บทที่ 2

การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการเสริมเหล็กในตัวอย่างทดสอบแต่ละตัว, คุณสมบัติของคอนกรีต, เหล็กเสริม และแบบหล่อที่ใช้ พร้อมทั้งวิธีการติดเกจวัดความเครียด (Strain gage) บนผิวของเหล็กเสริม, วิธีการหล่อตัวอย่างทดสอบ และการเตรียมการทดสอบ โดยจะอธิบายถึง วิธีการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ, การค้ำยันตัวอย่างทดสอบทางด้านข้าง, การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's) เพื่อวัดการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวอย่างทดสอบ และ การเก็บข้อมูลทั้งหมดที่ได้ในขณะทำการทดสอบเข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูล จากนั้นในช่วงท้ายของบทนี้ จะอธิบายถึงวิธีการให้แรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรกระทำกับตัวอย่างทดสอบในขณะทำการทดสอบ

2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบเป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.1 ลักษณะการเสริมเหล็กของตัวอย่างทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 และรายละเอียดการเสริมเหล็กได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ซึ่งการออกแบบตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะทำตามข้อกำหนดของ ACI (7) โดยใช้กำลังอัด (Cylinder Strength) ของคอนกรีตหรือ f_c' เท่ากับ 300 กก./ซม^2 และใช้กำลังคราก (Yield Strength) ของเหล็กเสริมหรือ f_y เท่ากับ 4000 กก./ซม^2 ส่วนวิธีการออกแบบทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะมีการเสริมเหล็กรับแรงดัด (Flexural Reinforcement) และเหล็กเสริมโอบรัดหรือเหล็กปลอก (Confinement Reinforcement) ใน Boundary Element เหมือนกัน คือ 6DB16+2DB12 และ RB6@0.10 ตามลำดับ แต่จะมีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน (Shear Reinforcement) ในกำแพง (Web) ต่างกัน และรายละเอียดการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนในตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวมีดังนี้

ตัวอย่างทดสอบที่ 1 : การใส่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะใส่ทั้งในแนวดิ่ง และแนวนอนตามข้อกำหนดของ ACI (7) โดยให้มีกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) เท่ากับกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ซึ่งจะได้เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวนอนคือ DB10@0.15 และเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวดิ่งคือ DB10@0.20 และตัวอย่างทดสอบนี้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงกับตัวอย่างทดสอบตัวอื่นๆ

ตัวอย่างทดสอบที่ 2 : เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวดิ่ง และแนวนอนของตัวอย่างทดสอบนี้จะใส่มากกว่าในข้อกำหนดของ ACI (7) โดยจะมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวนอนคือ DB10@0.10 และเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวดิ่งคือ DB10@0.15 ซึ่งจะเป็นผลให้กำลังรับแรงดัดที่ออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI (7) น้อยกว่ากำลังรับแรงเฉือนที่ออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI (7) ดังนั้น การวิบัติด้วยแรงดัด (Flexural Failure) จึงถูกคาดเดาไว้ ตัวอย่างทดสอบนี้จะถูกใช้เพื่อหาประสิทธิผล (Effectiveness) ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในการลดการเสียรูป และป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน (Shear failure)

ตัวอย่างทดสอบที่ 3 : ในตัวอย่างทดสอบนี้จะมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนเหมือนกับตัวอย่างทดสอบที่ 1 แต่ต่างกันตรงที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวดิ่งของตัวอย่างทดสอบนี้จะหยุดที่ส่วนบนของฐานกำแพง และจะใช้เหล็กเดือย (Dowel Bars) เพื่อถ่ายแรงเฉือนที่ฐานกำแพงแทน ตัวอย่างทดสอบนี้จะถูกใช้เพื่อหาประสิทธิผลของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในกรณีที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนได้ถูกป้องกันไม่ให้เกิดการครากเนื่องจากแรงดัด (Flexural Yielding)

ตัวอย่างทดสอบที่ 4 : ตัวอย่างทดสอบนี้จะมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในกำแพงทั้งในแนวดิ่ง และแนวนอนในปริมาณต่ำสุดที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดของ ACI (7) และแรงเฉือนจะถูกถ่ายโดยใช้เหล็กเสริม 4DB20 ซึ่งเสริมในแนวทแยงทั้งสองทิศทางและทำมุม 45 องศากับแนวราบ วิธีการยึดปลายเหล็กเสริมในแนวทแยงเข้ากับ Boundary Element ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 การคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในแนวทแยงสามารถทำได้โดย สมมุติให้เหล็กเสริมที่อยู่ในแนวทแยงทำหน้าที่เป็นโครงถัก (*Truss*) และแรงเฉือนส่วนที่รับโดยเหล็กเสริมทั้งหมดจะถูกรับโดยเหล็กเสริมในแนวทแยงเท่านั้น ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณสามารถดูได้ในภาคผนวก และตัวอย่างทดสอบนี้จะถูกใช้เพื่อหาประสิทธิผลของเหล็กเสริมที่มัดรวมกันในแนวทแยง (Concentrated Diagonal Reinforcement) ในการลดการเสียรูป และป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน

ตัวอย่างทดสอบที่ 5 : ตัวอย่างทดสอบนี้จะไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนในกำแพง แรงเฉือนจะถูกถ่ายโดยใช้เหล็กเสริม DB10@0.15 ซึ่งเสริมในแนวทแยงทั้งสองทิศทางและทำมุม 45 องศากับแนวราบ วิธีการยึดปลายเหล็กเสริมในแนวทแยงเข้ากับ Boundary Element ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 การคำนวณหาเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวทแยงสามารถทำได้โดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณหาเหล็กปลอกเอียง (*Inclined Stirrups*) ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณสามารถดูได้ในภาคผนวก และตัวอย่างทดสอบนี้จะถูกใช้เพื่อหาประสิทธิผลของเหล็กเสริมที่กระจายในแนวทแยง (Distributed Diagonal Reinforcement) ในการลดการเสียรูป และป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน

ตัวอย่างทดสอบที่ 6 : ตัวอย่างทดสอบนี้จะเหมือนกับตัวอย่างทดสอบที่ 5 แต่จะใช้เหล็กเสริม DB10@0.10 เสริมในแนวทแยงทั้งสองทิศทางแทน และตัวอย่างทดสอบนี้จะถูกใช้เพื่อศึกษาผลของปริมาณเหล็กเสริมที่กระจายในแนวทแยงที่มีต่อพฤติกรรมของกำแพง

2.2 วัสดุ

2.2.1 คอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้สำหรับหล่อตัวอย่างทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งมีค่ากำลังอัดออกแบบที่ 300 กก./ซม.^{2} ของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก โดยมีค่ายุบตัว (Slump) 10±2.5 ซม. สำหรับฐานกำแพง และ 12±2.5 ซม. สำหรับตัวกำแพง ในการหล่อตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกทั้งหมด 6 ตัวอย่าง คือ สำหรับฐานกำแพงจำนวน 3 ตัวอย่าง และสำหรับตัวกำแพงจำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกของตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และจากตารางจะเห็นได้ว่า คอนกรีตที่ใช้หล่อตัวอย่างทดสอบมีค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 348-385 กก./ซม.^{2} และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 288464-301050 กก./ซม.^{2}

2.2.2 เหล็กเสริม

ก. เหล็กเสริมรับแรงดัดและเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

เหล็กเสริมรับแรงดัดและเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กข้ออ้อยผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 24-2536 กระทรวงอุตสาหกรรม SD-40 ซึ่งกำหนดให้กำลังดราก (Yield Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 4000 กก./ซม.^{2} กำลังรับแรงดึงประลัย (Tensile Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 5700 กก./ซม.^{2} และค่าการยืดตัว (Elongation) ในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม มีค่าไม่น้อยกว่า 18% เหล็กเสริมรับแรงดัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 และ 16 มม. เหล็กเสริมรับแรงเฉือนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 และ 20 มม. เมื่อทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบขนาดละ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ข. เหล็กเสริมโอบรัดหรือเหล็กปลอก

เหล็กเสริมโอบรัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กเส้นกลมผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 20-2536 กระทรวงอุตสาหกรรม SR-24 ซึ่งกำหนดให้กำลังดราก (Yield

Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 2400 กก./ซม.^{2} กำลังรับแรงดึงประลัย (Tensile Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 3900 กก./ซม.^{2} และค่าการยืดตัว (Elongation) ในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม มีค่าไม่น้อยกว่า 21% เหล็กเสริมโอบรัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. เมื่อทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

2.2.3 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ เป็นแบบหล่อที่ทำมาจากอลูมิเนียมหนาประมาณ 15 มม. แบบหล่อจะถูกยึดอย่างมั่นคงแข็งแรง ทนต่อการจี้ด้วยเครื่องเขย่าคอนกรีต (Vibrator) ในระหว่างการเทโดยไม่เกิดการเคลื่อนตัว บิดงอ หรือปริด้านข้าง การวางแบบหล่อจะวางในลักษณะตั้งขึ้นโดยมีแผ่นไม้อัดขนาด 4 มม. วางบนพื้นใต้แบบ ก่อนที่จะประกอบแบบหล่อเข้าด้วยกันผิวของแบบหล่อจะทาด้วยน้ำมันทาแบบเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตติดกับแบบหล่อเมื่อคอนกรีตแข็งตัว และในการประกอบแบบหล่อเพื่อใช้ในการหล่อตัวกำแพงจะต้องใช้แบบหล่อสองชั้นคือ ชั้นในซึ่งเป็นโครงเคร่าไม้ และชั้นนอกซึ่งเป็นอลูมิเนียม โดยที่แบบหล่อชั้นในและชั้นนอกจะถูกยึดติดกันด้วยเหล็กยึดแบบ (*Form Ties*) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แบบหล่อที่ใช้ในการหล่อฐานกำแพงมี 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และแบบหล่อที่ใช้ในการหล่อตัวกำแพงมี 3 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

2.3.1 เหล็กเสริม

การเตรียมเหล็กเสริมเริ่มโดยการตัดเหล็กออกเป็นท่อนๆ ตามความยาวที่ต้องการ จากนั้นทำการดัดและประกอบตามรูปแบบลักษณะการเสริมเหล็กที่เตรียมไว้ หลังจากประกอบเหล็กเสริมเป็นรูปร่างต่างๆ ตามแบบครบทุกตัวอย่างทดสอบแล้ว จึงทำการติดเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้า (Electrical Strain Gage) ที่เหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element และเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่อยู่ในกำแพง (Web) ของตัวอย่างทดสอบแต่ละตัว สำหรับเหล็กเสริมรับแรงดัดจะติดเกจวัดความเครียดที่เหล็กเสริมเส้นกลางที่อยู่นอกสุดในแต่ละด้าน โดยจะติดที่ตำแหน่งใกล้ขอบบนของฐานกำแพงดังแสดงในรูปที่ 2.8 และสำหรับเหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะติดเกจวัดความเครียด 6 ตัว ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งการติดเกจวัดความเครียดจะทำตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ใช้เครื่องเจียรเหล็ก เจียรส่วนที่เป็นปล้องของเหล็กข้ออ้อยออกเฉพาะตำแหน่งที่จะติดเกจวัดความเครียดเท่านั้น

2. ใช้กระดาษทรายชนิดละเอียดขัดผิวของเหล็กเสริมบริเวณที่จะติดเกจวัดความเครียดให้เรียบปราศจากรอยขรุขระและสนิม

3. ทำความสะอาดบริเวณที่จะติดเกจวัดความเครียดให้ปราศจากคราบน้ำมัน คราบสกปรก รวมทั้งประจุไฟฟ้า ด้วยน้ำยาคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4)

4. ใช้กาวอีพอกซี่ (Epoxy) ชนิดแห้งเร็ว ทาลงบนตำแหน่งที่จะติดเกจวัดความเครียดและที่ตัวเกจวัดความเครียด จากนั้นติดเกจวัดความเครียดลงบนตำแหน่งที่ต้องการ

เกจวัดความเครียดที่ใช้เป็นชนิดไฟฟ้าที่มีทับหลังเป็นแผ่นฟิล์ม (Film) ซึ่งสามารถวัดหน่วยการยืดตัว หรือความเครียดได้สูงสุดที่ 10 % มีความต้านทาน 120 โอห์ม เกจแฟคเตอร์ (Gage factor, G.F.) เท่ากับ 2.17 และมีความยาวเกจ (Gage Length) 5 มม. หลังจากติดเกจวัดความเครียดเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงทำการต่อสายไฟโยงออกมา โดยให้ปลายสายไฟอยู่นอกแบบหล่อ และหุ้มเกจวัดความเครียดที่ติดเรียบร้อยแล้วด้วยสารป้องกันความชื้น เพื่อป้องกันความเสียหายในระหว่างการเทคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ 2.11

2.3.2 การหล่อตัวอย่างทดสอบ

ก่อนที่จะประกอบแบบหล่อเข้าด้วยกัน ผิวของแบบหล่อจะต้องทาด้วยน้ำมันทาแบบเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตติดกับแบบหล่อเมื่อคอนกรีตแข็งตัว จากนั้นจึงประกอบแบบหล่อเข้าด้วยกัน และจะต้องเอาสายไฟที่ต่อไว้กับเกจวัดความเครียดออกมานอกแบบหล่อที่เป็นโครงเคร่าไม้ดังแสดงในรูปที่ 2.12 การหล่อตัวอย่างทดสอบจะทำการหล่อส่วนที่เป็นฐานกำแพงก่อน โดยจะหล่อครั้งละ 2 ตัว และเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกตัวอย่างทดสอบละ 3 ตัวอย่าง หลังจากหล่อตัวอย่างทดสอบส่วนที่เป็นฐานเสร็จเรียบร้อยทั้ง 6 ตัวแล้ว จากนั้นจึงทำการหล่อส่วนที่เป็นกำแพง โดยจะหล่อครั้งละ 3 ตัว และเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกตัวอย่างทดสอบละ 3 ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างทดสอบ 1 ตัว จะใช้คอนกรีตประมาณ 2.4 $ม^3$. และในการเทคอนกรีตจากรถขนคอนกรีตลงในแบบหล่อส่วนที่เป็นฐานจะใช้รางสังกะสีเชื่อมต่อระหว่างรถขนคอนกรีตกับแบบหล่อ แล้วจึงปล่อยให้คอนกรีตจากรถขนคอนกรีตไหลลงแบบหล่อดังแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อส่วนที่เป็นตัวกำแพงจะเทโดยใช้ถังใส่คอนกรีต (Bucket) ขนาด 0.70 $ม^3$. แล้วใช้เครนในห้องปฏิบัติการยกถังขึ้นไปเทลงแบบหล่อซึ่งมีขอบบนอยู่สูงจากพื้นประมาณ 3.60 ม. ดังแสดงในรูปที่ 2.14 การเทคอนกรีตลงในแบบหล่อจะต้องใช้ความระมัดระวังมากเป็นพิเศษ เนื่องจากได้ทำการติดเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้าไว้บนผิวของเหล็กเสริม และในระหว่างการเทคอนกรีตจะทำการจี้และเขย่าคอนกรีต

ด้วยเครื่องเขย่าคอนกรีต (Vibrator) ทั้งในและนอกแบบหล่อดังแสดงในรูปที่ 2.15 เพื่อให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นปราศจากรูโพรง และเมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับที่ต้องการแล้วจึงใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบ

2.4 การเตรียมการทดสอบ

2.4.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

หลังจากหล่อตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยทั้ง 6 ตัวอย่างแล้ว ก็นำตัวอย่างที่จะทดสอบมาวางในตำแหน่งที่จะทำการทดสอบ ซึ่งในการวางตัวอย่างทดสอบลงบนพื้น (Test Floor) ของห้องปฏิบัติการทดสอบนั้น จะต้องทำการปรับให้พื้นของห้องปฏิบัติการทดสอบกับผิวล่างของฐานของตัวอย่างทดสอบเรียบและสัมผัสกันสนิท โดยใช้ปูนซิเมนต์ขาวผสมน้ำเทลงบนตำแหน่งที่จะวางตัวอย่างทดสอบให้มีความหนาประมาณ 1-2 ซม. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของฐานขณะทำการยึดที่ฐานของตัวอย่างทดสอบเพื่อไม่ให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการพลิกคว่ำหรือเคลื่อนที่ในช่วงที่กำลังทำการทดสอบ ซึ่งวิธีการยึดจะอธิบายในช่วงต่อไปของหัวข้อนี้ และตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวจะถูกทดสอบให้รับแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรที่ส่วนบนของกำแพงโดยมีระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพง ซึ่งแรงกระทำด้านข้างดังกล่าวจะถูกส่งจากเครื่องกดน้ำหนักไฮดรอลิกซ์ (Hydraulic Jack) แบบ Servopulser ที่สามารถให้น้ำหนักแบบสถิตย์ (Static Loading) ได้สูงสุด 150 ตัน โดยจะส่งผ่านแท่งเหล็กที่ออกแบบและเตรียมไว้เป็นพิเศษสำหรับการทดสอบนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 หลังจากนำแท่งเหล็กขึ้นไปติดตั้งบนกำแพงเรียบร้อยแล้ว จึงนำท่อนเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มม. จำนวน 4 ท่อน ร้อยผ่านแท่งเหล็กและยึดติดกับแป้นกดของเครื่องกดน้ำหนัก (Jack) เพื่อใช้ถ่ายแรงขณะดึงน้ำหนักกลับ (Load Reversal) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 จากนั้นนำคานเหล็กที่เตรียมไว้มาวางบนฐานกำแพง และใช้ท่อนเหล็กกำลังสูงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มม. จำนวน 8 ท่อน ร้อยผ่านรูที่อยู่บนคานเหล็กลงไปยังพื้นของห้องปฏิบัติการทดสอบ เพื่อยึดไม่ให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการพลิกคว่ำหรือเคลื่อนที่ในขณะทำการทดสอบ ซึ่งการยึดจะกระทำได้โดยใช้วิธีการอัดแรง เช่นเดียวกับวิธีการของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยใช้แรงดึงในท่อนเหล็กประมาณ 50 ตัน/ท่อน

2.4.2 การค้ำยันตัวอย่างทดสอบทางด้านข้าง

เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการบิด หรือเอียงออกทางด้านข้าง ซึ่งจะมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ ดังนั้นจึงต้องทำการค้ำยันตัวอย่างทดสอบทางด้านข้าง โดยการติดตั้งโครงเหล็กเพื่อใช้ค้ำยันที่ส่วนบนของตัวอย่างทดสอบทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2.19

2.4.3 การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's)

ก่อนทำการทดสอบ ผิวของตัวอย่างทดสอบเฉพาะส่วนที่เป็นกำแพงจะถูกทาด้วยสีขาวชนิดอาเท็กซ์ (Latex) เพื่อช่วยให้สังเกตเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจนในขณะทำการทดสอบ พร้อมทั้งตีตารางเพื่อความสะดวกในการวาดรอยร้าว และใช้อ้างอิงตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดรอยร้าว โดยทำการแบ่งออกเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20×20 ซม. จากนั้นทำการเจาะรูบนกำแพงเพื่อฝัง Mechanical Bolts ชนิดพลาสติก สำหรับติดชุดเครื่องมือวัดการเสียรูปด้วยแรงเฉือน ซึ่งจะประกอบด้วย เครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า LVDT's (Linear Variable Displacement Transducers) ที่มีช่วงการใช้งาน (Working Range) ± 1 นิ้ว จำนวน 6 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.20 จากนั้นจะทำการติดตั้ง LVDT's ที่มีช่วงการใช้งาน ± 2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว และ ± 3 นิ้ว จำนวน 2 ตัว เพื่อวัดการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ระดับ 0.45 ม., 0.90 ม., 1.50 ม. และ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 และติดตั้ง LVDT's ที่มีช่วงการใช้งาน ± 1 นิ้ว จำนวน 9 ตัว เพื่อวัดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งที่ขอบล่างสุดตลอดความกว้างของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.22 นอกจากนี้จะต้องทำการวัดการเคลื่อนที่ของฐานกำแพงด้วย โดยใช้ LVDT's ที่มีช่วงการใช้งาน ± 1 นิ้ว จำนวน 3 ตัว และ ± 0.25 นิ้ว จำนวน 4 ตัว ซึ่งจะวัดทั้งการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และแนวนอน ดังแสดงในรูปที่ 2.23 LVDT's ที่ใช้เป็นชนิด DC-DC ซึ่งสามารถอ่านค่าการเคลื่อนที่ได้ละเอียดถึง 0.0001 มม. และแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่ใช้ในการทำงานสำหรับงานวิจัยนี้คือ 10 Vdc. ซึ่งจ่ายจากแหล่งจ่าย (Supply Voltage) ภายนอกแบบปรับค่าได้

2.4.4 หน่วยรวบรวมข้อมูล

หลังจากติดตั้งตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์ทดสอบดังกล่าวข้างต้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการต่อสายไฟจากเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้า สายไฟจาก LVDT's และสายไฟจาก Load Cell โดยใช้สายไฟชนิดที่มีความต้านทานต่ำและมีสายดินหุ้มอยู่ตลอดสาย เพื่อป้องกันผลกระทบจากการรบกวนของสัญญาณไฟฟ้า เข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูลซึ่งมี 2 แบบคือ

1. Data Acquisition Unit ซึ่งประกอบด้วย Data Logger และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ PC (Personal Computer) โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้ในขณะทำการทดสอบ ซึ่งได้แก่ สัญญาณความต้านทานจากเกจวัดความเครียด สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก LVDT's และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก Load Cell จะถูกส่งมาเก็บไว้ที่ Data Logger ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสั่งให้ Data Logger เก็บข้อมูลทุกๆ 10 วินาที และข้อมูลที่อยู่ใน Data Logger ก็จะถูกนำไปเก็บไว้บนแผ่นแม่เหล็ก (Disk) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์อีกทีหนึ่ง

2. Analog-Digital Unit ซึ่งประกอบด้วย Analog-Digital Board และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ PC โดยข้อมูลที่ได้ในขณะทำการทดสอบ ซึ่งได้แก่ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก LVDT's และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก Load Cell จะถูกส่งผ่านเข้าไปยัง Analog-Digital Board จากนั้น Analog-Digital Board จะทำการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก LVDT's เป็นค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement) และ แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก Load Cell เป็นค่าของแรงกระทำด้านข้าง และแสดงผลไปยังจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะทำการทดสอบ ซึ่งผลที่แสดงออกมานั้นสามารถแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวอย่างทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ทันที นอกจากนี้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวอย่างทดสอบที่แสดงออกมาทางจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะถูกนำไปใช้ในช่วงของการให้แรงกระทำแบบ Displacement control ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อที่ 2.5

การทำงานของหน่วยรวบรวมข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นไดอะแกรม (Diagram) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.24 และตัวอย่างทดสอบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ จนพร้อมที่จะทำการทดสอบ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.25

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้จะไม่มีแรงในแนวดิ่งกระทำกับตัวอย่างทดสอบ เนื่องจากต้องการให้เห็นผลของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวชัดเจนมากขึ้น ดังนั้น ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจึงมีเฉพาะแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรกระทำที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเท่านั้น โดยในช่วงแรกของการทดสอบจะเป็นช่วงของการให้แรงกระทำแบบ Load Control ในช่วงนี้ตัวอย่างทดสอบจะถูกแรงทางด้านข้างกระทำจนถึง ±20 ตัน [*เครื่องหมาย + คือแรงด้านข้างที่ทำให้ Boundary Element ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับเครื่องกดน้ำหนัก (Jack) เกิดแรงอัด และเครื่องหมาย - คือแรงด้านข้างที่ทำให้ Boundary Element ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับเครื่องกด*

น้ำหนัก (Jack) เกิดแรงดึง] ซึ่งจะมีค่ามากกว่าน้ำหนักแตกร้าว (Cracking Load) ของตัวอย่างทดสอบ โดยแรงที่กระทำจะเริ่มจากศูนย์ และเพิ่มขึ้นทีละ +5 ตัน จนถึง +20 ตัน และลดลงทีละ 5 ตัน จนเป็นศูนย์ จากนั้นจะเพิ่มขึ้นทีละ -5 ตัน จนถึง -20 ตัน และลดลงทีละ 5 ตัน จนกระทั่งเป็นศูนย์ ถือว่าครบหนึ่งรอบ

หลังจากที่ตัวอย่างทดสอบถูกแรงด้านข้างกระทำจนถึง ±20 ตัน เป็นจำนวน 3 รอบแล้ว ในรอบที่ 4 ตัวอย่างทดสอบจะถูกแรงด้านข้างกระทำจนกระทั่งเหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element เริ่มเกิดการคราก โดยสังเกตได้จากความเครียด (Strain) ในเหล็กเสริม ซึ่งจะมีค่าประมาณ 0.002 และในขณะเดียวกันก็จะได้การเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเป็น $+\Delta_y$ (Δ_y มีค่าประมาณ 7.50 มม.) จากนั้นก็ให้แรงด้านข้างกระทำจนกระทั่งมีการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเป็น $-\Delta_y$ และลดแรงด้านข้างลงจนเป็นศูนย์ และหลังจากที่เหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element เกิดการคราก การให้แรงกระทำแบบ Load Control จะทำได้ยาก กล่าวคือไม่สามารถควบคุมแรงที่กระทำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ดังนั้นตั้งแต่รอบที่ 5 เป็นต้นไป การให้แรงกระทำจะเปลี่ยนเป็นแบบ Displacement Control ซึ่งจะเป็นการควบคุมค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวอย่างทดสอบแทนการควบคุมแรง และทำได้ง่ายกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ โดยดูจากจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (PC) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4.4 ดังนั้น ในรอบที่ 5 และ 6 ตัวอย่างทดสอบจะถูกแรงด้านข้างกระทำจนกระทั่งมีการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเป็น $\pm\Delta_y$ จากนั้นตั้งแต่รอบที่ 7 เป็นต้นไป การเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงของตัวอย่างทดสอบ จะถูกเพิ่มขึ้น $\pm\Delta_y$ ในทุกๆ 3 รอบ ซึ่งหมายความว่า ในรอบที่ 7, 8, 9 ตัวอย่างทดสอบจะถูกแรงด้านข้างกระทำจนกระทั่งมีการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเป็น $\pm 2\Delta_y$ และในรอบที่ 10, 11, 12 ตัวอย่างทดสอบจะถูกแรงด้านข้างกระทำจนกระทั่งมีการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานกำแพงเป็น $\pm 3\Delta_y$ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ (Failure) และประวัติการรับน้ำหนัก (Loading History) ของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดที่อธิบายไว้ข้างต้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.26

ในขณะทำการทดสอบ นอกจากจะทำการบันทึกข้อมูลสัญญาณความต้านทานจากเกจวัดความเครียด, สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก LVDT's และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก Load Cell แล้ว ยังมีการสเก็ช (Sketch) ลักษณะรอยแตกร้าว (Crack Pattern) และวัดความกว้างของรอยแตกร้าว (Crack Width) ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบอีกด้วย