

บทที่ 4

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.1 วัตถุประสงค์

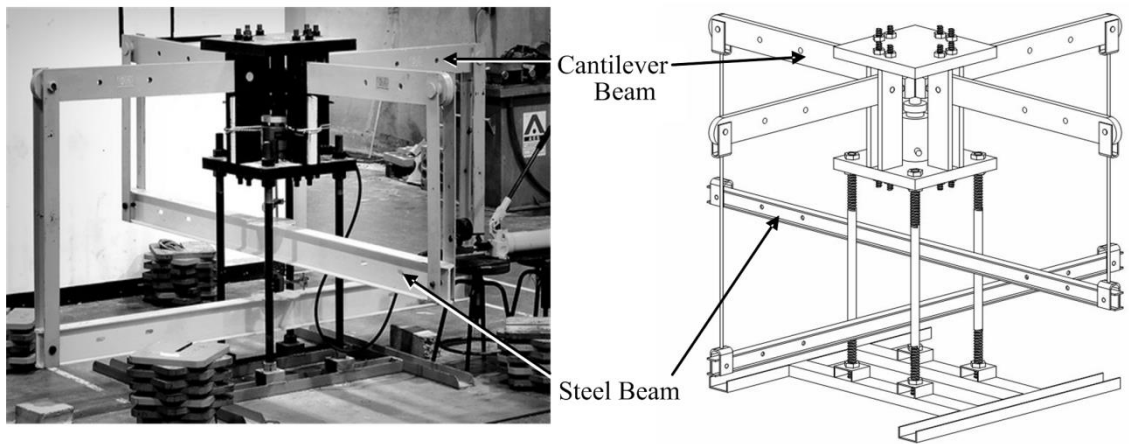
เนื้อหาในบทนี้อธิบายขั้นตอน วิธีการ และข้อปฏิบัติในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของรอยแตกของหินแกรนิตในสามแกนภายใต้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 30°C, 100°C, 300°C, และ 500°C และมีความเค้นล้อมรอบเท่ากับ 1, 3, 7, 12, และ 18 MPa โดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อจำลองสภาวะของความเค้นที่กระทำบนรอยแตกของหินแกรนิตภายใต้อุณหภูมิ 30°C, 100°C, 300°C และ 500°C

4.2 โครงกทดสอบในสามแกน

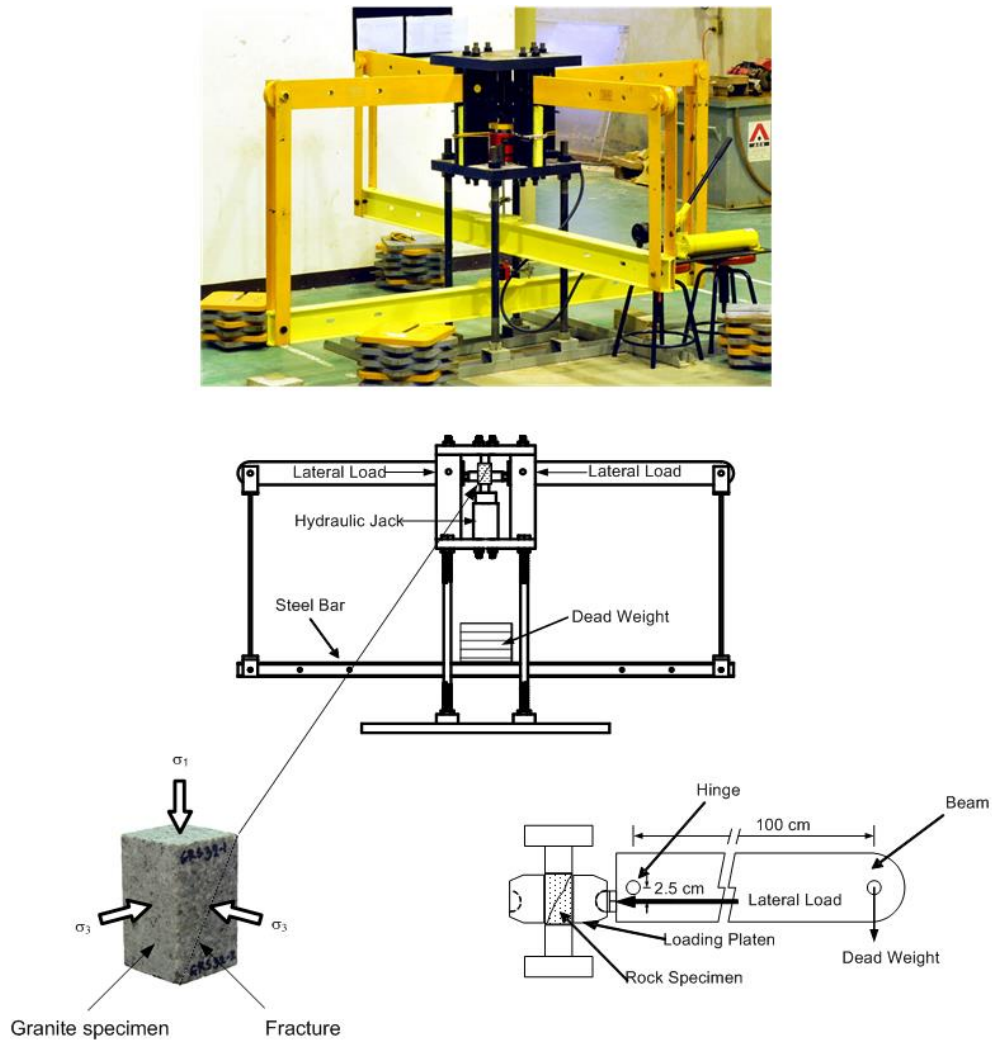
โครงกทดสอบในสามแกนที่ใช้ในการศึกษานี้มีพื้นฐานการออกแบบ 3 ประการ คือ

- 1) สามารถกำหนดค่าความเค้นล้อมรอบให้คงที่ในขณะที่ทำการทดสอบ
- 2) สามารถทดสอบตัวอย่างหินที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าแท่งตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบแรงกดสูงสุดในสามแกนแบบดั้งเดิม (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 54 mm)
- 3) สามารถวัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวแกนหลักได้โดยตรง

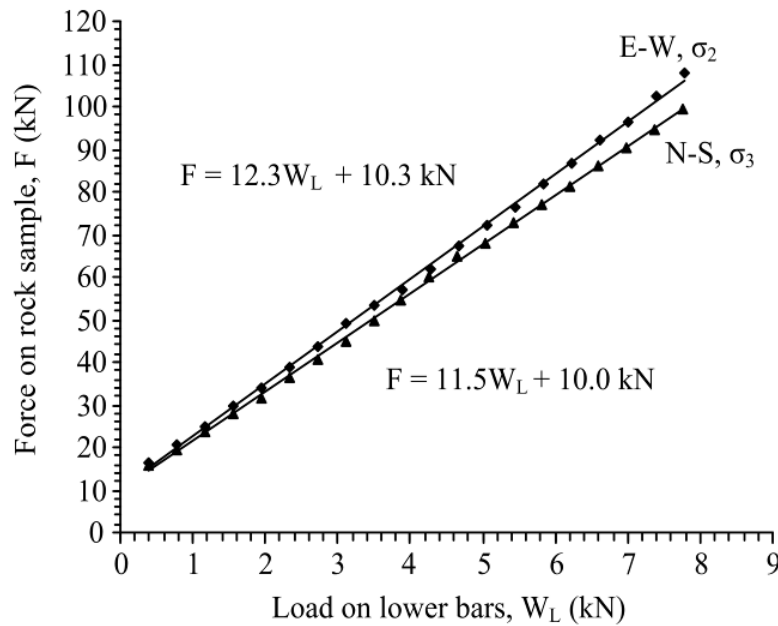
รูปที่ 4.1 แสดงโครงกทดสอบในสามแกนจริง (Walsri et al., 2009) ที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดในสามแกน โดยค่าความเค้นด้านข้างที่กระทำบนตัวอย่างหินในแต่ละด้านจะได้รับแรงที่เกิดจากคานทอดแรงส่วนล่างของคานรับตุ้มน้ำหนัก (Dead weight) ที่ใช้เหล็กเส้นแขวนตุ้มน้ำหนักเชื่อมต่อระหว่างจุดปลายของคานทั้งสองข้าง (ที่จุดกึ่งกลางของคานรับตุ้มน้ำหนัก) เพื่อใช้ใส่ตุ้มน้ำหนักในการดึงแขนของคานทอดแรง (Cantilever beam) ทั้งสองข้างลงดังแสดงในรูปที่ 4.2 ที่จุดปลายด้านในของคานทอดแรงจะใช้เพลายึดติดกับเสายึดคานทอดแรงที่อยู่ในแต่ละด้านของโครงกทดสอบ ในขณะที่ทำการทดสอบคานทอดแรงทุกข้างจะถูกปรับให้อยู่ในแนวระนาบ ซึ่งส่งผลต่อแรงกดด้านข้างบนตัวอย่างหินที่จุดกึ่งกลางของโครงกทดสอบ และได้กำหนดระยะห่างของเหล็กเส้นแขวนตุ้มน้ำหนักที่ใช้แขวนคานรับตุ้มน้ำหนักจากจุดปลายด้านนอกถึงปลายด้านใน อัตราส่วนของแรงมีค่าเท่ากับ 12.3 เท่า ในทิศตะวันออก-ตะวันตก (E-W) และ 11.5 เท่า ในทิศเหนือ-ใต้ (N-S) ซึ่งได้ทำการสอบเทียบโดยใช้ Electronic load cell ดังรูปที่ 4.3 อัตราส่วนของแรงที่ได้นี้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแท่งตัวอย่างด้านข้างด้วยการวัดอัตราการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแท่ง



รูปที่ 4.1 โครงทดสอบในสามแกน (Walsri et al., 2009)



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของโครงทดสอบในสามแกน



รูปที่ 4.3 การสอบเทียบอัตราส่วนของแรงเสียดทานด้านข้างที่เกิดจาก σ_3 โดยใช้ Electronic load cell อัตราส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณแก้ไขค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Walsri et al., 2009) ของแท่งตัวอย่างหินด้านข้าง

เหล็กทั้งสองที่อยู่ด้านล่าง ส่วนแรงที่กระทำด้านข้างได้ออกแบบให้สามารถให้ความเค้นมากกว่า 50 MPa และปั๊มไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์ให้ความเค้นที่กระทำในแนวดิ่ง (σ_1) ซึ่งสามารถให้ความเค้นสูงมากกว่า 100 MPa โครงทดสอบสามารถรองรับขนาดของตัวอย่างหินได้ตั้งแต่ $2.5 \times 2.5 \times 2.5 \text{ cm}^3$ ถึง $10 \times 10 \times 20 \text{ cm}^3$ การทดสอบกับแท่งตัวอย่างที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันจะต้องมีการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างหัวกดทั้งสองข้างให้เหมาะสม

4.3 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสามแกน

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสามแกนภายใต้อุณหภูมิสูงในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด และศึกษาผลกระทบของความเค้นล้อมรอบต่อรอยแตกของหินภายใต้อุณหภูมิสูง โดยกำหนดให้ความเค้นล้อมรอบตัวอย่างหินแกรนิตมีค่าระหว่าง 1, 3, 7, 12 และ 18 MPa ที่อุณหภูมิ 30°C, 100°C, 300°C และ 500°C โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนบนรอยแตกผิวขรุขระ 2) การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนบนรอยแตกผิวเรียบ

4.3.1 การเตรียมตัวอย่างหินสำหรับการทดสอบ

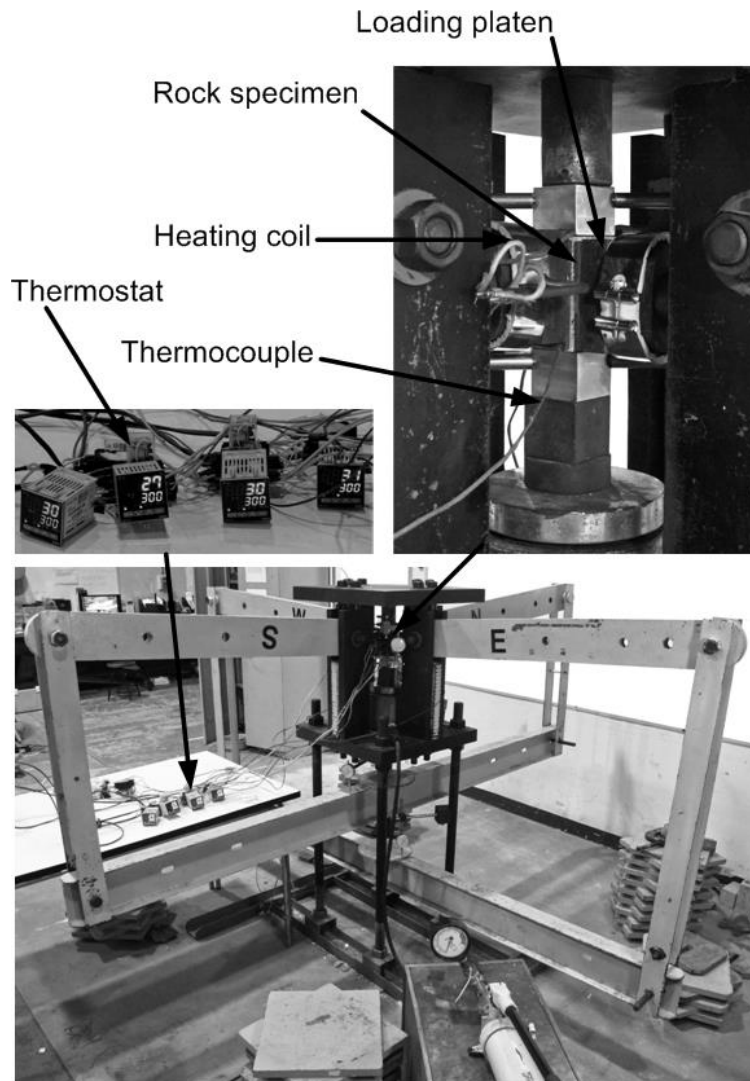
ตัวอย่างหินแกรนิตที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสามแกนภายใต้ อุณหภูมิสูงเมื่อถูกสร้างรอยแตกในห้องปฏิบัติการด้วยการให้แรงดึงแบบแนวเส้นและตัดตัวอย่าง หินให้ได้ขนาดตามที่ต้องการแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างหินมาประกบกันและประกบเข้าด้วยแผ่น เหล็ก (Steel plate)

4.3.2 วิธีติดตั้งตัวอย่างหินแกรนิตในโครงทดสอบและการตรวจวัด

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสามแกนบนหินแกรนิต (ผิวขรุขระ และผิวเรียบ) มี วิธีการและขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) จัดเตรียมตัวอย่างหินแกรนิตเพื่อใส่ในโครงทดสอบ โดยให้รอยแตกของ ตัวอย่างวางตัวในแนวเหนือ-ใต้กับโครงทดสอบ
- 2) ยกคานในแนวเหนือ-ใต้เพื่อใส่ตัวอย่างหินแกรนิตพร้อมกับเบ้ากดให้ความร้อน เข้าไปในแท่นกด จากนั้นปล่อยคานลงเพื่อให้เบ้ากดให้ความร้อนชนกับตัวอย่างหิน
- 3) ติดตั้งเทอร์โมคอปเปอร์ที่กึ่งกลางตัวอย่างหิน
- 4) ยกคานในแนวตะวันออก-ตะวันตกเพื่อใส่ตัวอย่างหินแกรนิตพร้อมกับเบ้ากดให้ ความร้อนเข้าไปในแท่นกด แล้วปล่อยคานลงเพื่อให้เบ้ากดให้ความร้อนชนกับ ตัวอย่างหิน
- 5) นำเบ้ากดติดตั้งทั้งด้านล่างและด้านบนของตัวอย่างหินเพื่อให้แรงกดในแนวแกน
- 6) เปิดอุปกรณ์ปรับอุณหภูมิไปที่ 100°C, 300°C หรือ 500°C ดังแสดงรูปที่ 4.4 เพื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ
- 7) ประกอบคานด้านล่างทั้งสองแกนและใส่น้ำหนักกดทับ (แผ่นเหล็กตันรูป สี่เหลี่ยม) เพื่อส่งผ่านความเค้นล้อมรอบให้กับตัวอย่างหิน จากนั้นเพิ่มแผ่น น้ำหนักตามที่ได้ออกแบบไว้
- 8) กดตัวอย่างหินแกรนิตด้วยปั๊มไฮดรอลิกจนกระทั่งเกิดการวิบัติ จากนั้นบันทึกค่า กำลังเฉือนสูงสุดที่ได้
- 9) ทำการปิดเครื่องเทอร์โมสตัท แล้วปล่อยให้ตัวอย่างหินเย็นตัวลง

ในระหว่างการทดสอบจะทำการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวของตัวอย่างหินแกรนิตใน แต่ละแนวแกน โดยจะติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัว (Dial gauge) ในแนวแกนและความเค้น ด้านข้างทั้ง 2 แกน ซึ่งได้ทำการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวระหว่างการทดสอบในขณะที่ตัวอย่าง หินแกรนิตรับแรงกดเพิ่มขึ้นด้วยปั๊มไฮดรอลิกจนกระทั่งถึงค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุด



รูปที่ 4.4 การติดตั้งเข้ากวดให้ความร้อน

4.4 การคำนวณผลการทดสอบ

การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบในสามแกน สามารถให้ค่าความเค้นในแนวแกน (σ_1) และความเค้นล้อมรอบ (σ_3) โดยมีการจัดบันทึกค่าความเค้นหลักในแนวแกนและค่าการเคลื่อนที่ของตัวอย่างหิน ค่าที่บันทึกไว้ได้นำมาคำนวณหาความเค้นตั้งฉาก (σ_n) และค่ากำลังรับแรงเฉือน (τ) (Jaeger et al., 2007) ดังสมการ

$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\beta \quad (4.1)$$

$$\sigma_n = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta \quad (4.2)$$

โดยที่ σ_1 คือ ความเค้นหลักในแนวแกน
 σ_3 คือ ความเค้นล้อมรอบ
 β คือ มุมระหว่างความเค้นหลักในแนวแกนกับความเค้นตั้งฉาก (รอยแตกของตัวอย่างหินแกรนิตที่ใช้ในการทดสอบมีค่ามุมเท่ากับ 60° ทุกตัวอย่าง)

การคำนวณการเคลื่อนตัวของรอยแตกในแนวแกนตั้งฉากและการเคลื่อนตัวในแนวเฉือน สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$d_s = \frac{1}{2} (d_1 - d_3) \sin 2\beta \quad (4.3)$$

$$d_n = \frac{1}{2} (d_1 + d_3) + \frac{1}{2} (d_1 - d_3) \cos 2\beta \quad (4.4)$$

โดยที่ d_1 คือ ระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกนหลัก
 d_3 คือ ระยะการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง (ความเค้นล้อมรอบ)