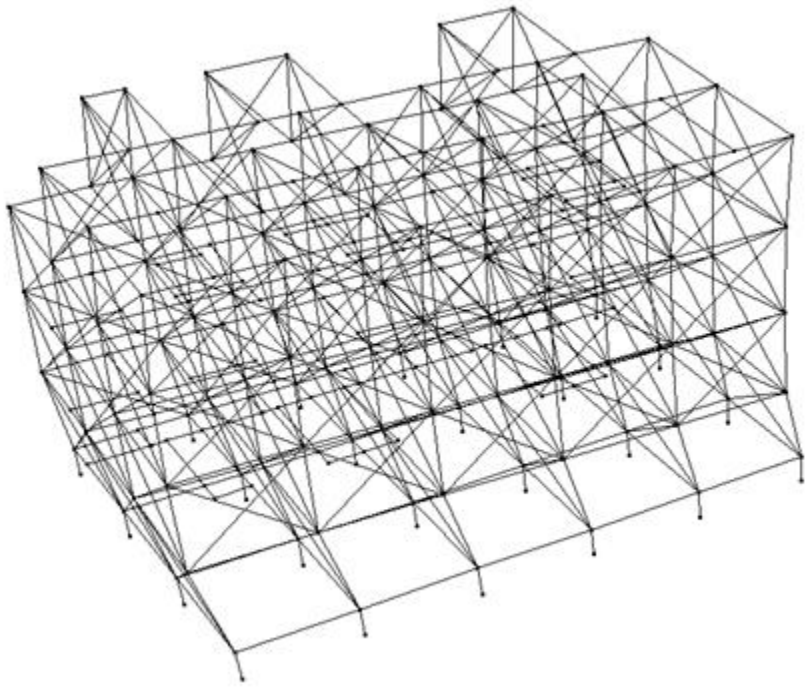
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์

5.1 โหมดการสั่น

การวิเคราะห์โหมดการสั่นของโครงสร้าง (Mode Shape) จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Perform 3D เพื่อหารูปแบบการเคลื่อนที่ และคาบการสั่นธรรมชาติ ผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 5.1 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของโครงสร้างดังรูปที่ 5.1-2

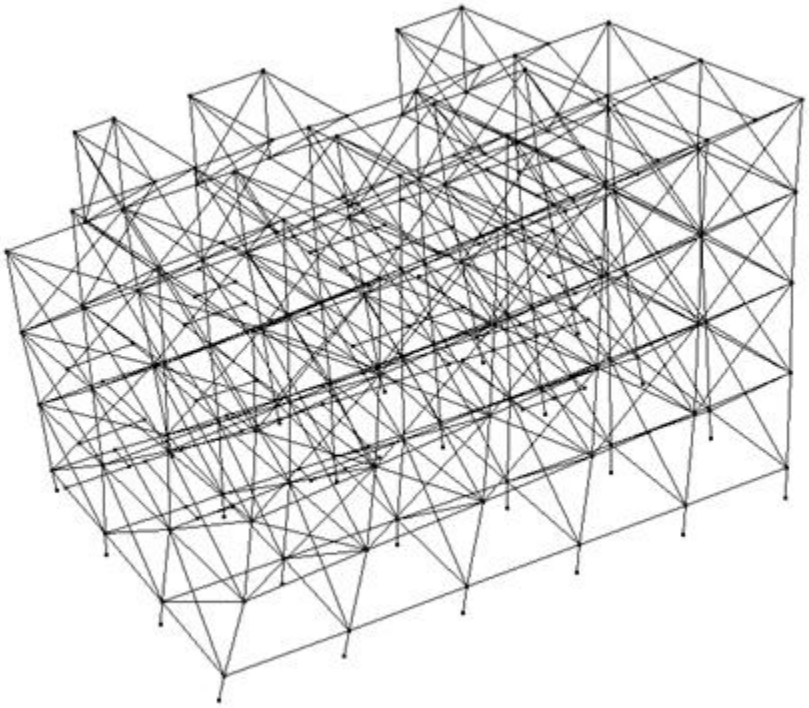
ตารางที่ 5.1 โหมดการสั่นของโครงสร้างด้วยโปรแกรม Perform 3D

โหมดการสั่น	คาบการสั่น (วินาที)	ทิศทาง
โหมดที่ 1	0.467	ตามยาว (H1)
โหมดที่ 2	0.301	โครงสร้างบิด
โหมดที่ 3	0.295	ตามขวาง (H2)
โหมดที่ 4	0.143	ตามยาว (H1)
โหมดที่ 5	0.104	โครงสร้างบิด

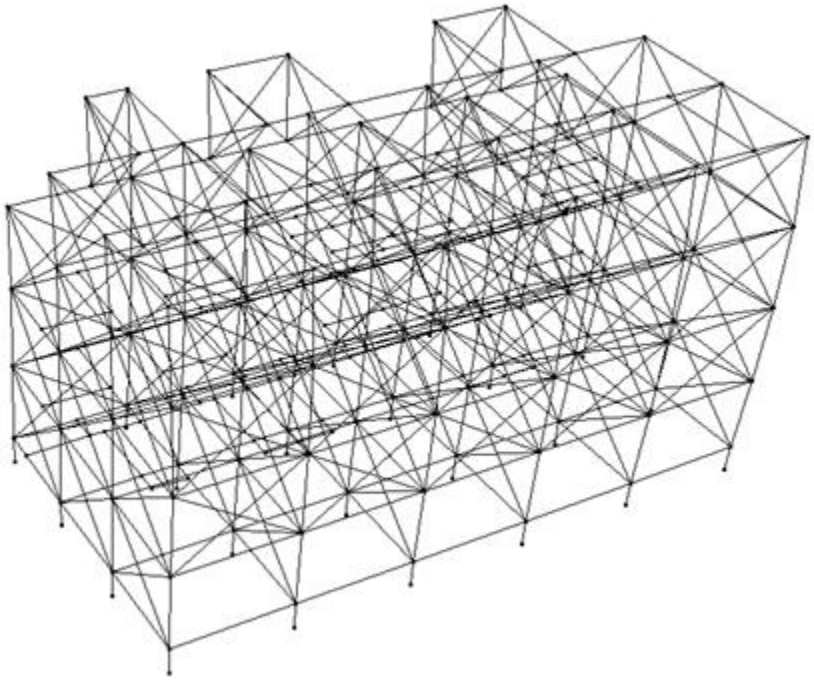


ก) โหมดการสั่นของโครงสร้างโหมดที่ 1

รูปที่ 5.1-1 รูปแบบการสั่นของโครงสร้างในโหมดการสั่นต่างๆ

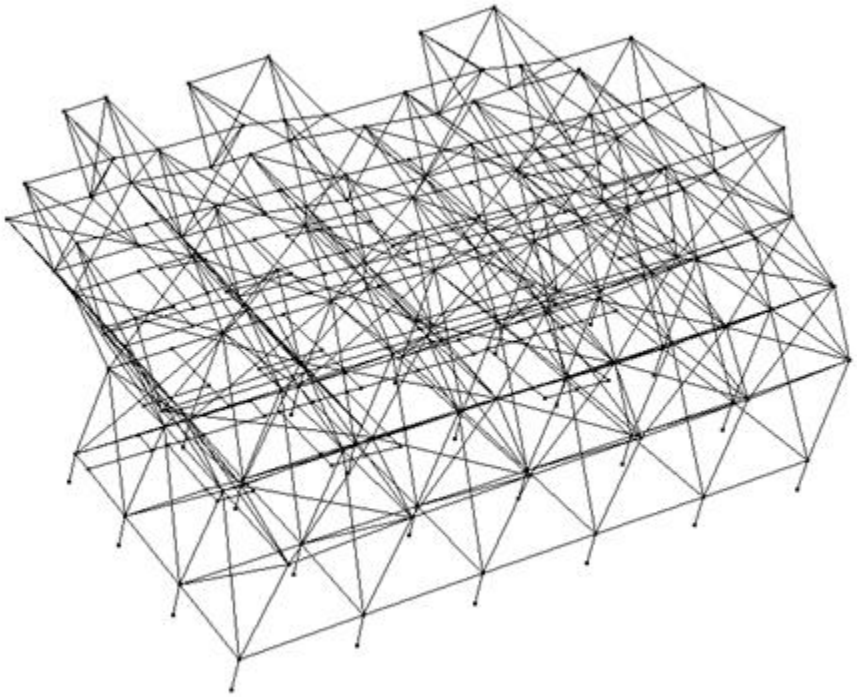


ข) โหมดการสั่นของโครงสร้างโหมดที่ 2

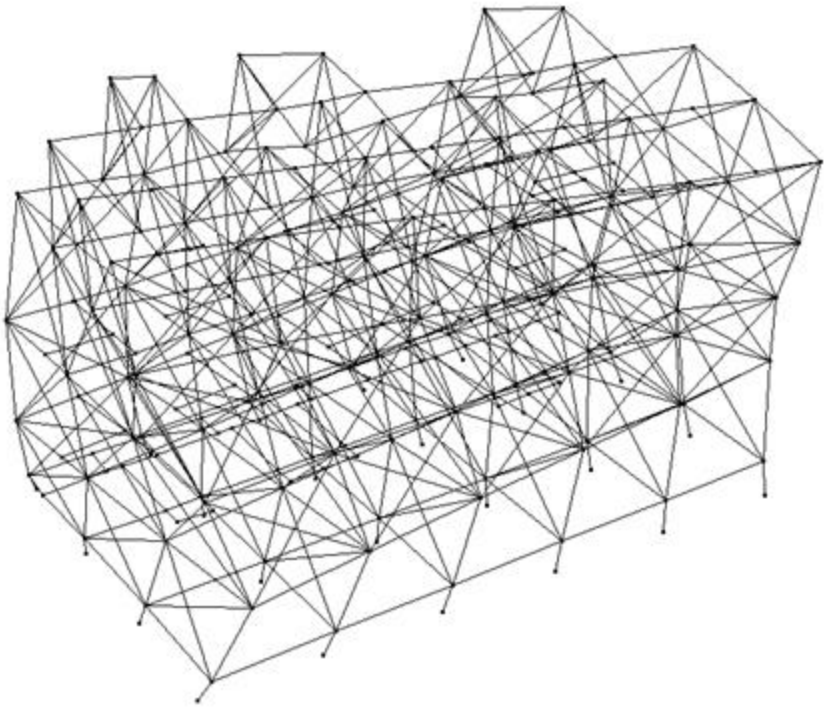


ค) โหมดการสั่นของโครงสร้างโหมดที่ 3

รูปที่ 5.1-1 รูปแบบการสั่นของโครงสร้างในโหมดการสั่นต่างๆ (ต่อ)



ง) โหมดการสั่นของโครงสร้างโหมดที่ 4

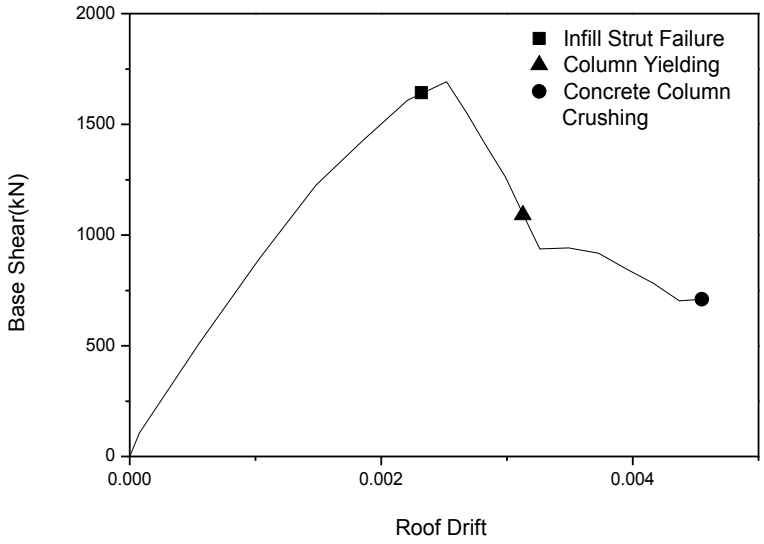


จ) โหมดการสั่นของโครงสร้างโหมดที่ 5

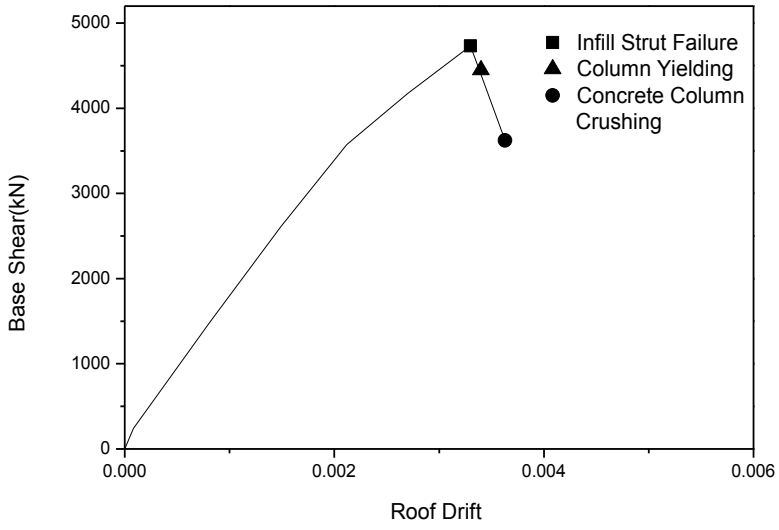
รูปที่ 5.1-1 รูปแบบการสั่นของโครงสร้างในโหมดการสั่นต่างๆ (ต่อ)

5.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น

การวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้นจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับการเคลื่อนตัวสำหรับทิศทางตามยาวและสั้นของอาคาร ดังรูปที่ 5.2-1 ผลการวิเคราะห์พบว่าในช่วงแรกก่อนที่ผนังจะเกิดการแตกร้าว อาคารจะมีพฤติกรรมเกือบจะเป็นแบบเชิงเส้น และกำลังรับแรงจะตกลงอย่างรวดเร็วหลังจากที่กำแพงเกิดการวิบัติในชั้นล่างของอาคาร และนำไปสู่การรวมความเสียหาย (Damage Concentration) ที่เสาชั้นล่างในรูปแบบชั้นอ่อน (Soft Story) จนเสาเกิดการวิบัติจากค่าความเครียดในของคอนกรีตที่มีค่าเกินค่าความเครียดวิบัติ



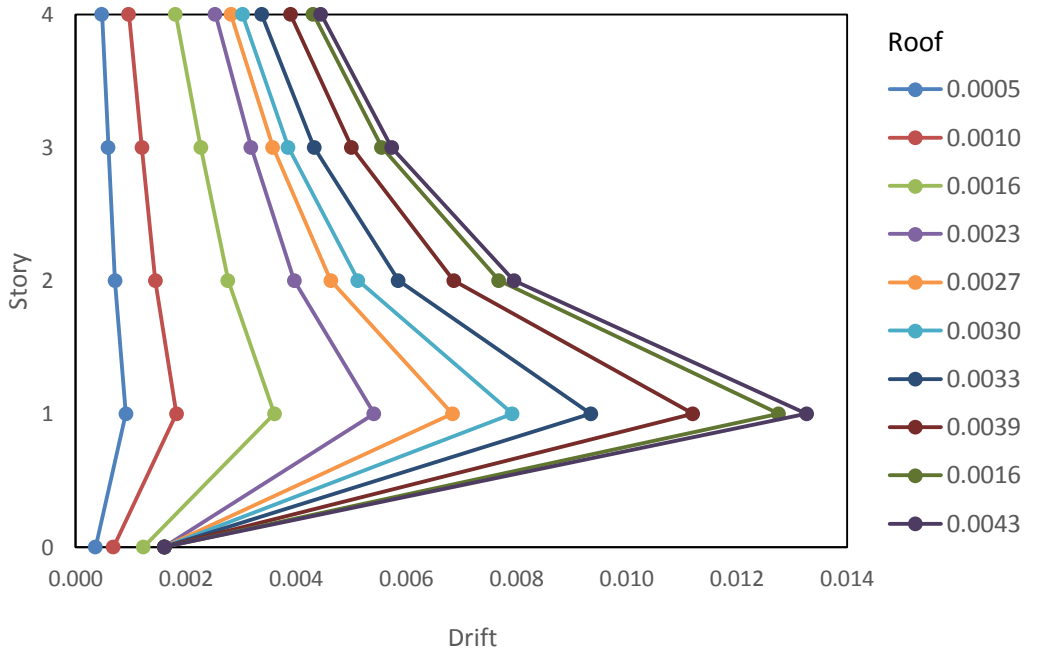
ก) ทิศทางตามยาว (H1)



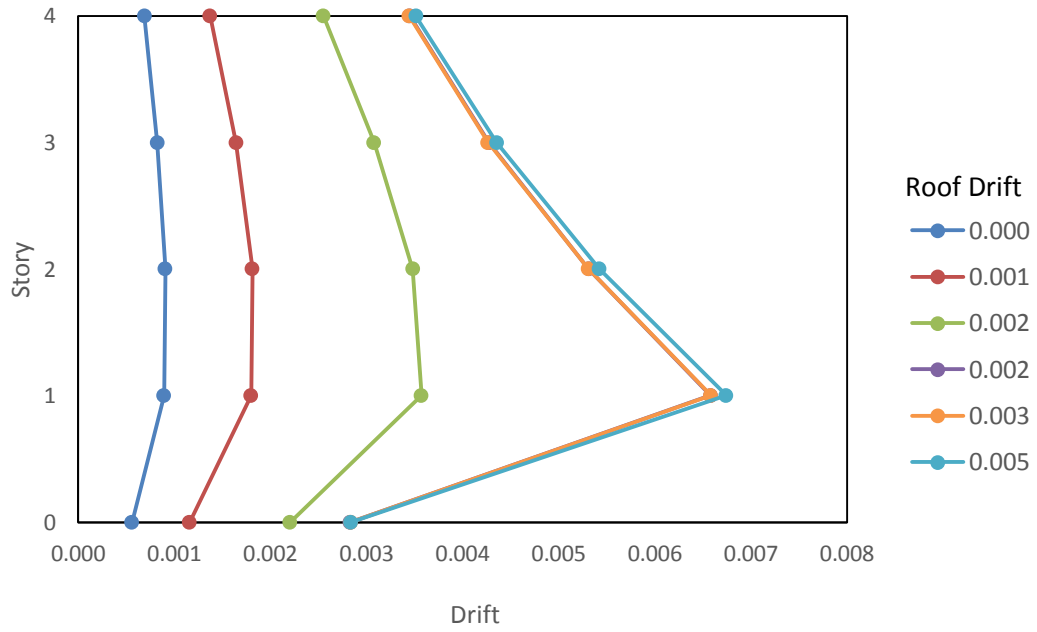
ข) ทิศทางตามขวาง (H2)

รูปที่ 5.2-1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้นของอาคาร

เมื่อนำค่าการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น (Interstory Drift) ที่การเคลื่อนที่ชั้นหลังคา (Roof Drift) ค่าต่างๆ มาแสดงเป็นกราฟ จะได้ดังรูปที่ 5.2-2 ค่า Roof Drift เป็นค่าที่แสดงค่าการเสียรูปเฉลี่ยของอาคาร โดยหาได้จากการนำค่าการเคลื่อนตัวที่ชั้นหลังคาหารด้วยความสูงทั้งหมดของอาคาร จากรูปจะพบว่าเมื่อระยะการเคลื่อนตัวของ Roof Drift เพิ่มขึ้น การเคลื่อนตัวของชั้นล่างจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับชั้นอื่นๆ ซึ่งเป็นลักษณะความเสียหายในรูปแบบชั้นอ่อน



ก) ทิศทางตามยาว (H1)

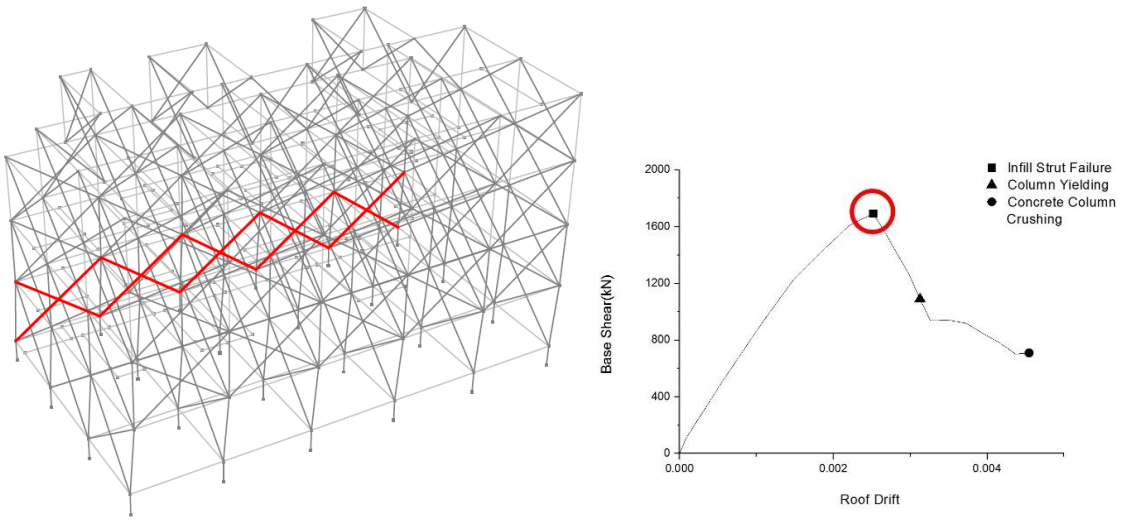


ข) ทิศทางตามขวาง (H2)

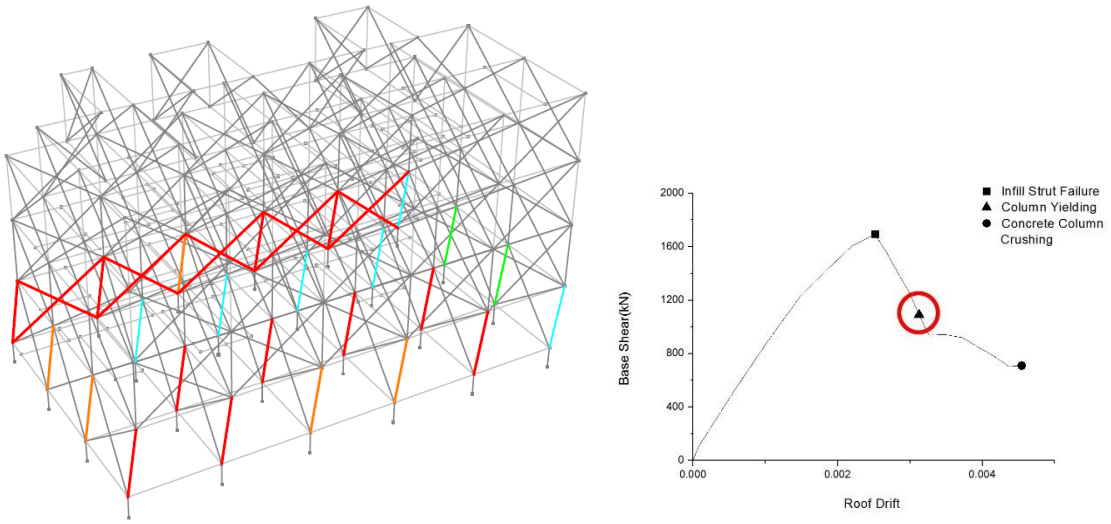
รูปที่ 5.2-2 กราฟการเคลื่อนที่สัมพันธ์แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น

ตัวอย่างลักษณะการเกิดความเสียหายในทิศทางตามยาว (H1) แสดงอยู่ในรูปที่ 5.2-3 ถึง 5.2-5 ความเสียหายจะเกิดขึ้นที่ผนังอิฐก่อก่อนเป็นอันดับแรกที่ระยะการเคลื่อนตัว Roof Drift ประมาณ 0.002 เมื่อผนังอิฐก่อเกิดการแตกร้าว ส่งผลให้กำลังของอาคารมีค่าลดลง จากนั้นเหล็กเสริมในเสาจะเริ่มคราก และในที่สุดเสาคอนกรีตเกิดการวิบัติ ที่การเคลื่อนตัวประมาณ 0.004

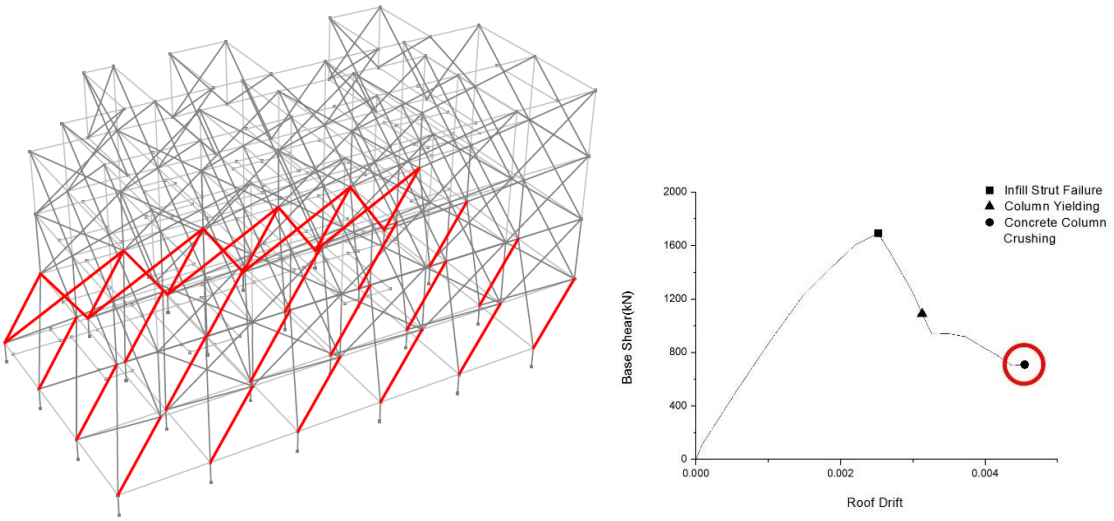
โดยรวมจะพบว่าอาคารมีความสามารถในการเสียรูปที่ค่อนข้างต่ำ จากการตรวจสอบเพิ่มเติมพบว่าสาเหตุที่สำคัญมาจากที่เสาในชั้นล่างสุด มีขนาดแรงในแนวแกนสูงเมื่อเทียบกับขนาดหน้าตัด ทำให้ความสามารถในการเสียรูปต่ำมาก โดยภาพความเสียหายจะแสดงในรูปที่ 5.2-6 และรูปที่ 5.2-7



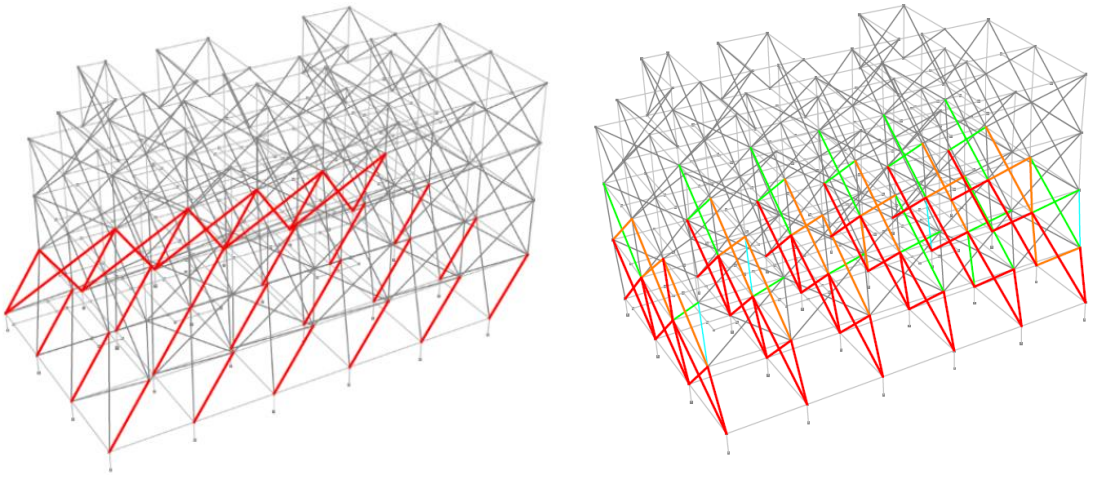
รูปที่ 5.2-3 ลำดับความเสียหายของอาคารจากการวิเคราะห์แสดงความเสียหายที่กำแพงอิฐก่อ



รูปที่ 5.2-4 ลำดับความเสียหายของอาคารจากการวิเคราะห์แสดงตำแหน่งการครากที่เหล็กเสริมในเสาอาคาร

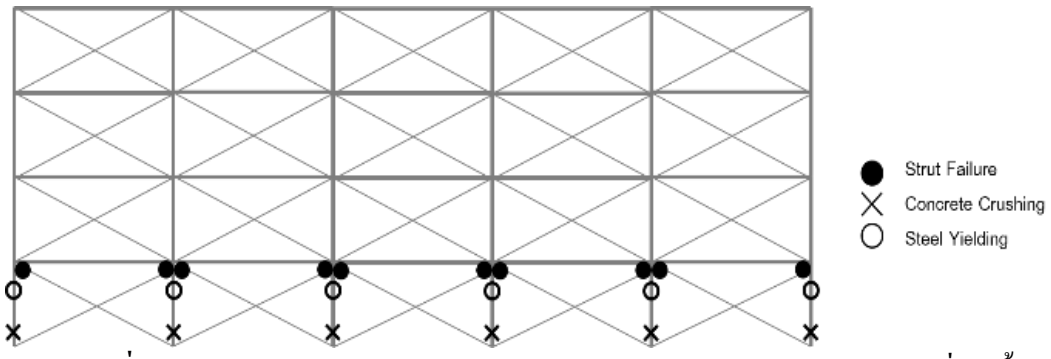


รูปที่ 5.2-5 ลำดับความเสียหายของอาคารจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Pushover Analysis) อาคารเกิดการวิบัติ



ก) ทิศทางตามยาว (H1) **ข)** ทิศทางตามขวาง (H2)

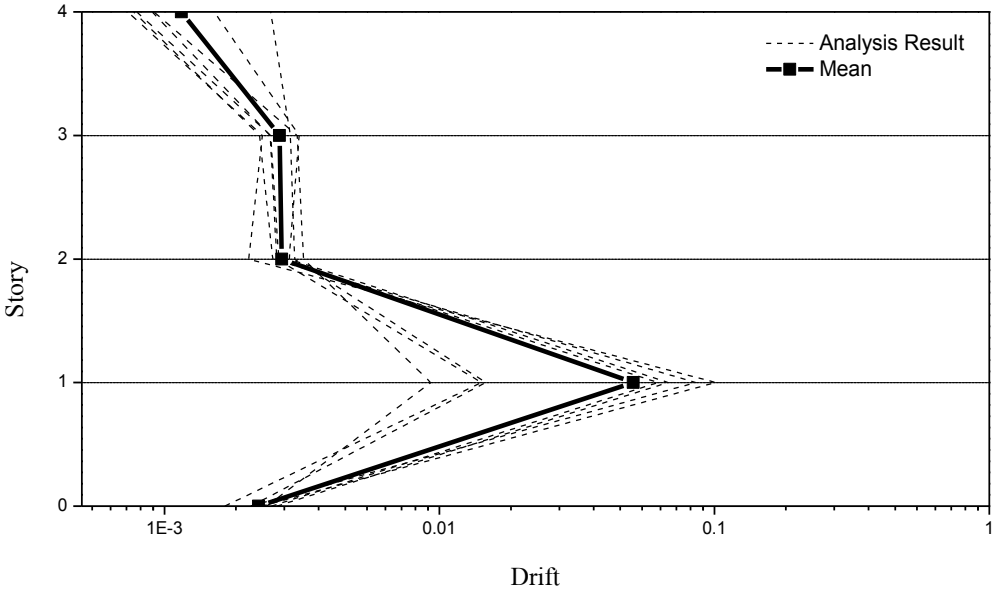
รูปที่ 5.2-6 ภาพความเสียหายของอาคารที่เกิดขึ้น



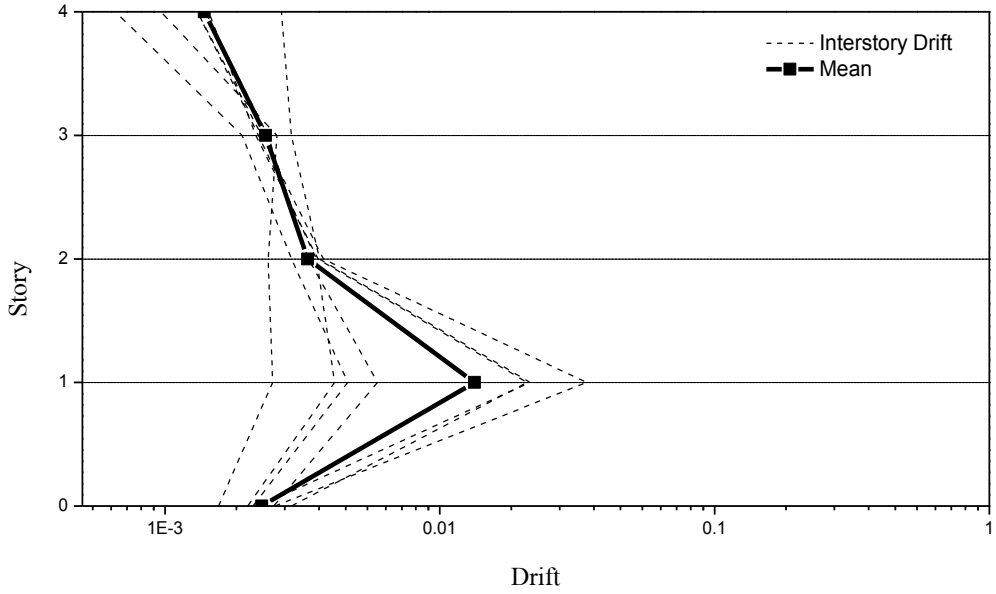
รูปที่ 5.2-7 ตัวอย่างภาพตัดขวางอาคารแสดงลักษณะความเสียหายของอาคารที่เกิดขึ้น

5.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา

การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ใช้คลื่นแผ่นดินไหว 3 ระดับความรุนแรง คือ ระดับรุนแรงน้อยถึงปานกลาง อาศัยตัวอย่างที่ อ.เมือง จ.กำแพงเพชร ระดับรุนแรงปานกลางถึงสูง อาศัยตัวอย่างที่ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี และระดับรุนแรงสูงถึงสูงมาก อาศัยตัวอย่างที่ อ.วังชิ้น จ.แพร่ โดยใช้จำนวนคลื่นระดับความรุนแรง 7 ชุดคลื่น แต่ละชุดคลื่นจะมีคลื่นเป็นคู่ในสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ผลการวิเคราะห์ในรูปค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น แสดงในรูปที่ 5.3-1 ถึง 5.3-3

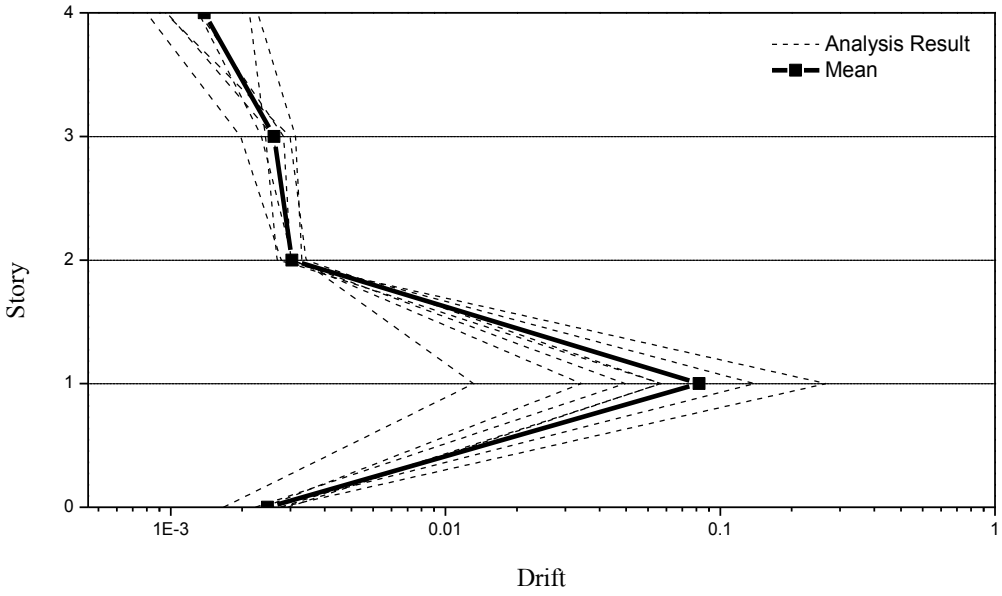


ก) ทิศทางตามยาว (H1)

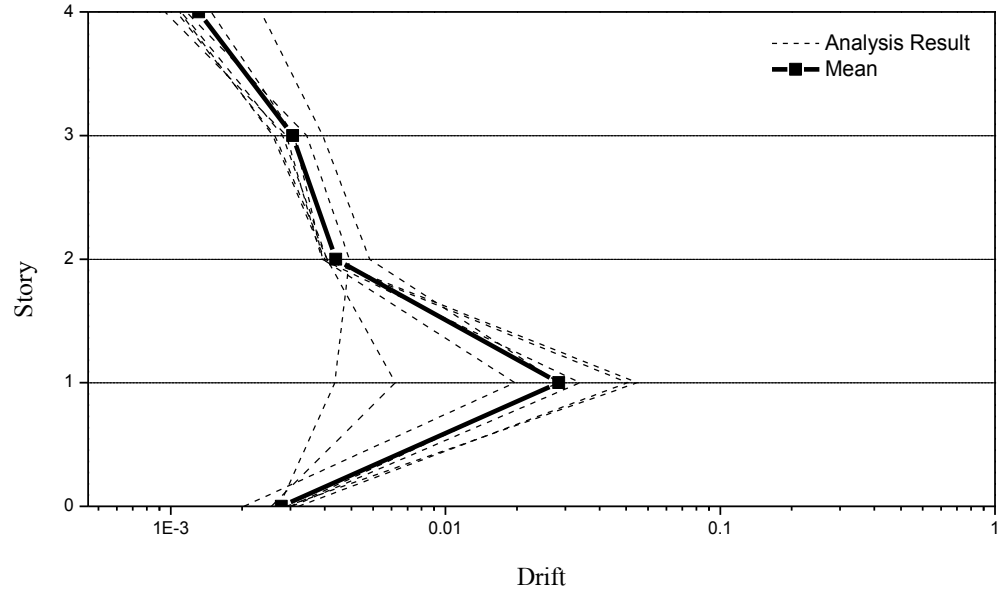


ข) ทิศทางตาม(H2)

รูปที่ 5.3-1 ค่าผลตอบสนองของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เฉลี่ยระหว่างชั้นของอาคาร อ.เมือง จ.กำแพงเพชร

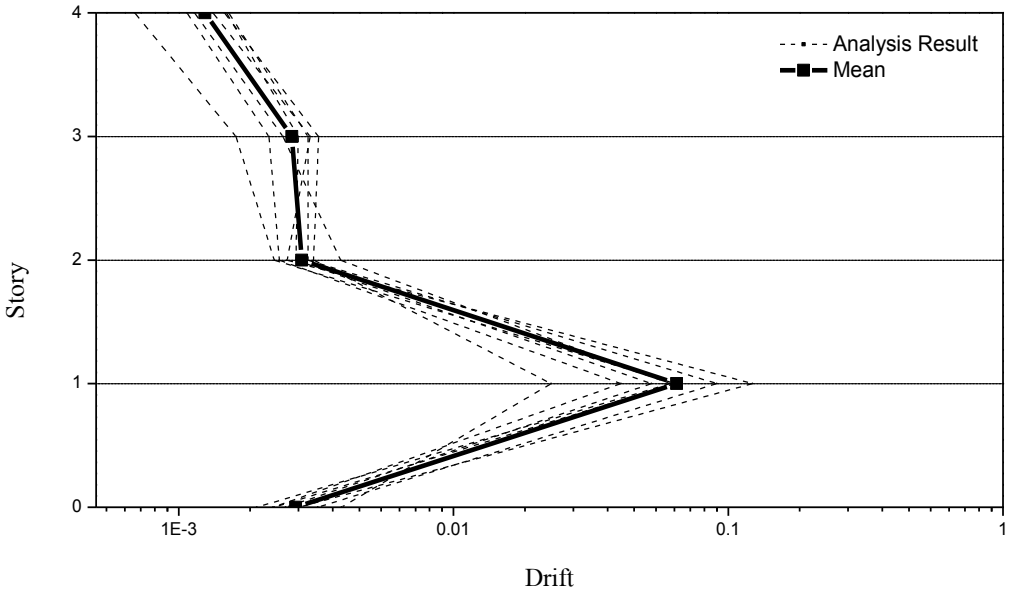


ก) ทิศทางตามยาว (H1)

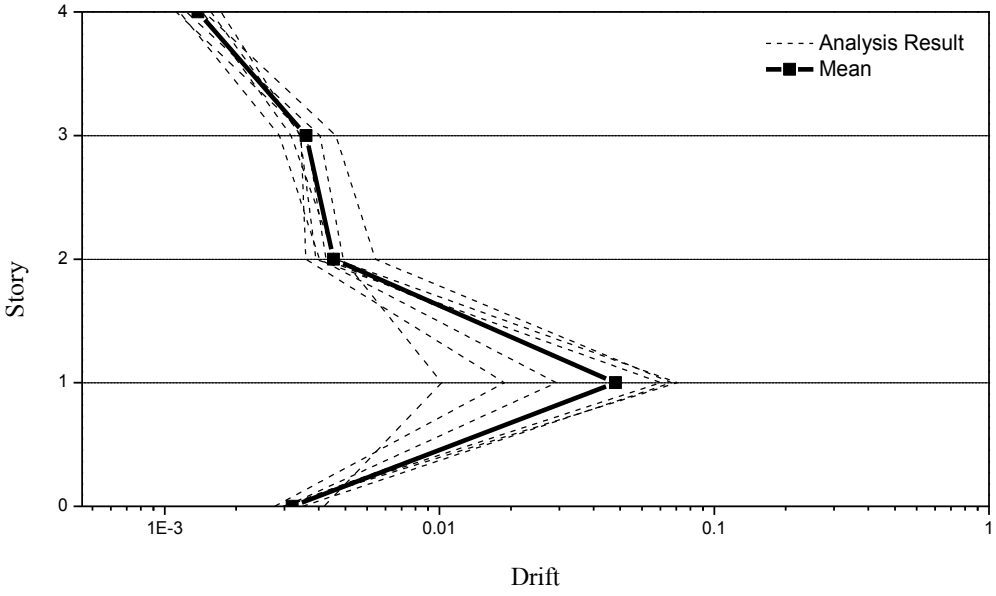


ข) ทิศทางตาม(H2)

รูปที่ 5.3-2 ค่าผลตอบสนองของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เฉลี่ยระหว่างชั้นของอาคาร อ.เมือง จ.กาญจนบุรี



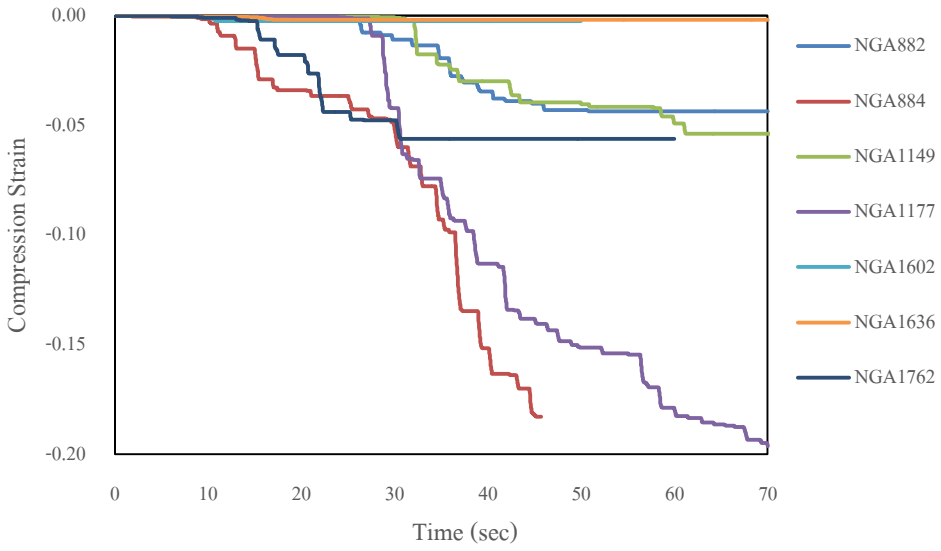
ก) ทิศทางตามยาว (H1)



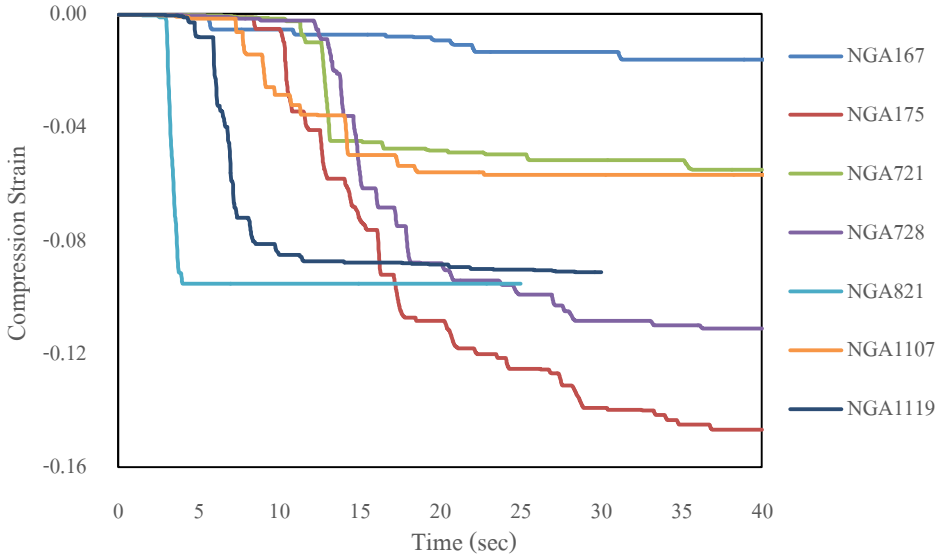
ข) ทิศทางตาม(H2)

รูปที่ 5.3-3 ค่าผลตอบสองของค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร อ.วังชิ้น จ.แพร่

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ ได้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น กล่าวคือ มีการเสียรูปมากที่ชั้นล่างสุด ในรูปของชั้นอ่อน (Soft Story) และพบการวิบัติในเสา จากการตรวจค่าความเครียดที่เกิดในเสา (Max fiber compression strain) ดังแสดงในรูปที่ 5.3-4 จะพบว่าในทุกระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว จะมีการวิบัติเกิดขึ้น โดยมีค่าความเครียดเกินค่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีตและเหล็กเสริม และค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในหลายๆ คลื่นมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่เสาอาคารเกิดการวิบัติขึ้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิตไม่เชิงเส้น ซึ่งหมายความว่าภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ระดับความรุนแรงทั้งสาม อาคารจะมีโอกาสเกิดการวิบัติ

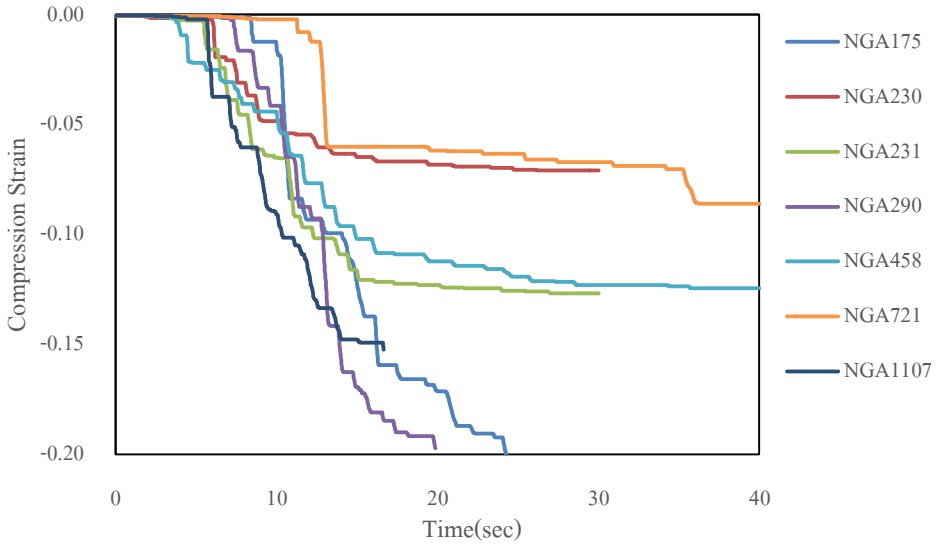


ก) อ.เมือง จ.กำแพงเพชร (ระดับความรุนแรงน้อย - ปานกลาง)



ข) อ.เมือง จ.กาญจนบุรี (ระดับความรุนแรงปานกลาง – สูง)

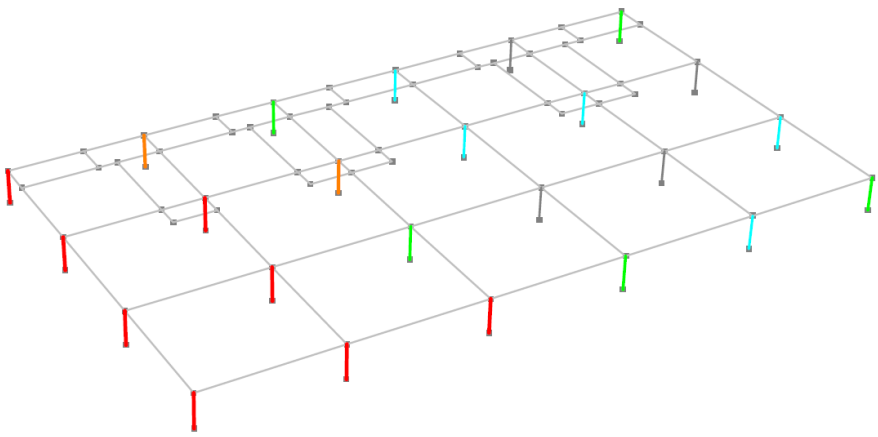
รูปที่ 5.3-4 ค่าความเครียดกับเวลาของเสาอาคารจากการวิเคราะห์โครงสร้าง



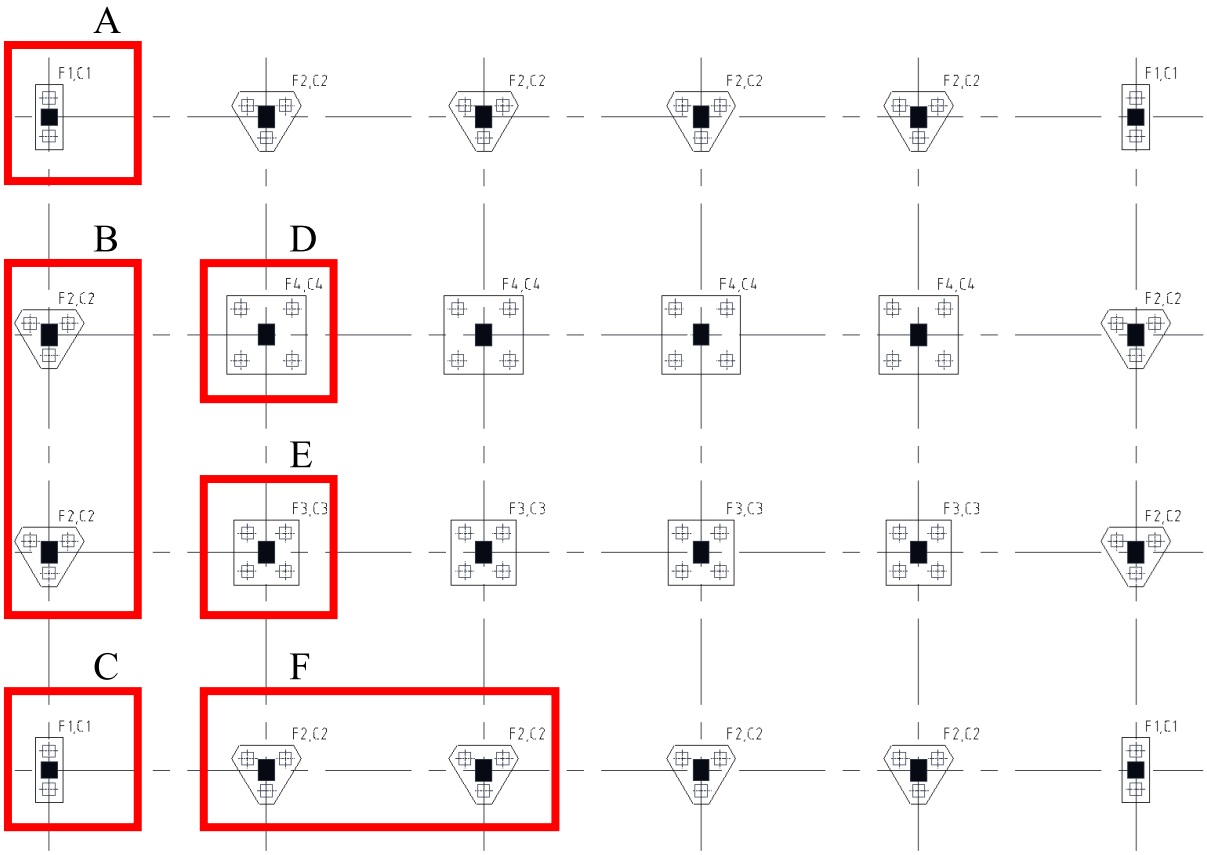
ค) อ.วังชิ้น จ.แพร่ (ระดับความรุนแรงสูง – สูงมาก)

รูปที่ 5.3-4 ค่าความเครียดกับเวลาของของคอนกรีตเสาภายในอาคารจากการวิเคราะห์โครงสร้าง (ต่อ)

นอกจากความเสียหายที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังพบความเสียหายอื่นที่เกิดขึ้น เช่นการวิบัติในตอม่อ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในตอม่อที่อยู่บริเวณริมอาคารด้านใดด้านหนึ่ง (รูปที่ 5.3-5 และ 5.3-6) ซึ่งอาจเป็นเพราะความไม่สมมาตรของอาคารในแนวยาว จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ความไม่สมมาตรกันของอาคารเพียงเล็กน้อยดังเช่นที่พบในอาคารตัวอย่าง อาจส่งผลกระทบมากกว่าที่คาดคิดภายใต้การเคลื่อนตัวในช่วงไม่เชิงเส้น



รูปที่ 5.3-5 ตำแหน่งความเสียหายของตอม่อ ตัวอย่าง อ.วังชิ้น จ.แพร่



รูปที่ 5.3-6 ภาพแสดงตำแหน่งความเสียหายของตอม่อเนื่องจากแรงเฉือน

ในส่วนของการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน การตรวจสอบความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน(Shear Failure) ที่หน้าตัดของตอม่อ และเสาชั้นที่ 1 ทำโดยเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัด (V_n) สำหรับการประเมินอาคารที่มีการก่อสร้างแล้ว จะใช้วิธีการประมาณกำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธีของ ATC-40 [7] ตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0.29 \cdot \lambda \cdot \left(k + \frac{P}{14A_g} \right) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{0.6 \cdot s}$$

ผลการวิเคราะห์ตอม่อของโครงสร้างอาคารด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นแบบประวัติเวลา พบว่าอาคารมีโอกาสเกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือนภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ระดับความรุนแรงทั้งสามมากน้อยแตกต่างกัน โดยที่ความรุนแรงสูงถึงสูงมาก ตัวอย่างคลื่น จ.แพร่ ตอม่อมีโอกาสเกิดความเสียหายจากแรงเฉือนร่วมกับการเกิดการวิบัติเนื่องจากความเครียดในแนวแกน (Concrete Crushing) ในตำแหน่งที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.3-5 สำหรับที่ระดับความรุนแรงปานกลางถึงสูง ตัวอย่างคลื่น จ.กาญจนบุรี ตอม่อที่ตำแหน่ง A ถึง F ตามรูปที่ 5.3-6 จะมีโอกาสเกิดการวิบัติจากแรงเฉือนด้วย ตัวอย่างเช่นที่ตำแหน่ง A

จะมีการวิบัติขึ้น 4 คลื่นจากทั้งหมด 7 คลื่น และที่ระดับความรุนแรงน้อยถึงปานกลาง ตัวอย่างคลื่น จ. กำแพงเพชร ตอม่อที่ตำแหน่ง A และ C จะมีโอกาสเกิดการวิบัติจากแรงเฉือนที่ 4 คลื่นจาก 7 คลื่น ตำแหน่ง B จะเกิดการวิบัติ 6 คลื่นจากทั้งหมด 7 คลื่น