บทที่ 1

บทนำ

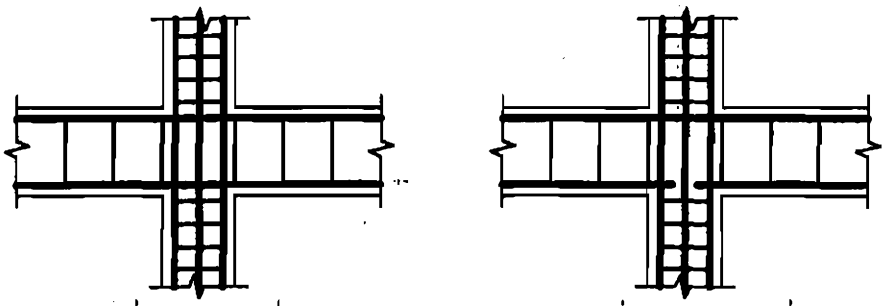
พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในอดีตที่ผ่านมา การศึกษาเรื่องผลกระทบของแผ่นดินไหวต่ออาคารโครงสร้างในประเทศไทยมีการศึกษาที่ค่อนข้างน้อยอันเนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ความเชื่อที่ว่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นภายในประเทศมีความรุนแรงไม่มากและโอกาสการเกิดแผ่นดินไหวมีน้อย แต่หลังจากเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่หลายครั้งในต่างประเทศเช่น แผ่นดินไหวที่เม็กซิโก และโกเบ และการที่ประเทศไทยเริ่มได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมากขึ้น ทำให้มีการตื่นตัวและเริ่มศึกษาเรื่องแผ่นดินไหวมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการกำหนดให้การออกแบบอาคารต้องสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้ในระดับหนึ่งสำหรับพื้นที่ตอนบนของประเทศ ในส่วนของผลกระทบของแผ่นดินไหวที่เห็นได้อย่างชัดเจน ได้แก่ผลกระทบต่ออาคารโครงสร้าง เช่น การเกิดรอยร้าว การทรุดตัว ของอาคารโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพังทลายของโครงสร้าง ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวภายใต้แรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหว และความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างของโครงสร้างเหล่านั้น ในส่วนของงานวิจัยทางด้านนี้ได้มีการนำเสนอบ้างในต่างประเทศ แต่เนื่องจากการก่อสร้างและลักษณะของแผ่นดินไหวของต่างประเทศและประเทศไทยค่อนข้างแตกต่างกัน กล่าวคือการเสริมเหล็กรับแรงดึงในคานของต่างประเทศไม่ต่อเนื่องทำให้เหล็กถูกดึงหลุดได้ (Pullout) แต่การเสริมเหล็กดังกล่าวของประเทศไทยมีความต่อเนื่องโดยตลอดทำให้ไม่มีพฤติกรรมแบบดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 1.1 ในส่วนของลักษณะของแผ่นดินไหว ถึงแม้กรุงเทพมหานครจะไม่ใช่ศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว แต่ก็รับผลการสั่นไหวจากแผ่นดินไหวที่เกิดที่ระยะไกล และโดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะดินของกรุงเทพมหานครเป็นดินอ่อนซึ่งมีความสามารถขยายคลื่นแผ่นดินไหวได้ การเกิดแผ่นดินไหวที่เม็กซิโกเมื่อปี ค.ศ. 1985 เป็นตัวอย่างที่ชัดเจน กล่าวคือเกิดแผ่นดินไหวที่ระยะห่างจากเม็กซิโกประมาณ 400 กิโลเมตรแต่ส่งผลให้เกิดการสั่นไหวขึ้นและทำลายชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก สาเหตุสำคัญคือดินที่เม็กซิโกเป็นดินอ่อนจึงขยายขนาดของคลื่นให้สูงขึ้นโดยทำให้ความถี่ของคลื่นมีค่าต่ำลงจนมีค่าใกล้เคียงความถี่ธรรมชาติของตึกส่วนใหญ่ ทำให้เกิดการกำทอนเป็นผลให้โครงสร้างพังทลายลง นอกจากนี้ยังมีช่วงเวลาการสั่นไหวนานขึ้น

ในงานวิจัยนี้นอกจากจะศึกษาพฤติกรรมภายใต้แผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วยังศึกษาการปรับปรุงอาคารดังกล่าวด้วยโดยการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าไว้ที่ชั้นบนสุดของอาคาร ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตพบว่ามวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้ค่อนข้างดี แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมานั้นเป็นการวิเคราะห์อาคารที่มีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่น และถ้าหากเป็นการวิเคราะห์อาคารที่มีพฤติกรรมเป็นแบบไม่ยืดหยุ่นก็จะจำลองอาคารตัวอย่างให้เป็นโครงสร้างเป็นแบบง่ายๆ โดยจำลองอาคารให้เป็นโครงสร้างรับแรงเฉือน (Shear building) ที่มีพฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่นเป็นแบบเส้นตรงสองเส้น (Bilinear) ที่มีค่าสติฟเนสต่างกัน หรือการจำลองให้เป็นแบบเป็นอีลาสโตพลาสติก (Elasto-plastic)

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตงานวิจัย



รูปที่ 1.1(ก) ต่อเนื่อง รูปที่ 1.1(ข) ไม่ต่อเนื่อง

รูปที่ 1.1 ลักษณะการเสริมเหล็กรับแรงดึงในคาน

1.1 งานวิจัยในอดีต

การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แผ่นดินไหวได้มีการศึกษากันมานานแล้วในต่างประเทศโดยเฉพาะบริเวณที่พบว่ามีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวหรือบริเวณที่มีประชากรเป็นจำนวนมาก ทั้งในกรณีอาคารออกแบบรับแรงแผ่นดินไหวและไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว แต่ในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหวเนื่องจากเป็นอาคารส่วนมากในประเทศไทยและมีความต้านทานแผ่นดินไหวที่ต่ำ โอกาสที่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากแผ่นดินไหวก็สูง นอกจากนั้นในเรื่องการปรับปรุงอาคารเพื่อให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้มากขึ้นก็มีการทำกันในหลายลักษณะ เช่นการติดตั้งตัวหน่วง (Damper) เข้าไปในอาคารเพื่อช่วยสลายพลังงานที่เกิดขึ้น และการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า โดยเฉพาะวิธีหลังนี้ได้ประยุกต์มาจากการใช้ในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากแรงลม และพบว่าให้ผลค่อนข้างดีในการช่วยลดการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากแผ่นดินไหว ในประเทศไทยพบว่ามีการศึกษาในเรื่องนี้ค่อนข้างน้อยและเป็นแบบจำลองโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ในต่างประเทศพบว่ามีการศึกษากันมานานแล้วและนำเสนอเป็นผลงานวิจัยได้ ดังนี้

1.1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเนื่องจากแผ่นดินไหวโดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม

Kunnath และคณะ (1995a) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมภายใต้แรงเนื่องจากแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว มีรายละเอียดการเสริมเหล็กดังนี้ เหล็กเสริมล่างของคานไม่ต่อเนื่อง, เหล็กเสริมรับแรงเฉือนมีน้อย และเหล็กเสริมตามขวางในเสามีน้อย โครงข้อแข็งที่นำมาวิเคราะห์เป็นโครงสร้างที่มีความสูง 3 ชั้น, 6 ชั้น และ 9 ชั้น ทดสอบโดยให้รับแรงแผ่นดินไหวต่างๆ กัน วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC Version 3.0 (Inelastic damage analysis of reinforced concrete buildings) โดยค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้จากการศึกษาของ Aycardi และคณะ (1994) และ Pessiki และคณะ (1990) ใช้คลื่นแผ่นดินไหว Nahami (1985), El Centro (1940), Taft (1952) และ คลื่นที่ใช้ออกแบบของ UBC (1988) โดยกำหนดความเร่งของพื้นดินมากที่สุด (Peak ground acceleration ,PGA) ให้มีค่าเท่ากับ 0.2 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ยกเว้นคลื่นแผ่นดินไหวของ UBC ใช้ความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.15 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IDARC ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาค่าความเสียหายได้โดยใช้แบบจำลองความเสียหาย (Damage model) ที่เสนอโดย Park, Ang และ Wen พบว่าภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดแรง (Taft และ El Centro)โครงสร้างเกิดความเสียหายอย่างหนักในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ ($DI \geq 0.5$) ทั้งในชิ้นส่วนคานและชิ้นส่วนเสา

สำหรับกรณีที่ใช้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดปานกลาง (Nahami และ คลื่นของ UBC) โครงสร้างมีความเสียหายเกิดขึ้นในระดับที่ซ่อมแซมได้ ($0.10 \leq DI \leq 0.30$) และโดยทั่วไปความเสียหายที่เกิดขึ้นในคานจะมากกว่าในเสาเพียงเล็กน้อย แต่สำหรับชั้นล่างของอาคารความสูง 9 ชั้นพบว่าคานมีความเสียหายมากกว่าเสาค่อนข้างมากซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอัตราส่วนความแข็งแรงของเสามากกว่าคานมากในชั้นนี้ จากผลดังกล่าวนี้ทำให้ชี้ชัดได้ว่าคานที่มีความสามารถในการรับโมเมนต์บวกน้อยและมีความเหนียวน้อยเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการวิบัติของโครงสร้างมากกว่าสาเหตุอันเนื่องมาจากการวิบัติแบบเฉือนที่จุดต่อ หรือการวิบัติอันเนื่องมาจากการเสริมเหล็กตามขวางของเสา อย่างไรก็ตามในส่วนชั้นสูงขึ้นเนื่องจากคานและเสามีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน การวิบัติที่เกิดจากการถูกดึงของเหล็กเสริมในคาน (Pullout), การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนที่จุดต่อ (Joints) และการวิบัติเนื่องจากเหล็กเสริมตามขวางของคานและเสามีน้อย ต่างเป็นสาเหตุของการวิบัติทั้งสิ้น

Bracci, Reinhorn และ Mander (1995) ได้ศึกษาพฤติกรรมและการต้านทานแรงด้านข้างของแบบจำลองโครงข้อแข็งขนาด 1/3 ส่วนของอาคารจริง ความสูง 3 ชั้นโดยใช้ Shaking table และวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC version 3.0 โดยการดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิตจนโครงสร้างพัง (Pushover or shakedown analysis) และวิธีพลศาสตร์ (Dynamic analysis) โดยอาศัยข้อมูลจากการทดสอบของ Aycardi และคณะ (1994)

จากการศึกษาโดยการดันด้วยแรงด้านข้างจนโครงสร้างพัง ใช้แรงด้านข้างกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยม (Inverted triangular) พบว่าเกิดการวิบัติเนื่องจากโครงสร้างเกิดการครากที่เสาชั้น 1 ทั้งชั้น และได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน (Base shear coefficient ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงเฉือนที่ฐานกับน้ำหนักของโครงสร้าง) มีค่า 15.0% และจากการทดสอบด้วย Shaking table พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานมีค่า 15.2% และ 15.3% สำหรับแผ่นดินไหวขนาด 0.20และ 0.30 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ตามลำดับ ดังนั้นการวิเคราะห์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์IDARC โดยอาศัยข้อมูลจากการทดสอบจึงให้ผลถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้

การวิเคราะห์ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Taft ที่มีขนาด 0.05, 0.20 และ 0.30 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก พบว่ากรณีแผ่นดินไหวขนาดเล็ก (0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก) ความเสียหายที่เกิดในคานและเสามีน้อย และในกรณีแผ่นดินไหวขนาดปานกลาง (0.20 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก) และขนาดใหญ่ (0.30 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก) เกิดความเสียหายมากขึ้นตามลำดับ โดยบริเวณที่มีความเสียหายมากมักจะเป็นบริเวณเสาที่อยู่ภายใน เนื่องจากต้องรับแรงที่มากนั่นเอง

Wu (1995) ได้ศึกษาอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว ตัวอย่างทดสอบใช้อาคารสำนักงานความสูง 3 ชั้น และได้นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับอาคาร 12 ชั้นซึ่งมีผู้ศึกษามาก่อนหน้าแล้ว การวิเคราะห์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DRAIN-2DX โดยมีสมมติฐานที่ว่าไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือการหมุนเกิดขึ้นที่ฐานของอาคาร, ไม่พิจารณาการเปลี่ยนรูปร่างของพื้นนั่นก็คือเป็นพื้นแข็ง (Rigid floor diaphragms), อาคารที่ศึกษาสมมาตร ไม่คิดผลของการบิด, ไม่คิดว่ามีผลของการช่วยรับแรงของผนังก่ออิฐ และจำลองโครงสร้างเป็น 2 มิติ สำหรับความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียด ในคานใช้ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Park และ Kent (1971) และในเสาใช้ความสัมพันธ์ของ Sheikh และ Uzumeri (1982) ความสัมพันธ์ของโมเมนต์กับความโค้งของอาคารเป็นแบบเส้นตรงที่มีความชันต่างกัน 2 เส้น (Bilinear) นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังรวมผลของการวิบัติเฉพาะที่ด้วย ได้แก่ การหลุดของเหล็กเสริมล่างในคาน (Pullout), การวิบัติเนื่องจากเหล็กปลอกที่น้อย จากการศึกษาพบว่าอาคารความสูง 3 ชั้นค่อนข้างจะมีความเหนียวที่น้อย เมื่อเทียบกับอาคาร 12 ชั้น เนื่องจากเกิดการวิบัติที่ชั้นเดียว (Single story mechanism) แต่ในอาคาร 12 ชั้นที่ออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งานพบว่ามีความเหนียวมากกว่า นอกจากนั้นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนของอาคาร 3 ชั้นยังมีค่ามากกว่าอาคาร 12 ชั้นเนื่องจาก อาคาร 12 ชั้นมีผลของโมเมนต์คว่ำ (Overturning moment) เนื่องจากแรงด้านข้างที่มากกว่า อาคารที่ออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานมีความแข็งแรงมากกว่าอาคารที่ออกแบบโดยวิธีกำลัง เนื่องจากมีหน้าตัดที่ใหญ่กว่านั่นเอง

El-Attar, White และ Gergely (1997) ได้ทำการทดสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหวโดยอาศัยแบบจำลองขนาด 1/6 ส่วนเป็นอาคารสำนักงาน 2 ชั้น และแบบจำลองขนาด 1/8 ส่วนเป็นอาคารสำนักงาน 3ชั้น โดยใช้ Shaking table ใช้คลื่นแผ่นดินไหว Taft และได้วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IDARC version 3.0 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์การตอบสนองของอาคาร ความสัมพันธ์ของโมเมนต์กับความโค้งคิดเป็นเส้นตรง 3 เส้นที่ความชันต่างกัน (Tri-linear) โดยมีตัวแปรอธิบายคุณสมบัติของหน้าตัดในช่วงไม่ยืดหยุ่นคือ การลดลงของความแข็ง (Stiffness degradation, α) มีค่า 2.0, การเสื่อมของกำลัง (Strength deterioration, β) มีค่า 0.05 และ พฤติกรรมการหลุด (Pinching and/or slip behavior, γ) มีค่า 1.0 และสัมประสิทธิ์ความหน่วง (Damping ratio) มีค่า 2% นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเปรียบเทียบกับผลที่ได้จาก Shaking table พบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

Gupta, Kunnath และ Islam (1997) ได้ทำการศึกษาอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหวความสูง 7 ชั้น ที่ผ่านแผ่นดินไหวมาหลายครั้งและล่าสุด Northridge (1994) การวิเคราะห์อาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์IDARC วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาว่าการวิเคราะห์โดยอาศัยแบบจำลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถที่จะวิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแผ่นดินไหวได้ วิธีที่ใช้วิเคราะห์ในการศึกษานี้ได้แก่ใช้การแรงดันด้านข้างแบบสถิตย์จนโครงสร้างพัง (Pushover analysis) และการวิเคราะห์ภายใต้แรงแผ่นดินไหว จากการวิเคราะห์พบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC มีความผิดพลาดจากข้อมูลจริงในระดับที่ยอมรับได้

1.1.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงการตอบสนองของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเนื่องจากแผ่นดินไหวด้วยมวลหน่วงปรับค่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้มวลหน่วงปรับค่าในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งของอาคาร มีการศึกษามานานแล้วโดยเฉพาะอาคารที่มีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่น ซึ่งพบว่ามวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้ค่อนข้างดี แต่อย่างไรประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้าง และคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ ผลงานที่เกี่ยวข้องได้แก่

Sladek และ Klingner (1983) ศึกษาอาคารตัวอย่างความสูง 25 ชั้นภายใต้แผ่นดินไหว โดยอาคารที่ใช้ประกอบด้วยโครงเหล็กซึ่งออกแบบให้รับแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่กับน้ำหนักบรรทุกจร และผนังคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบรับแรงด้านข้าง ผนังจำลองให้มีสติฟเนสลดลงตามความสูง คาบของอาคารมีค่า 1.90 วินาที สัมประสิทธิ์ความหน่วง (Damping ratio) เท่ากับ 5% การวิเคราะห์อาคารใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม DRAIN2D ในการวิเคราะห์ซึ่งพฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่นจะเป็นแบบจำลองของ Takeda ความสัมพันธ์ของโมเมนต์และความโค้งเป็นแบบเส้นตรงสองเส้นความชันต่างกัน (Bilinear) มวลหน่วงปรับค่ามีมวลเท่ากับ 0.65% ของมวลโครงสร้าง หรือคิดเป็น 2.60% ของมวลโหมดที่ 1 ของโครงสร้าง คุณสมบัติของมวลหน่วงปรับค่าคิดจาก Den Hartog ใช้คลื่น El Centro 1940 ในการวิเคราะห์พบว่าทั้งในกรณีอาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่นและไม่ยืดหยุ่นมวลหน่วงปรับค่าไม่มีผลในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดเลย เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดเกิดค่อนข้างเร็ว มวลหน่วงปรับค่าไม่มีโอกาสในการเริ่มต้นทำงานจึงทำให้ไม่สามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้

Villaverde และ Koyama (1993) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างที่มีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่นภายใต้แรงแผ่นดินไหว จากการวิเคราะห์ด้วยสมการการเคลื่อนที่ แล้วใช้วิธีการเชิงตัวเลขตรวจสอบความสัมพันธ์ที่ได้ ซึ่งได้ศึกษาอาคารโครงสร้างรับแรงเฉือน (Shear building) ความสูง 10 ชั้น ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าที่ชั้นบนของโครงสร้าง กำหนดอัตราส่วนความหน่วง 2 ค่าได้แก่ 20% ใช้มวลเท่ากับ 1.4% ของมวลโครงสร้าง และ 30% ใช้มวลเท่ากับ 3.4% ของมวลโครงสร้าง และได้ปรับความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าให้เท่ากับความถี่ของอาคารตัวอย่างซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 เฮิร์ทซ ใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่วัดได้ที่กรุงเม็กซิโกปี 1995 (SCT S60E) และที่กรุงฟอสเตอร์ ปี 1989(Foster city E-W) จากการศึกษาพบว่าการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าที่มีมวลน้อย มีค่าอัตราส่วนความหน่วงสูงและได้ปรับให้มีความถี่เท่ากับความถี่ของโครงสร้าง จะสามารถช่วยลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้ดีมากโดยเฉพาะเมื่อโครงสร้างเกิดการกำทอน และประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าจะลดลงหากความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวมีค่าห่างความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างมากขึ้น

Lin และคณะ (1994) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหว ซึ่งในงานวิจัยใช้ El Centro 1940 โครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่นและมีดีกรีของความอิสระเท่ากับ 1นอกจากนั้นยังได้เสนอวิธีหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับมวลหน่วงปรับค่า โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean-square) ของค่าอัตราส่วนความเร่งและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างที่มีและไม่มีมวลหน่วงปรับค่า ซึ่งพบว่าโครงสร้างที่มีมวลหน่วงปรับค่าที่มีค่าเหมาะสมสามารถลดความเร่งและการเปลี่ยนตำแหน่งได้ค่อนข้างมาก โดยสามารถลดความเร่งที่ชั้นบนของโครงสร้างได้สูงถึง 60% นอกจากนั้นยังพบว่ามวลหน่วงปรับค่าจะมี

ประสิทธิภาพในการลดการตอบสนองของอาคารภายใต้แรงลมมากกว่าแรงแผ่นดินไหวและมีประสิทธิภาพในโครงสร้างที่มีค่าความหน่วงต่ำ

Jara และ Aguiniga (1996) ได้ศึกษาโครงสร้างที่มีดีกรีของความอิสระเท่ากับ 2 โดยจำลองชั้นล่างเป็นโครงสร้างและชั้นบนเป็นมวลหน่วงปรับค่า โครงสร้างถูกกระทำภายใต้คลื่นฮาร์โมนิค และคลื่นที่วัดได้ที่กรุงเม็กซิโกปี 1985 ได้แก่ Sct-EW, Tacubaya และ Viveros วิเคราะห์โดยโปรแกรม DRAIN-2DX จากการศึกษาพบว่าในกรณีที่โครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่น มวลหน่วงปรับค่าจะช่วยลดการตอบสนองของอาคารได้ดี โดยที่การเปลี่ยนตำแหน่งของมวลหน่วงปรับค่าจะมีค่าสูงมาก แต่ถ้าหากโครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบไม่ยืดหยุ่นประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าจะต่ำลงและการเปลี่ยนตำแหน่งของมวลหน่วงปรับค่าจะมีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีโครงสร้างเป็นแบบยืดหยุ่น

Sato-brito และ Ruiz (1999) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดการตอบสนองของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กความสูง 22 ชั้น ภายใต้แผ่นดินไหวขนาดรุนแรงปานกลาง (SCT-89) และ แผ่นดินไหวขนาดรุนแรงมาก (SCT-85) อาคารตัวอย่างที่นำมาศึกษามีคาบ 2 วินาทีและถูกออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดของเม็กซิโก (Mexico City Seismic Design Regulations, 1993) อัตราส่วนความหน่วงของอาคารมีค่า 5% ของความหน่วงวิกฤติ (Critical damping) จากการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างพบว่าในกรณีแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงปานกลางมวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนสุดได้ดีกว่าแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงมาก ในกรณีแรกโครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่น การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนสุดกรณีมีมวลหน่วงปรับค่าคิดเป็น 68% ของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่า และกรณีที่สองโครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบไม่ยืดหยุ่น การเปลี่ยนตำแหน่งลดลงไม่มากกว่า 20% ของกรณีไม่มีมวลหน่วงปรับค่า นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มค่าความหน่วงในมวลหน่วงปรับค่ามีโอกาสที่จะเพิ่มและลดการตอบสนองของโครงสร้าง โดยขึ้นกับอัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงปรับค่ากับโครงสร้าง และความรุนแรงของแผ่นดินไหว สำหรับแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงปานกลาง การเพิ่มค่าความหน่วงในมวลหน่วงปรับค่าเป็นการลดประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่า หากอัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงปรับค่ากับโครงสร้างมีค่าเข้าใกล้ 1 และหากอัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงปรับค่ากับโครงสร้างมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1.1 การเพิ่มความหน่วงจะเป็นการลดการตอบสนองของอาคารได้ สำหรับแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงมาก การเพิ่มความหน่วงให้ผลที่น้อยมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อรับแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวภายใต้แผ่นดินไหว โดยการวิเคราะห์แบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic analysis)
2. วิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (Performance) ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในแง่ของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนสุด, การเปลี่ยนตำแหน่งและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดที่ชั้นต่างๆ (Maximum displacement และ Maximum story drift)

3. วิเคราะห์หารูปแบบความเสียหายและพฤติกรรมการพังทลายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว และวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสียหาย (Damage index) ที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆของโครงสร้าง
4. ศึกษาประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดการตอบสนอง ทั้งทางด้านการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนสุด, การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดที่ชั้นต่างๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. ศึกษารูปแบบความเสียหาย และประสิทธิภาพในการลดความเสียหายของมวลหน่วงปรับค่า

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมและประสิทธิภาพของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว ใช้การวิเคราะห์แบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic analysis) ในงานวิจัยจะพิจารณาอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวความสูง 20 ชั้น โดยโครงสร้างที่นำมาพิจารณาจะถูกจำลองเป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติ ไม่คิดผลของการบิดของโครงสร้าง และไม่คิดว่ามีผลของการวิบัติแบบการเฉือนเกิดขึ้นในอาคารตัวอย่าง สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์ใช้คลื่นที่วัดได้ที่กรุงเม็กซิโก ปี 1985 (SCT-85 S00E) และคลื่นที่วัดได้ที่ฐานอาคารใบหยก 1กรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2538 (BYK-95) และได้ศึกษาการปรับปรุงอาคารตัวอย่างดังกล่าวโดยการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าไว้ที่ชั้นบนสุด ซึ่งกำหนดให้มวลหน่วงปรับค่ามีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่น

งานวิจัยนี้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ IDARC2D Version 4.0 มาใช้ช่วยในการวิเคราะห์ผลของแผ่นดินไหว ซึ่งนอกจากสามารถคำนวณการตอบสนองของอาคารในช่วงไม่ยืดหยุ่นได้แล้ว ยังสามารถวิเคราะห์หาความเสียหายของโครงสร้างได้อีกด้วย โดยใช้ดัชนีความเสียหาย (Damage index) ซึ่งสามารถบอกระดับความเสียหายได้ 3 ระดับ ได้แก่ความเสียหายระดับชิ้นส่วน, ความเสียหายระดับชั้น และความเสียหายระดับโครงสร้าง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่มีต่อโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหว โดยเน้นไปที่แผ่นดินไหวระยะไกล (Far-field seismic excitation) ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในเมืองสำคัญหลายๆ เมืองในต่างประเทศและมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและประสิทธิภาพของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าว รวมถึงรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง นอกจากนั้นจากการปรับปรุงอาคารดังกล่าวด้วยมวลหน่วงปรับค่า ยังทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างที่มีมวลหน่วงปรับค่าและประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดการตอบสนองภายใต้แผ่นดินไหว ทั้งในแง่การเปลี่ยนตำแหน่งและความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้าง