บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา ในการออกแบบอาคารสูงทั่วโลก ได้มีการใช้กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (Shear Wall) เป็นส่วนประกอบหลักขององค์อาคารในการรับแรงด้านข้างทั้งแรงลมและแรงแผ่นดินไหวอย่างกว้างขวาง จากการสำรวจอาคารในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวที่ผ่านมาในอดีต พบว่าอาคารที่มีโครงสร้างหลักในการรับแรงด้านข้างเป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับการออกแบบที่เหมาะสม จะสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ (1) อย่างไรก็ตามการออกแบบให้กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กนี้คงอยู่ในช่วงสภาวะอีลาสติก (Elastic) ตลอดระยะเวลาของแผ่นดินไหวหรือแรงด้านข้างขนาดใหญ่นั้น เป็นการสิ้นเปลืองอย่างมากและอาจก่อให้เกิดอันตรายจากการเกิดการวิบัติอย่างฉับพลัน ทั้งนี้เนื่องมาจากกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในช่วงอีลาสติกจะไม่สามารถกระจายพลังงาน (Energy Dissipation) จำนวนมากที่เกิดจากแผ่นดินไหวไปสู่พลังงานในรูปแบบอื่น และพลังงานทั้งหมดจะถูกดูดซับด้วยพลังงานความเครียดในวัสดุ ในทางตรงกันข้าม กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาวะอินอีลาสติก (Inelastic) จะสามารถกระจายพลังงานในรูปแบบอื่น เช่น การแตกร้าว (Crack) ของคอนกรีต และการคราก (Yield) ของเหล็กเสริมได้ ดังนั้น ในการออกแบบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับแรงด้านข้างได้อย่างปลอดภัย วิศวกรจะต้องเข้าใจและคำนึงถึงพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติกของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กในการออกแบบด้วย (2)

1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในปี ค.ศ. 1959 Benjamin และ Williams (3) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยทำการทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งรับแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตย์ (Static Loadings) ในทิศทางเดียวกับระนาบของกำแพง จากนั้นได้เสนอโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี ค.ศ. 1973 Cardinas และ Magura (4) ได้ทำการศึกษากำลังของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 6 ตัวอย่าง โดยในตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กเสริมในแนวดิ่ง และผลของอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต่อแรงเฉือน จากนั้นตัวอย่างทดสอบ

จะถูกรับแรงกระทำในแนวดิ่งและแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตย์จนกระทั่งเกิดการวิบัติ ซึ่งผลการทดสอบได้ชี้ให้เห็นว่า กำลังรับแรงดัดของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหาได้โดยใช้สมมุติฐานเช่นเดียวกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ และจากนั้นได้เสนอสมการสำหรับใช้หากำลังรับแรงดัดของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย

ในปี ค.ศ. 1975 Portland Cement Association หรือ PCA (5) ได้ทำการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Loadings) พบว่า พฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติกของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการเสียรูปอยู่ในลักษณะของแรงดัด (Flexural Deformation) จะมีความสามารถในการกระจายพลังงานได้ดีกว่ากำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการเสียรูปอยู่ในลักษณะของแรงเฉือน (Shear Deformation)

ในปี ค.ศ. 1984 Oesterle และคณะ (6) ได้ทำการศึกษาผลของแรงกระทำในแนวดิ่ง, ปริมาณเหล็กเสริมโอบรัด (Confinement Reinforcement) ใน Boundary Element, ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวนอน และประวัติการรับน้ำหนัก (Loading History) โดยทำการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 14 ตัวอย่าง ซึ่งรับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร และแรงในแนวดิ่งจนกระทั่งเกิดการวิบัติ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับแรงเฉือนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Shear Loading) จนกระทั่งเกิดการเสียรูปและวิบัติด้วยแรงเฉือน (Shear Failure) กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กอาจจะเกิดการวิบัติแบบฉับพลัน (Sudden Failure) ได้ เนื่องจากคอนกรีตที่รับแรงเฉือนแบบเป็นวัฏจักรเกิดการเสียกำลังในการรับน้ำหนักอย่างกระทันหัน

ดังนั้น ในการออกแบบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก วิศวกรจะต้องพยายามจำกัดการเสียรูปในลักษณะของแรงเฉือนของกำแพงให้น้อยที่สุด และหลีกเลี่ยงไม่ให้กำแพงเกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน ซึ่งในปัจจุบันการออกแบบดังกล่าว วิศวกรมักจะปฏิบัติตามข้อกำหนดของ ACI Building Code (7) ซึ่งกำหนดให้ใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือน ในแนวตั้งและแนวนอนโดยการคำนวณจากแรงในสภาพสถิตย์ อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบของ PCA พบว่าในบางกรณีการเสริมเหล็กเพื่อรับแรงเฉือนในลักษณะดังกล่าวไม่สามารถช่วยลดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนและหลีกเลี่ยงการวิบัติจากแรงเฉือนได้ โดยเฉพาะในกรณีของกำแพงที่ต้องรับแรงด้านข้างแบบวัฏจักร กล่าวคือถึงแม้ว่าจะใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนจนทำให้กำแพงมีกำลังรับแรงเฉือนมากกว่ากำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ACI แล้วก็ตาม กำแพงก็ยังอาจจะเกิดการวิบัติจากแรงเฉือนได้

ในต้นปี ค.ศ. 1990 Lefas และคณะ (8) ได้ทำการทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 13 ตัวอย่าง โดยในแต่ละตัวอย่างจะถูกรับแรงกระทำในแนวดิ่งและแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตย์จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ซึ่งจุดประสงค์ของการทดสอบก็เพื่อที่จะศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างของกำแพง, แรงที่กระทำในแนวดิ่ง, กำลังอัดของคอนกรีต และปริมาณของเหล็กเสริมแนวนอนในกำแพง ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า กำลังต้านทานแรงเฉือนของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจะขึ้นอยู่กับค่าหน่วยแรงอัดที่ได้พัฒนาขึ้นในบริเวณที่รับแรงอัดซึ่งอยู่ใกล้กับฐานของกำแพง

จากนั้นในปลายปี ค.ศ. 1990 Lefas และคณะ (9) ก็ได้ทำการศึกษาผลของประวัติการรับน้ำหนักบรรทุก (Loading History) และวิธีการซ่อม ที่มีต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจนกระทั่งเกิดการวิบัติแล้วนำกลับมาซ่อมและทำการทดสอบใหม่ภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร ซึ่งวิธีการซ่อมจะใช้สารเคมีจำพวกอีพอกซี่ (Epoxy Rasins) ซ่อมเฉพาะบริเวณที่รับแรงอัดจนเกิดความเสียหายเท่านั้น และจากผลการทดสอบพบว่า กำแพงชุดที่ได้รับการซ่อมแล้วนำกลับมาทดสอบใหม่จะมีกำลังต่ำกว่ากำแพงชุดแรกก่อนการซ่อมอย่างเห็นได้ชัด และสามารถสรุปได้ว่า บริเวณที่รับแรงอัดซึ่งอยู่ใกล้กับฐานของกำแพงจะมีส่วนช่วยอย่างมากในการต้านทานแรงเฉือนของกำแพง

ในปี ค.ศ. 1995 Pilakoutas และ Elnashai (10,11) ได้ทำการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร จำนวน 9 ตัวอย่าง จากผลการทดสอบพบว่า รูปแบบและชนิดของการวิบัติจะขึ้นอยู่กับปริมาณและการกระจายของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ถึงแม้จะใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนให้มีปริมาณมากกว่าที่ต้องการ ก็จะไม่มีผลต่อกำลังและการเสียรูปของกำแพงคอนกรีตเสรมเหล็ก

จากข้อสังเกตดังกล่าวข้างต้น ทำให้เกิดแนวคิดที่จะเสนอแนวทางใหม่ในการใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนของกำแพง โดยแนวคิดดังกล่าวได้เริ่มมาจากงานวิจัยของ C.Sittipunt และ S.L.Wood ที่ University of Illinois at Urbana-Champaign (12,13) ในงานวิจัยดังกล่าว ได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางวัสดุ (Material Model) สำหรับคอนกรีต และเหล็กเสริม เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ (Finite Element Analysis) ในการพัฒนาแบบจำลองนี้ ได้ใช้ข้อมูลจากการทดสอบกำแพงจำนวน 19 ตัวอย่างจาก PCA และอีก 2 ตัวอย่างจาก University of Illinois (13) ในการปรับแก้และตรวจสอบแบบจำลองทาง

วัสดุ ผลปรากฏว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ของแบบจำลองของกำแพงทั้ง 21 ตัวอย่าง ให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบตัวอย่างจริงจากห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นแบบจำลองนี้ได้ถูกนำไปใช้ศึกษาพฤติกรรมในการรับแรงด้านข้างของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ พบว่าจากการเสริมเหล็กทั้ง 7 แบบ ที่ทำการศึกษา ผลปรากฏว่าการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนตามข้อแนะนำของ ACI (การเสริมเหล็กแบบที่ 1, 2 และ 3) มีค่าการกระจายพลังงานต่ำที่สุด และมีการเกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนสูงที่สุด โดยค่าการกระจายพลังงานของกำแพงในแต่ละรอบที่แรงด้านข้างกระทำสามารถคำนวณหาได้จากพื้นที่ใต้โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปของกำแพง ในขณะที่การเสริมเหล็กรับแรงเฉือนแบบในแนวทแยง (การเสริมเหล็กแบบที่ 5, 6 และ 7) ให้ค่าการกระจายพลังงานสูงที่สุด และมีการเกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนต่ำที่สุด ผลที่ได้นี้นับว่าน่าสนใจเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นการเสนอแนวทางใหม่ในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่เหมาะสมกับการรับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นผลที่ได้มาจากการใช้การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมายังขาดผลการทดลองสนับสนุน

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ จะเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องกับงานวิจัยของ C.Sittipunt และ S.L.Wood (12,13) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยจะมีการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 6 ตัวอย่าง โดยในแต่ละตัวอย่างจะมีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนแบบต่าง ๆ และผลการทดสอบที่ได้จะถูกนำไปใช้ทำการวิเคราะห์ พร้อมทั้งเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนในกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการรับแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร ของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาการเสียรูปด้วยแรงเฉือน (Shear Deformation), การกระจายพลังงาน (Energy Dissipation), ลักษณะการวิบัติ (Modes of Failure) และพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติกของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. เพื่อเสนอแนะวิธีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่เหมาะสม สำหรับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะจำกัดเฉพาะกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูป Barbell ซึ่งมี Boundary Element ขนาด 0.25×0.25 ม. กำแพง (Web) มีความกว้าง 1.00 ม. ความหนา 0.10 ม. และมีความสูง 2.40 ม. ตัวอย่างทดสอบจะมีทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยในแต่ละตัวอย่างจะมีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่ต่างกัน และจะทำการทดสอบโดยไม่มีแรงในแนวดิ่งกระทำ แต่จะมีเฉพาะแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรกระทำกับตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเท่านั้น

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนข้อมูลและงานวิจัยที่ผ่านมา

การทบทวนข้อมูลและงานวิจัยที่ผ่านมามีจุดประสงค์เพื่อทบทวนผลงานเกี่ยวกับการทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก พิจารณาถึงหลักเกณฑ์ในการทดสอบและการออกแบบตัวอย่างกำแพง โดยจะเน้นในด้านต่อไปนี้

1.1 ลักษณะหน้าตัดของกำแพง, ขนาดของกำแพง และการใส่เหล็กเสริม

1.2 ขนาดและทิศทางในการให้แรงกระทำ, ประวัติการรับน้ำหนัก (Loading History) และการเพิ่มขนาดของแรงในแต่ละวัฏจักร (Cycle)

1.3 การเก็บข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

2. การออกแบบตัวอย่างในการทดสอบ และกำหนดรายละเอียดในการทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการออกแบบตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ กำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษา มีการกำหนดรายละเอียดในทุกขั้นตอนของการจัดเตรียมตัวอย่าง หลังจากนั้นเป็นการกำหนดรายละเอียดในการทดสอบ รวมไปถึงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

3. การจัดทำตัวอย่าง และจัดเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการหล่อตัวอย่างทดสอบ และจัดเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทำการทดสอบและเก็บข้อมูล มีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการอ่านและบันทึกข้อมูลโดยหน่วยรวบรวมข้อมูล (Data Acquisition Unit)

4. ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

ทำการทดสอบพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรตามรายละเอียดการทดสอบที่กำหนดไว้ โดยมีการเก็บข้อมูลต่างๆ อย่างละเอียด

5. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ แรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Loadings), ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement) ของกำแพงที่ตำแหน่งต่างๆ, ค่าความเครียด (Strain) ของเหล็กเสริม, ภาพถ่าย และการสังเกต นอกจากนี้ ยังมีการคำนวณหาการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Distortion), คำนวณหาความสามารถในการกระจายพลังงาน (*Energy Dissipation Capacity*), หาสาเหตุการวิบัติของกำแพง และวิเคราะห์ถึงบทบาทของเหล็กเสริมที่มีต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

6. สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการค้นคว้าและทดสอบ ทำการสรุปผลและเสนอแนะแนวทางในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนสำหรับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงพฤติกรรมในการรับแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่างๆ โดยเฉพาะในด้านการเสียรูปด้วยแรงเฉือน (*Shear Deformation*), การกระจายพลังงาน (Energy Dissipation), ลักษณะการวิบัติ (Modes of Failure) และพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติกของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ได้ข้อเสนอแนะการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนที่เหมาะสม สำหรับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย