บทที่ 3

การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการและรายละเอียดในการทดสอบตัวอย่างเหล็กเสริม เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักรของเหล็กเสริม โดยได้อธิบายถึง การกำหนดรูปร่างและขนาดของตัวอย่างทดสอบ การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อเตรียมทำการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ และการแสดงผลการทดสอบ

3.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเหล็กเส้นข้ออ้อย (Deformed Bar) ตามมาตรฐาน มอก. 24-2527 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. แบ่งเป็นสองชั้นคุณภาพ คือ

ก. ชั้นคุณภาพ SD30 กำหนดให้กำลังคราก (Yield Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 3,000 กก/ซม^2 กำลังรับแรงดึงประลัย (Tensile Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 4,900 กก/ซม^2 และค่าการยืดหดตัว (Elongation) ในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม มีค่าไม่น้อยกว่า 17 % เมื่อทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80

ข. ชั้นคุณภาพ SD40 กำหนดให้กำลังคราก (Yield Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 4,000 กก/ซม^2 กำลังรับแรงดึงประลัย (Tensile Strength) มีค่าไม่น้อยกว่า 5,700 กก/ซม^2 และค่าการยืดหดตัว (Elongation) ในช่วง 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม มีค่าไม่น้อยกว่า 15 % เมื่อทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80

3.1.1 *ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ*

จากข้อกำหนดเบื้องต้นของการทดสอบที่ไม่ต้องการคิดถึงผลอันเนื่องมาจากการโก่งดัด (Buckling) ในตัวอย่างทดสอบ และข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบ การกำหนดขนาดและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องเลือกให้เหมาะสม

ขนาดของตัวอย่างทดสอบ เลือกใช้หน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องกำลังของเครื่องมือทดสอบ ซึ่งสามารถให้กำลังสูงสุดได้ที่ 20 ตัน สำหรับรูปร่างและความยาวของหน้าตัดที่ลดขนาด เลือกให้มีความยาวของหน้าตัดที่ลดขนาดเท่ากับ 30 มม. และกลึงทำเป็นคอคอดลดขนาดหน้าตัดจากหน้าตัดปกติ เพื่อป้องกันการเกิดหน่วยแรงรวมจุด (Stress Concentration) บริเวณตำแหน่งซึ่งมีการเปลี่ยนขนาดหน้าตัดอย่างทันทีทันใด ผลการตรวจสอบการโก่งเดาะเนื่องจากความเครียดอัด (Compressive Strain) เมื่อนำไปทดลองทดสอบกับเครื่องมือทดสอบ และวัดความเครียดในเกจวัดความเครียด (Strain Gage) ซึ่งติดตั้งอยู่บนสองด้านตรงกันข้าม บริเวณกึ่งกลางความยาวของตัวอย่างทดสอบ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในเกจวัดความเครียดทั้งสองตัวมี

ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าไม่มีการโก่งเดาะเนื่องจากความเครียดอัด ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีการทำเกลียวที่หัวและท้ายของตัวอย่างทดสอบเพื่อใช้ยึดเข้ากับหัวจับ (รูปที่ 3.2) ที่เข้าได้กับเครื่องทดสอบ

3.2 รายการการทดสอบ

การทดสอบนี้ ได้ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบทั้งสิ้น 28 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น ชั้นคุณภาพ SD30 จำนวน 13 ตัวอย่าง (ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 301-313) และชั้นคุณภาพ SD40 จำนวน 15 ตัวอย่าง (ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 401-415) ทำการทดสอบโดยใช้รูปแบบความเครียดมีลักษณะเหมือนกันสำหรับเหล็กทั้งสองชั้นคุณภาพ เพื่อให้สามารถนำผลมาเปรียบเทียบกันได้

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ใช้รูปแบบความเครียด (Strain History) เป็นตัวแปรควบคุมหลักในการศึกษา ทำการทดสอบโดยใช้รูปแบบความเครียดทั้งหมด 15 รูปแบบ การกำหนดรูปแบบความเครียดที่ใช้ทดสอบในแต่ละตัวอย่าง กำหนดขึ้นโดยใช้รูปแบบความเครียดที่ใช้ในการทดสอบในอดีตที่ผ่านมา (1,5,6), รูปแบบความเครียดเพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อกำหนดในแบบจำลองวัสดุที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2, รูปแบบที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่อาจเกิดขึ้นได้ในโครงสร้าง โดยนำมาจากผลการทดสอบกำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) ในงานวิจัยของพิชัย ภัทรรัตนกุล (8) และรูปแบบความเครียดที่สมมาตรกันทั้งทางด้านรับแรงดึงและด้านรับแรงอัด สำหรับรายละเอียดของรูปแบบความเครียดที่ใช้ในแต่ละตัวอย่างทดสอบ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11

3.3 การเตรียมการทดสอบ

3.3.1 *การติดเกจวัดความเครียด*

หลังจากได้ตัวอย่างทดสอบตามที่แสดงในรูปที่ 3.1 แล้ว นำมาทำการติดเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้า (Electrical Strain Gage) ที่บริเวณกึ่งกลางความยาวของตัวอย่างทดสอบ จำนวนสองตัว ต่อหนึ่งตัวอย่างทดสอบ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดเกจวัดความเครียดแสดงในรูปที่ 3.3 สำหรับการติดตั้งเกจวัดความเครียดมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ใช้กระดาษทรายชนิดละเอียดขัดผิวของตัวอย่างทดสอบบริเวณที่ต้องการติดเกจวัดความเครียดให้มีผิวหน้าที่เรียบพอ
2. ทำความสะอาดบริเวณที่ต้องการติดเกจวัดความเครียด จากความสกปรก คราบรอยนิ้วมือ และอื่น ๆ ด้วยน้ำยาแอซิโดน (Acetone)
3. ทำการวัดและกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนที่ต้องการจะติดเกจวัดความเครียด
4. ทำการติดเกจวัดความเครียดลงบนตำแหน่งที่ต้องการ โดยใช้กาวชนิดไซยาโนอะครีเลต (Cyanoacrylate Adhesive)

5. ทิ้งให้เกจวัดความเครียดติดกับตัวอย่างทดสอบให้แน่นสนิท ตามระยะเวลาที่กำหนดในคู่มือการติดตั้งเกจวัดความเครียด

เกจวัดความเครียดที่ใช้เป็นชนิดไฟฟ้าที่มีทับหลังเป็นแผ่นฟิล์ม (Film) สามารถวัดความเครียดได้สูงสุด 10 % มีความยาวเกจ (Gage Length) 5 มม. ความต้านทาน 120 โอห์ม เกจแฟคเตอร์ (Gage Factor) เท่ากับ 2.17 รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างทดสอบที่ติดเกจวัดความเครียดเรียบร้อยแล้ว

3.3.2 *การติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's)*

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของเกจวัดความเครียด ในการทดสอบนี้จึงใช้เครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's, Linear Variable Displacement Transducers) สำหรับวัดการยืดหดตัวของตัวอย่างทดสอบ แล้วนำมาแปลงเป็นค่าความเครียดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบ สำหรับการทดสอบนี้จำเป็นต้องมีการออกแบบอุปกรณ์พิเศษสำหรับยึดเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้าเข้ากับตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

หลังจากการติดเกจวัดความเครียดเข้ากับตัวอย่างทดสอบแล้ว นำหัวจับมายึดเข้ากับเกลียวของตัวอย่างทดสอบ แล้วจึงติดตั้งอุปกรณ์จับเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้าเข้ากับตัวอย่างทดสอบ โดยยึดเข้ากับตำแหน่งที่ได้ทำเครื่องหมายและเจาะนำร่องไว้ก่อนแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.6 จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า จำนวน 4 ตัว เข้ากับอุปกรณ์จับที่ติดกับตัวอย่างทดสอบเรียบร้อยแล้ว โดยอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามกัน เพื่อใช้สำหรับหาค่าเฉลี่ยของการยืดหดตัวที่วัดได้ สำหรับเครื่องวัดความเคลื่อนที่แบบไฟฟ้าที่ใช้เป็นชนิดกระแสตรง (DC-DC) สามารถอ่านค่าการเคลื่อนที่ได้ละเอียด (Resolution) ถึง 0.0001 มม. ช่วงการใช้งาน (Working Range) เท่ากับ ± 1 นิ้ว แรงดันไฟฟ้าเพื่อการใช้งานเท่ากับ 10 โวลต์ แหล่งจ่ายไฟ (Supply Voltage) แบบปรับค่าได้

3.3.3 *หน่วยรวบรวมข้อมูล*

หลังจากติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ เข้ากับตัวอย่างทดสอบดังอธิบายข้างต้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการต่อสายไฟจากเกจวัดความเครียด 2 ตัว เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า จำนวน 4 ตัว และ Load Cell เข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูล อันประกอบไปด้วย

ก. หน่วยจัดการข้อมูล (Data Acquisition Unit) ซึ่งมี ดาตาล็อกเกอร์ (Data Logger) เป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อก (Analog) จากความต้านทานของเกจวัดความเครียด แรงดันไฟฟ้าของเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของโหลดเซลล์ (Load Cell) เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) ซึ่งสามารถให้ความละเอียดของข้อมูล (Resolution) ในรูปแบบดิจิตอล (Digital) ได้เท่ากับ 16 บิต โดยใช้งานร่วมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Personal Computer) เพื่อแสดงผล จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอล (Digital) ในขณะที่ทำการทดสอบ และควบคุมการทำงานของดาตา

ล็อกเกอร์ (Data Logger) ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะสั่งให้ดาตาล็อกเกอร์ (Data Logger) ทำการจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 วินาที ตลอดการทดสอบ

ข. หน่วยแสดงผลกราฟฟิก ซึ่งมี บอร์ดแปลงสัญญาณ (Analog-Digital Board) เป็นอุปกรณ์ซึ่งจำทำการแปลงสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าของเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า (LVDT's) และแรงดันไฟฟ้าของโหลดเซลล์ (Load Cell) เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) และส่งผ่านสัญญาณให้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Personal Computer) จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแปลงสัญญาณจากเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า และโหลดเซลล์ (Load Cell) เป็น หน่วยการยืดหดตัว และ หน่วยแรง ตามลำดับ พร้อมทั้งแสดงผลไปยังจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ในรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ ณ. เวลาที่ทำการทดสอบจริง ซึ่งทำให้สามารถควบคุมการทดสอบให้เป็นไปได้อย่างถูกต้อง และตรงกับความต้องการของผู้ทำการทดสอบ

การติดตั้งหน่วยรวบรวมข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.7 เป็นไดอะแกรมแสดงการเชื่อมโยงสัญญาณจากอุปกรณ์วัดต่าง ๆ เข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูล และรูปที่ 3.8 แสดงภาพตัวอย่างทดสอบที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมทำการทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ก. ทำการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ ซึ่งติดเกจวัดความเครียด เครื่องวัดความเครียดแบบไฟฟ้า พร้อมต่อวงจรเข้ากับหน่วยรวบรวมข้อมูล ตามรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อที่ 3.3 เข้ากับเครื่องกดน้ำหนักไฮโดรลิกซ์ แบบ Servopulser ของ Shimadzu Model EHF-EB20-40L ขนาดน้ำหนักสูงสุด 20 ตัน ทั้งแรงดึงและแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.9

ข. ตั้งระบบการทำงานของเครื่อง Servopulser ให้ตรงตามความต้องการของการทดสอบ ในงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบของความเครียด (Strain History) ของตัวอย่างทดสอบ เป็นตัวแปรควบคุมในการทดสอบ จึงต้องทำการกำหนดให้เครื่องกดน้ำหนักทำการให้แรงกระทำกับตัวอย่างทดสอบโดยวิธีควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) จากนั้นกำหนดน้ำหนักสูงสุดสำหรับการทดสอบไว้ที่ 20 ตัน และกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของหัวจับไว้ที่ 0.75 มม./นาที (ค่าอัตราเร็วในการให้ความเครียดอยู่ในช่วง $5x10^{-5}$ ถึง $3x10^{-4}$) เพื่อให้หน่วยรวบรวมข้อมูลสามารถบันทึกข้อมูลได้เพียงพอที่จะสังเกตุเห็นสภาวะการคราก ขณะทำการทดสอบได้อย่างชัดเจน พร้อมทั้งกำหนดทิศทางเริ่มต้นตามรูปแบบความเครียดที่ต้องการสำหรับตัวอย่างนั้น ๆ

ค. ทำการเรียกโปรแกรมควบคุมการทำงานของหน่วยรวบรวมข้อมูล เพื่อเตรียมพร้อมในการเก็บข้อมูล แล้วจึงเดินเครื่องไฮโดรลิกซ์ของเครื่องกดน้ำหนัก Servopulser จากนั้นให้แรงกระทำกับตัวอย่างทดสอบ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของหัวจับจะเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้แต่แรก

ง. ทำการควบคุมรูปแบบความเครียด (Strain History) ให้เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้แต่แรก โดยดูจากหน่วยการยืดหดตัวของตัวอย่างทดสอบที่อ่านได้ ณ. เวลานั้น ๆ ซึ่งจะแสดงผลให้เห็นตลอดเวลาบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 แล้วทำการปรับทิศทางการให้แรงของเครื่องกดน้ำหนัก Servopulser ให้เป็นไปตามที่ต้องการ ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบหน่วยรวบรวมข้อมูลจำทำการอ่านข้อมูล อันประกอบไปด้วย สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากโหลดเซลล์ (Load Cell), สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า และค่าความต้านทานจากเกจวัดความเครียดไว้ทั้งหมด พร้อมทั้งเก็บบันทึกลงในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาทำการประมวลผลในภายหลัง รวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบสำหรับแต่ละตัวอย่างประมาณ 3 ชั่วโมง

3.5 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบของตัวอย่างทั้ง 28 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างเหล็กเสริมข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD30 จำนวน 13 ตัวอย่าง (ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 301-313) และชั้นคุณภาพ SD40 จำนวน 15 ตัวอย่าง (ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 401-415) แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.11 แสดงรายละเอียดของรูปแบบความเครียด (Strain History) สำหรับทุกตัวอย่างทดสอบ