

## บทที่ 5

### การจำลองการผูกกร่อนในห้องปฏิบัติการ

#### 5.1 วัตถุประสงค์

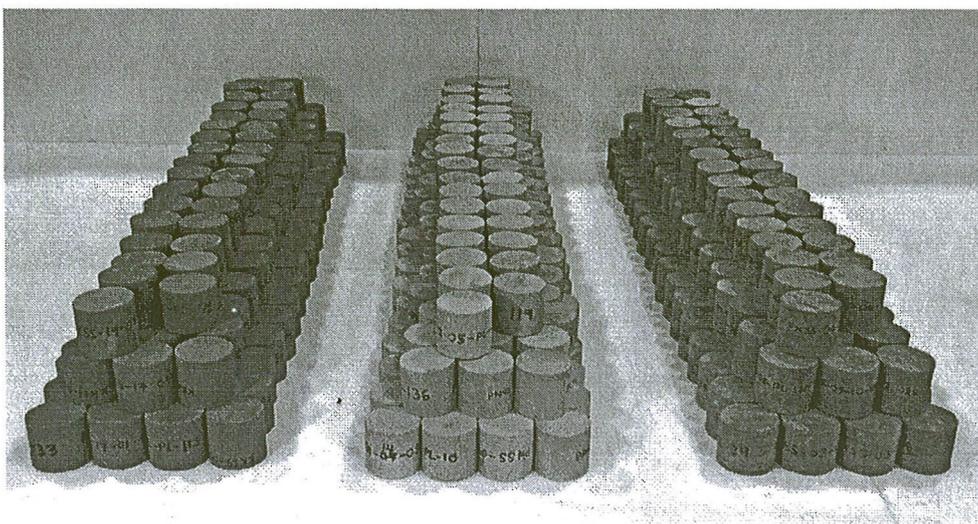
การจำลองการผูกกร่อนมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการผูกกร่อนของตัวอย่างหินทั้งสามชนิดในสภาวะแวดล้อมจริงในภาคสนามกับสภาวะการจำลองการผูกกร่อนในห้องปฏิบัติการภายใต้วัฏจักรแห้ง-เปียก ผลการเปรียบเทียบสามารถนำมาคาดคะเนคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ของหินในระยะยาว

#### 5.2 การเตรียมตัวอย่างหิน

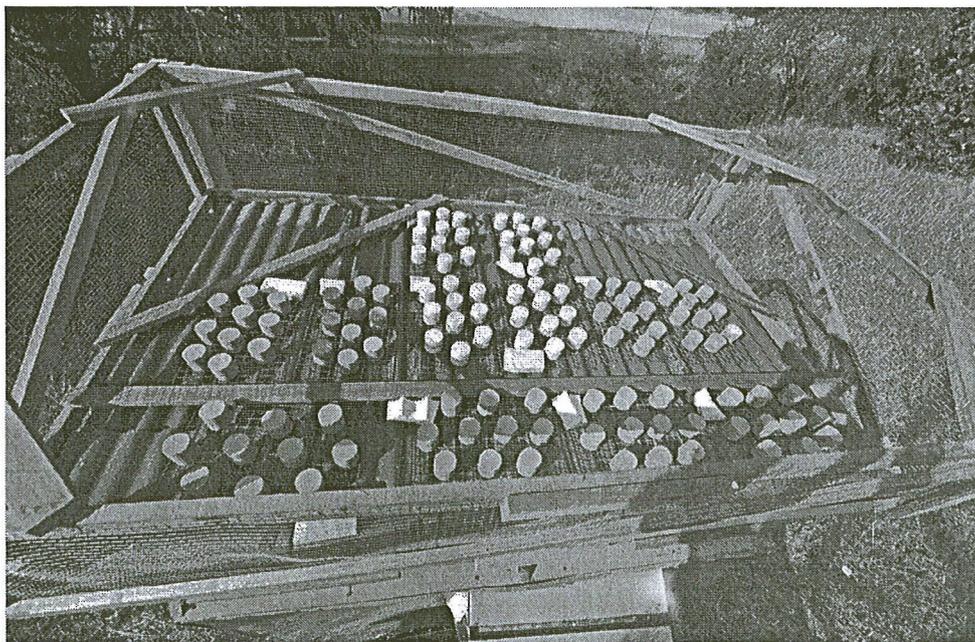
ตัวอย่างหินที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้คือ หินทรายชุดโคกกรวด หินทรายชุดภูกระดึง และหินทรายชุดพระวิหาร โดยทำการเจาะและตัดให้มีรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 มิลลิเมตร สูง 54 มิลลิเมตร ใช้ตัวอย่างหินแต่ละชนิดจำนวนทั้งสิ้น 250 ตัวอย่าง ซึ่งจะใช้สำหรับการจำลองในห้องปฏิบัติการ 200 ตัวอย่าง ของแต่ละชนิดหินดังแสดงในรูปที่ 5.1 ตัวอย่างหินสำหรับการจำลองในสภาวะแวดล้อมจริงมี 5 ชุด ชุดละ 10 ตัวอย่าง ของแต่ละชนิดหินดังแสดงในรูปที่ 5.2 การจำลองในสภาวะแวดล้อมจริงมีวัฏจักรตรวจวัดหาคุณลักษณะทางกายภาพและความแข็งแรงของหินแต่ละชุดทุก 4 เดือน การจำลองในห้องปฏิบัติการจะมีการตรวจวัดเพื่อหาคุณลักษณะทางกายภาพและความแข็งแรงของหินทุกวัฏจักรที่ 20 รายละเอียดคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างหินทั้งสองชุดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

#### 5.3 การจำลองในห้องปฏิบัติการ

การจำลองการผูกกร่อนในห้องปฏิบัติการภายใต้วัฏจักรสภาวะแห้ง-เปียก ได้นำตัวอย่างหินเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่น้ำทันทีเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากการจำลองดังกล่าวคือหนึ่งวัฏจักร ซึ่งได้ทำการจำลองในห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง 200 วัฏจักร (200 วัน) จากตัวอย่างหินทั้งหมด 200 ตัวอย่าง โดยในวัฏจักรที่ 20 ได้นำตัวอย่างหินมาทดสอบหาคุณลักษณะทางกายภาพและค่ากำลังกดสูงสุด โดยการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพคือ การตรวจวัดค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหิน (Dry density) การดูดซับน้ำ (water Absorption) และการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) ซึ่งการจำลองการผูกกร่อนภายใต้สภาวะแห้ง-เปียกในทุกวัฏจักรที่ 20 ได้มีการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหินทั้งในสภาวะแห้ง-เปียกเพื่อการคำนวณค่าคุณสมบัติทางกายภาพดังกล่าว ส่วนการทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงคือ การทดสอบหาค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียว (Uniaxial compressive strength test) ตาม



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างหินทรายชุดโคกกรวด พระวิหารและภูกระดึง (จากซ้ายไปขวา) สำหรับการทดสอบความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียว



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างหินที่ทิ้งไว้กลางแจ้งให้เผชิญกับสภาวะแวดล้อมจริง

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D7012-04 (Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures) โดยทุกวัฏจักรที่ 20 ได้นำตัวอย่างหิน 10 ตัวอย่าง มากทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติความแข็งดังกล่าว รูปที่ 5.3 แสดงการทดสอบความแข็งของหินเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวภายใต้วัฏจักรสภาวะแห้ง-เปียก รูปที่ 5.4 แสดงตัวอย่างหินที่ได้ทำการทดสอบค่ากำลังกดสูงสุดในแกนเดียวของการจำลองการผูกธร่อน

#### 5.4 การจำลองในสภาวะจริง

การจำลองการผูกธร่อนในสภาวะแวดล้อมจริง ได้ทิ้งตัวอย่างหินไว้กลางแจ้งให้เผชิญกับสภาวะแวดล้อมจริงเป็นเวลาประมาณ 2 ปี โดยจะมีการหาคุณสมบัติทางกายภาพคือ การตรวจวัดค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหิน การดูดซับน้ำ และการสูญเสียน้ำหนัก รวมทั้งคุณสมบัติความแข็งคือ การทดสอบความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงของหินเหล่านั้นทุก 4 เดือน (120 วัน) เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

#### 5.5 การคำนวณผล

ในการคำนวณหาคุณสมบัติทางกายภาพจากการจำลองความคงทนต่อการผูกธร่อนทั้งในห้องปฏิบัติการและสภาวะแวดล้อมจริงคือ ค่าความหนาแน่นแห้ง การดูดซับน้ำ และการสูญเสียน้ำหนัก ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C127-04 (Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate) มีวิธีการดังนี้

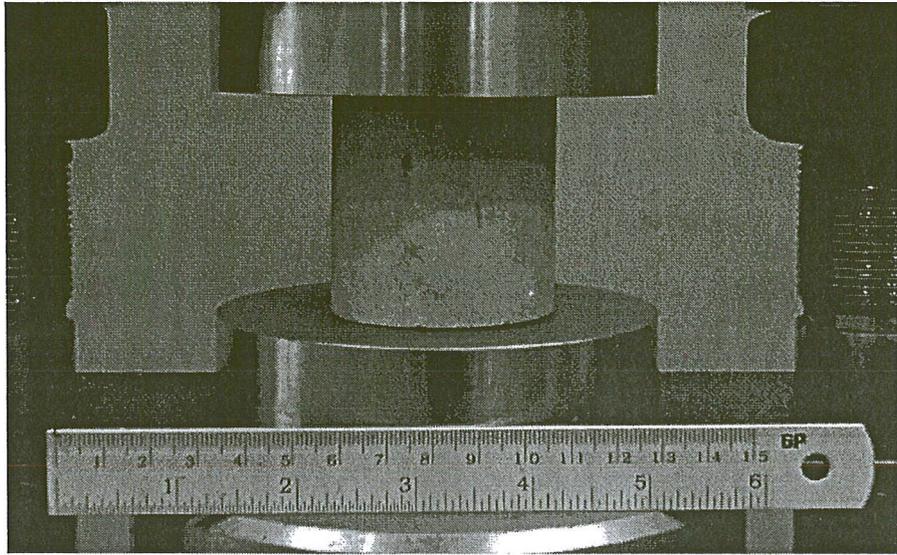
ค่าความหนาแน่นแห้ง

$$\rho_d = \frac{m}{V} \quad (5.1)$$

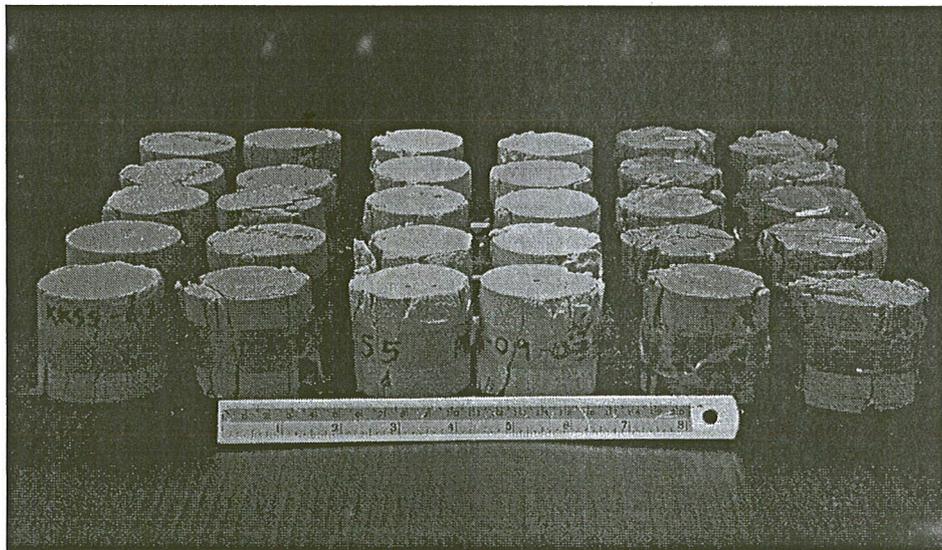
โดยที่  $\rho_d$  = ความหนาแน่นแห้ง

$m$  = มวลของตัวอย่างหินในสภาวะแห้ง หน่วยเป็นกิโลกรัม

$V$  = ปริมาตรของตัวอย่างหิน หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 5.3 การทดสอบความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวของหินทราย



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างหินทรายชุดโคกกรวด พระวิหาร และภูกระดึง (จากซ้ายไปขวา) หลังการทดสอบความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียว

การดูดซับน้ำ มีการคำนวณค่าการดูดซับน้ำออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักทั้งหมดดังสมการ

$$\text{Water absorption(\%)} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (5.2)$$

โดยที่  $W_w$  = น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ  
 $W_d$  = น้ำหนักหลังจากอบแห้ง

การสูญเสียน้ำหนัก

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{W_i - W_n}{W_i} \times 100 \quad (5.3)$$

โดยที่  $W_i$  = น้ำหนักเริ่มต้น  
 $W_n$  = น้ำหนัก ณ เวลาทดสอบ

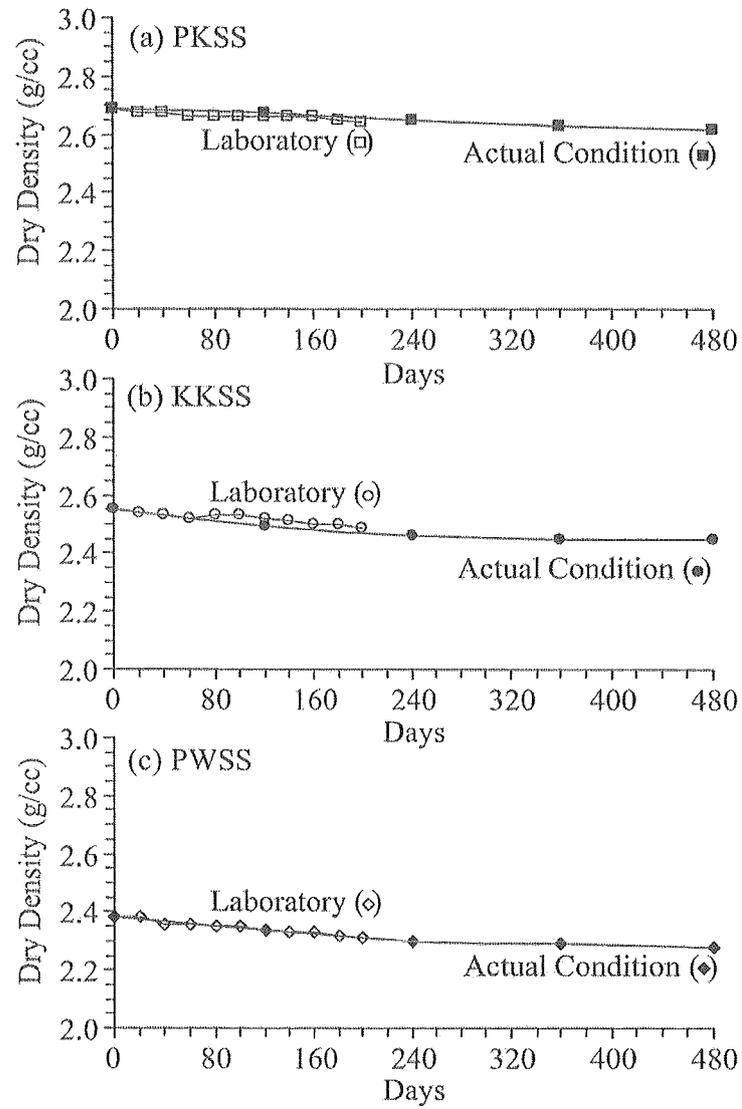
ส่วนการคำนวณหาค่าคุณสมบัติความแข็งของตัวอย่างหินจากการจำลองความคงทนต่อการผุกร่อนได้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D7012-04 เพื่อหาค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวจากการจำลองในห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบผลในสภาวะแวดล้อมจริงในภาคสนาม สมการที่ 5.4 เป็นสมการคำนวณหาค่าความแข็งของหินที่ให้ไว้โดย Jaeger et al. (2007)

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (5.4)$$

โดยที่  $\sigma_c$  = ค่าความแข็งของหิน  
 $F$  = แรงที่ให้กับตัวอย่างหิน  
 $A$  = พื้นที่ของตัวอย่างหินที่รับแรง

## 5.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบ

การจำลองความคงทนต่อการผุกร่อนในห้องปฏิบัติการและสภาวะแวดล้อมจริงถูกนำมาเปรียบเทียบผลของคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ทำการจำลองการผุกร่อนและเปรียบเทียบผลการจำลองในสภาวะจริงกับห้องปฏิบัติการ โดยรูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาการจำลองในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับ



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาการทดสอบที่สภาวะแวดล้อมจริง (ที่บ) ห้องปฏิบัติการ (ไปรง)

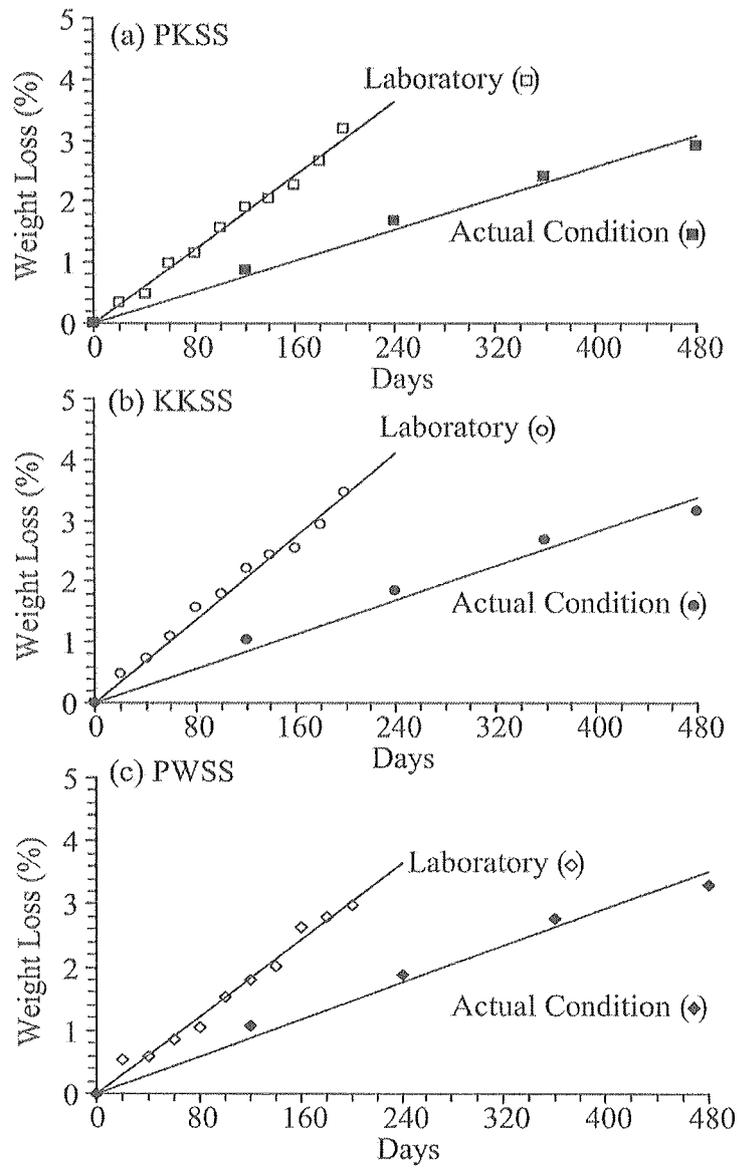
สภาวะจริง ซึ่งค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดลงตามเวลาการจำลอง รูปที่ 5.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่สัมพันธ์กับเวลาทดสอบ ซึ่งผลการจำลองการผุกร่อนในห้องปฏิบัติการมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในอัตราที่รวดเร็วกว่าในสภาวะจริงในระยะเวลาที่เท่ากัน รูปที่ 5.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่สัมพันธ์กับเวลา ซึ่งผลการจำลองการผุกร่อนในสภาวะจริงมีการดูดซับน้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองในห้องปฏิบัติการในระยะเวลาที่เท่ากัน

ส่วนการหาค่าความแข็งของหินจากการจำลองการผุกร่อนด้วยการทดสอบค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียว ผลการทดสอบได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกดกับระยะเวลาการจำลองการผุกร่อนไว้ในรูปที่ 5.8 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวของหินทราย 3 ชนิด ทั้งสองสภาวะการจำลองมีค่าความเค้นกดลดลงตามเวลาทดสอบ ในระยะเวลาการจำลองที่เท่ากันหินทรายชุดภูกระดึงมีค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวของสภาวะแวดล้อมจริงซึ่งสูงกว่าในห้องปฏิบัติการอย่างเห็นได้ชัดมากกว่าหินทรายอีกสองชนิด

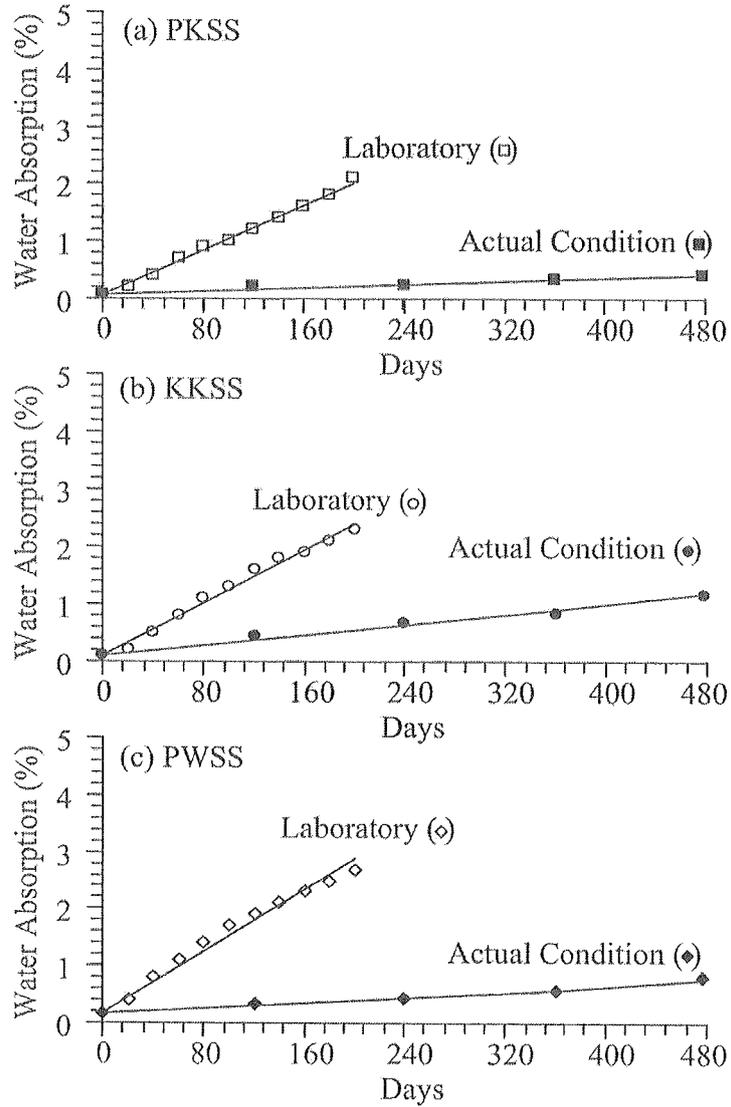
## 5.7 สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการจำลองความคงทนต่อการผุกร่อนแสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติทางกายภาพของหินทรายชุดโคกกรวด ชุดภูกระดึง และชุดพระวิหาร ได้แก่ การดูดซับน้ำ และการสูญเสียน้ำหนัก ในห้องปฏิบัติการมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าในสภาวะแวดล้อมจริงกล่าวคือ ในการจำลองในห้องปฏิบัติการค่าของการดูดซับน้ำและการสูญเสียน้ำหนักมีค่ามากกว่าในสภาวะแวดล้อมจริง ส่วนค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหินมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากของทั้งสองสภาวะจำลอง

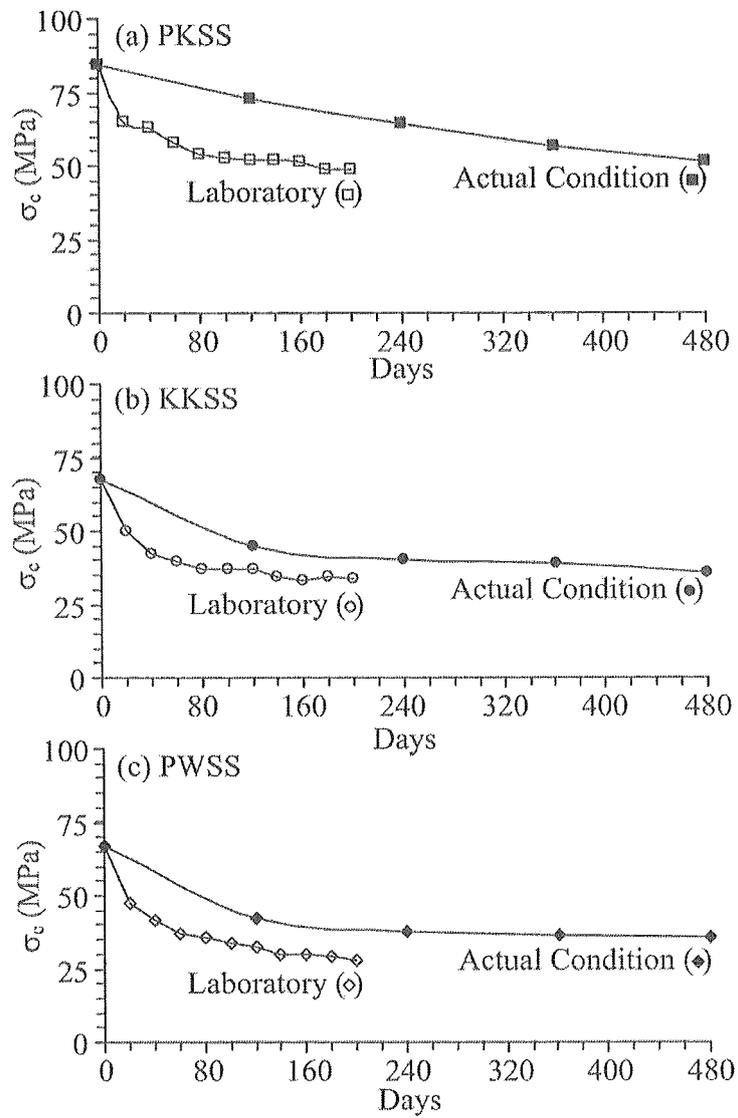
ค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวที่ได้ทำการจำลองในห้องปฏิบัติการมีค่าลดลงในอัตราที่สูงกว่าการจำลองในสภาวะแวดล้อมจริงอันเนื่องมาจากการเร่งอัตราการผุกร่อนของการจำลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักกับเวลาการทดสอบที่สภาวะแวดล้อมจริง (ที่บ) ห้องปฏิบัติการ (ไปรง)



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับเวลาการทดสอบที่สภาวะแวดล้อมจริง (ที่บ) ห้องปฏิบัติการ (ไปรง)



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกดสูงสุดในแกนเดียวกับเวลาการทดสอบที่สภาวะแวดล้อมจริง (ที่บ) ห้องปฏิบัติการ (ไปรง)