บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านคอนกรีตเทคโนโลยีทำให้ปัจจุบันมีคอนกรีตกำลังสูง (กำลังรับแรงอัดมากกว่า 55 MPa) เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเสาในอาคารสูงซึ่งต้องรับน้ำหนักบรรทุกมาก การใช้คอนกรีตกำลังสูงมีข้อดีหลายประการกล่าวคือ กำลังคอนกรีตที่สูงขึ้นส่งผลให้ได้หน้าตัดที่เล็กลง ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มพื้นที่ใช้สอย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงขึ้นส่งผลให้อาคารมีสติฟเนสด้านข้างมากขึ้น จึงช่วยลดการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงกระทำด้านข้าง การคืบ (creep) และการหดตัว (shrinkage) ที่ต่ำลงส่งผลให้เสามีการหดตัวตามแนวแกนที่น้อยลง ความซึมผ่านได้ (permeability) ที่ต่ำลงส่งผลให้โครงสร้างมีความทนทานมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้การก่อสร้างเป็นไปได้รวดเร็วเพราะมีกำลังสูงตั้งแต่อายุน้อย ๆ และสามารถช่วยลดค่าแบบหล่อลงได้โดยใช้คอนกรีตกำลังสูงกับเสาชั้นล่าง ๆ แล้วก็ลดกำลังคอนกรีตลงตามความสูงของอาคาร โดยคงขนาดของเสาไว้เท่าเดิมตลอดความสูงทั้งหมด

แผ่นดินไหวเป็นภัยธรรมชาติซึ่งเรายังไม่สามารถพยากรณ์ได้ด้วยความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นวิธีป้องกันที่ดีที่สุด ก็คือการออกแบบโครงสร้างให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นในช่วงอายุการใช้งานของโครงสร้างได้ในระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในพื้นที่ที่มีแผ่นดินไหวถูกคาดหวังให้สามารถทนการเสียรูปแบบในช่วงไม่ยืดหยุ่นได้หลาย ๆ รอบโดยที่ยังคงกำลังและเสถียรภาพโดยรวมของโครงสร้างไว้ได้ ซึ่งก็สามารถทำได้โดยการให้การโอบรัดที่เหมาะสมกับแกนคอนกรีต วิธีการออกแบบและให้รายละเอียดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในข้อกำหนดต่าง ๆ เป็นเอมพิริแคล (empirical) และสร้างมาจากข้อมูลทดลองของเสาที่มีกำลังคอนกรีตน้อยกว่า 40 MPa สำหรับข้อกำหนดเรื่องการโอบรัดของ ACI 318-99 ถึงแม้จะให้ผลการออกแบบได้ดีโดยภาพรวม แต่ก็มีบางส่วนที่ไม่เหมาะสม เช่น อาจจะทำให้ได้เสาที่ไม่ปลอดภัยในกรณีที่แรงในแนวแกนมีค่าสูง หรือได้เสาที่ไม่ประหยัด (overconservative) ในกรณีของแรงในแนวแกนมีค่าน้อย ๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องเสริมเหล็กแน่น

มากและเกิดปัญหาในการเทคอนกรีต อีกทั้งข้อกำหนดของ ACI ได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้กับเสาคอนกรีตกำลังธรรมดา (normal-strength concrete: NSC) จึงอาจไม่เหมาะที่จะใช้กับเสาคอนกรีตกำลังสูง (high-strength concrete: HSC)

ความรู้เกี่ยวกับการโอบรัดของคอนกรีตได้พัฒนาขึ้นอย่างมาก ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาได้มีการทดลองเสา HSC และแบบจำลองการวิเคราะห์จำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งใช้บรรยายพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด อีกทั้งยังมีความเข้าใจ ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบดีขึ้น ทำให้มีความเป็นไปได้ในการที่จะพัฒนาข้อกำหนดการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดสำหรับเสา HSC ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดชัดเจนใน ACI 318-99

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sheikh และคณะ [1994] ได้ทดสอบเสาจำนวน 4 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตในช่วง 31 ถึง 59 MPa พบว่าปริมาณเหล็กปลอกมีผลต่อพฤติกรรมของเสา HSC

Azizinamini และคณะ [1994] ได้ทดสอบเสาจำนวน 9 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตเท่ากับ 27, 50 และ 100 MPa พบว่า เสา HSC ที่รับแรงตามแนวแกนต่ำกว่า 20% ของกำลังรับแรงอัดตรงศูนย์ระบุซึ่งคำนวณตาม ACI (P_o) และเสริมเหล็กปลอกตามข้อกำหนดของ ACI มีความเหนียวที่เพียงพอ

Xiao และ Martirossyan [1998] ได้ทดสอบเสา HSC จำนวน 6 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตเท่ากับ 76 และ 86 MPa พบว่า เสา HSC ที่รับแรงตามแนวแกนต่ำกว่า 20% ของค่าที่คำนวณจากกำลังระบุของคอนกรีต f_c' และเนื้อที่หน้าตัดของเสา A_g และเสริมเหล็กปลอกตามข้อกำหนดของ ACI สามารถมีค่าความเหนียวสูงถึง 6 ขึ้นไป และเสา HSC ที่มีเหล็กปลอกเท่ากับ 50% ของที่ต้องการโดย ACI สามารถมีความเหนียวที่เพียงพอเมื่อรับแรงตามแนวแกนเท่ากับ 10% ของค่าที่คำนวณจากกำลังระบุของคอนกรีต f_c' และเนื้อที่หน้าตัดของเสา A_g

Bayrak และ Sheikh [1998] ได้ทดสอบเสา HSC จำนวน 8 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตประมาณ 70 และ 100 MPa พบว่า เสา HSC ที่มีกำลังคอนกรีตสูงถึง 100 MPa สามารถทำให้มีความเหนียวเชิงความโค้งเท่ากับ 14 ภายใต้แรงตามแนวแกนที่สูงถึง 46% ของค่าที่คำนวณจากกำลังระบุของคอนกรีต f_c' และเนื้อที่หน้าตัดของเสา A_g โดยใช้ปริมาณเหล็กปลอกเท่ากับ 170% ของที่ต้องการโดย ACI และใช้รูปแบบการจัดเรียงที่มีประสิทธิภาพ และพบว่าการเพิ่มแรงตามแนวแกนจะทำให้เสามีความเหนียวน้อยลง และจะเร่งการเสื่อมของกำลังและสติฟเนส (strength and stiffness degradation) เพื่อชดเชยผลอันนี้จะต้องการปริมาณเหล็กปลอกมากขึ้น

Legeron และ Paultre [2000] ได้ทดสอบเสา HSC จำนวน 6 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตในช่วง 92.4 ถึง 104.3 MPa พบว่า เสาที่มี f_c' ประมาณ 100 MPa และรับแรงตามแนวแกนน้อยกว่า หรือเท่ากับ 15% ของค่าที่คำนวณจากกำลังระบุของคอนกรีต f_c' และเนื้อที่หน้าตัดของเสา A_g จะต้องการเหล็กปลอกประมาณ 50% ของ ACI

Paultre และคณะ [2001] ได้ทดสอบเสา HSC จำนวน 6 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตในช่วง 78.7 ถึง 109.5 MPa พบว่า สำหรับปริมาณเหล็กปลอกและระดับแรงตามแนวแกนที่เท่ากัน กำลังคอนกรีตจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อพฤติกรรมของเสา HSC และพบว่า เมื่อเสารับแรงตามแนวแกนที่สูง การใช้เหล็กปลอกกำลังครากสูงสามารถให้การโอบรัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยช่วยลดปริมาณเหล็กปลอกที่ต้องการลงได้

Xiao และ Yun [2002] ได้ทดสอบเสา HSC จำนวน 6 ต้น ที่มีกำลังคอนกรีตเท่ากับ 63 MPa พบว่า เสาที่เสริมเหล็กปลอกไม่น้อยกว่า 82% ของ ACI 318-99 เมื่อรับแรงตามแนวแกนเท่ากับ 20% ของค่าที่คำนวณจากกำลังระบุของคอนกรีต f_c' และเนื้อที่หน้าตัดของเสา A_g จะมีพฤติกรรมฮีสเทียรีติกที่ดีเยี่ยมและมีพฤติกรรมที่เหนียว แต่เมื่อรับแรงตามแนวแกนเกิน 30% ของค่าที่คำนวณจากกำลังระบุของคอนกรีต f_c' และเนื้อที่หน้าตัดของเสา A_g เสาดังกล่าวจะมีอัตราส่วนการเคลื่อนตัวที่ต่ำ

Sheikh และ Khoury [1997] ได้เสนอสมการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดสำหรับเสา NSC โดยมีการคำนึงถึงผลของแรงตามแนวแกน และรูปแบบการจัดเรียงเหล็กปลอก เพื่อให้

ได้ค่าความเหนียวเชิงความโค้ง (cuvature ductility) ที่ต้องการ ซึ่งสมการดังกล่าวได้ถูกปรับปรุงต่อมาโดย Bayrak และ Sheikh [1998] สำหรับใช้กับเสาคอนกรีตกำลังสูง

Saatcioglu และ Razvi [2002] ได้เสนอสมการออกแบบโอบรัดที่สามารถใช้ได้ทั้งกับคอนกรีตกำลังธรรมดาและคอนกรีตกำลังสูง โดยมีการคำนึงถึงตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัว (drift ratio) ที่ต้องการ

Lukkunaprasit [2000] ได้เสนอตัวแปรอัตราส่วนเหล็กปลอกโอบรัดประสิทธิผล ซึ่งมีการคำนึงถึงผลของแรงตามแนวแกน และรูปแบบการจัดเรียงเหล็กปลอกเพิ่มเติมจากสมการออกแบบเหล็กปลอกของ ACI 318-99 ซึ่งต่อมา Lukkunaprasit และ Thepmangkorn [2004] ได้พัฒนาสมการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดสำหรับเสา NSC โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเหล็กปลอกโอบรัดประสิทธิผลกับค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัว (displacement ductility) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทดสอบเสา NSC

ในส่วนของมาตรฐานการออกแบบ ข้อกำหนด ACI 318-99 ในการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้มาจากข้อมูลทดสอบของเสาคอนกรีตกำลังธรรมดาและไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงตามแนวแกน และประสิทธิภาพของรูปแบบการจัดเรียงเหล็กปลอก ในขณะที่สมการออกแบบเหล็กปลอกของ NZS 3101:1995 มีการพิจารณาระดับแรงตามแนวแกนเป็นตัวแปรออกแบบด้วย แต่ก็มุ่งใช้ในถิ่นแผ่นดินไหวรุนแรงเป็นสำคัญ การปรับปรุงสูตรเพื่อการออกแบบเหล็กปลอกโอบรัดโดยคำนึงถึงตัวแปรให้ครอบคลุม เพื่อใช้สำหรับระดับความเหนียวต่างๆจึงมีความสำคัญที่ต้องศึกษาวิจัย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาผลของการโอบรัดของเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรม ความเหนียว ตัวแปรสมรรถนะต่าง ๆ และกำลังรับแรงเฉือนของเสาคอนกรีตกำลังสูง โดยมีการเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนที่คำนวณได้จาก ACI

2. เพื่อศึกษาถึงขอบเขตความใช้ได้ของข้อกำหนดต่างๆ ในปัจจุบัน เช่น ACI 318-99, NZS 3101:1995 ในการออกแบบเหล็กปลอกของเสาคอนกรีตกำลังสูงในพื้นที่ที่มีแผ่นดินไหว
3. เพื่อเสนอวิธีการออกแบบเหล็กปลอกสำหรับเสาคอนกรีตกำลังสูงที่ได้ปรับปรุงขึ้น โดยมีการพิจารณาถึงผลของตัวแปรสำคัญต่างๆ ซึ่งข้อกำหนดการออกแบบในปัจจุบันยังไม่ได้คำนึงถึง เช่น ระดับของแรงตามแนวแกน รูปแบบการจัดเรียงเหล็กปลอก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีขอบเขตของการวิเคราะห์ข้อมูลทดสอบเสาคอนกรีตกำลังสูงดังนี้

1. กำลังคอนกรีตของเสาทดสอบมีค่าประมาณ 55 MPa ขึ้นไป
2. จำกัดเฉพาะเสาปลอกเดี่ยว (tied columns) หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส
3. ประวัติการให้แรงกระทำด้านข้างมีความสมมาตรในด้านแรงผลักและแรงดึง
4. สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนของความเหนียวและตัวแปรพฤติกรรมต่าง ๆ จะจำกัดเฉพาะเสาที่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงดัด (flexure failure)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

1. พัฒนาวิธีการออกแบบเหล็กปลอกสำหรับเสาคอนกรีตกำลังสูง
2. ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวกับตัวแปรพฤติกรรมอื่น ๆ ของเสาคอนกรีตกำลังสูง
3. ตรวจสอบความใช้ได้ของสมการคำนวณออกแบบกำลังรับแรงดัดของ ACI 318-99 เมื่อใช้กับเสาคอนกรีตกำลังสูง
4. ตรวจสอบความใช้ได้ของสมการคำนวณออกแบบกำลังรับแรงเฉือนของ ACI 318-99 เมื่อใช้กับเสาคอนกรีตกำลังสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาและประมวลความรู้เกี่ยวกับผลของการโอบรัดของเหล็กปลอกที่มีต่อพฤติกรรมต่าง ๆ ของเสาคอนกรีตกำลังสูงจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา
2. รวบรวมข้อมูลทดสอบเสาคอนกรีตกำลังสูงจากแหล่งต่าง ๆ
3. ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป และเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้
4. ทำการวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) ของข้อมูลทดสอบที่ได้รวบรวมมาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการโอบรัดโดยเหล็กปลอกกับค่าความเหนียว ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวกับตัวแปรพฤติกรรมต่าง ๆ และตรวจสอบความใช้ได้ของสมการต่าง ๆในการคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของเสาคอนกรีตกำลังสูง
5. ศึกษาขอบเขตความใช้ได้ของข้อกำหนดต่าง ๆ ในปัจจุบัน เช่น ACI 318-99, NZS 3101: 1995 ในการออกแบบเหล็กปลอกของเสาคอนกรีตกำลังสูงในพื้นที่ที่มีแผ่นดินไหว
6. พัฒนาสมการออกแบบเหล็กปลอกของเสาคอนกรีตกำลังสูงที่ได้ปรับปรุงขึ้นโดยมีการนำผลของตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ที่ข้อกำหนดการออกแบบในปัจจุบันยังไม่ได้คำนึงถึงมาทำการพิจารณาด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย