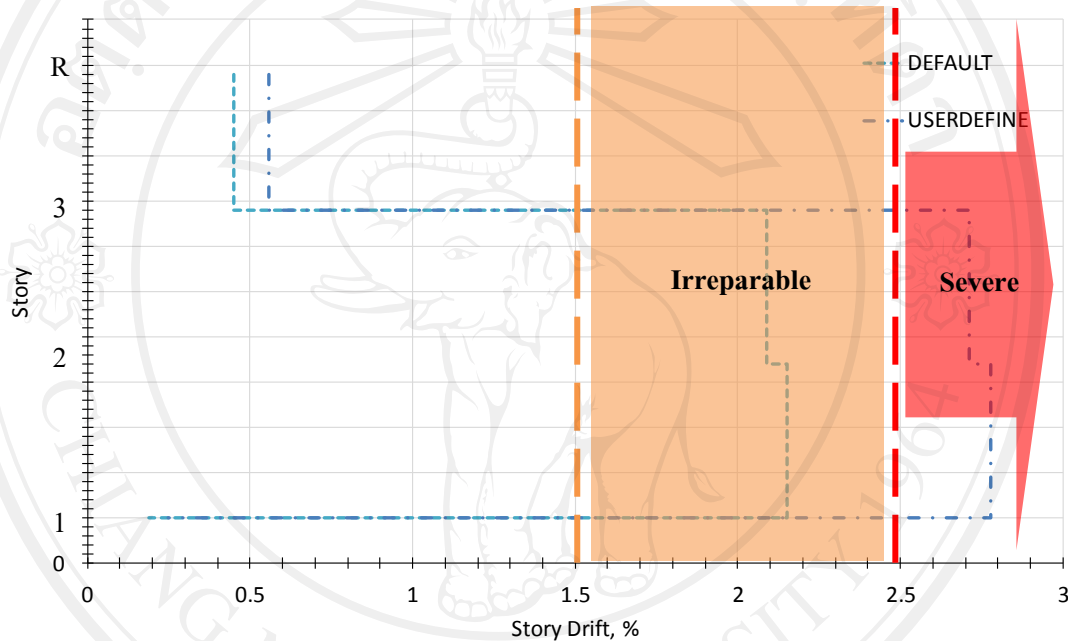
(ข) โครงสร้างเกิดการวิบัติ

รูป 4.37 เปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคารในทิศ X-X

(ก) แรงกระทำสูงสุด (ข) จุดวิบัติของอาคาร

4.7.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 นั้นมีค่ามากซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคารดังรูป 4.37 และเมื่อเทียบกับตาราง 4.1 ระดับสมรรถนะของอาคารอยู่ในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมถึงเสียหายมาก โดยทั้ง 2 กรณีมีลักษณะที่คล้ายกันโดยเกิดความเสียหายมากในช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 ดังรูป 4.37



รูป 4.38 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ จุดที่อาคารวิบัติในทิศ X-X

ความสามารถต้านแรงแผ่นดินไหวของอาคารโรงเรียนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Spectrum Capacity จากพิกัดสมรรถนะนั้นแสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมความเสียหายของอาคารโรงเรียนมาตรฐานในจังหวัดเชียงใหม่อยู่ในระดับที่เสียหายมาก ซึ่งสำหรับโรงเรียนประถมและมัธยมนั้นระดับความเสียหายที่ยอมรับได้นั้นไม่ควรเกินระดับ Immediate Occupancy ดังนั้นจึงควรมีการเสริมกำลังให้อาคารโรงเรียนมาตรฐานให้มีความสามารถต้านแรงแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยการเสริมกำลังได้แสดงผลการศึกษาไว้ในบทที่ 5