

## บทที่ 6

### การวิเคราะห์ผลการทดสอบการคืบในสามแกนจริง

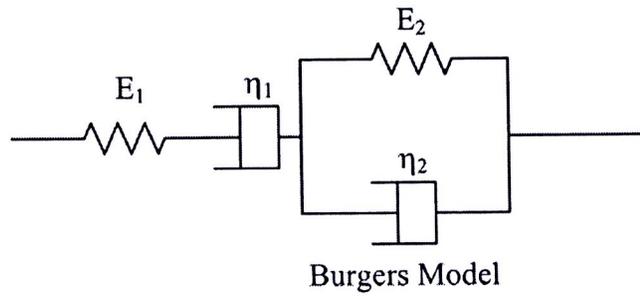
พฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปร่างในเชิงเวลา (Creep) ของเกลือหินภายใต้ความเค้นกดในสามแกนที่มีค่าไม่เท่ากันได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ชั้นสูงของ Jaeger and Cook (1979) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานแบบจำลองของ Burgers เนื้อหาในบทนี้แสดงรายละเอียดและขั้นตอนของการวิเคราะห์ผล

#### 6.1 แบบจำลองของ Burgers

ผลที่ได้จากการทดสอบการคืบในสามแกนจริงถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการหาพฤติกรรมของตัวอย่างเกลือหินภายใต้การให้ความเค้นในสามแกนจริงที่ขึ้นกับเวลา ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปสอบเทียบ (Calibrate) เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติการคืบ (Creep) ที่เกี่ยวข้องกับความหนืดเชิงยืดหยุ่น (Visco-elastic) และเชิงพลาสติก (Visco-plastic) ของเกลือหิน สมการยืดหยุ่นเชิงเส้นตรงของ Jaeger and Cook (1979) ได้ถูกนำมาพัฒนาให้เป็นสมการความหนืดเชิงยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง (Linear visco-elastic) เพื่อใช้ในการสอบเทียบค่าคงที่ให้อยู่บนพื้นฐานแบบจำลองของ Burgers โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงในรูปแบบ Laplace transformation จึงได้สมการความหนืดเชิงยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง รูปที่ 6.1 แสดงองค์ประกอบแบบจำลองของ Burgers ซึ่งประกอบไปด้วยค่าคงที่  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\eta_1$  และ  $\eta_2$  ความเครียดในแนวเฉือน ( $\gamma_{oct}$ ) ในฟังก์ชันของเวลาที่พัฒนาโดยใช้ Laplace Transformation สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\gamma_{oct}(t) = \tau_{oct} \left[ \frac{t}{\eta_1} + \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t \cdot E_2}{\eta_2}\right) \right\} \right] \quad (6.1)$$

โดยที่	$\gamma_{oct}(t)$	คือ ความเครียดในแนวเฉือนเชิงเวลา
	$\tau_{oct}$	คือ ความเค้นในแนวเฉือน ซึ่งเป็นค่าคงที่เชิงเวลาสำหรับแต่ละตัวอย่างเกลือหิน
	$E_1$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น
	$E_2, \eta_2$	คือ ค่าความหนืดเชิงยืดหยุ่น
	$\eta_1$	คือ ค่าความหนืดเชิงพลาสติก
	$t$	คือ เวลา



รูปที่ 6.1 องค์ประกอบแบบจำลองของ Burgers

## 6.2 การสอบเทียบค่าคงที่ของ Burgers

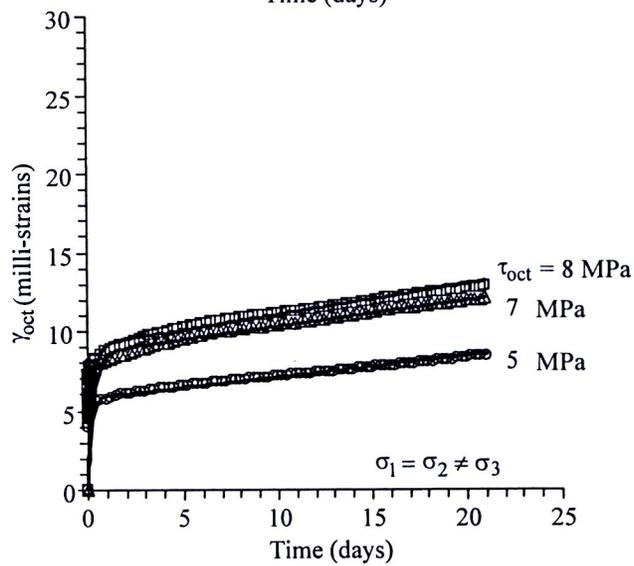
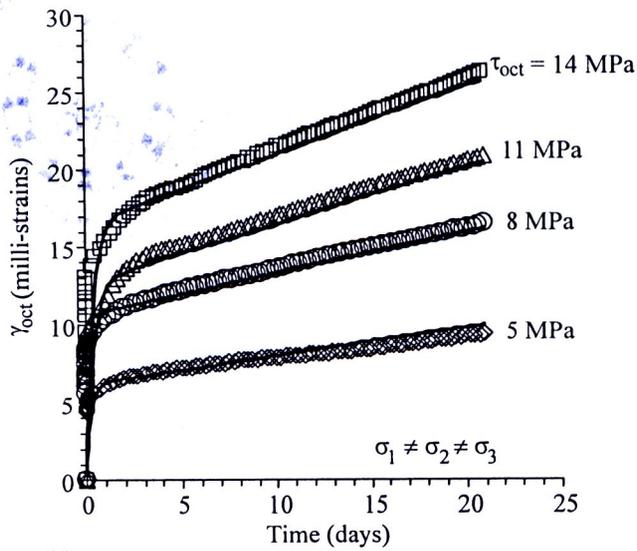
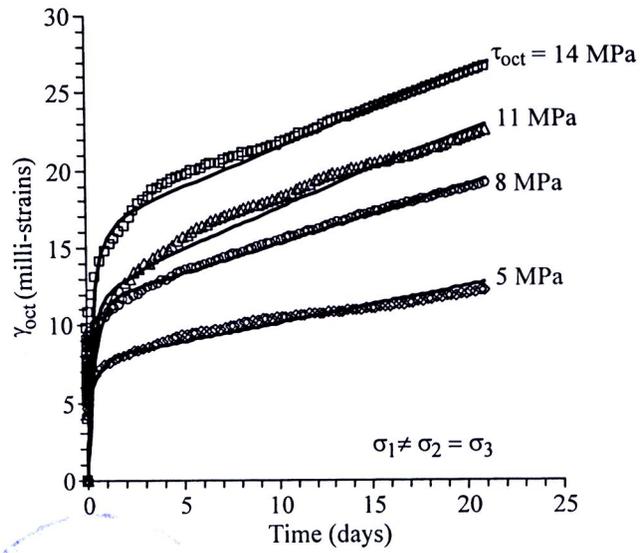
การสอบเทียบค่าคงที่นี้ได้ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (SPSS) ผลจากการสอบเทียบค่าคงที่โดยใช้แบบจำลองของ Burgers ภายใต้สภาวะความเค้นเฉือนคงที่ในระดับต่างกันของแต่ละตัวอย่างได้แสดงไว้ในแผนภูมิรูปที่ 6.2 ซึ่งความเครียดในแนวเฉือนแสดงในฟังก์ชันของเวลาของการทดสอบ แผนภูมิได้นำเสนอการเปรียบเทียบชุดข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการคืบในสามแกนจริงทั้งสามสภาวะความเค้นกับชุดข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบค่าคงที่ ผลจากการสอบเทียบสามารถนำไปหาความสัมพันธ์ได้คือค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการสอบเทียบข้อมูลว่ามีประสิทธิภาพดีมาน้อยเพียงใดดังสมการ

$$k = \frac{\sum(\gamma_{\text{oct}} - \bar{\gamma}_{\text{oct}})(\gamma'_{\text{oct}} - \bar{\gamma}'_{\text{oct}})}{\sqrt{\sum(\gamma_{\text{oct}} - \bar{\gamma}_{\text{oct}})^2 \sum(\gamma'_{\text{oct}} - \bar{\gamma}'_{\text{oct}})^2}} \quad (6.2)$$



- โดยที่
- k คือ ค่าสหสัมพันธ์
  - $\gamma_{\text{oct}}$  คือ ความเครียดในแนวเฉือนที่ได้จากการทดสอบ
  - $\gamma'_{\text{oct}}$  คือ ความเครียดในแนวเฉือนที่ได้จากการสอบเทียบ
  - $\bar{\gamma}_{\text{oct}}$  คือ ความเครียดในแนวเฉือนเฉลี่ย

ตารางที่ 6.1 สรุปผลที่ได้จากการสอบเทียบค่าคงที่จากแบบจำลองของ Burgers ของการทดสอบการคืบในสามแกนจริง ตารางดังกล่าวได้แสดงรูปแบบของการทดสอบ ค่าความเค้นในแนวเฉือน ค่าคงที่ของ Burgers และค่าสหสัมพันธ์ รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ของชุดค่าคงที่จากการสอบเทียบด้วยแบบจำลองของ Burgers ในฟังก์ชันของสภาวะความเค้นต่างๆ ผลจากการวิเคราะห์ระบุว่าคุณสมบัติความยืดหยุ่น ( $E_1$ ) ที่วัดได้จากการทดสอบการคืบในสามแกนจริงมีค่าสอดคล้องใกล้เคียงกัน โดยมีพฤติกรรมที่ไม่ขึ้นกับความเค้นหลักกลาง ( $\sigma_2$ ) ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลลัพธ์จากงานวิจัยของ Sriapai and Fuenkajorn (2010) คือค่าความยืดหยุ่นมีแนวโน้มไม่ขึ้นกับความเค้นหลักกลาง ค่าความหนืดเชิงยืดหยุ่น ( $E_2, \eta_2$ ) ที่ได้จากการสอบเทียบของการทดสอบทั้ง 3 รูปแบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ความหนืดเชิงพลาสติก ( $\eta_1$ ) ที่ได้จากการทดสอบการคืบในสามแกนแบบขยายตัว ( $\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$ ) มีค่ามากที่สุดและมีแนวโน้มสูงเมื่อความเค้นในแนวเฉือน ( $\tau_{\text{oct}}$ ) มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดผลกระทบมาจากค่าความเค้นหลักกลาง ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการสอบเทียบมีค่าผันแปรจาก 0.94–0.98 สามารถบ่งบอกได้ว่าข้อมูลดังกล่าวมีการเบี่ยงเบนของข้อมูลเพียงเล็กน้อยและมีประสิทธิภาพในการสอบเทียบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

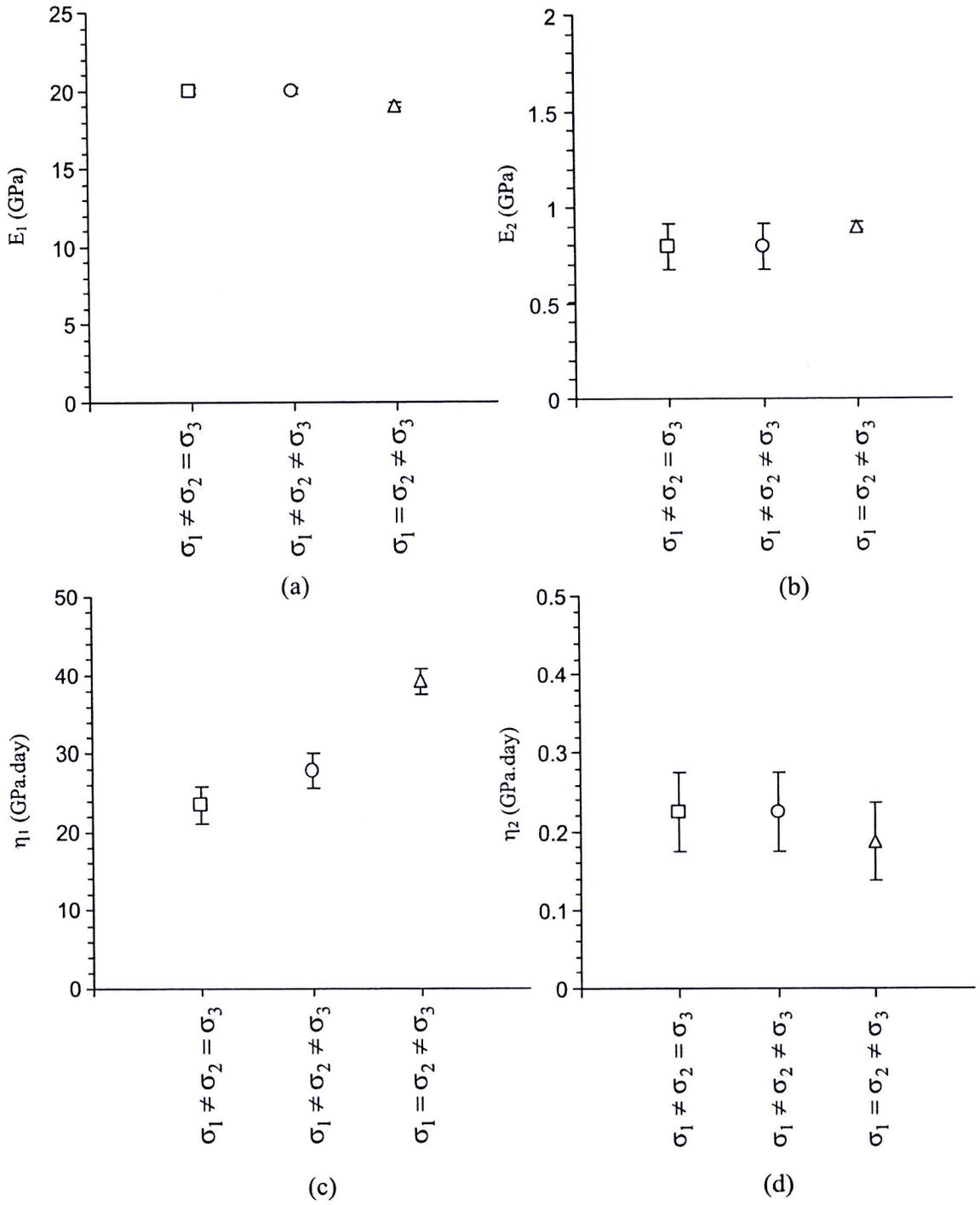


รูปที่ 6.2 ผลจากสอบเทียบค่าคงที่โดยใช้แบบจำลองของ Burgers ภายใต้สภาวะความเค้นต่างกัน ซึ่งความเครียดในแนวเฉือนแสดงในฟังก์ชันของเวลา

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการสอบเทียบค่าคงที่จากการทดสอบการคืบในสามแกนจริง

Test conditions	$\tau_{oct}$ (MPa)	$E_1$ (GPa)	$E_2$ (GPa)	$\eta_1$ (GPa.day)	$\eta_2$ (GPa.day)	Correlations coefficient
$\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$	14.0	18.9	0.91	26.5	0.30	0.95
	11.0	21.2	0.90	24.0	0.20	0.96
	8.0	19.6	0.70	22.0	0.20	0.97
	5.0	20.1	0.67	21.1	0.20	0.97
$\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$	14.0	18.9	0.90	30.0	0.30	0.95
	11.0	21.3	0.90	29.0	0.20	0.98
	8.0	19.6	0.70	27.0	0.20	0.96
	5.0	20.1	0.70	25.0	0.20	0.96
$\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$	11.0*	-	-	-	-	-
	8.0	19.8	0.92	41.0	0.23	0.95
	7.0	19.2	0.87	39.0	0.20	0.94
	5.0	18.1	0.91	37.5	0.13	0.94

\* ตัวอย่างหินเกิดการวิบัติในเวลาอันรวดเร็วจึงไม่สามารถสอบเทียบค่าคงที่ได้



รูปที่ 6.3 ชุดค่าคงที่จากการสอบเทียบด้วยแบบจำลองของ Burgers แสดงในฟังก์ชันของสภาวะความเค้นต่างๆ