

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์การเสริมกำลังและการปรับปรุงพฤติกรรมอาคาร

5.1 การปรับปรุงพฤติกรรมของโครงสร้างอาคาร

การปรับปรุงพฤติกรรมและเสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างอาคาร สำหรับการศึกษาได้นำเสนอไว้ทั้งหมด สามวิธีซึ่งได้แก่ การขยายหน้าตัดเสา การติดตั้งโครงเหล็กค้ำยันแนวทแยง การติดตั้งผนังรับแรงเฉือน โดยการวิเคราะห์ผลและศึกษาพฤติกรรมของอาคารที่ได้รับการปรับปรุงและเสริมความแข็งแรงจะทำได้โดยการใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลที่ได้จะนำเสนอในรูปแบบของการเปรียบเทียบระหว่างอาคารโรงเรียนก่อนได้รับการปรับปรุงรวมถึงเปรียบเทียบระหว่างวิธีเสริมกำลังแบบต่าง ๆ เพื่อสรุปวิธีเสริมกำลังที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการเสริมกำลังให้อาคาร โรงเรียนตัวอย่างที่ทำการศึกษา

5.1.1 การเสริมความแข็งแรงของเสาด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา

วิธีการเสริมความแข็งแรงให้อาคารด้วยวิธีนี้กระทำโดยเพิ่มขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมเข้าไปจากส่วนประกอบขององค์อาคารเดิมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามที่ต้องการ โดยที่ขนาดที่ต้องการเพิ่มนั้นต้องสอดคล้องกับความสามารถหรือพฤติกรรมที่พึงประสงค์ในการรับแรงแผ่นดินไหวจากผลการวิเคราะห์อย่างละเอียดในบทที่ 4 เมื่อพิจารณาความสามารถในการรับแรงด้านข้างของอาคารโรงเรียนตัวอย่าง พบว่าเกิดความเสียหายในเสารวมถึงยังเกิดการแตกร้าวของส่วนโครงสร้างตำแหน่งที่สำคัญ ดังนั้น ในกรณีนี้การพิจารณาปรับปรุงโครงสร้างด้วยวิธีนี้จะพิจารณาเพิ่มขนาดหน้าตัดเสาเท่านั้น โดยวิธีขยายหน้าตัดเสาโดยคำนึงถึงพื้นที่การใช้งานของอาคารเรียน

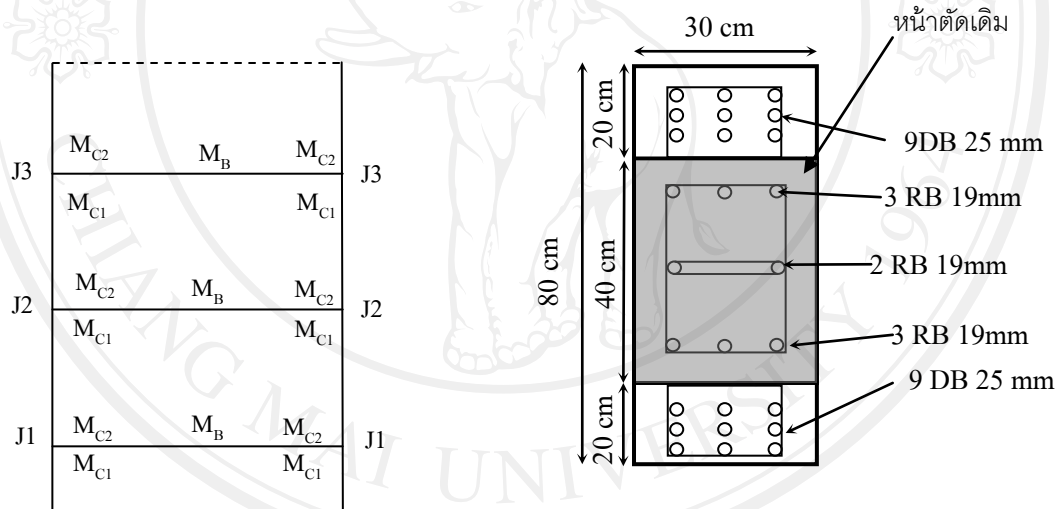
โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาว่าโครงข้อแข็งมีพฤติกรรมเป็นแบบ เสาค่อน คานแข็ง หรือไม่นั้นจะพิจารณาจากความสัมพันธ์กำลังโมเมนต์คัตที่จุดต่อไปนี้

$$\sum M_c \geq 1.2 \sum M_B \quad (5.1)$$

จากแบบโครงสร้างอาคารพบว่าอาคารมีพฤติกรรมแบบเสาค่อนคานแข็ง เมื่อพิจารณาอัตราส่วนตามสมการ (5.1) ขนาดหน้าตัดเสาและรายละเอียดเหล็กเสริมที่ต้องทำการเพิ่มเพื่อให้มีพฤติกรรมแบบเสาค่อนคานอ่อนแสดงดังรูป 5.1 (ข)

โดยที่ $\sum M_c$ = กำลังโมเมนต์คัตประลัยของเสาที่จุดต่อรวมกัน

$\sum M_B$ = กำลังโมเมนต์คัตประลัยของคานที่จุดต่อรวมกัน



ก. รูปด้านอาคารแนวแรงกระทำ Y-Y ข. หน้าตัดเสาหลังการเสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา

รูป 5.1 การเสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา

กำลังโมเมนต์คัตที่จุดต่อในตำแหน่งต่าง ๆ ก่อนเสริมอาคาร และหลังเสริมอาคารโดยวิธีขยายหน้าตัดเสาแสดงดังตาราง 5.1

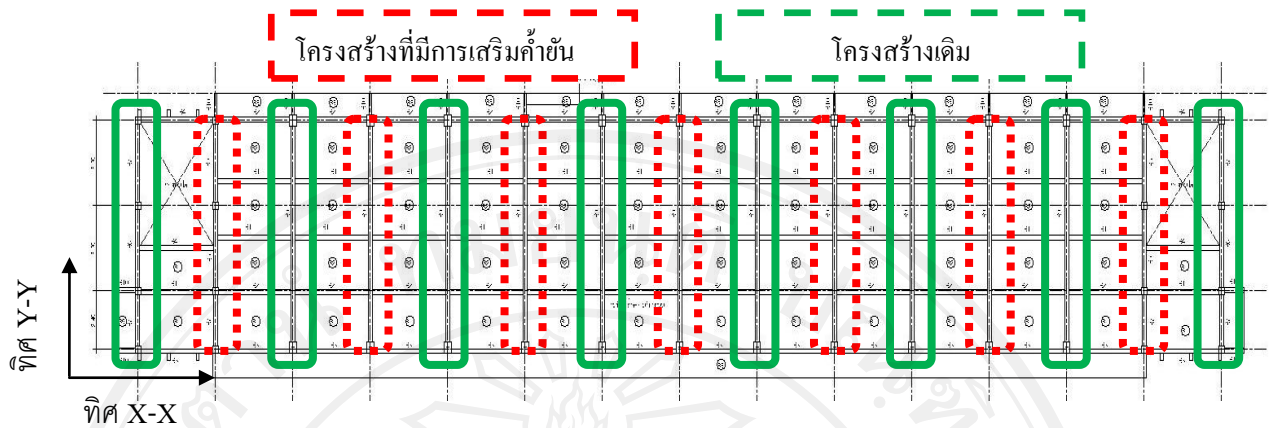
ตาราง 5.1 กำลังโมเมนต์คัตของเสาและคานาที่จุดต่อ

จุดต่อ	โครงสร้างเดิม				โครงสร้างเสริมกำลัง			
	M_{C1}	M_{C2}	M_B	$\Sigma M_C / \Sigma M_B$	M_{C1}	M_{C2}	M_B	$\Sigma M_C / \Sigma M_B$
	(kN - m)				(kN - m)			
J1	84	84	690	0.24	664	664	690	1.93
J2	84	84	690	0.24	664	664	690	1.93
J3	84	84	690	0.24	664	664	690	1.93

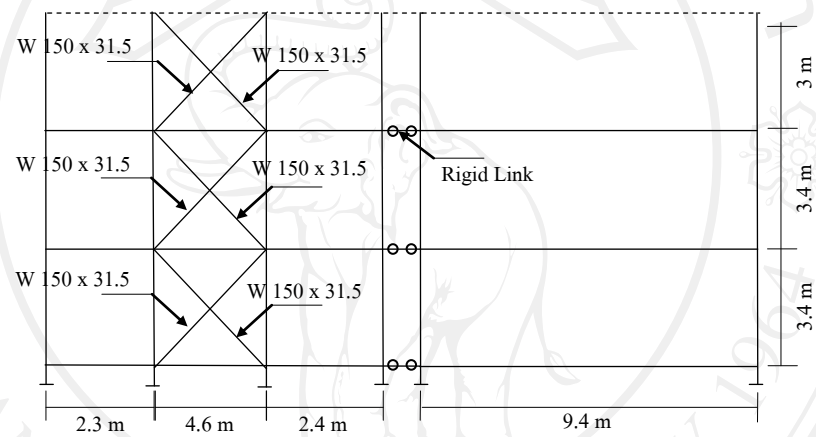
อัตราส่วนปริมาณเหล็กของเสาในหน้าตัดใหม่มีปริมาณเท่ากับ 111.07 ตารางเซนติเมตร เทียบกับ 22.69 ตารางเซนติเมตรของหน้าตัดเดิม หรือ ปริมาณเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น 389.5 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่เสามีขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากต้องการเปลี่ยนพฤติกรรมการเสียหายของโครงสร้างในทิศ Y-Y ซึ่งเดิมพฤติกรรมการเสียหายเกิดขึ้นที่เสาดังนั้นจึงเพิ่มพื้นที่เสาและเหล็กเสริมในทิศ Y-Y เป็นหลักเพื่อให้พฤติกรรมการเสียหายในอาคารเปลี่ยนไปพังที่คานาก่อน ในการจำลองสมมติให้เสาเป็นเสาใหม่ต่อเนื่องทั้งหมด กำลังอัดของคอนกรีตให้มีค่าเท่ากับเสาดิม ส่วนกำลังต้านแรงดึงที่จุดครากของเหล็กที่ใช้เสริมนั้นมีค่า f_y เท่ากับ 390 เมกะพาสคัลหน้าตัดเหล็กเสริมมีขนาด 25 มิลลิเมตร

5.1.2 การเสริมความแข็งแรงของอาคารโรงเรียนด้วยโครงสร้างเหล็กค้ำยันแนวทแยง

การเสริมกำลังโดยวิธีเสริมโครงค้ำยันแนวทแยงไปแทนที่ในส่วนของช่องเปิดหรือกำแพงก่ออิฐเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมทำกัน สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้พิจารณาใช้เหล็กรูปพรรณประเภทปีกกว้าง Wide Flange หน้าตัด W x 150 x 31.5 kg/m มาใช้ในการเสริมความแข็งแรงชิ้นส่วนยาว 3 เมตรต่อกันสองชิ้นเป็น 6 เมตรในทิศทแยงมุมมีพื้นที่หน้าตัด 40.14 ตารางเซนติเมตร รายละเอียดของการเสริมความแข็งแรงโดยใช้โครงค้ำยันมีดังนี้ความต้านแรงดึงที่จุดครากต่ำสุดของเหล็กชั้นคุณภาพ SM 400 ความหนาไม่เกิน 16 mm มีค่าเท่ากับ 245 เมกะพาสคัล แรงต้านแรงดึง 400 ถึง 510 เมกะพาสคัล r_{min} มีค่าเท่ากับ 3.75 เซนติเมตร(มอก. 1227-2537 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน) ในการเสริมกำลังจากข้อแนะนำ(Indian Standard, 1993) ค่าอัตราส่วนความชะลุดไม่เกิน $2500/\sqrt{f_y}$ สำหรับรายละเอียดในการเสริมโครงสร้างเหล็กค้ำยันแสดงดังในรูป 5.2



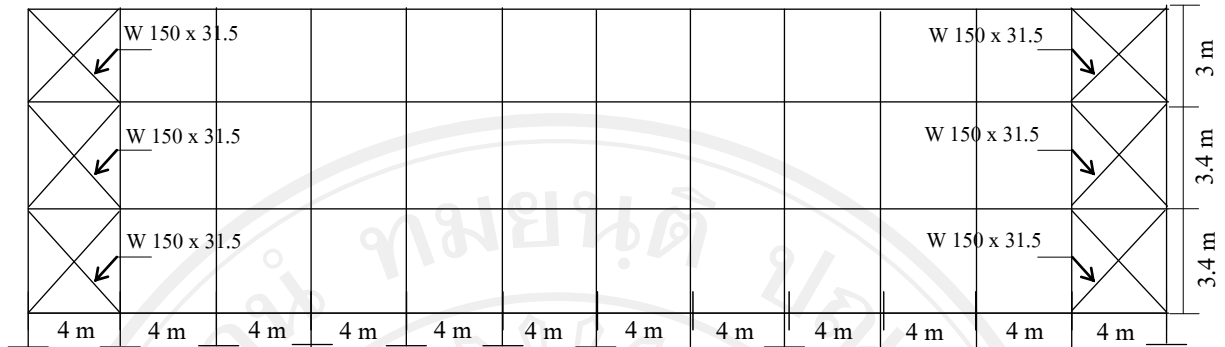
(ก) แปลนแสดงการเสริมเหล็กค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y



(ข) แบบจำลองการวิเคราะห์การเสริมกำลังด้วยวิธีเสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y



(ค) แปลนแสดงการเสริมเหล็กค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X



(ง) แบบจำลองการวิเคราะห์การเสริมกำลังด้วยวิธีเสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X

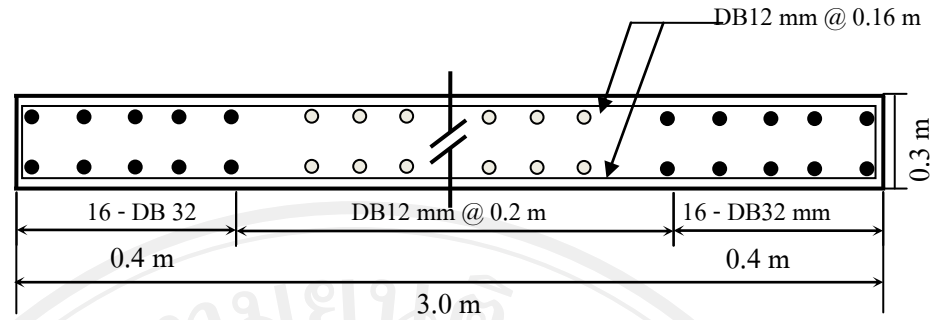
รูป 5.2 รายละเอียดการเสริมกำลังด้วยวิธีเพิ่มโครงสร้างเหล็กค้ำยัน

แบบจำลองการวิเคราะห์ของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีเสริมค้ำยันแนวทแยงนั้นแบ่งเป็นสองทิศทาง สำหรับทิศ Y-Y จำลองอาคารเป็น Lumped Model โดยที่แบ่งเป็นสองเฟรมติดกันด้วย Rigid Link โดยที่เฟรมแรกเป็นเฟรมที่เสริมค้ำยันแนวทแยงแทนที่กำแพงก่ออิฐจำนวน 7 เฟรม และเฟรมที่สองเป็นเฟรมเดิมจำนวน 8 เฟรมติดกันโดยกำหนดให้จุดต่อค้ำยันมีคุณสมบัติเป็นหน้าตัดและเกิดหน้าตัดพลาสติกตรงกลางของแท่งค้ำยันสำหรับทางด้านทิศ X-X จำลองอาคารเป็นเฟรมยาว 14 ช่วง 2 เฟรมเป็น Lumped Model เช่นกัน โดยทำการเสริมค้ำยันแนวทแยงที่หัวท้ายของเฟรมทั้ง 3 ชั้นและมีขนาดเท่ากันทั้งสองทิศทางดังแสดงในรูป 5.2(ข)และ 5.2(ง)

5.1.3 การเสริมกำลังด้วยการเพิ่มผนังรับแรงเฉือน

เสริมกำลังให้อาคาร โดยการเพิ่มผนังคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือนเข้าไปแทนที่ส่วนของกำแพงบางส่วนเพื่อเพิ่มกำลังและสติฟเนสให้กับอาคาร

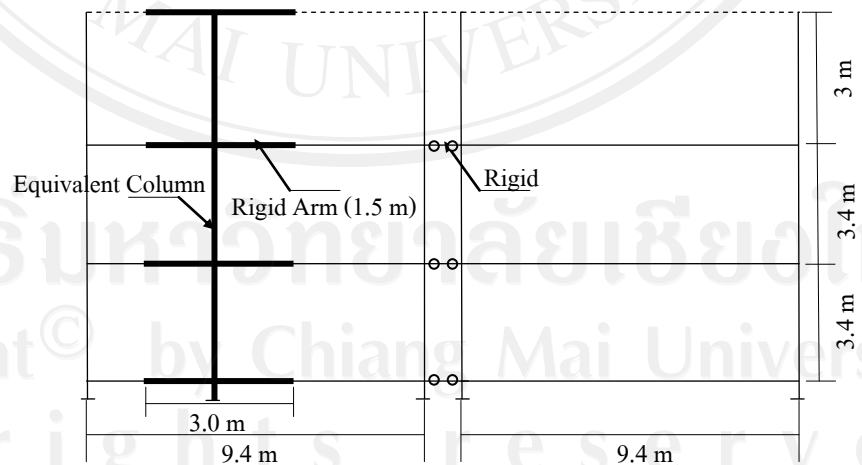
สำหรับขนาดและรายละเอียดของเหล็กเสริมของกำแพงรับแรงเฉือนที่ใช้เพิ่มในการศึกษานี้ ได้พิจารณาออกแบบเพื่อรับแรงกระทำด้านข้างทั้งหมดแทนที่ตัวอาคารเพื่อให้โครงสร้างของอาคารส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวน้อยลง ซึ่งหน้าตัดของกำแพงรับแรงเฉือนทั้งสองระนาบมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.3(ก) และ 5.4(ก) สำหรับการจัดวางกำแพงรับแรงเฉือนในตัวอาคารได้จัดวางดังแสดงรูป 5.3(ข) และ 5.4(ข)



(ก) รูปตัดผนังรับแรงเฉือนที่เสริมกำลังในทิศ Y-Y

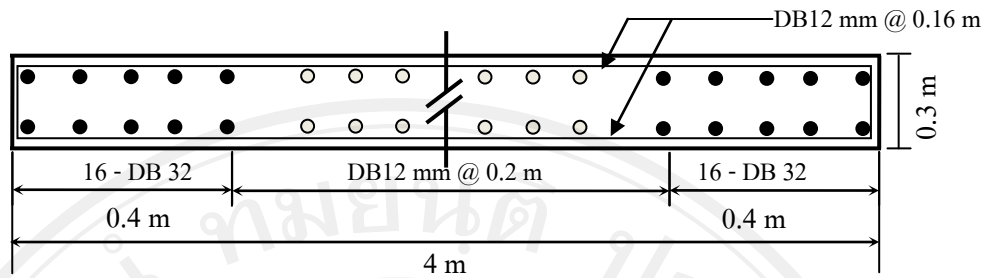


(ข) แปลนแสดงการเสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y

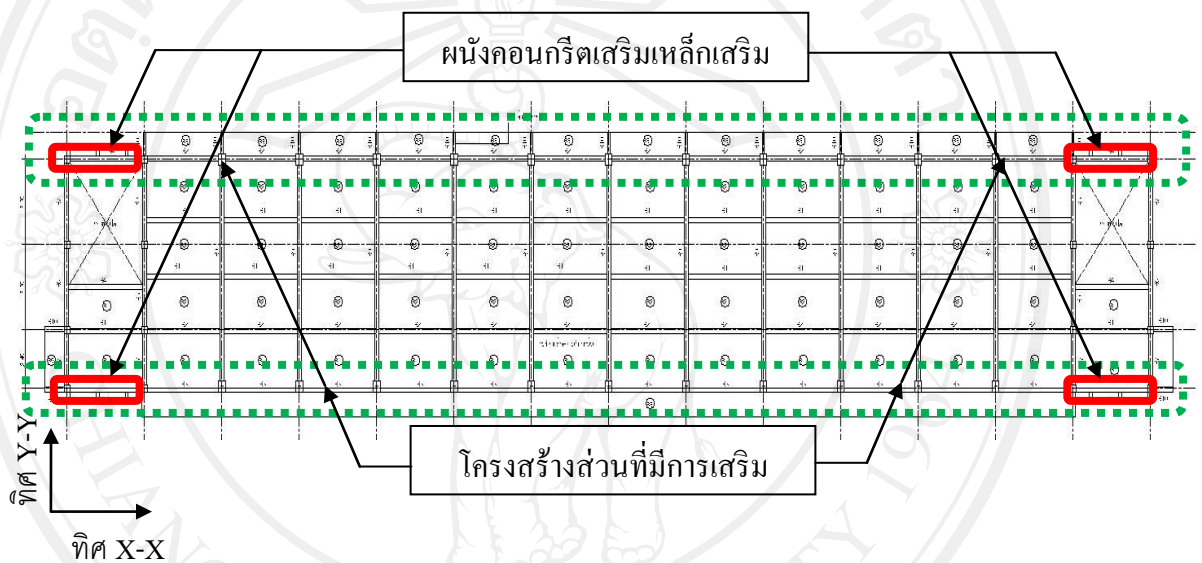


(ค) แบบจำลองการวิเคราะห์การเสริมกำลังด้วยวิธีผนังรับแรงเฉือน

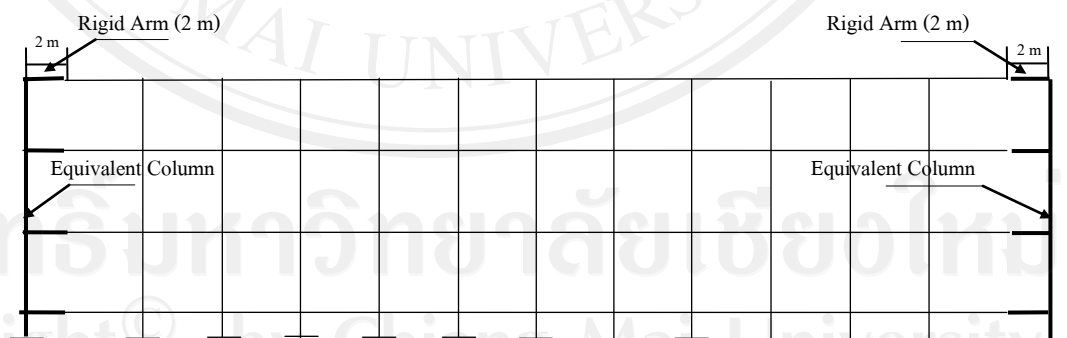
รูปที่ 5.3 รายละเอียดการเสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือนในระนาบ Y-Y



(ก) รูปตัดผนังรับแรงเฉือนที่เสริมกำลังในทิศ X-X



(ข) แบบจำลองการวิเคราะห์ในทิศ X-X



(ค) แบบจำลองการวิเคราะห์การเสริมกำลังด้วยวิธีเสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ X-X

รูป 5.4 รายละเอียดการเสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือนในระนาบ X-X

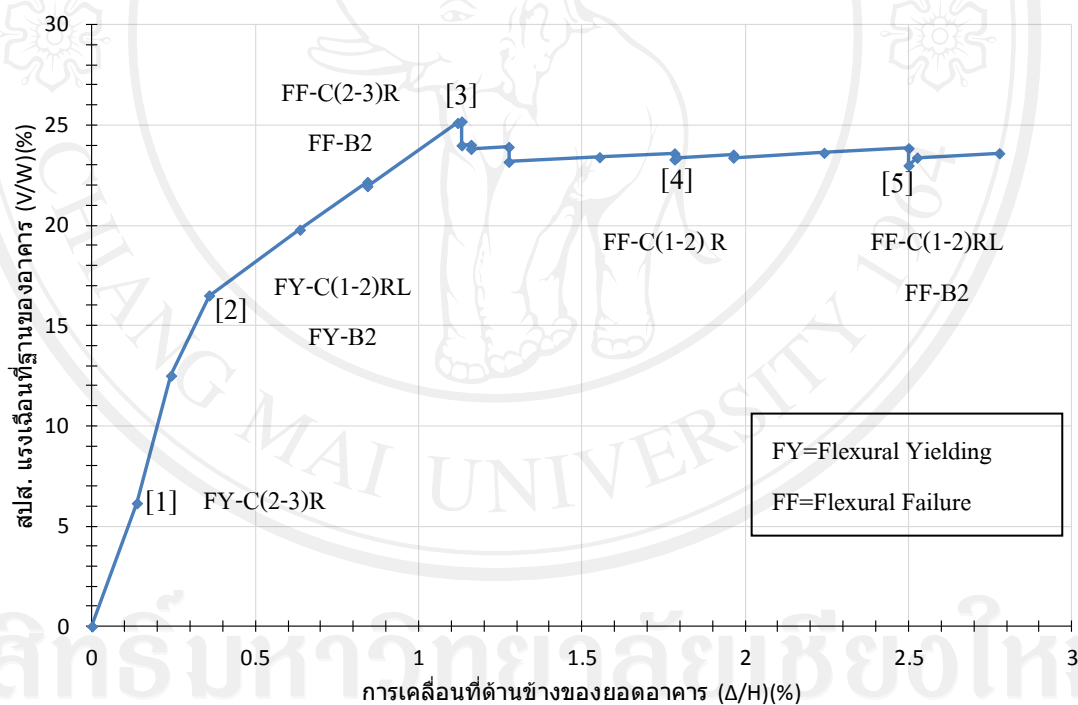
แบบจำลองการวิเคราะห์การเสริมกำลังด้วยวิธีเสริมผนังรับแรงเฉือนนั้นแบ่งเป็นสองทิศทาง สำหรับทิศ Y-Y จำลองอาคารเป็น Lumped Model โดยที่แบ่งเป็นของโครงสร้างติดกันด้วย Rigid Link โดยที่เฟรมแรกเป็นเฟรมที่เสริมผนังรับแรงเฉือนยาว 3 เมตรแทนที่กำแพงก่ออิฐจำนวน 2

เฟรม และเฟรมที่เหลือเป็นเฟรมเดิมจำนวน 13 เป็นติดกันโดยกำหนดให้แขนของคานที่ติดกับผนังรับแรงเฉือนมีคุณสมบัติเป็น Rigid Arm ความยาวด้านละครึ่งหนึ่งของความกว้างของผนังรับแรงเฉือนและเกิดหน้าตัดพลาสติกตรงหัวท้ายของผนังรับแรงเฉือนสำหรับทางด้านทิศ X-X จำลองอาคารเป็นเฟรมยาว 14 ช่วง 2 เฟรมเป็น Lumped Model เช่นกัน โดยทำการเสริมผนังรับแรงเฉือนที่หัวท้ายของเฟรมทั้ง 3 ชั้นและมีความยาว 4 เมตร ดังแสดงในรูป 5.3(ค)และ 5.4(ค)

5.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารในทิศ Y-Y ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา

5.2.1 พฤติกรรมการรับแรง

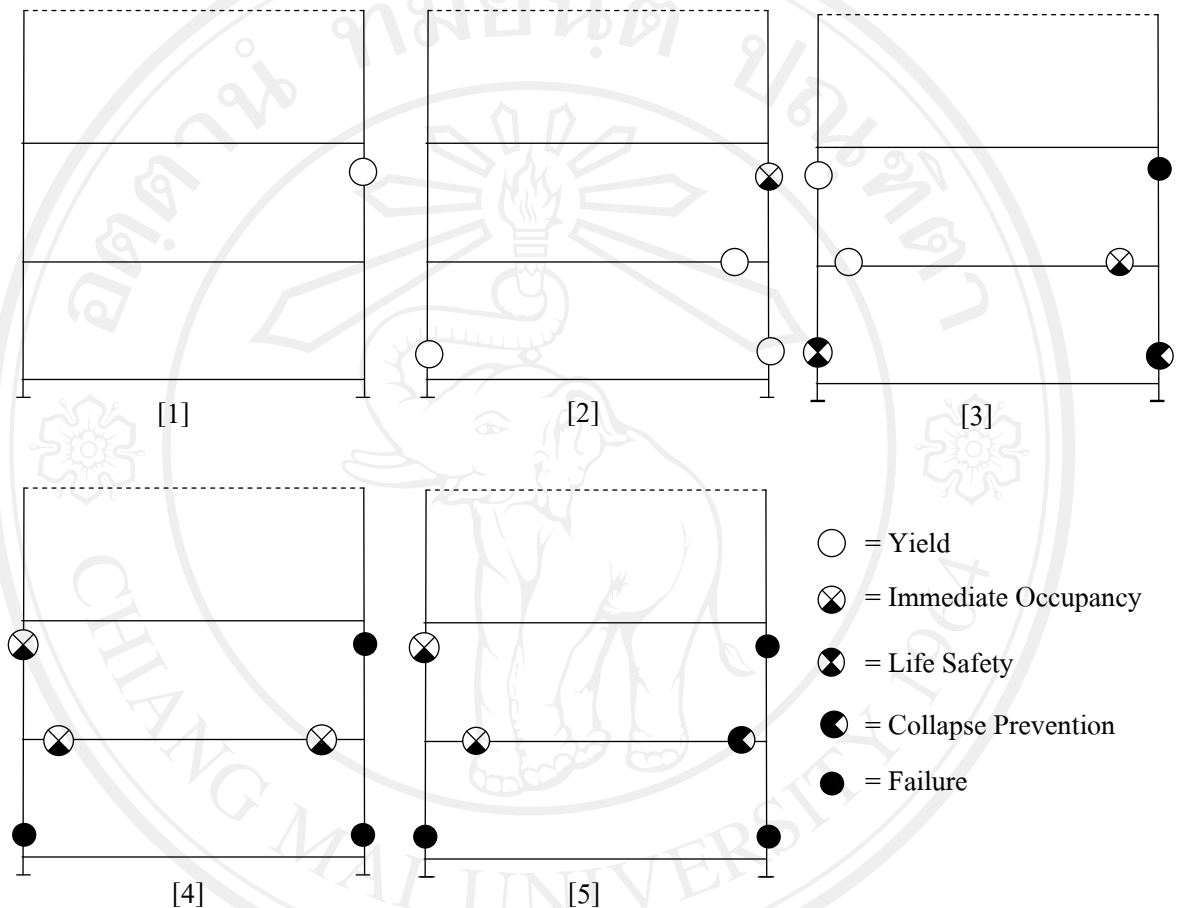
จากรูป 5.5 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 25.17% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารมีค่าเท่ากับ 1.13% ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่าเท่ากับ 2.77% ของความสูงอาคาร



รูป 5.5 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) ของอาคาร
ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ Y-Y

รูป 5.5 และ 5.6 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการครากที่เสาชั้นที่ 2 ทางด้านขวา เกิดความเสียหายระดับ Y และต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวาและด้านซ้ายระดับความเสียหายที่ระดับ Y ส่วนในเสาชั้นที่ 2 เกิดระดับความเสียหายมากขึ้นที่ระดับ IO และเกิดความเสียหายที่คานชั้นที่ 2 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Y

จากนั้นในจุดที่ [3] ระดับความเสียหายที่หน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 รวมทั้งคานชั้นที่ 2 จนกระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ Failure ในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 และคานชั้นที่ 2 ทางด้านขวา



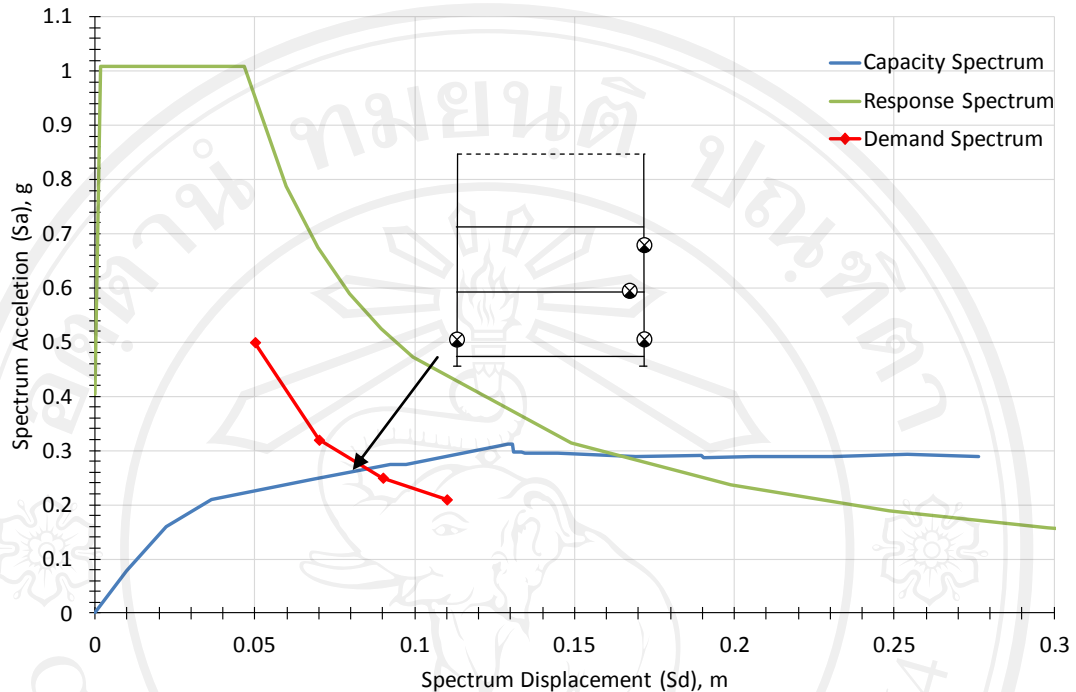
รูป 5.6 พฤติกรรมการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคาร

ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ Y-Y

5.2.2 พิกัดสมรรถนะ

จากรูป 5.7 พิกัดของจุดตัดมีค่า Spectrum Acceleration (S_a) = 0.27 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.085 (m) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จาก เส้นสมรรถนะ และ พฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้นได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา มีระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ IO โดยพิจารณาจากรูป 5.7 อยู่ระหว่างจุดที่ [2] และจุดที่ [3] พบว่าอยู่ในช่วงที่เกิดหน้าตัดพลาสติก

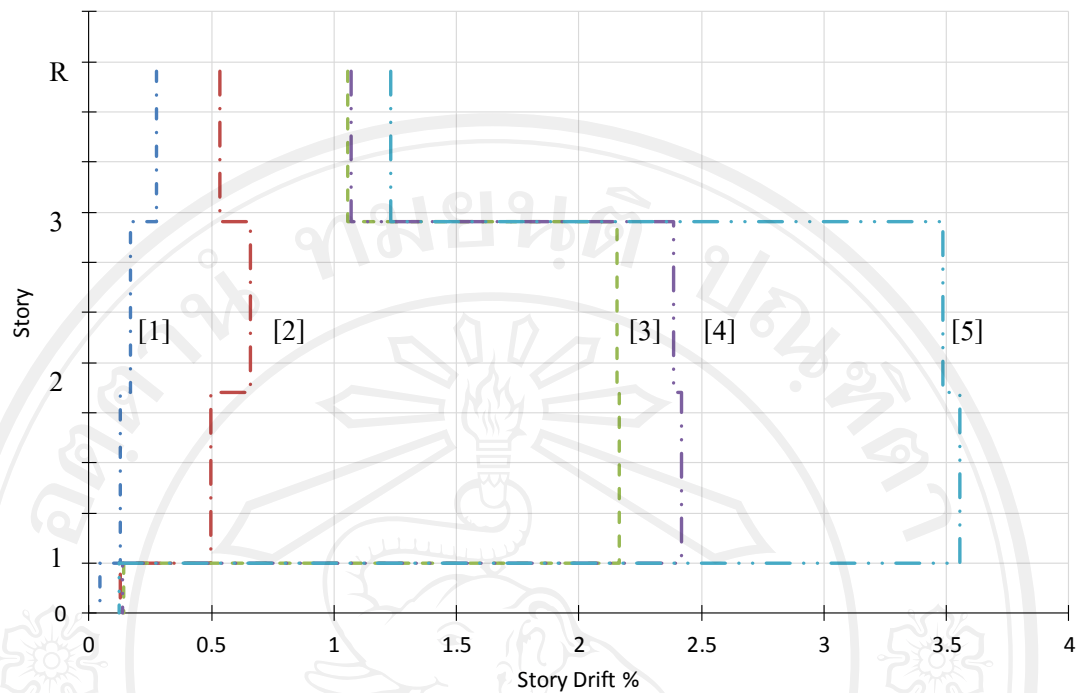
ในเสาทั้งสองชั้น โดยที่หน้าตัดพลาสติกที่เกิดในเสาชั้นที่ 1 มีระดับความเสียหายระดับ IO ทั้งสองข้าง ส่วนเสาชั้นที่ 2 ทางด้านขวามีระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO



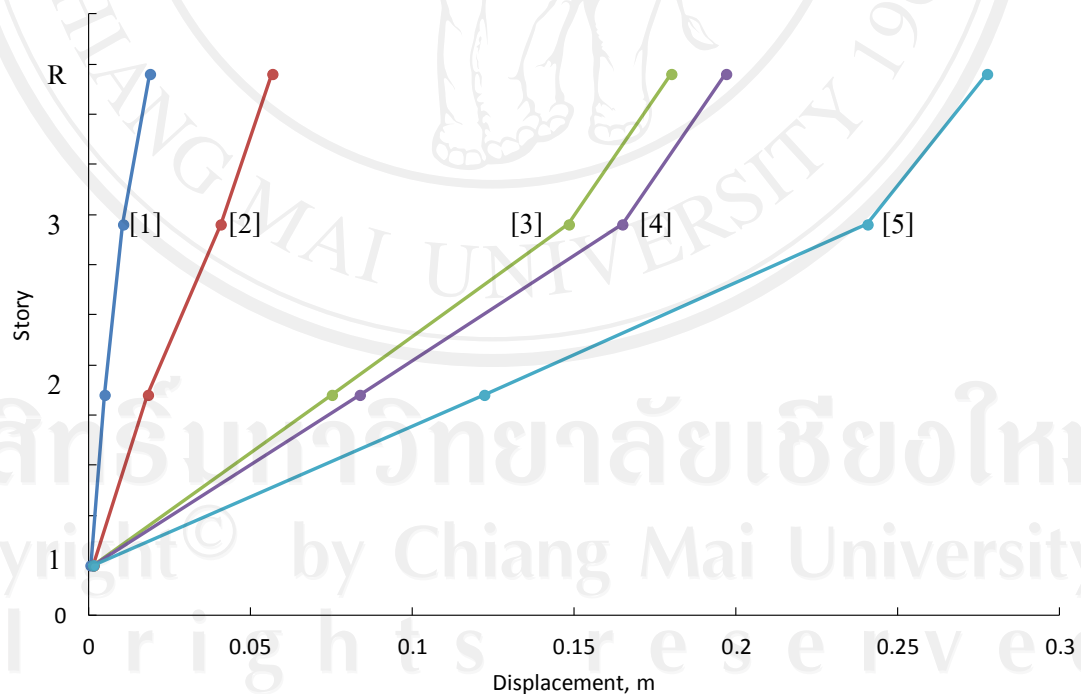
รูป 5.7 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ Y-Y

5.2.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 5.8 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 0.13% ของความสูงของอาคาร โครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 2.77% ของความสูงของอาคาร โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 3.55% ของความสูงระหว่างชั้น



รูป 5.8 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของอาคาร
ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ Y-Y



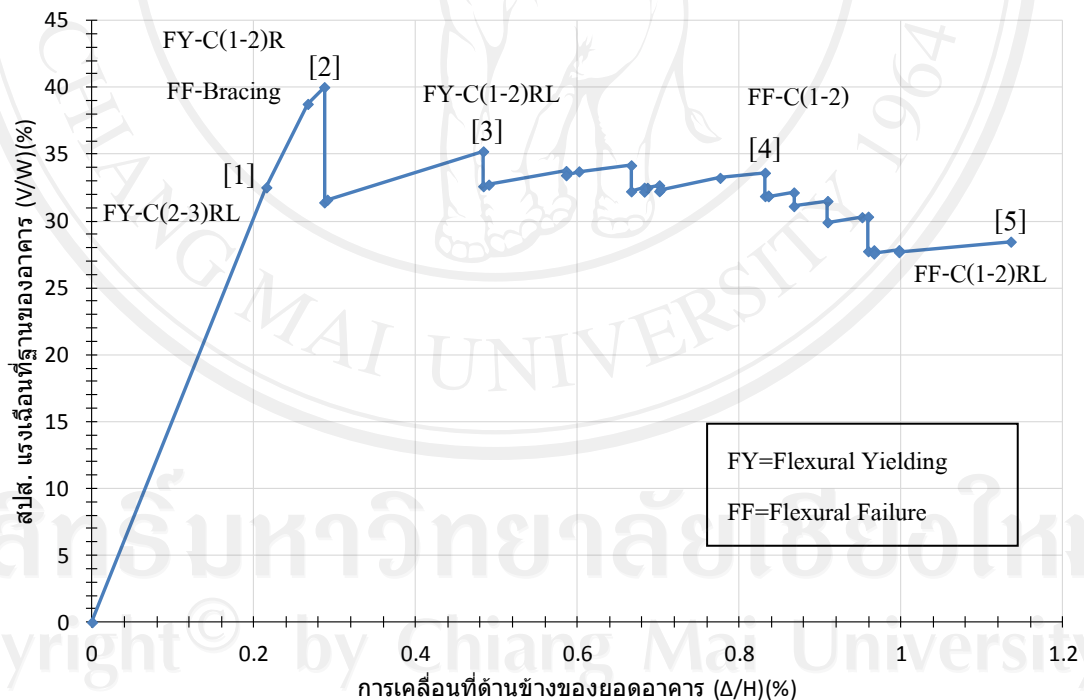
รูป 5.9 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ Y-Y

สำหรับการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นของอาคารโรงเรียนหลังจากการเสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ Y-Y จากรูป 5.9 เห็นได้ว่าช่วงแรกเกิดการครากในเสาชั้นที่ 2 ก่อนจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาคารในชั้นที่ 2 จากนั้นจึงเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ตามมาในจุดที่ [2] จึงเกิดการเคลื่อนที่ทั้งชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 โดยที่ชั้นที่ 2 เกิดการเคลื่อนที่มากกว่าชั้นที่ 1 และเมื่อทำการวิเคราะห์ต่อจนอาคารเกิดการวิบัติสูงสุด โดยการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร ณ จุดที่อาคารวิบัติสูงสุดคือ 0.27 เมตร ดังรูป 5.9

5.3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารในทิศ Y-Y ที่เสริมค้ำยันแนวทแยง

5.3.1 พฤติกรรมการรับแรง

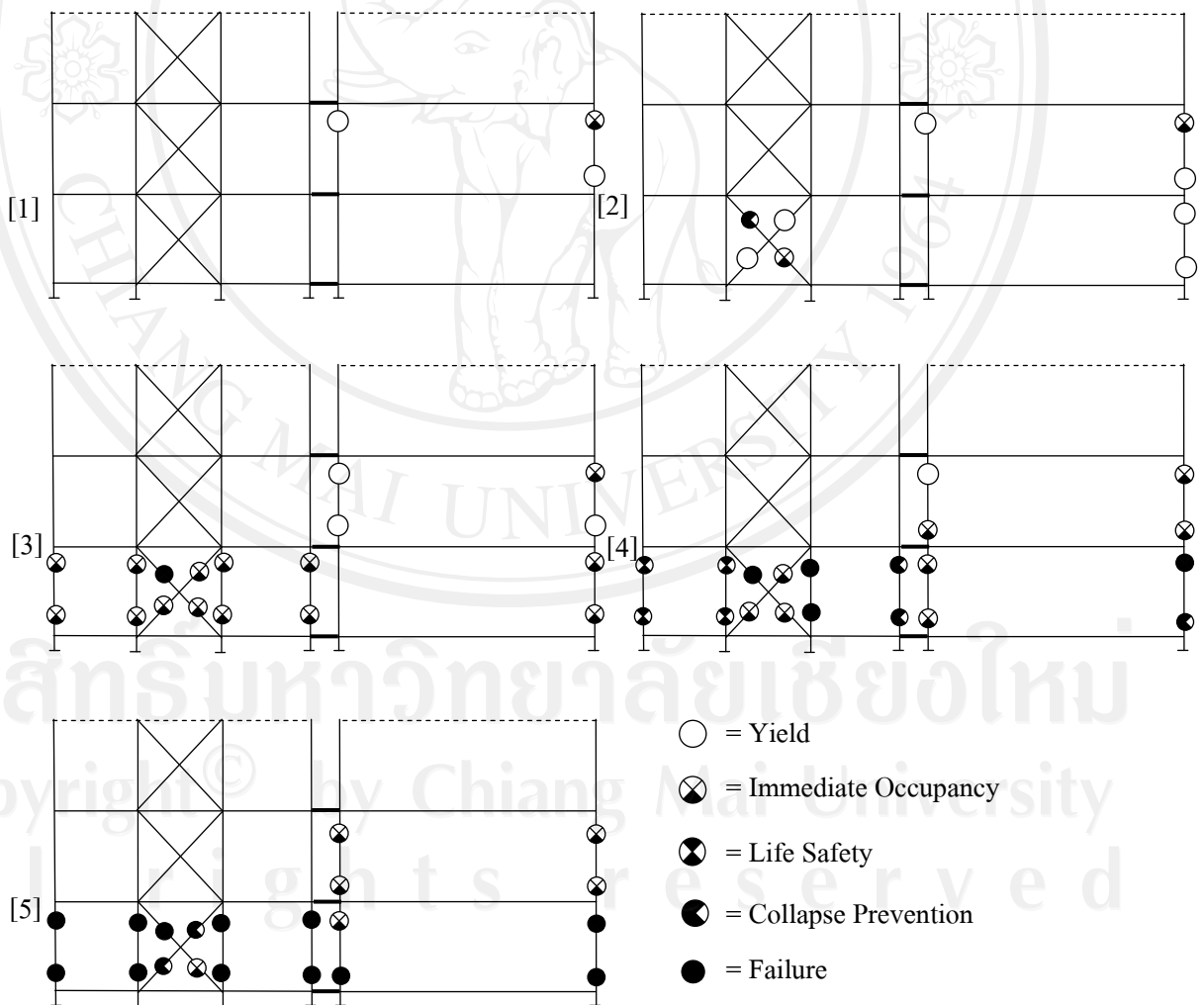
จากรูป 5.10 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 40% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารเท่ากับ 0.28% ของความสูงอาคาร ความสามารถในการเคลื่อน ณ จุดที่อาคารวิบัติ (85% ของแรงสูงสุด) มีค่า 0.28% ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่า 1.13% ของความสูงอาคาร



รูป 5.10 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) ของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y

จากรูป 5.10 และ 5.11 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการครากที่เสาชั้นที่ 2 ทางด้านขวาและทางด้านซ้ายของเฟรมปกติ เกิดความเสียหายระดับ Y และ IO ต่อมาในจุด

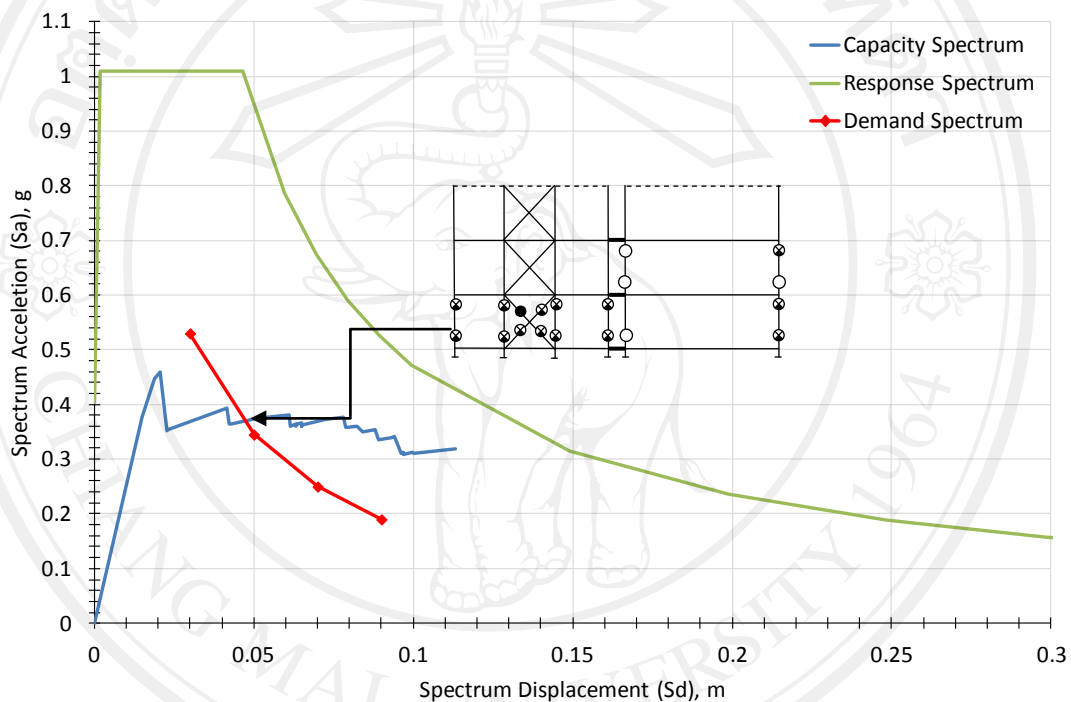
ที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวา ระดับความเสียหายที่ระดับ Y ของเฟรมปกติ ส่วนเฟรมที่เสริมกำลังด้วยเหล็ก W 150 x 31.5 kg/m เริ่มเกิดความเสียหายของเหล็กเสริมในระดับ Y ถึง CP ในชั้นที่ 1 จากนั้นในจุดที่ [3] ระดับความเสียหายที่หน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นจนทำให้เหล็ก W 150 x 31.5 kg/m ชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้น และเกิดหน้าตัดพลาสติกขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ของเฟรมที่เสริมกำลังด้วย W 150 x 31.5 kg/m จุดที่ [4] เสาชั้นที่ 1 ของเฟรมที่เสริมกำลังด้วย W 150 x 31.5 kg/m เกิดความเสียหายอยู่ในระดับ F และเสาชั้นที่ 1 ของเฟรมปกติระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกเพิ่มเป็นระดับ F จนกระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ Failure ในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ทั้งเฟรมที่เสริมด้วยเหล็ก W 150 x 31.5 kg/m และเฟรมปกติ



รูป 5.11 พฤติกรรมของการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y

5.3.2 พิกัดสมรรถนะ

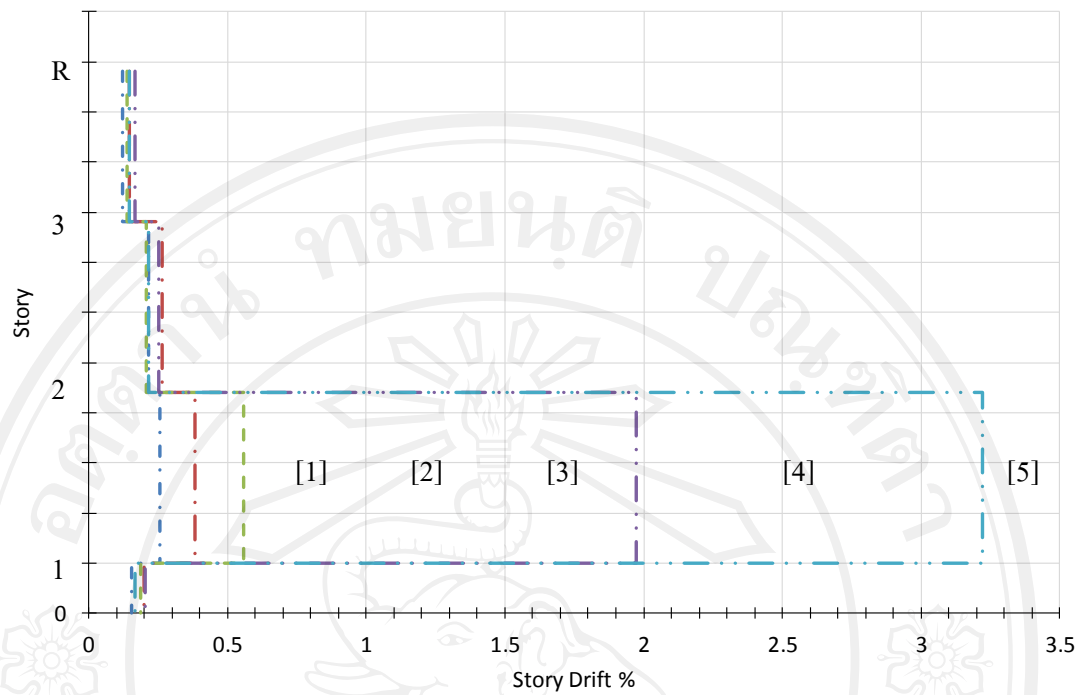
จากรูป 5.12 พิกัดของจุดตัดอยู่ที่ Spectrum Acceleration (S_a) = 0.37 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.045(m) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จากเส้นสมรรถนะ และ พฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้นได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงเกิดระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ IO ในเสาชั้นที่ 1 ทั้งเฟรมที่เสริมค้ำยันด้วย W 150 x 31.5 kg/m และเฟรมปกติ แต่เกิดความเสียหายระดับ IO และ F ในเหล็ก W 150 x 31.5 kg/m ในชั้นที่ 1



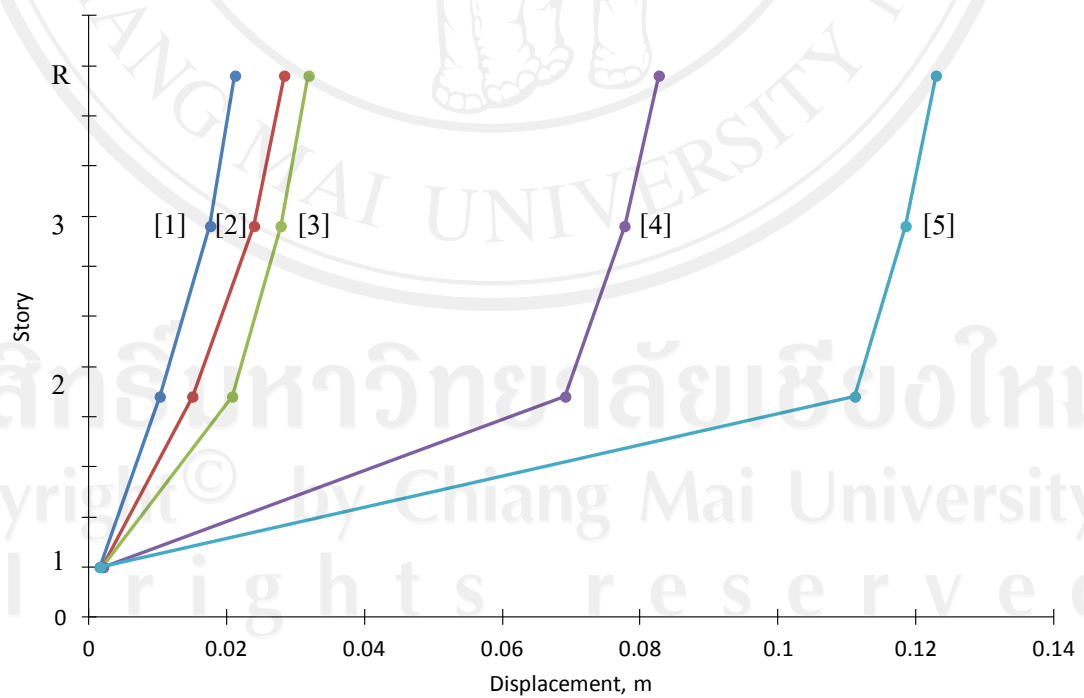
รูป 5.12 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y

5.3.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 5.13 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.21% ของความสูงของอาคาร สภาวะวิบัติของอาคาร (85% ของแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร) ที่ระยะการเคลื่อนที่ 0.28% ของความสูงอาคารและโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนที่ 1.13% ของความสูงของอาคาร โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 3.20% ของความสูงระหว่างชั้น



รูป 5.13 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift)
ของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y



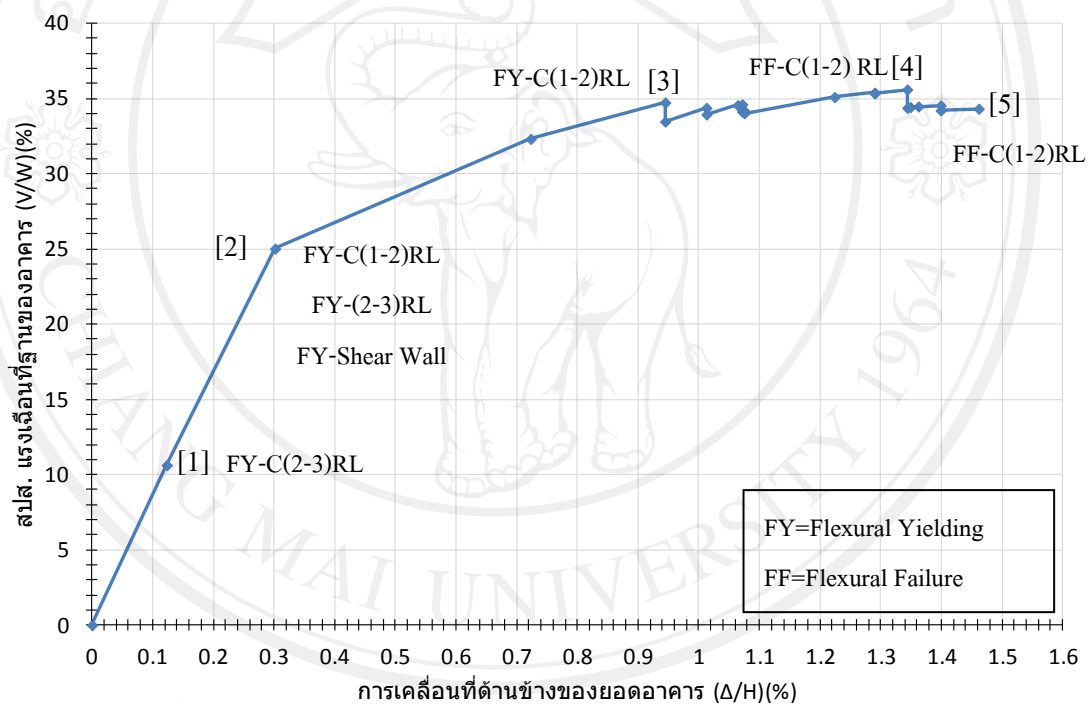
รูป 5.14 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารหลังจากการเสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ Y-Y

จากรูป 5.14 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นที่ต่างกัน เกิดการเคลื่อนที่มากในชั้นที่ 1 ถึง ชั้นที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเกิดความเสียหายมากในองค์อาคารระหว่างชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 เช่น เสา คาน และ เหล็กค้ำยันแนวทแยง ซึ่งเป็นไปตามลักษณะการเสียหายของอาคารที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 5.11

5.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารในทิศ Y-Y ที่เสริมผนังรับแรงเฉือน

5.4.1 พฤติกรรมการรับแรง

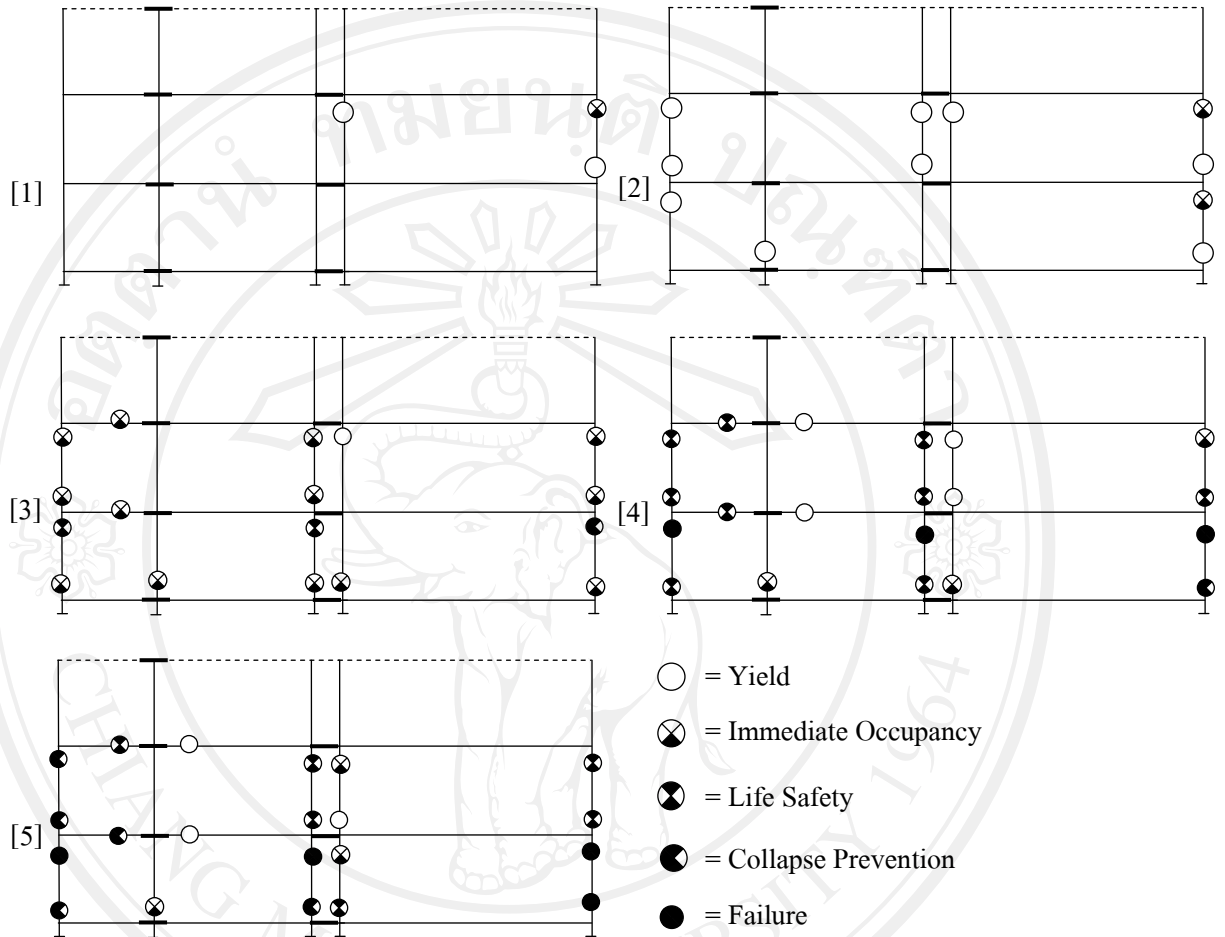
จากรูป 5.15 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 35.6% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารเท่ากับ 1.34% ของความสูงอาคารและความสามารถในการเคลื่อนตัวของยอดอาคารมีค่า 1.46% ของความสูงอาคาร ณ จุดที่อาคารวิบัติจุดที่ [5]



รูป 5.15 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) ของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y

จากรูป 5.15 และ 5.16 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการครากที่เสา ชั้นที่ 2 ทางด้านขวาและด้านซ้ายของเฟรมปกติ เกิดความเสียหายระดับ Y และ IO ต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ทางด้านขวาและด้านซ้ายระดับความเสียหาย ส่วนมากอยู่ที่ระดับ Y ทั้งเฟรมปกติและเฟรมที่เสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือน ส่วนผนังรับแรงเฉือนในชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายระดับ Y จากนั้นในจุดที่ [3] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นใน เสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 จุดที่ [4] เสาชั้นที่ 1 ทั้งเฟรมที่เสริมผนังรับแรงเฉือนและเฟรมปกติ เกิดความเสียหายระดับ F และเกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในคานชั้นที่ 1 จุดที่ [5] ระดับความเสียหายของ

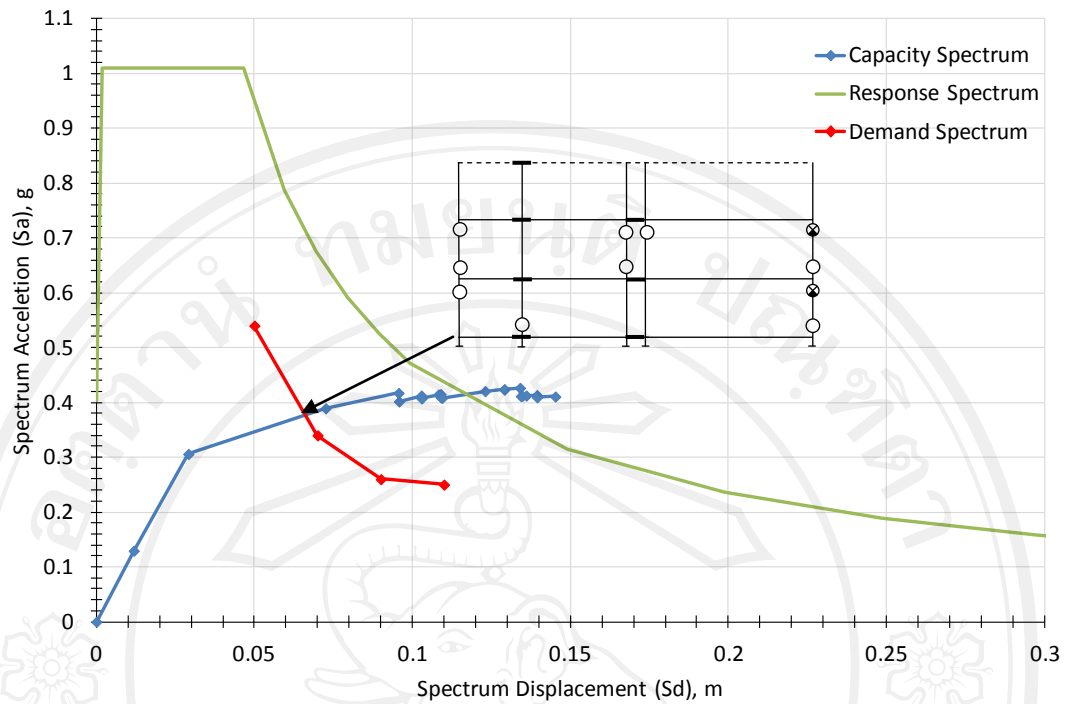
หน้าตัดพลาสติกถึงระดับ Failure ในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ของเฟรมที่เสริมผนังรับแรงเฉือน ส่วนเฟรมปกติเกิดความเสียหายระดับ F ในเสาชั้นที่ 1 ทางด้านขวา



รูป 5.16 พฤติกรรมของการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y

5.4.2 พิกัดสมรรถนะ

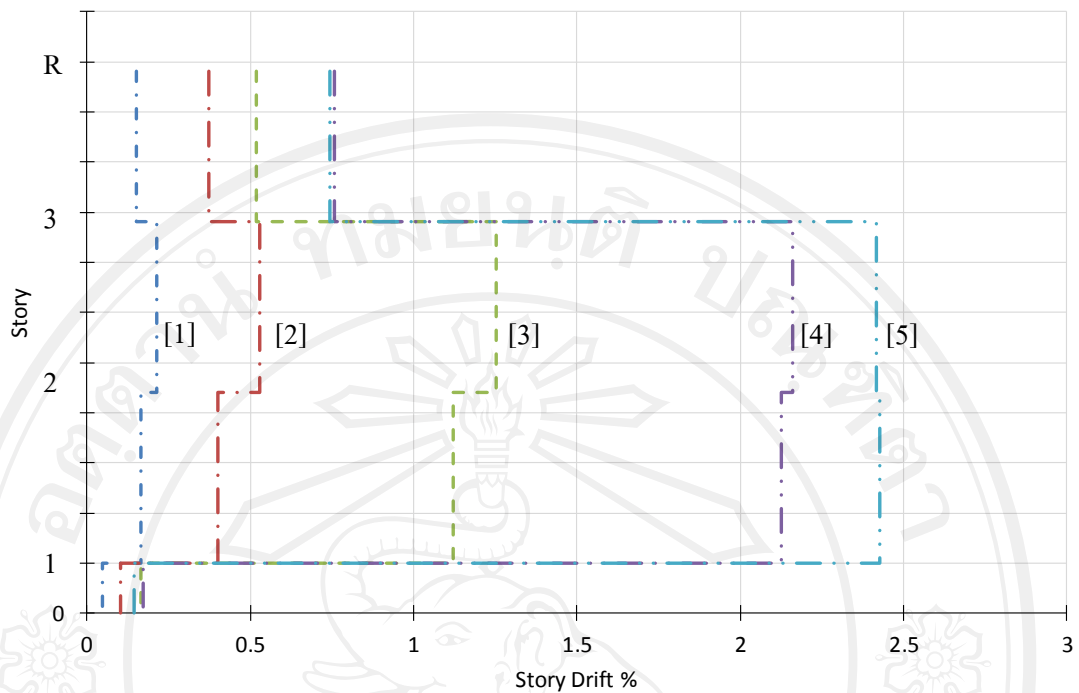
จากรูป 5.17 พิกัดของจุดตัดอยู่ที่ Spectrum Acceleration (S_a) = 0.38 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.065 (m) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จากเส้นสมรรถนะ และพฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้นได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนมีระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ Y และ IO โดยพิจารณาจากรูป 5.16 อยู่ระหว่างจุดที่ [2] และจุดที่ [3] พบว่าอยู่ในช่วงที่เกิดหน้าตัดพลาสติกในเสาทั้งสองชั้น โดยที่หน้าตัดพลาสติกที่เกิดในเสาชั้นที่ 1 มีระดับความเสียหายระดับ Y ทั้งสองข้าง ส่วนเสาชั้นที่ 2 ทางด้านขวามีระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Y และ IO และเกิดความเสียหายระดับ Y ขึ้นที่ผนังรับแรงเฉือนชั้นที่ 1



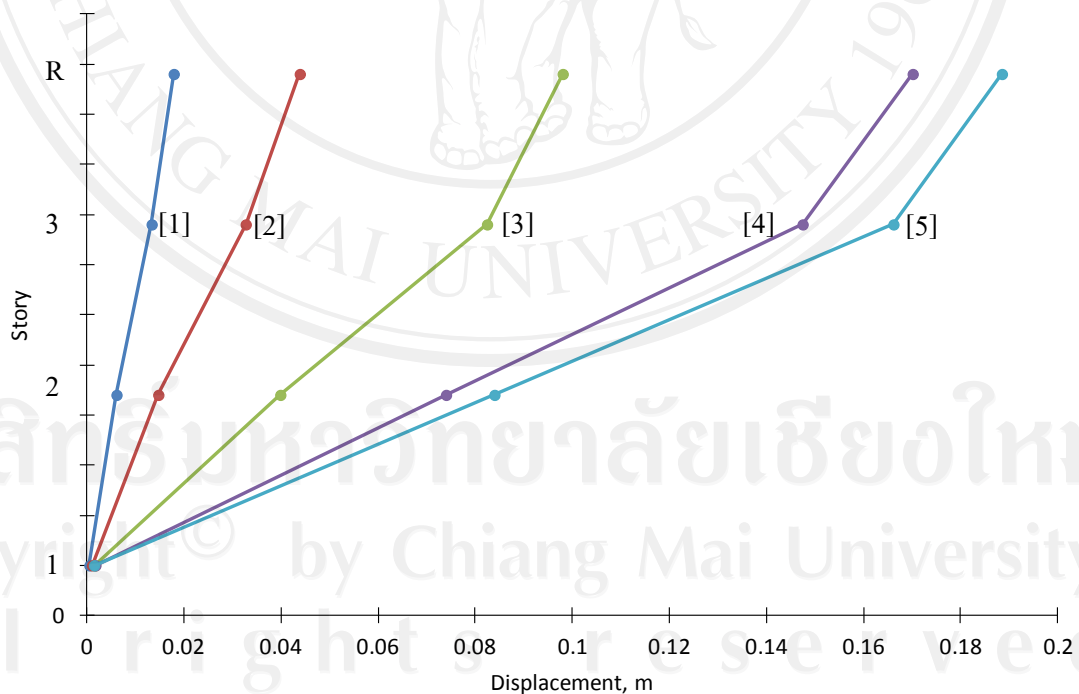
รูป 5.17 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y

5.4.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 5.18 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 3 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 0.12% ของความสูงอาคาร และโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 1.46% ของความสูงอาคาร โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 2.45% ของความสูงระหว่างชั้น



รูป 5.18 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของอาคาร
ที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y



รูป 5.19 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y

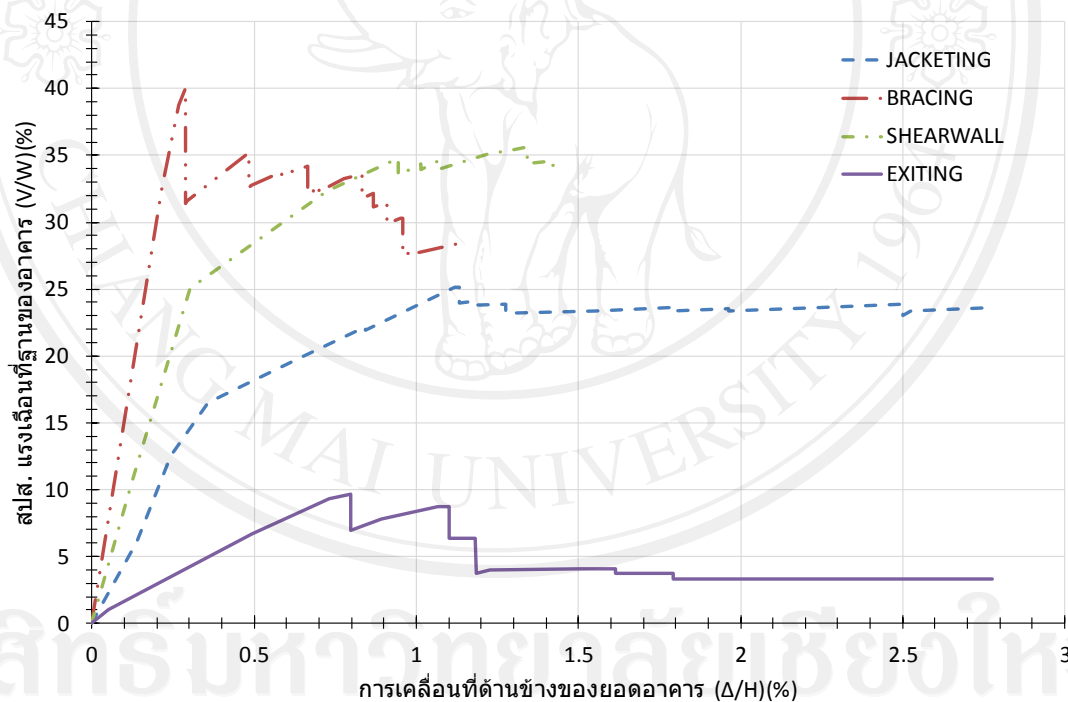
สำหรับการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นของอาคารโรงเรียนหลังจากการเสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ Y-Y จากรูป 5.19 เห็นได้ว่าจุดที่ [1] มีการเคลื่อนที่ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เนื่องจากเกิดการครากของ

หน้าตัดพลาสติกในเสาชั้นที่ 2 ของเฟรมปกติ จากนั้นจุดที่ [2] เกิดการครากของเสาชั้นที่ 1 เพิ่มขึ้น ทั้งเฟรมปกติ และเฟรมที่เสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือน จึงเกิดการเคลื่อนที่ของอาคารทั้งชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 จากนั้นเกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้นในองค์อาคารแต่ละชั้นจนจุดที่ [5] จุดที่อาคารเกิดการวิบัติสูงสุดเกิดการเคลื่อนที่ 0.188 เมตรที่ยอดอาคาร ดังรูป 5.19

5.5 ผลการเปรียบเทียบการเสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ ในทิศ Y-Y

5.5.1 กำลังและเส้นโค้งสมรรถนะ

จากการวิเคราะห์อาคารทั้งโครงสร้างเดิมและที่เสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ ในทิศ Y-Y จากเส้นสมรรถนะ และลักษณะการเสียหายของอาคาร เพื่อนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของอาคารในการรับแรงแผ่นดินไหวที่คืนนั้นต้องมีทั้งความแข็งแรง ความเหนียว และพฤติกรรมการเสียหายที่ปลอดภัย จากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยการเสริมกำลังในวิธีต่าง ๆ ให้ผลดังต่อไปนี้

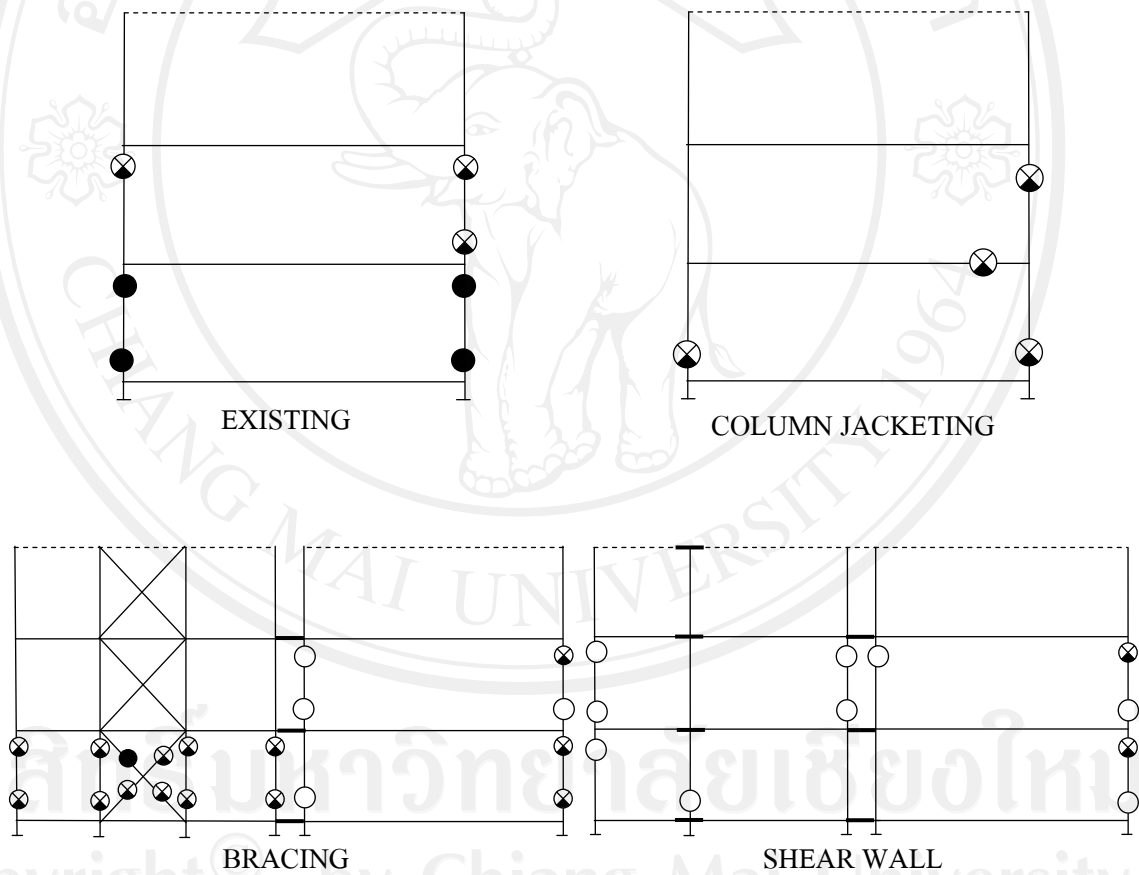


รูป 5.20 เปรียบเทียบเส้นสมรรถนะของอาคารเดิมและที่เสริมกำลังโดยวิธีต่าง ๆ ในทิศ Y-Y

จากรูป 5.20 อาคารที่เสริมด้วยวิธีค้ำยันแนวทแยงให้ค่าสติฟเนสและกำลังสูงสุด รองลงมา คือ วิธีเสริมด้วยผนังรับแรงเฉือน และวิธีขยายหน้าตัดเสา ตามลำดับ ส่วนด้านความเหนียวอาคารที่เสริมด้วยวิธีค้ำยันแนวทแยงมีความเหนียวน้อยที่สุด รองลงมาคือ วิธีเสริมด้วยผนังรับแรงเฉือนและวิธีเพิ่มขนาดหน้าตัดเสาตามลำดับ

5.5.2 ลักษณะการเสียหาย

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคารก่อนและหลังทำการเสริมกำลัง ณ จุดพิกัดสมรรถนะจากรูป 5.21 เห็นได้ว่าอาคารมีความเสียหายที่น้อยลงและการเสริมกำลังบางกรณียังเปลี่ยนพฤติกรรมการเสียหายของอาคารให้ดีขึ้น เช่น การขยายหน้าตัดเสาช่วยเปลี่ยนพฤติกรรมการเสียหายของอาคารจากเดิมเกิดความเสียหายในเสาเพียงอย่างเดียว ส่วนแบบการเสริมด้วยค้ำยันแนวทแยง และเสริมด้วยผนังรับแรงเฉือน ถึงแม้ว่าพฤติกรรมการเสียหายของอาคารไม่เปลี่ยนอย่างชัดเจนแต่ช่วยรับภาระของอาคารไม่ให้โครงสร้างหลักเสียหายมากเกินไปโดยทำการเปรียบเทียบลักษณะการพังของอาคาร ณ พิกัดสมรรถนะ และจุดที่อาคารเกิดการวิบัติดังตาราง 5.2



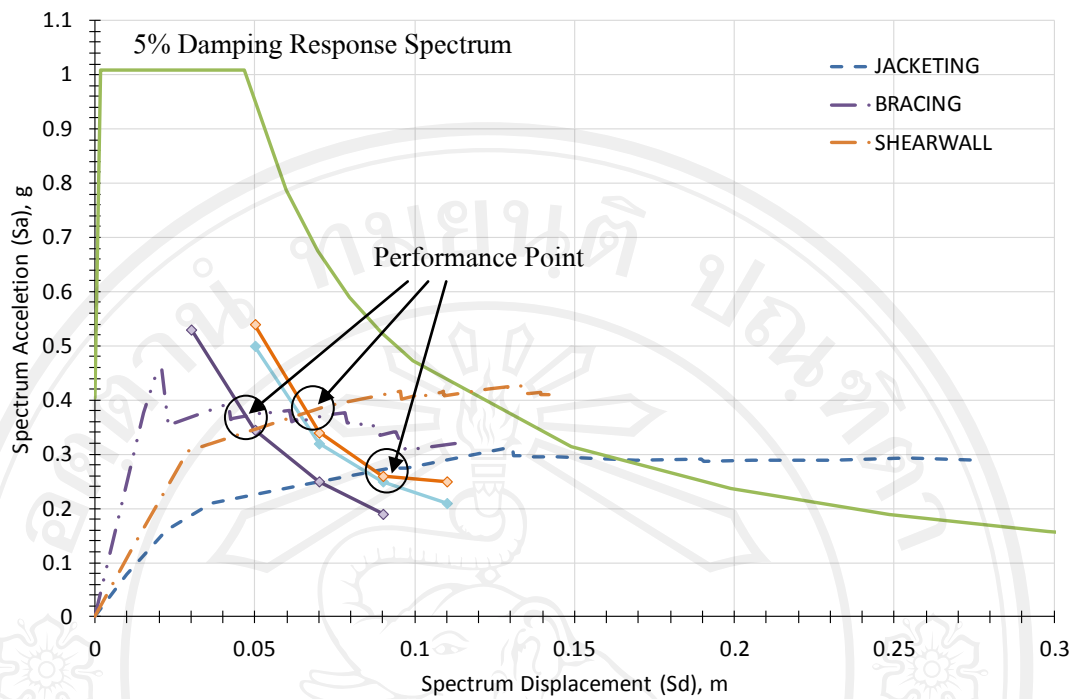
รูป 5.21 เปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคาร ณ พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ Y-Y

ตาราง 5.2 ลักษณะการเสียหายของอาคารในทิศ Y-Y

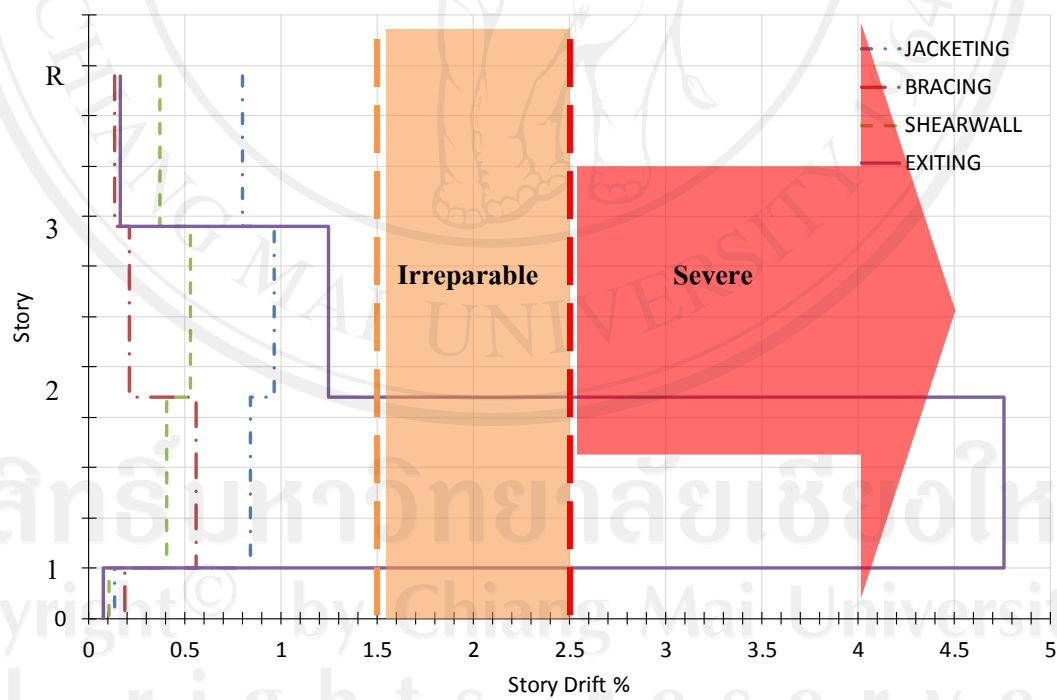
Strengthening Building	Failure Mechanism at Ultimate	Failure Mechanism at Performance Point
EXISTING	เกิดการวิบัติในเสาชั้นที่ 1 ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา	เกิดการวิบัติในเสาชั้นที่ 1 ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา
COLUMN JACKETING	เกิดการวิบัติที่เสาชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1 ตามลำดับ คานชั้นที่ 2 เกิดความเสียหายระดับ Collapse Prevention	เกิดการวิบัติในเสาชั้นที่ 2 ส่วนคานชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายในระดับ Immediate Occupancy
BRACING	เกิดการวิบัติขึ้นในเหล็กค้ำยันชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2	เกิดการวิบัติในเหล็กค้ำยันชั้นที่ 1 และเกิดความเสียหายในเสาชั้นที่ 1 และ 2 อยู่ในระดับ Yield เป็นส่วนมาก
SHEARWALL	เกิดการวิบัติขึ้นในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 และผนังรับแรงเฉือนเกิดความเสียหายระดับ Failure เช่นกัน	ไม่เกิดการวิบัติในองค์อาคารหลัก ความเสียหายส่วนมากในเสาและผนังรับแรงเฉือนอยู่ในระดับ Yield และ Immediate Occupancy

5.5.3 พิกัดสมรรถนะของอาคาร

จากรูป 5.22 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมด้วยวิธีขยายหน้าตัด และเสริมผนังรับแรงเฉือน จากสเปกตรัมการตอบสนองต้องการตัดกับสเปกตรัมสมรรถนะ ก่อนจุดสูงสุดของสเปกตรัมสมรรถนะนั้นถือว่าอาคารมีสมรรถนะที่ดี และยังเหลือกำลังสำรองอีก 13.56% และ 10.89% ของกำลังทั้งหมดที่อาคารสามารถรับได้ถือว่าอาคารอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ส่วน การเสริมกำลังด้วยค้ำยันแนวทแยงพิกัดสมรรถนะอยู่หลังจุดสูงสุดของสเปกตรัมสมรรถนะ และอยู่หลังสภาวะที่ถือว่าอาคารเกิดการวิบัติ ทำให้อาคารไม่ปลอดภัยจากแรงแผ่นดินไหวดังนั้นควรจะเสริมหน้าตัดเหล็กค้ำยันให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้ความสามารถรับแรงแผ่นดินไหวได้ปลอดภัยขึ้น



รูป 5.22 เปรียบเทียบพิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ Y-Y



รูป 5.23 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ Y-Y

5.5.4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

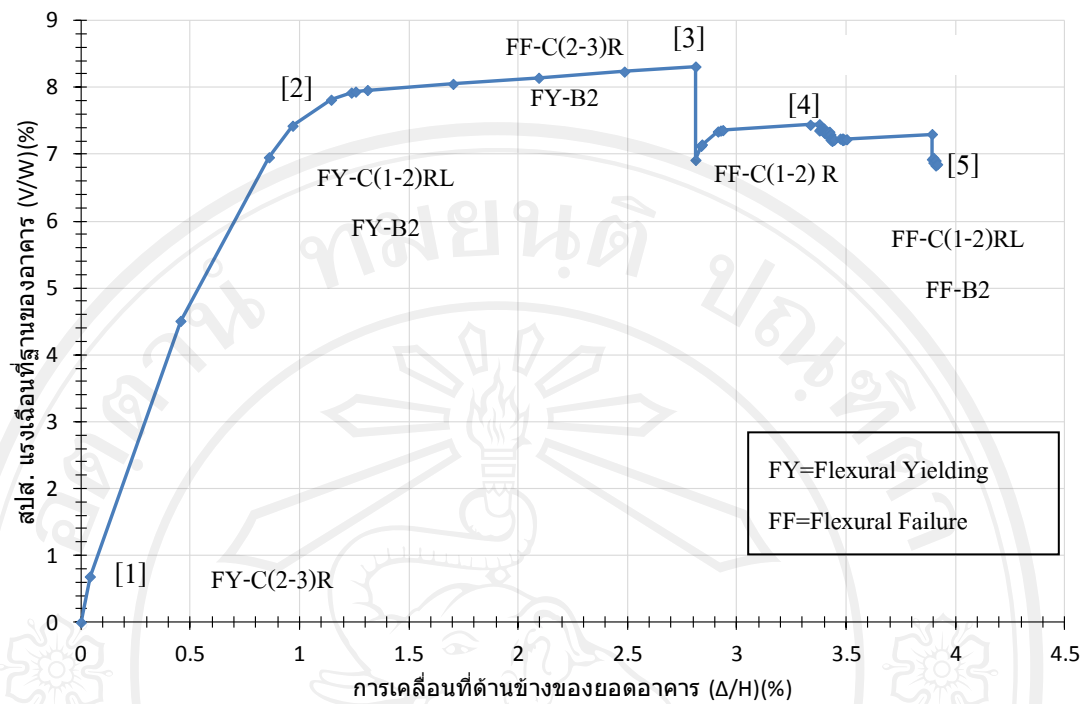
จากรูป 5.23 เห็นได้ว่าหลังจากเสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ ทำให้อาคารมีสมรรถนะในการรับแรงแผ่นดินไหวดีขึ้นทำให้การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารดีขึ้นเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4.1 อาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยและยังสามารถซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสานั้นยังอยู่ในระดับที่ตัวอาคารนั้นสามารถซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ สำหรับอาคารที่เสริมเหล็กค้ำยันแนวทแยงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์จะอยู่ในระดับที่ยังสามารถซ่อมแซมได้ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่ถือว่าอาคารวิบัติแล้วก็ตาม

5.6 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารในทิศ X-X ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา

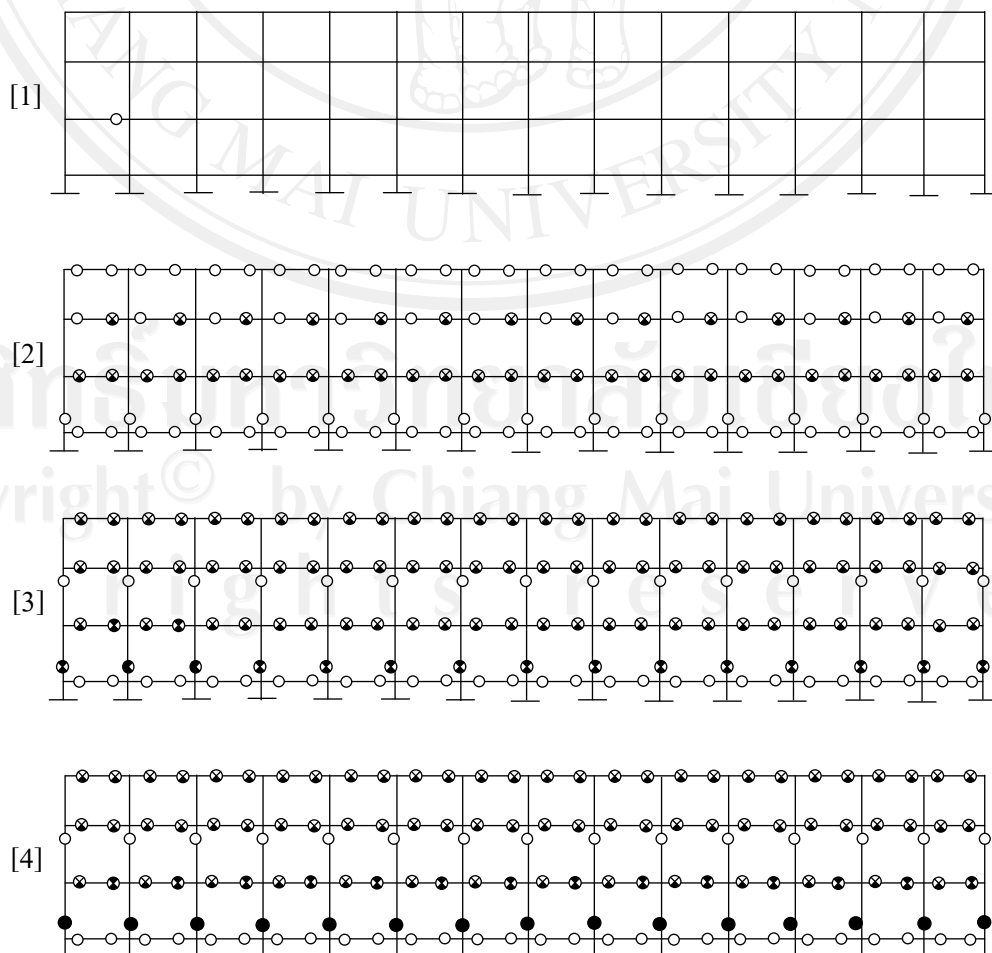
5.6.1 พฤติกรรมการรับแรง

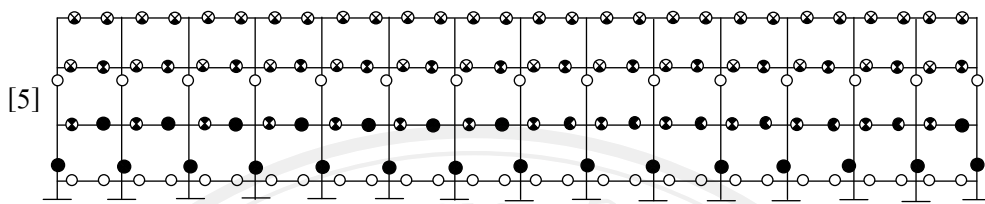
จากรูป 5.24 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 8.31% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคาร 2.81% ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่า 3.91% ของความสูงอาคาร ณ จุดที่อาคารวิบัติจุดสูงสุดที่ [5]

จากรูป 5.25 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการครากที่เสาชั้นที่ 2 ทางด้านขวา เกิดความเสียหายระดับ Y และต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ระดับความเสียหายที่ระดับ Y และเกิดความเสียหายที่คานชั้นที่ 2 3 และ 4 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Y ถึง IO จากนั้นในจุดที่ [3] ระดับความเสียหายที่หน้าตัดพลาสติกเพิ่มมากขึ้นในเสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 รวมทั้งคานชั้นที่ 2 จนกระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ Failure ในเสาชั้นที่ 1 และคานชั้นที่ 2 ซึ่งหมายความว่าอาคารไม่สามารถรับแรงแผ่นดินไหวต่อไปได้อีก



รูป 5.24 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) ของอาคาร
ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ X-X



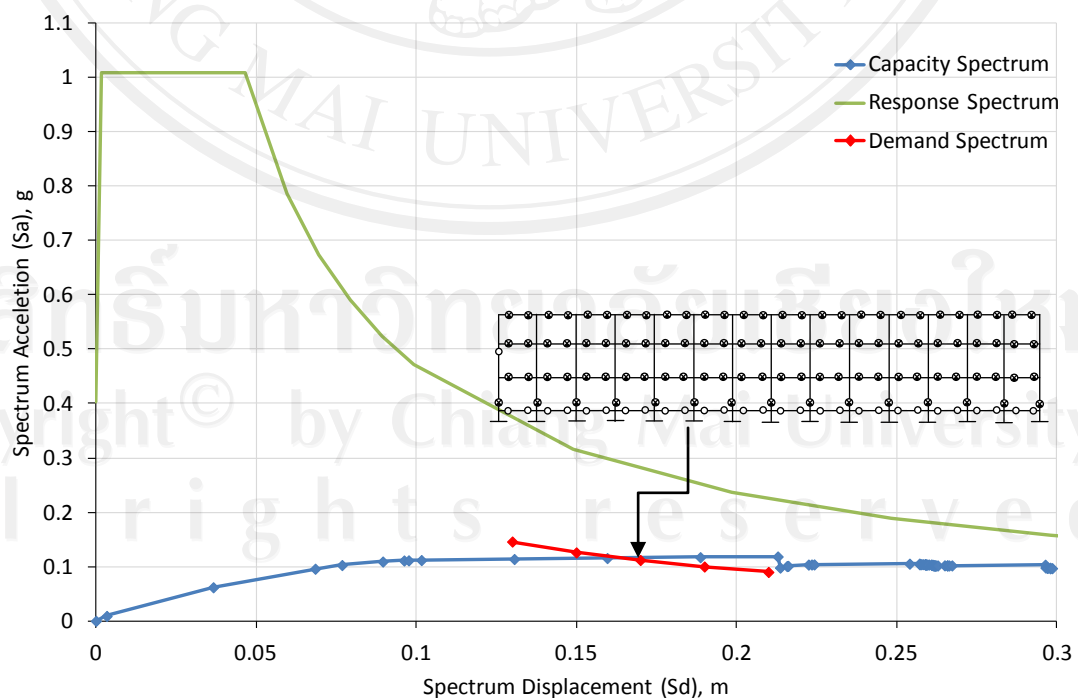


รูป 5.25 พฤติกรรมของการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคาร

ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ X-X

5.6.2 พิกัดสมรรถนะ

จากรูป 5.26 เปรียบเทียบ เส้นสเปกตรัมสมรรถนะและเส้นสเปกตรัมตอบสนองความต้องการ แสดงให้เห็นพิกัดของจุดตัดอยู่ที่ Spectrum Acceleration (S_a) = 0.11 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.12 (m) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จากเส้นสมรรถนะ และพฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้นได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสามีระดับความเสียหายส่วนมาก ซึ่งอยู่ในระดับ Y และ IO โดยพิจารณาจากรูป 5.21 อยู่ระหว่างจุดที่ [2] และจุดที่ [3] พบว่าอยู่ในช่วงที่เกิดหน้าตัดพลาสติกในคานทั้ง 4 ชั้น โดยที่หน้าตัดพลาสติกที่เกิดในคานส่วนมากมีระดับความเสียหายระดับ IO ในชั้นที่ 2 3 และ 4 ส่วนชั้นที่ 1 มีระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Y ส่วนเสาเกิดความเสียหายส่วนมากในชั้นที่ 1 โดยมีระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ IO และชั้นที่ 2 ในระดับ Y เล็กน้อย

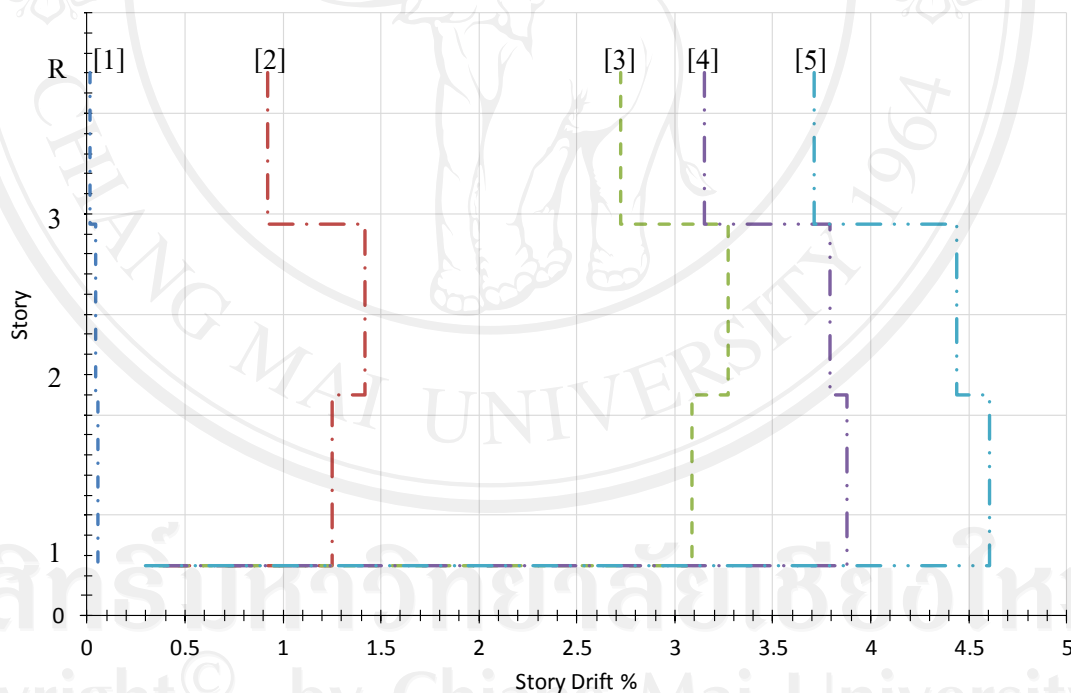


รูป 5.26 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ X-X

5.6.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

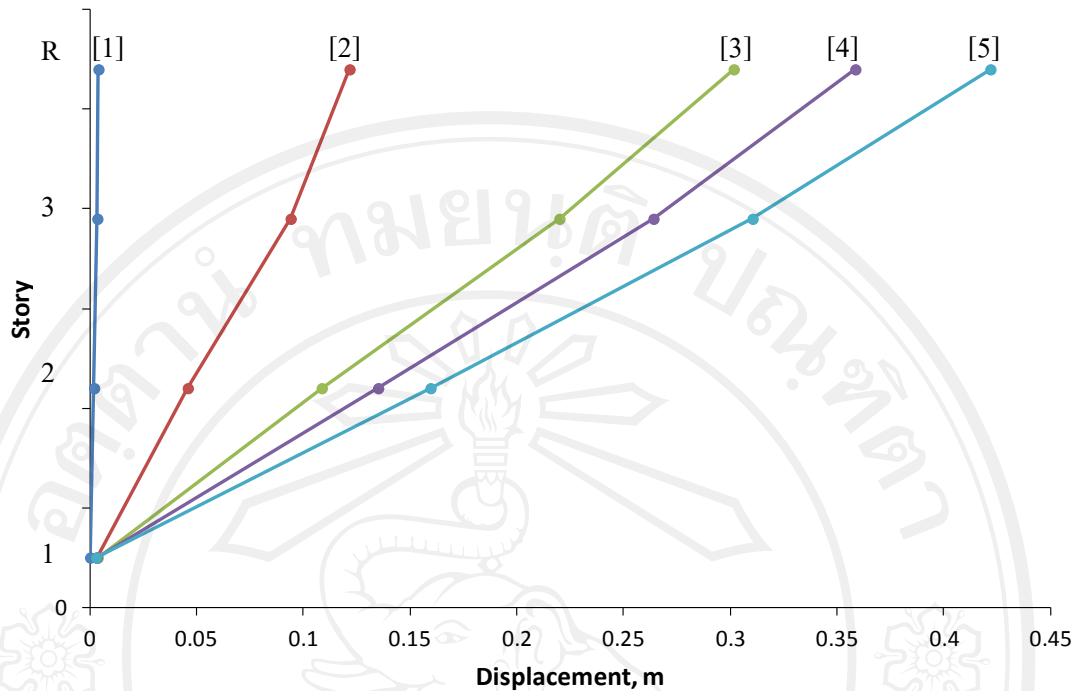
จากรูป 5.27 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 0.037% ของความสูงอาคาร สภาวะวิบัติของอาคารที่ระยะการเคลื่อนที่ 2.79% ของความสูงอาคาร และโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 3.90% ของความสูงอาคาร โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.60% ของความสูงระหว่างชั้น

สำหรับการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นของอาคารหลังจากการเสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ X-X จากรูป 5.28 การเคลื่อนที่ระหว่างชั้นที่ต่างกัน เกิดการเคลื่อนที่มากในชั้นที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าเกิดความเสียหายมากในเสาชั้นที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคารเห็นได้ชัดเจนจากจุดที่ [5] ที่อาคารเกิดความเสียหายมากในเสาชั้นที่ 1 และคานในชั้นที่ 2 ส่วนชั้นที่ 3 ไม่เกิดความเสียหาย



รูป 5.27 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของอาคาร

ที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ X-X



รูป 5.28 การเคลื่อนที่ระหว่างชั้นของอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสาในทิศ X-X

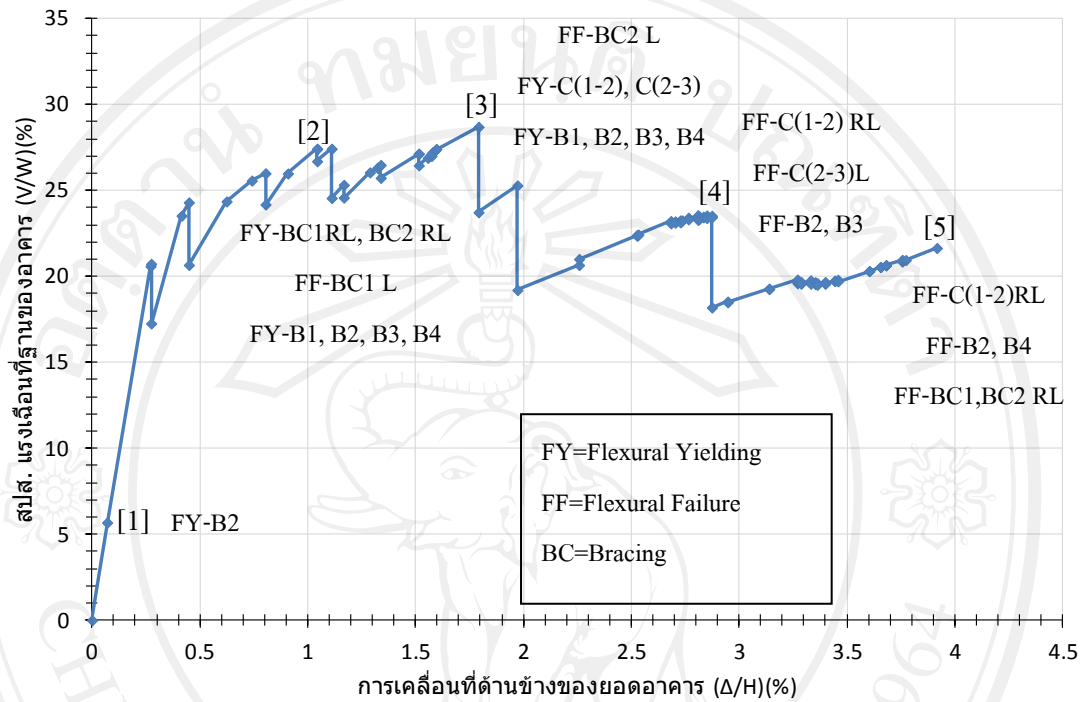
5.7 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารในทิศ X-X ที่เสริมค้ำยันแนวทแยง

5.7.1 พฤติกรรมการรับแรง

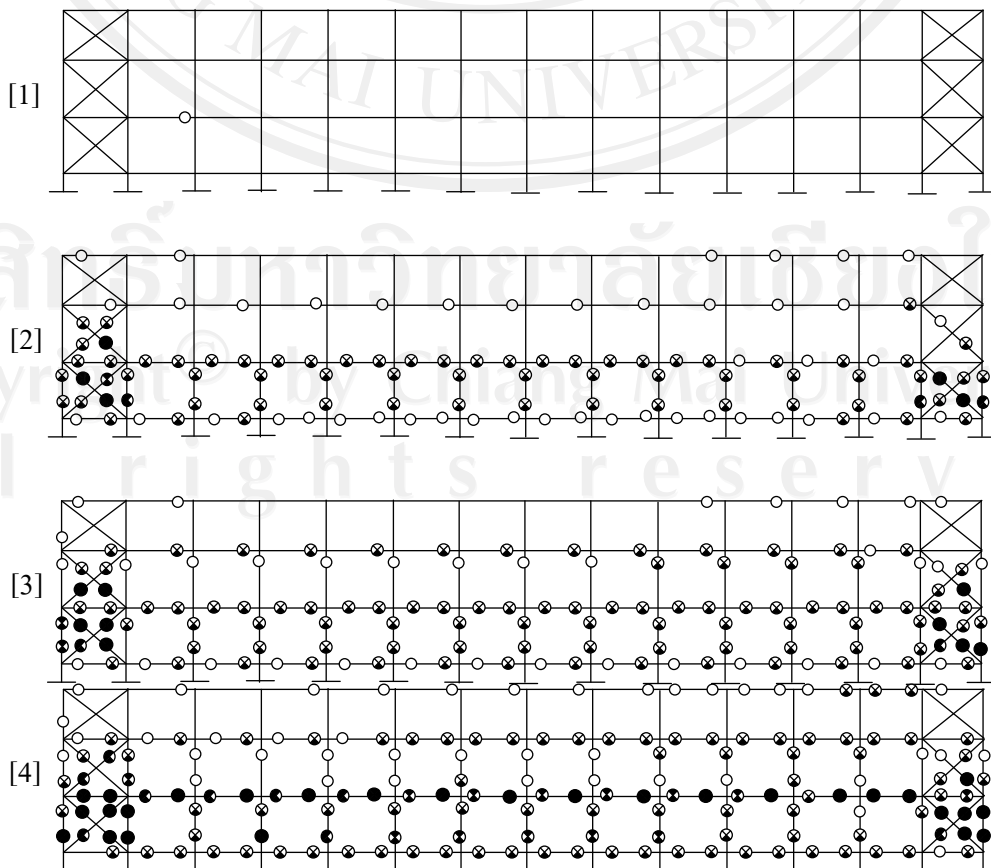
จากรูป 5.29 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 28.7% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารเท่ากับ 1.79% ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่าเท่ากับ 3.91% ของความสูงอาคาร ณ จุดที่อาคารวิบัติสูงสุดจุดที่ [5]

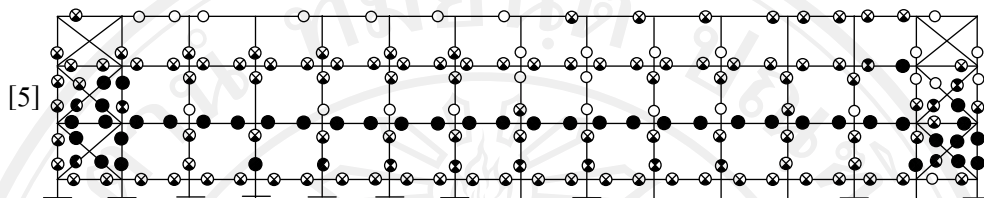
จากรูป 5.30 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการครากที่คานชั้นที่ 2 เกิดความเสียหายระดับ Y ต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในคานชั้นที่ 1 2 3 และ 4 ระดับความเสียหายที่ระดับ Y และ IO สำหรับเสาที่ติดกับเหล็ก W 150 x 131.5 kg/m เกิดหน้าตัดพลาสติกขึ้นในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เกิดความเสียหายระดับ Y ถึง F จากนั้นในจุดที่ [3] เสาชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO และ F ระดับความเสียหายที่เพิ่มมากขึ้นจนทำให้เหล็ก W 150 x 131.5 kg/m ชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายระดับ F เพิ่มขึ้นและเกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเหล็ก W 150 x 131.5 kg/m ในชั้นที่ 2 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO ถึง F จุดที่ [4] คานชั้นที่ 2 ทั้งเกิดความเสียหายระดับ F และคานชั้นที่ 3 เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น เสาชั้นที่ 2 ของเฟรมที่เสริมกำลังด้วย W 150 x 131.5 kg/m เกิดความเสียหายอยู่ในระดับ IO ถึง LS และเสาชั้นที่ 2 ของเฟรมปกติระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นส่วนมากอยู่ในระดับ IO จนกระทั่งจุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ

Failure ในเสาชั้นที่ 1 ของเฟรมที่เสริมด้วยเหล็ก W 150 x 131.5 kg/m และเฟรมปกติระดับความเสียหายอยู่ในระดับ LS



รูป 5.29 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) ของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X

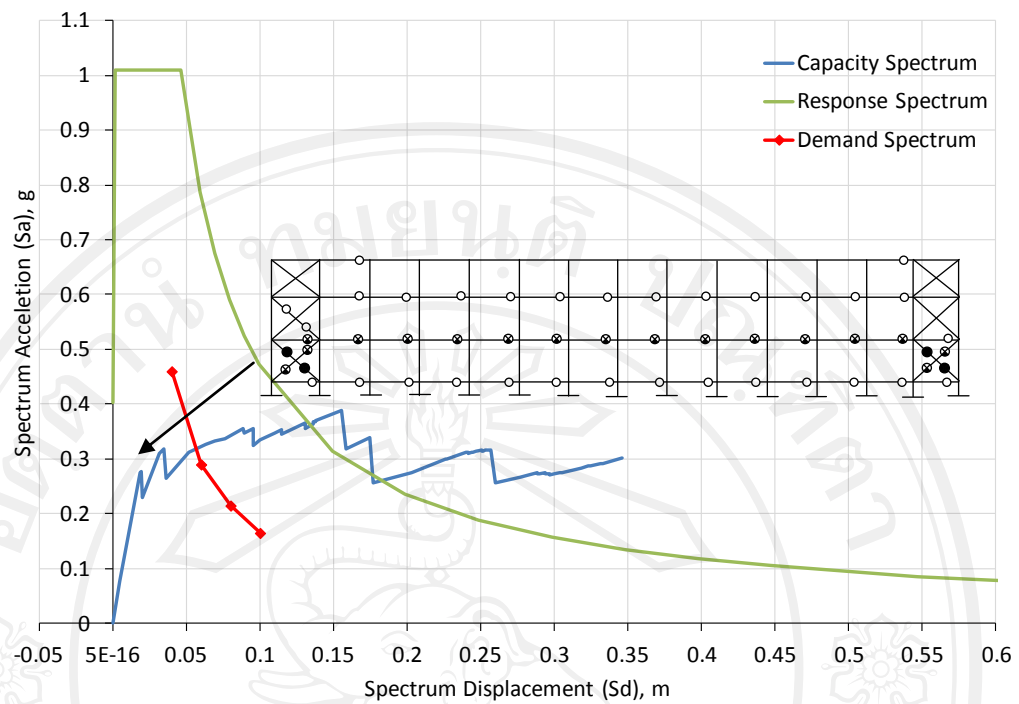




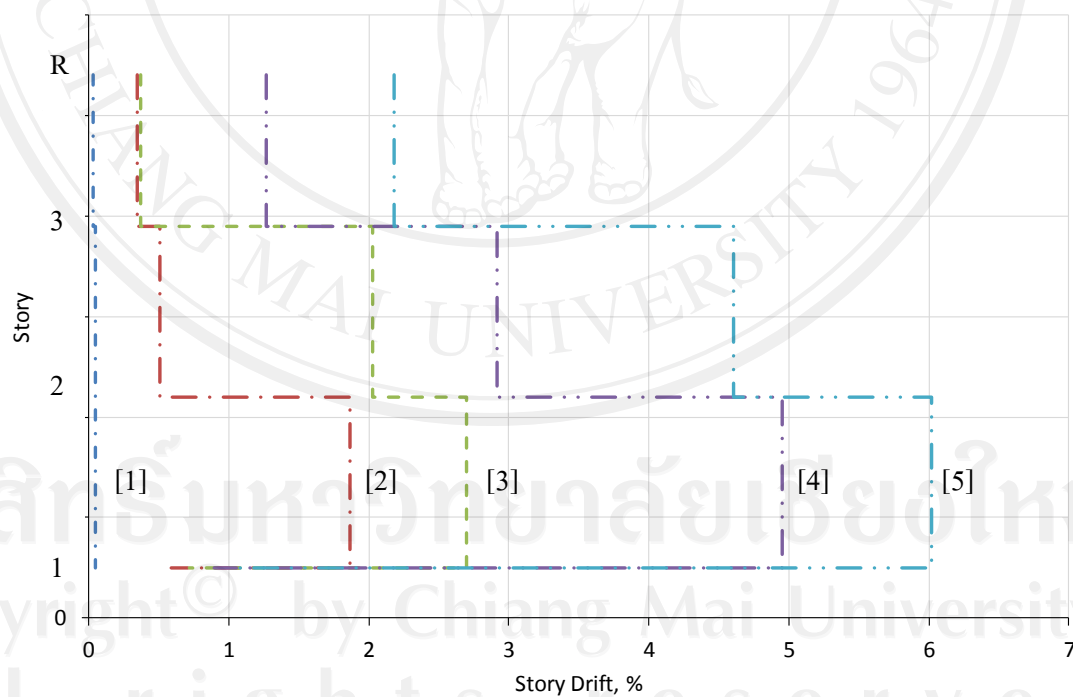
รูป 5.30 พฤติกรรมการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X

5.7.2 พิกัดสมรรถนะ

จากรูป 5.31 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ เส้นสเปกตรัมสมรรถนะและเส้นสเปกตรัมตอบสนองความต้องการ พิกัดของจุดตัดอยู่ที่ Spectrum Acceleration (S_a) = 0.315 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.056 (m) เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จาก เส้นสมรรถนะและ พฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้น ได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงมีระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ Y และ IO โดยพิจารณาจากรูป 5.28 อยู่ระหว่างจุดที่ [1] และจุดที่ [2] พบว่าอยู่ในช่วงที่เกิดหน้าตัดพลาสติกในคานทั้ง 4 ชั้น โดยที่หน้าตัดพลาสติกที่เกิดในคานส่วนมากมีระดับความเสียหายระดับ Y ในชั้นที่ 1 3 และ 4 ส่วนชั้นที่ 2 มีระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO และเสาชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อย ความเสียหายในเหล็กค้ำยันแนวทแยงชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ทางด้านซ้ายและด้านขวา ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO และ F



รูป 5.31 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X

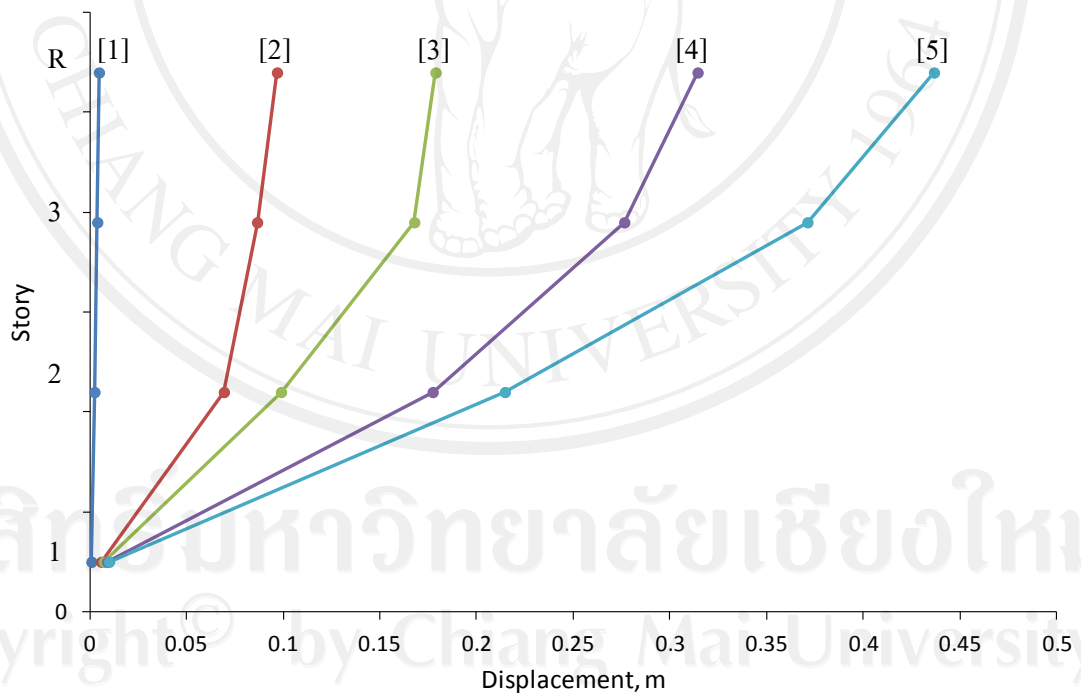


รูป 5.32 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของอาคาร
ที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X

5.7.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 5.32 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 2 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 0.043% ของความสูงอาคาร สภาวะวิบัติของอาคาร (85%ของแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร) ที่ระยะการเคลื่อนที่ 1.65% ของความสูงอาคาร และโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 4.04% ของความสูงอาคาร โดยที่ชั้นที่ 2 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 6.02% ของความสูงระหว่างชั้น

จากรูป 5.33 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นที่ต่างกัน เกิดการเคลื่อนที่มากในชั้นที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเกิดความเสียหายมากในคานชั้นที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคาร จากจุดที่ [1] เกิดการครากที่คานชั้นที่ 2 จึงเกิดการเคลื่อนที่ของอาคารเพียงเล็กน้อย จุดที่ [2] การความเสียหายเพิ่มมากขึ้นระหว่างชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 จึงทำให้ระยะการเคลื่อนที่ในระหว่างช่วงชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 เกิดการเคลื่อนที่มากกว่าชั้นอื่น ๆ จุดที่เป็นจุดที่อาคารเกิดการเคลื่อนที่มากที่สุดเนื่องจากการความเสียหายขึ้นในคานและเสาชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 โดยที่ระยะเคลื่อนที่มากที่สุดของอาคารคือ 0.43 เมตร

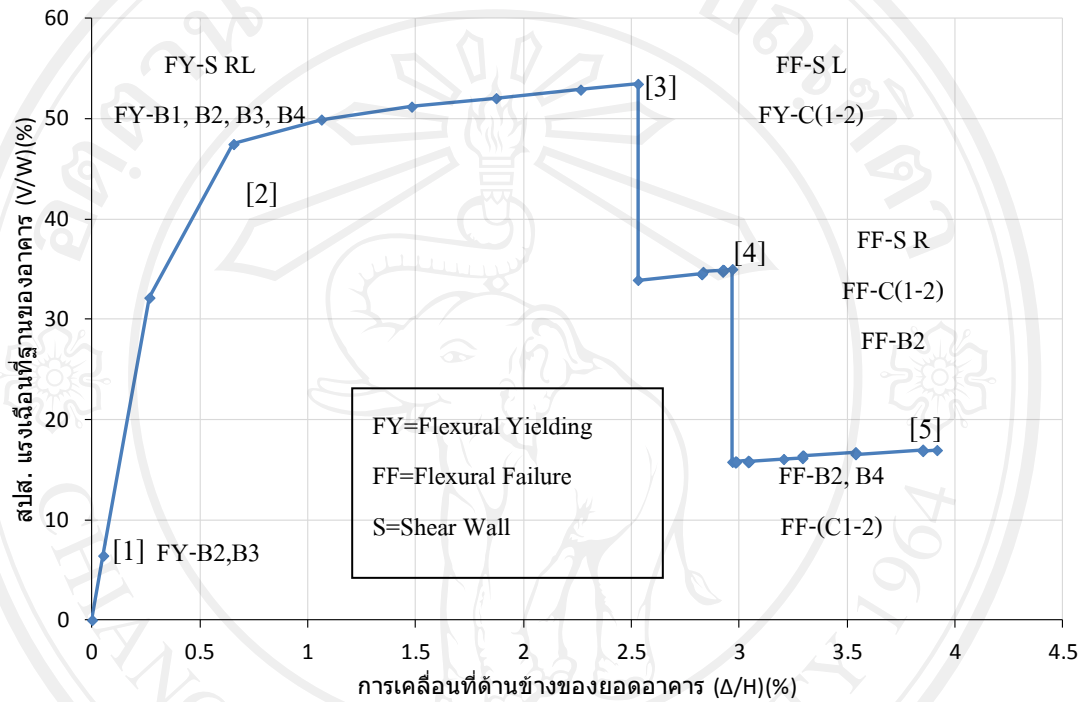


รูป 5.33 การเคลื่อนที่ระหว่างชั้นของอาคารที่เสริมค้ำยันแนวทแยงในทิศ X-X

5.8 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองอาคารในทิศ X-X ที่เสริมผนังรับแรงเฉือน

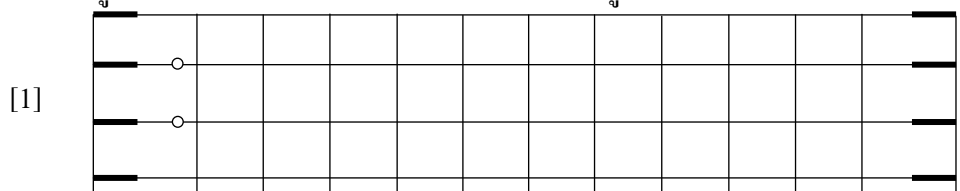
5.8.1 พฤติกรรมการรับแรง

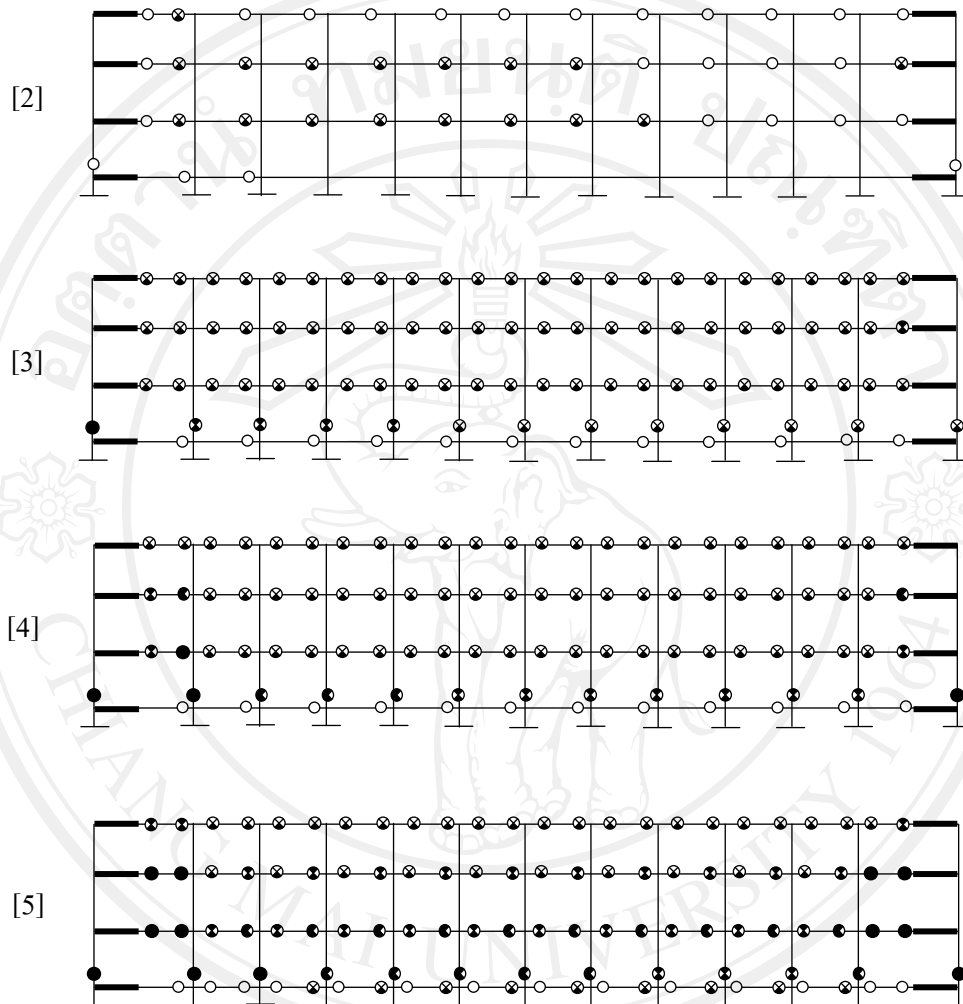
จากรูป 5.34 อาคารให้สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 53.46% ที่ระยะการเคลื่อนตัวของยอดอาคารเท่ากับ 2.53% ของความสูงอาคาร และความสามารถในการเคลื่อนตัวสูงสุดของอาคารมีค่าเท่ากับ 3.91% ของความสูงอาคาร ณ จุดที่อาคารวิบัติสูงสุดจุดที่ [5]



รูป 5.34 เส้นสมรรถนะ (Capacity Curve) ของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ X-X

จากรูป 5.35 พบว่าเมื่อเริ่มทำการวิเคราะห์จนกระทั่งถึง จุดที่ [1] เกิดการครากที่คานชั้นที่ 2 และคานชั้นที่ 3 เกิดความเสียหายระดับ Y ต่อมาในจุดที่ [2] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในคานชั้นที่ 1 2 3 และ 4 ระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ที่ระดับ Y และ IO ส่วนผนังรับแรงเฉือนในชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายระดับ Y จากนั้นในจุดที่ [3] เกิดหน้าตัดพลาสติกเพิ่มขึ้นในเสาชั้นที่ 1 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ IO และ LS สำหรับผนังรับแรงเฉือนเกิดความเสียหายระดับ F ทางด้านซ้ายและ IO ทางด้านขวาของอาคาร จุดที่ [4] เสาชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นเป็นระดับ CP และ F บางส่วน และหน้าตัดพลาสติกในคานชั้นที่ 2 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ LS CP และ F และผนังรับแรงเฉือนเกิดระดับความเสียหายระดับ F ทางด้านขวาของอาคาร จุดที่ [5] ระดับความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกถึงระดับ F ในคานชั้นที่ 2 3 และคานชั้นที่ 4 ระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ IO ส่วนคานชั้นที่ 1 ความเสียหายอยู่ในระดับ Y และ IO



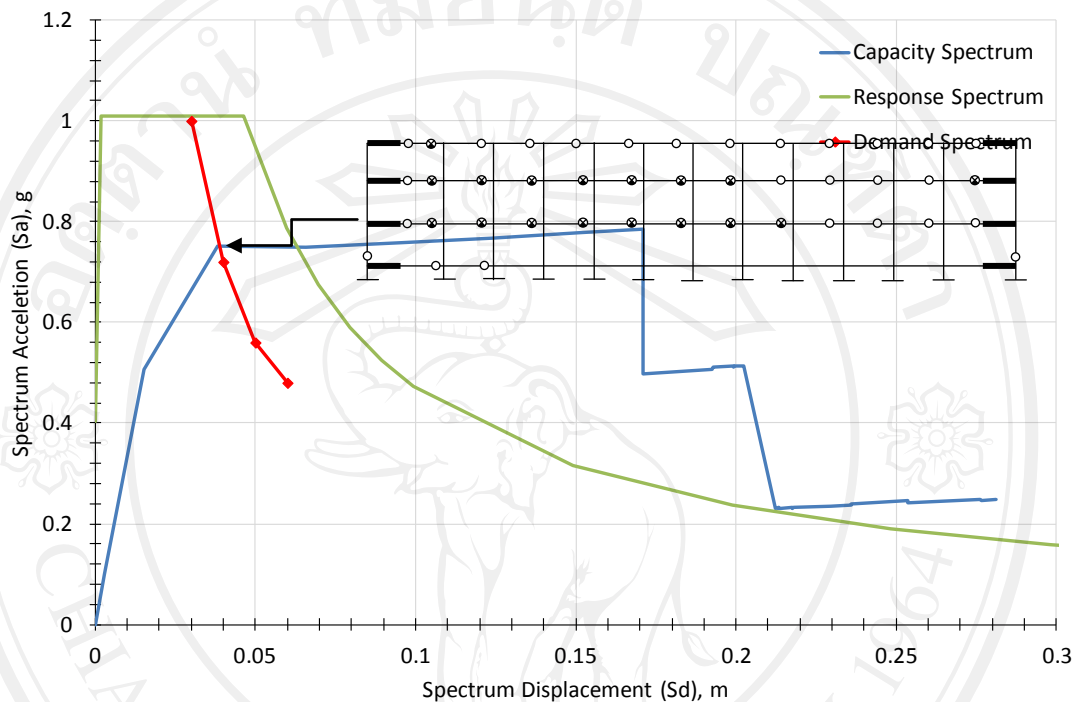


รูป 5.35 พฤติกรรมของการเกิดหน้าตัดพลาสติกของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ X-X

5.8.2 พิกัดสมรรถนะ

จากรูป 5.36 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ เส้นสเปกตรัมสมรรถนะและเส้นสเปกตรัมตอบสนองความต้องการแสดง พิกัดของจุดตัดอยู่ที่ Spectrum Acceleration (S_a) = 0.75 (g) และ Spectrum Displacement (S_d) = 0.038 (m) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของอาคารที่วิเคราะห์ได้จาก เส้นสมรรถนะ และ พฤติกรรมการเกิดความเสียหายในอาคารนั้นได้แสดงให้เห็นว่าพิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนมีระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ Y และ IO

โดยพิจารณาจากรูป 5.33 อยู่ประมาณจุดที่ [2] พบว่าอยู่ในช่วงที่เกิดหน้าตัดพลาสติกในคานชั้นที่ 2 3 มีระดับความเสียหายระดับ Y และ IO ส่วนคานชั้นที่ 1 และชั้นที่ 4 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Y เป็นส่วนมาก ส่วนผนังรับแรงเฉือนเกิดความเสียหายระดับ Y ในชั้นที่ 1 ทั้งสองข้าง

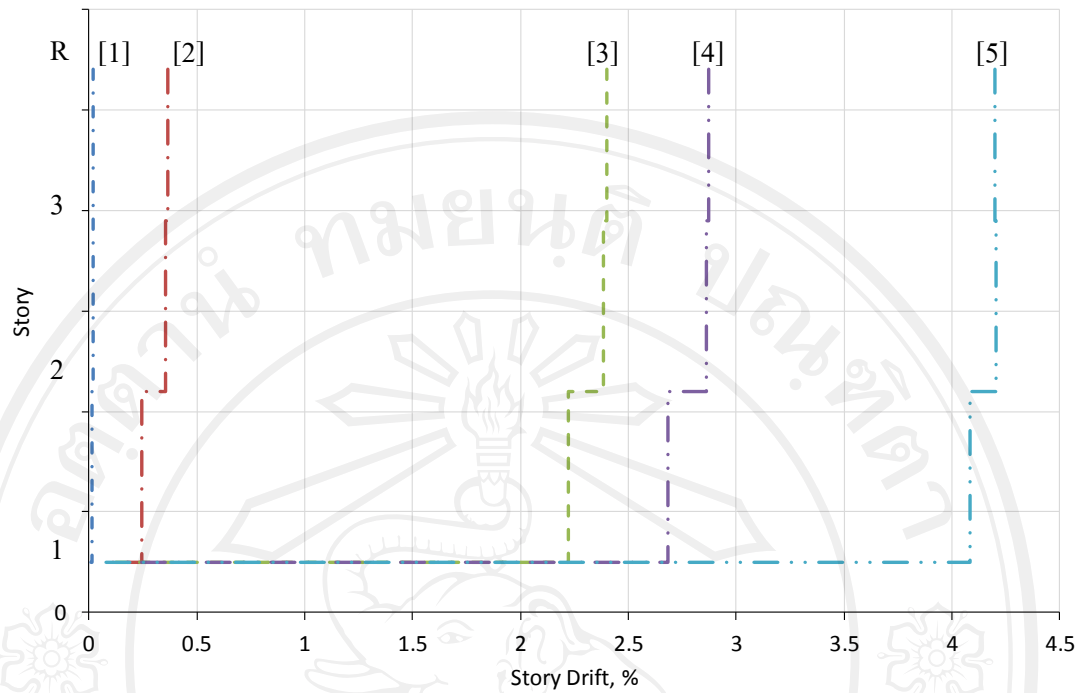


รูป 5.36 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ X-X

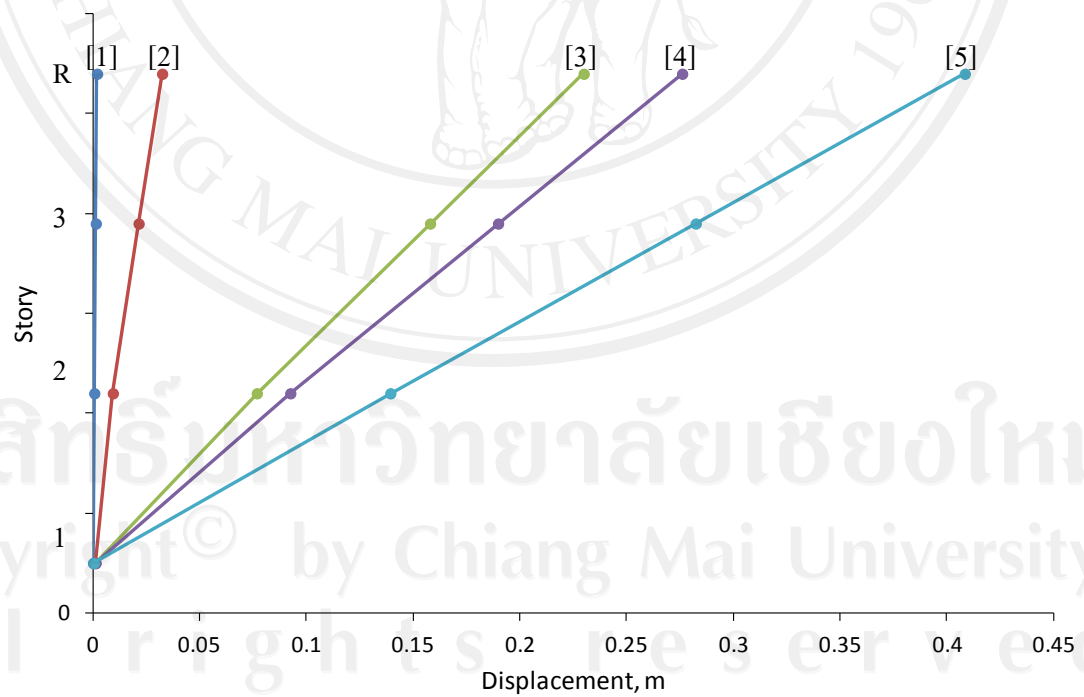
5.8.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 5.37 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากที่สุดคือ ชั้นที่ 3 โดยที่เกิดการครากที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 0.018% ของความสูงอาคาร สภาวะวิกฤติของอาคารที่ระยะการเคลื่อนที่ 2.12% ของความสูงอาคารและโครงสร้างอาคารเกิดการวิบัติสูงสุดที่ระยะการเคลื่อนตัวที่ 3.78% ของความสูงอาคาร โดยที่ชั้นที่ 3 ของอาคารมีระยะการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.20% ของความสูงระหว่างชั้น

จากรูป 5.38 เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นที่ใกล้เคียงกันเกิดการเคลื่อนที่มากในชั้นที่ 2, 3 และชั้นที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเสียหายของอาคาร ที่เกิดความเสียหายในคาน พร้อม ๆ กันทุกชั้น และระดับความเสียหายอยู่ในระดับเดียวกัน



รูป 5.37 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Story Drift) ของอาคาร
ที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ X-X



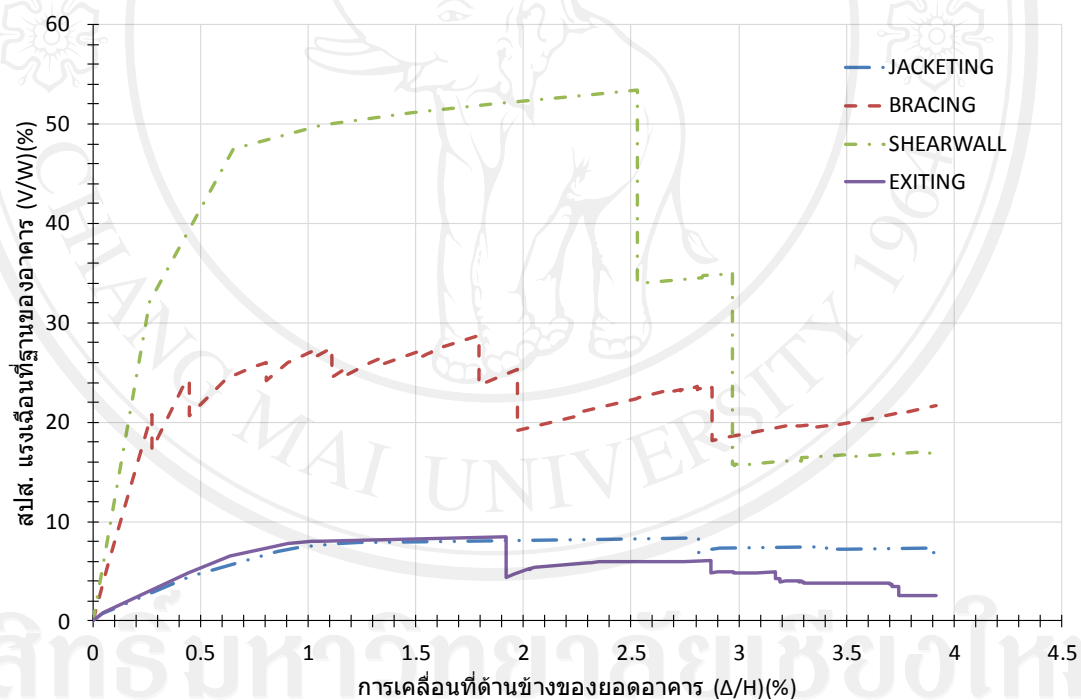
รูป 5.38 การเคลื่อนที่ระดับชั้นของอาคารที่เสริมผนังรับแรงเฉือนในทิศ X-X

5.9 ผลการเปรียบเทียบการเสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ ในทิศ X-X

5.9.1 กำลังและเส้นโค้งสมรรถนะ

จากการวิเคราะห์อาคารทั้งโครงสร้างเดิมและที่เสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ ในทิศ X-X จากเส้นสมรรถนะ และลักษณะการเสียหายของอาคาร เพื่อนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของอาคารในการรับแรงแผ่นดินไหวที่ค่านั้นต้องมีทั้งความแข็งแรง ความเหนียว และพฤติกรรมการเสียหายที่ปลอดภัยจากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยการเสริมกำลังในวิธีต่าง ๆ ให้ผลดังต่อไปนี้

จากรูป 5.39 อาคารที่เสริมด้วยวิธีผนังรับแรงเฉือนให้ค่า สดักฟเนสและกำลังสูงสุด รองลงมาคือ วิธีเสริมด้วยค้ำยันแนวทแยง และวิธีขยายหน้าตัดเสา ตามลำดับ ส่วนด้านความเหนียว เมื่อเปรียบเทียบ ณ จุดที่อาคารวิบัติ อาคารที่เสริมกำลังด้วยค้ำยันแนวทแยงมีความเหนียวน้อยที่สุด รองลงมาคือ วิธีขยายหน้าตัดเสา และวิธีเสริมผนังรับแรงเฉือน ตามลำดับ



รูป 5.39 เปรียบเทียบเส้นสมรรถนะของอาคารเดิมและเสริมกำลังโดยวิธีต่าง ๆ ในทิศ X-X

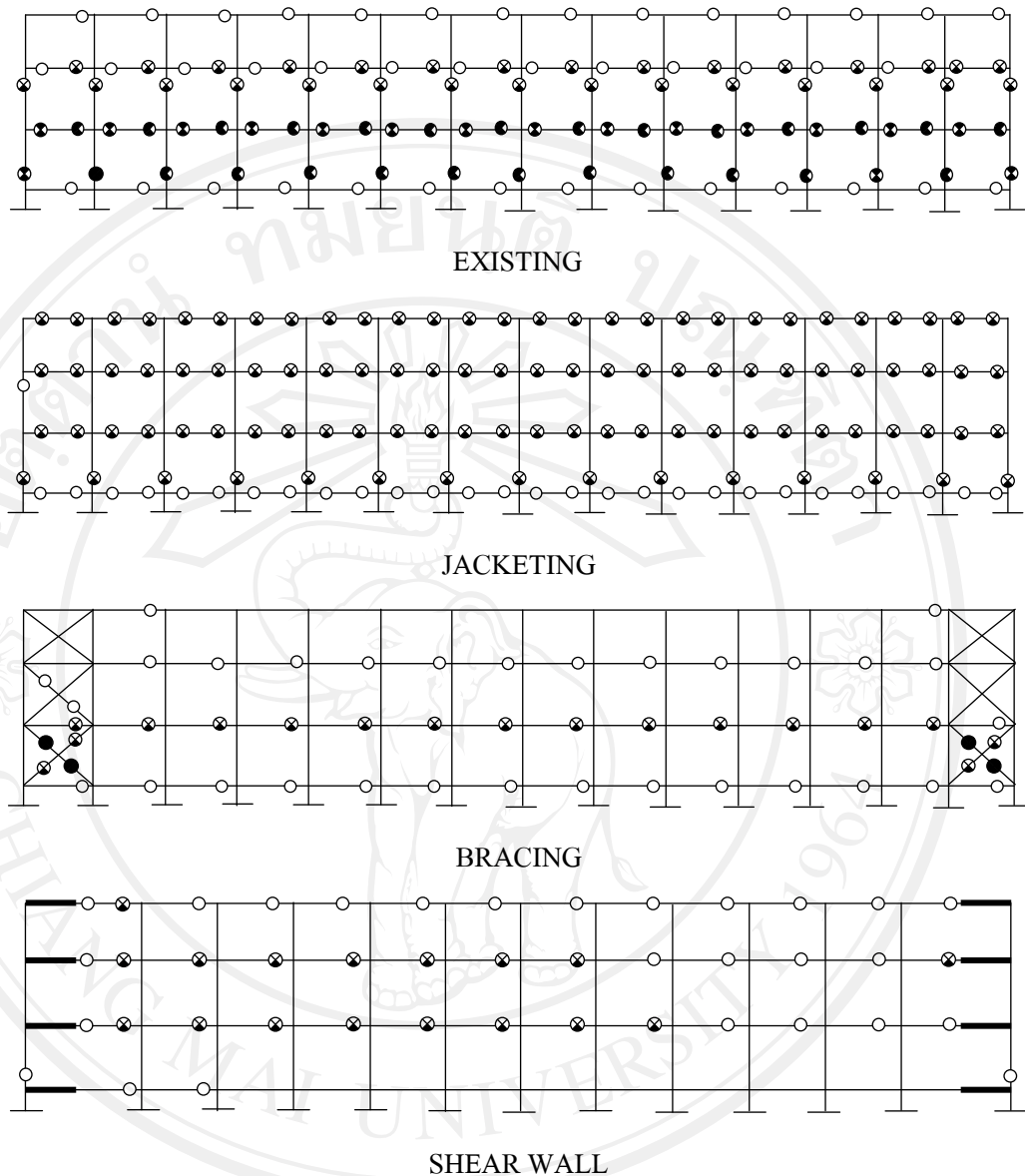
5.9.2 ลักษณะการเสียหาย

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคารก่อนและหลังทำการเสริมกำลัง ณ จุดพิกัดสมรรถนะจากรูป 5.40 เห็นได้ว่าอาคารมีความเสียหายที่น้อยลง จากเดิมความเสียหายเกิดที่เสาชั้นที่ 1 และคานชั้นที่ 2 ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ CP ถึง F สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยวิธี

ขยายระดับ IO และ Y บ้างเล็กน้อยในคานชั้นที่ 1 สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยค้ำยันแนวทแยง ความเสียหายส่วนมาเกิดขึ้นที่ค้ำยันซึ่งเกิดมากในค้ำยันและเสาชั้นที่ 1 ทั้งซ้ายและขวามีระดับความเสียหายอยู่ในระดับ F ส่วนโครงสร้างของอาคารที่ไม่เสริมค้ำยันส่วนมากเกิดความเสียหายระดับ Y ถึง IO เท่านั้น สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือนระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ Y และ IO เกิดขึ้นในคานและผนังรับแรงเฉือนเท่านั้นเกิดความเสียหายในระดับ Y และทำการเปรียบเทียบลักษณะการพังของอาคาร ณ พิกัดสมรณะ และจุดที่อาคารเกิดการวิบัติดังตาราง 5.2

ตาราง 5.3 ลักษณะการเสียหายของอาคารในทิศ X-X

Strengthening Building	Failure Mechanism at Ultimate	Failure Mechanism at Performance Point
EXISTING	เกิดความเสียหายของอาคารจะขึ้นในคานชั้นที่ 2 และเกิดการวิบัติในเสาชั้นที่ 1	เกิดความเสียหายของอาคารจะขึ้นในคานชั้นที่ 2 และเกิดการวิบัติในเสาชั้นที่ 1
JACKETING	เกิดการวิบัติทั้งในเสาและคาน โดยเกิดที่คานชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 1 ตามลำดับ	เกิดความเสียหายในเสาชั้นที่ 1 และคานชั้นที่ 1 2 3 และ 4 ระดับความเสียหายส่วนมากอยู่ในระดับ Immediate Occupancy
BRACING	เกิดการวิบัติขึ้นในเหล็กค้ำยันก่อน หลังจากนั้นจึงพังในคานชั้นที่ 2 และเสาชั้นที่ 1 ที่อยู่ระหว่างค้ำยัน	เกิดการวิบัติในเหล็กค้ำยันชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายในคานชั้นที่ 1 2 3 และ 4 ในระดับ Yield และ Immediate Occupancy
SHEARWALL	เกิดการวิบัติขึ้นในกำแพงรับแรงเฉือนชั้นที่ 1 และเกิดการวิบัติในคานชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3	เกิดความเสียหายในคานชั้นที่ 1 2 3 และ 4 และกำแพงรับแรงเฉือน ระดับความเสียหายอยู่ในระดับ Yield และ Immediate Occupancy

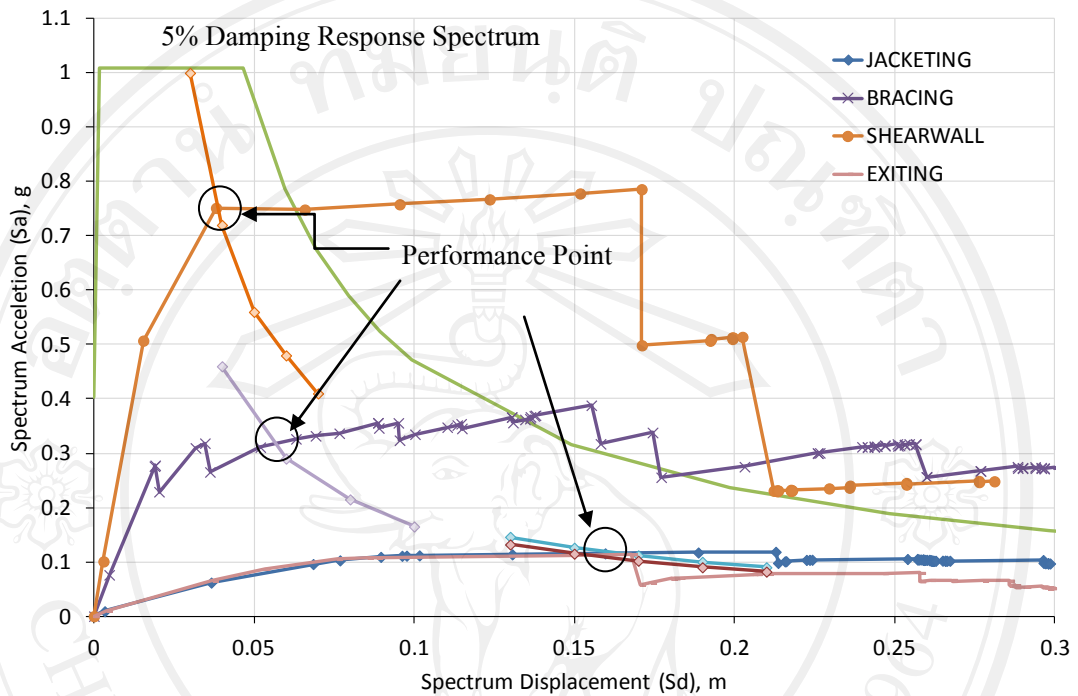


รูป 5.40 เปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของอาคาร ณ พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ X-X

5.9.3 พิกัดสมรรถนะของอาคาร

จากรูป 5.22 พิกัดสมรรถนะของอาคารที่เสริมด้วยค้ำยัน และเสริมผนังรับแรงเฉือน จากสเปกตรัมการตอบสนองต้องการตัดกับสเปกตรัมสมรรถนะ ก่อนจุดสูงสุดของสเปกตรัมสมรรถนะนั้นถือว่าอาคารมีสมรรถนะที่ดี และยังเหลือกำลังสำรองอีก 17.52% และ 4.45% ของกำลังทั้งหมดที่อาคารสามารถรับได้ถือว่าอาคารอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ส่วน การเสริมกำลังแบบขยายหน้าตัดเสา พิกัดสมรรถนะอยู่หลังจุดสูงสุดของสเปกตรัมสมรรถนะทำให้อาคารไม่ปลอดภัยจากแรง

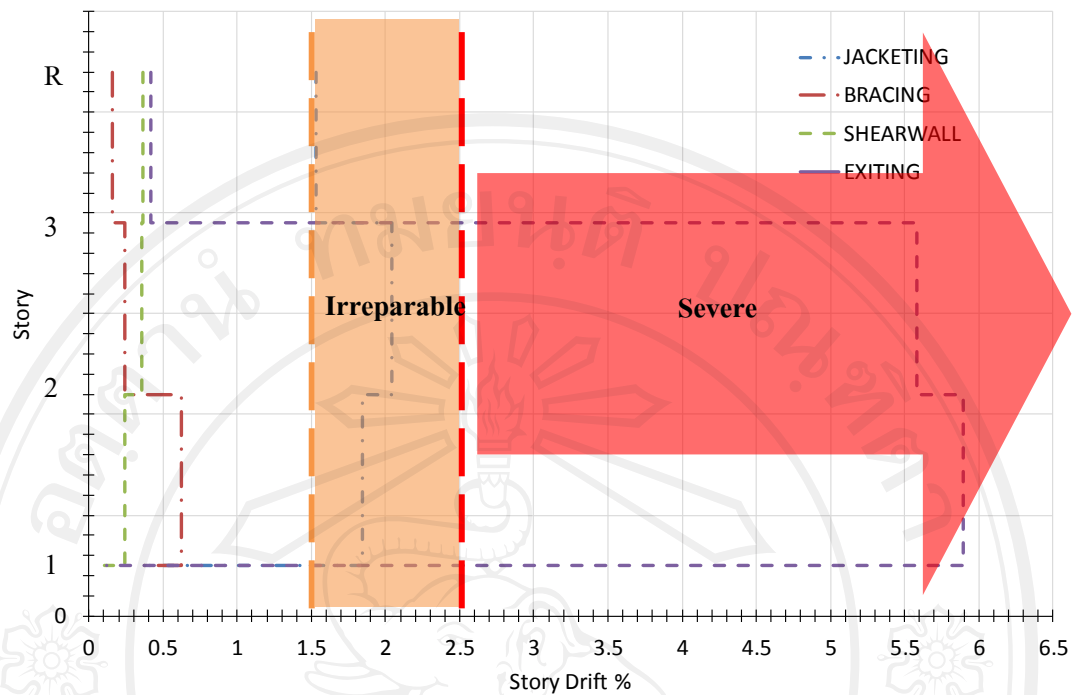
แผ่นดินไหวดังนั้นควรจะเพิ่มหน้าตัดเสาในทิศ X-X ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้ความสามารถรับแรงแผ่นดินไหวได้ปลอดภัยขึ้น



รูป 5.41 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอาคารในทิศ X-X

5.9.4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

จากรูป 5.42 เห็นได้ว่าหลังจากเสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ ทำให้อาคารมีสมรรถนะในการรับแรงแผ่นดินไหวดีขึ้นทำให้การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคารดีขึ้นเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4.1 อาคารที่เสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือนนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยและยังสามารถซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยค้ำยันแนวทแยงนั้นยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเช่นกัน สำหรับเสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสานั้นเมื่อเทียบกับตาราง 4.1 นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่อาคารเสียหายรุนแรงมีสภาพที่ใกล้จะพังทลายไม่สามารถซ่อมแซมได้ แต่เมื่อดูจากลักษณะความเสียหายของหน้าตัดพลาสติกแล้วนั้นแสดงให้เห็นว่าระดับความเสียหายยังอยู่ในระดับ Y และ IO ซึ่งหมายถึงอาคารยังสามารถใช้งานได้ แต่เมื่อมาเปรียบเทียบกับผลของอาคารที่ยังไม่ได้เสริมกำลังจะเห็นได้ว่าเกิดความเสียหายมากถึงระดับ F จากผล 3 อย่างที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยวิธีเสริมกำแพงรับแรงเฉือนสำหรับด้าน X-X นั้นทำให้อาคารมีกำลังและความเหนียวมากขึ้นจึงทำให้อาคารมีความสามารถในการเคลื่อนที่ทางด้านข้างมากขึ้น



รูป 5.42 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ณ พิกัดสมรรถนะของอาคารในทิศ X-X