

การศึกษาคุณสมบัติธรณีเทคนิคของหินอ่อน  
ในพื้นที่จังหวัดยะลา

(A Study of Geotechnical Properties of Marble  
in Yala Province Area)

โดย



ดบพล ดันบโยภาส

ชื่อ

เลขที่	FN 064 037 2536 - 8.1
เลขทะเบียน	U331A3
	29/ก.ค. 2536/

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ประเภทนักวิจัยใหม่ ประจำปี 2536

## บทคัดย่อ

หินอ่อนในพื้นที่จังหวัดยะลา มีความแตกต่างกันทั้งในด้าน สี ลวดลาย เนื้อหิน คุณสมบัติกายภาพ และเชิงกล ส่วนมากเกิดในลักษณะกระบวนการแปรสัณฐาน เป็นผลมาจากการแทรกซอนขึ้นมาของหินอัคนีมวลไพศาล ที่เข้ามาในบริเวณหินท้องที่ซึ่งเป็นพวกหินปูนยุค Permo-Carboniferous ตัวเนื้อหินอ่อนโดยมากมักจะขนาดเม็ดเนื้อละเอียดจนถึงปานกลาง และมีสีเทาอ่อน ขาว และดำ

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติด้านกายภาพ อันประกอบด้วย ค่าปริมาณความน้ำตามธรรมชาติอยู่ระหว่าง 0.04 - 0.08 % ค่าความหนาแน่น จะมีค่าในช่วง 2.231 - 2.317 กรัม/ลบ.ซม. และค่าการดูดซึ่ม อยู่ระหว่าง 0.20 - 0.40 %.

สำหรับคุณสมบัติด้านเชิงกลอันได้แก่ ค่าสมรรถนะในการเจาะ อยู่ในช่วง 3.60 - 11.40 เซนติเมตร/ชั่วโมง ค่ากำลังรับแรงกดจุด มีค่าระหว่าง 0.70 - 2.40 MPa ค่ากำลังรับแรงอัดเอกแกน อยู่ในช่วง 41 - 62 MPa และค่าโมดูลัสของการแตกหัก อยู่ในพิสัย 8.10 - 16.20 MPa

ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสองอยู่ในขั้นนัยสำคัญแค่เพียง 3 คู่ ได้แก่ คู่ปริมาณน้ำตามธรรมชาติกับความสามารถในการเจาะ คู่กำลังรับแรงอัดเอกแกนกับโมดูลัสของการแตกหัก และคู่การดูดซึ่มกับปริมาณน้ำตามธรรมชาติ รอยแตกที่มีอยู่มากมายในหินอ่อนเหล่านี้มีสาเหตุหลักมาจากสภาพธรณีวิทยาในแต่ละแหล่ง แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติดังกล่าวก็อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของแผ่นหินอ่อนที่ใช้งานภายนอกอาคารของ ASTM

## ABSTRACT

Yala marble has numerous different in color, texture physio-mechanical properties. They had originated coming from contact metamorphism between limestone of Permo-Carboniferous periods and igneous intrusive rocks. Under the microscopic examination revealed that well granoblastic texture in medium to fine grained and light grey to black in color.

The experimental investigation had determined the physical characteristics of marble which consist of 0.04 to 0.08 % in water content; 2.231 to 2.317 gm/cm<sup>3</sup> in density and 0.20 to 0.40 % in absorption.

In another one, their mechanical properties have drillability 3.60 to 11.40 cm/hour, 0.70 to 2.40 MPa in point load strength index, 41 to 62 MPa in uniaxial compressive strength and 8.10 to 16.20 MPa in modulus of rupture.

The correlation of the both properties had displayed that only 3 pairs in significance such as uniaxial compressive strength and modulus of rupture, absorption and water content and last pairs of water content and durability.

A large amount of fractures in these marbles was controlled by geological setting features. Even though, these values are in limit of the ASTM requirements.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ .....	2
Abstract .....	2
กิตติกรรมประกาศ .....	3
สารบัญตาราง .....	5
สารบัญรูป .....	5
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บริเวณที่ทำการวิจัย .....	7
1.2 สภาพธรณีวิทยาของแหล่ง .....	7
บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ	
2.1 วัสดุ .....	9
2.2 อุปกรณ์ .....	9
2.3 วิธีการ .....	9
บทที่ 3 ผลการทดลอง	
3.1 การจำแนกทางสีลาวรรณนา .....	13
3.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ .....	13
3.3 คุณสมบัติทางด้านเชิงกล .....	17
3.4 สหสัมพันธ์ของผลทดสอบ .....	21
บทที่ 4 วิจารณ์	
4.1 ลักษณะทางด้านสีลาวรรณนา .....	23
4.2 ลักษณะทางด้านกายภาพ .....	24
4.3 ลักษณะทางด้านเชิงกล .....	25

เอกสารอ้างอิง

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หัวข้อเรื่อง	หน้า
3.1	ค่าความชื้นตามธรรมชาติ	15
3.2	ค่าการดูดซึ่ม	15
3.3	ค่าความพรุน	16
3.4	ค่าระดับชั้นการอิมิตัว	16
3.5	ค่าความหนาแน่น	17
3.6	สมรรถนะการเจาะ	17
3.7	ค่ากำลังรับแรงกดจุด	18
3.8	ค่ากำลังรับแรงกดอัดเอกแกน	18
3.9	ค่ายังคโมดูลัส	19
3.10	ค่าโมดูลัสของการแตกหัก	21

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หัวข้อเรื่อง	หน้า
1.1	แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตำแหน่งแหล่งหินอ่อน	8
2.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนของงานวิจัย	10
3.1	ภาพถ่ายจุลทรรศน์ภายใต้แสงหักเหคลื่นเดียว ของ ก) แหล่งปิ่นเยาะ 1 ข) แหล่งปิ่นเยาะ 3 ค) แหล่งปิ่นเยาะ 4 ง) เขมืองบาดัน จ) เขมืองวีวีเอส และ ฉ) เขมืองหน้าถ้ำ	14
3.2	ภาพลักษณะการพิบัติของก้อนตัวอย่างภายหลังการ ทดสอบอัดเอกแกน	19
3.3	เส้นโค้งความเค้นและความเครียดของ ก) แหล่งปิ่นเยาะ 1 ข) แหล่งปิ่นเยาะ 3 ค) แหล่งปิ่นเยาะ 4 ง) เขมืองบาดัน จ) เขมืองวีวีเอส และ ฉ) เขมืองหน้าถ้ำ	20
3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตามธรรมชาติ กับการดูดซึ่ม	22

ภาพที่	หัวข้อ	หน้า
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสของการแตกหัก กับกำลังรับแรงกดอัด	22
3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาวะการเจาะกับปริมาณ น้ำตามธรรมชาติ	23

## 1. บทนำ

หินอ่อนในเขตภาคใต้ที่เปิดประกอบการทำเหมือง และผลิตออกสู่ท้องตลาดที่สำคัญ ได้แก่ หินอ่อนในท้องที่ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดตรัง และจังหวัดยะลา โดยเฉพาะในพื้นที่ จ. ยะลา มีการประกอบการอยู่หลายเหมือง นอกจากนี้ยังมีการผลิตพวกผลิตภัณฑ์ของชำร่วยกันอย่างแพร่หลาย และเป็นหนทางนำไปสู่การมีรายได้แก่ประชากรในท้องถิ่นอย่างมาก ตลอดจนมีการเพิ่มจ้างแรงงานตามมา แต่อุปสรรคทางเทคนิคในการประกอบการของเหมืองหินอ่อนพื้นที่ จ. ยะลา ก็คือ ตัวเนื้อหินอ่อน ที่มีรอยร้าวและแตกเปราะง่าย ทำให้การผลิตเป็นแผ่นหินขนาดใหญ่กระทำไม่ได้เต็มที่ และนอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อผู้ประกอบการประดิษฐ์ของชำร่วยเช่นกัน

### 1.1 บริเวณทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัยคือ ในพื้นที่บริเวณหน้าเหมืองหินอ่อนต่างๆ ซึ่งอยู่ในท้องที่ของจังหวัดยะลา โดยเฉพาะในเขตอำเภอเมือง และอำเภอบันนังสตา (รูปที่ 1.1) ได้แก่

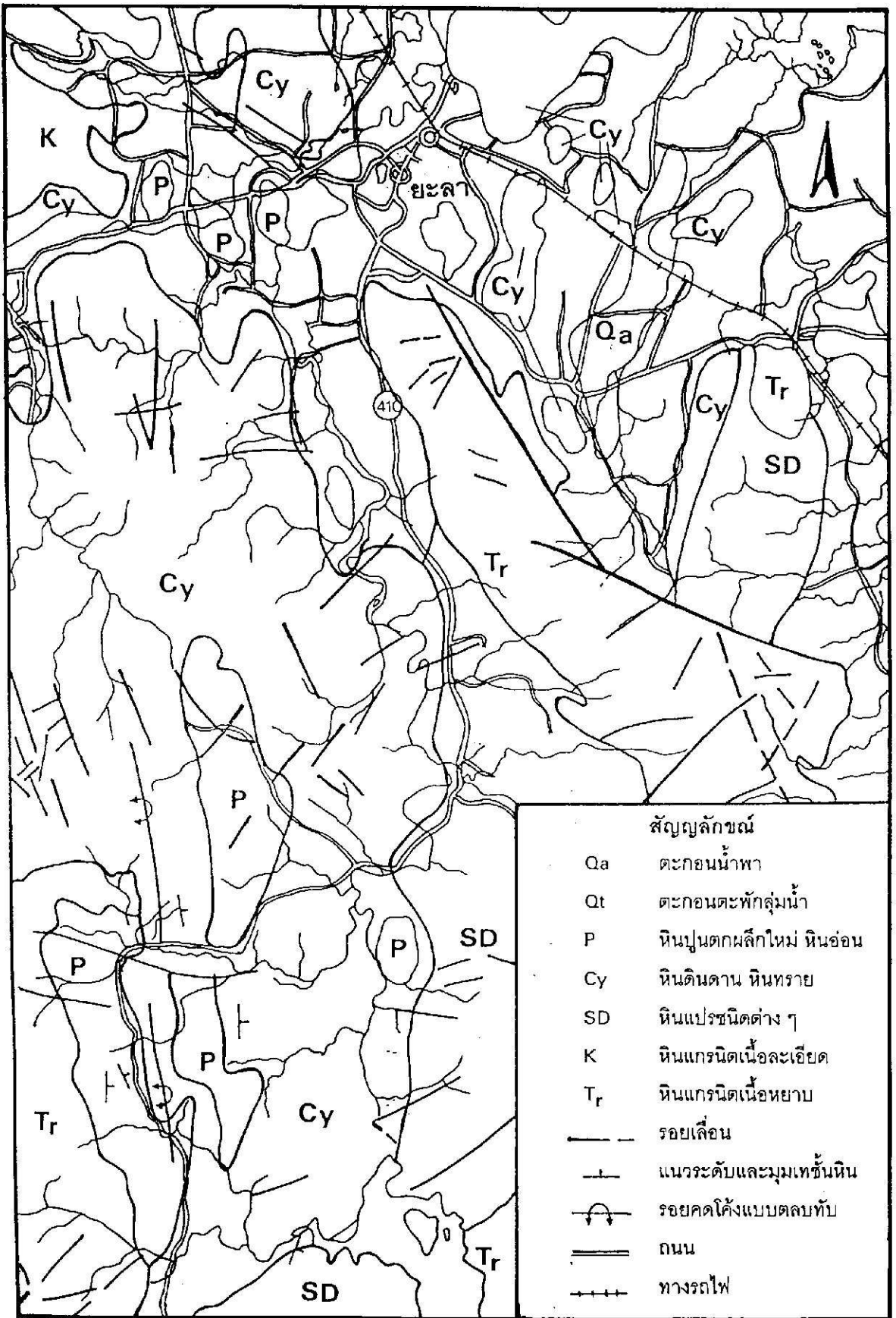
- บริษัทเหมืองแร่ปิ่นเยาวะ ต.ถ้ำทะเล อ.บันนังสตา จ.ยะลา เป็นเหมืองบนดิน
- บริษัทเหมืองแร่ภูเก็ต ต.ลิดล อ.เมือง จ.ยะลา ลักษณะเหมืองใต้ดิน
- บริษัทวีวีเอสมาร์เบิล ต.ถ้ำทะเล อ.เมือง จ.ยะลา ลักษณะเหมืองบนดิน
- บริษัทหินอ่อนไทยแลนด์ ต.หน้าถ้ำ อ.เมือง จ.ยะลา ลักษณะเหมืองบนดิน

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่ม โดยมีแม่น้ำปัตตานีไหลขนานกับแม่น้ำสายบุรี ขึ้นไปทางทิศเหนือผ่านพื้นที่จังหวัดยะลา และในสวนทางตอนใต้มักปรากฏเป็นภูเขาโดดสูงชัน (monad-nock) และพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดปรากฏเทือกเขาสันกาลาศรีทอดยาววางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้ ซึ่งเป็นเทือกเขาต้นกำเนิดแม่น้ำทั้งสองดังกล่าว

### 1.2 สภาพธรณีวิทยาของแหล่ง

หินอ่อนในพื้นที่ จ.ยะลา มีกำเนิดมาจากกระบวนการแปรสัมผัส (contact metamorphism) ในยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส (Permo-Carboniferous) (จุมพล คินตัก และวัดก๊อ อยู่เย็น, 2532) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณที่หินเดิมคือหินปูนของยุคเพอร์เมียน (Permian) โดยสัมผัสกับหินอัคนีแทรกซอน ระดับลึก (plutonic igneous) ชนิดแกรนิตเนื้อดอก (granite porphyry) ของยุคไทรแอสซิก (Triassic) และครีเทเชียส (Cretaceous) ตัวแร่เนื้อดอก ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ ในบางแห่งก็พบว่าการสัมผัสของหินทั้งสองดังกล่าว จะก่อให้เกิดแหล่งแร่แบบสการ์น (skarn) ที่ให้แร่ดีบุก

โดยทั่วไปหินอ่อน จ.ยะลา มีลักษณะเนื้อละเอียดถึงปานกลาง บางแห่งอาจมองเห็นเม็ดผลึกชัดเจน (เหมืองวีวีเอส) มีสีตั้งแต่ ขาว ชมพู เหลือง เทา และดำ บางครั้งมีลายริ้วเช่นกัน



รูปที่ 1.1 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตำแหน่งแหล่งหินอ่อน (จากแผนที่ธรณีวิทยากระทรวงการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) 1 : 125,000



## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัสดุ

วัสดุหินอ่อนที่ทดสอบนำมาจากเหมืองต่างๆ ในพื้นที่ จ.ยะลา ดังได้กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างหินอ่อนที่นำมา มีทั้งในรูปแท่งก้อน (block) และชิ้นก้อนไม่สม่ำเสมอ (irregular lump) โดยเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้อง (25° ซ) ไม่ให้สูญเสียความชื้นตามธรรมชาติจากนั้นนำแท่งก้อนมาเตรียมตัวอย่างทดสอบ ในรูปแท่งทรงกระบอก (core) อัตราส่วนของความสูงเป็น 2.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง กลางนั้นคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 มม. และสูงประมาณ 135 มม. รูปแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4 x 8 x 2.25 นิ้ว และบางส่วนก็ไปตัดเป็นรูปลูกบาศก์ (cube)

### 2.2 อุปกรณ์

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

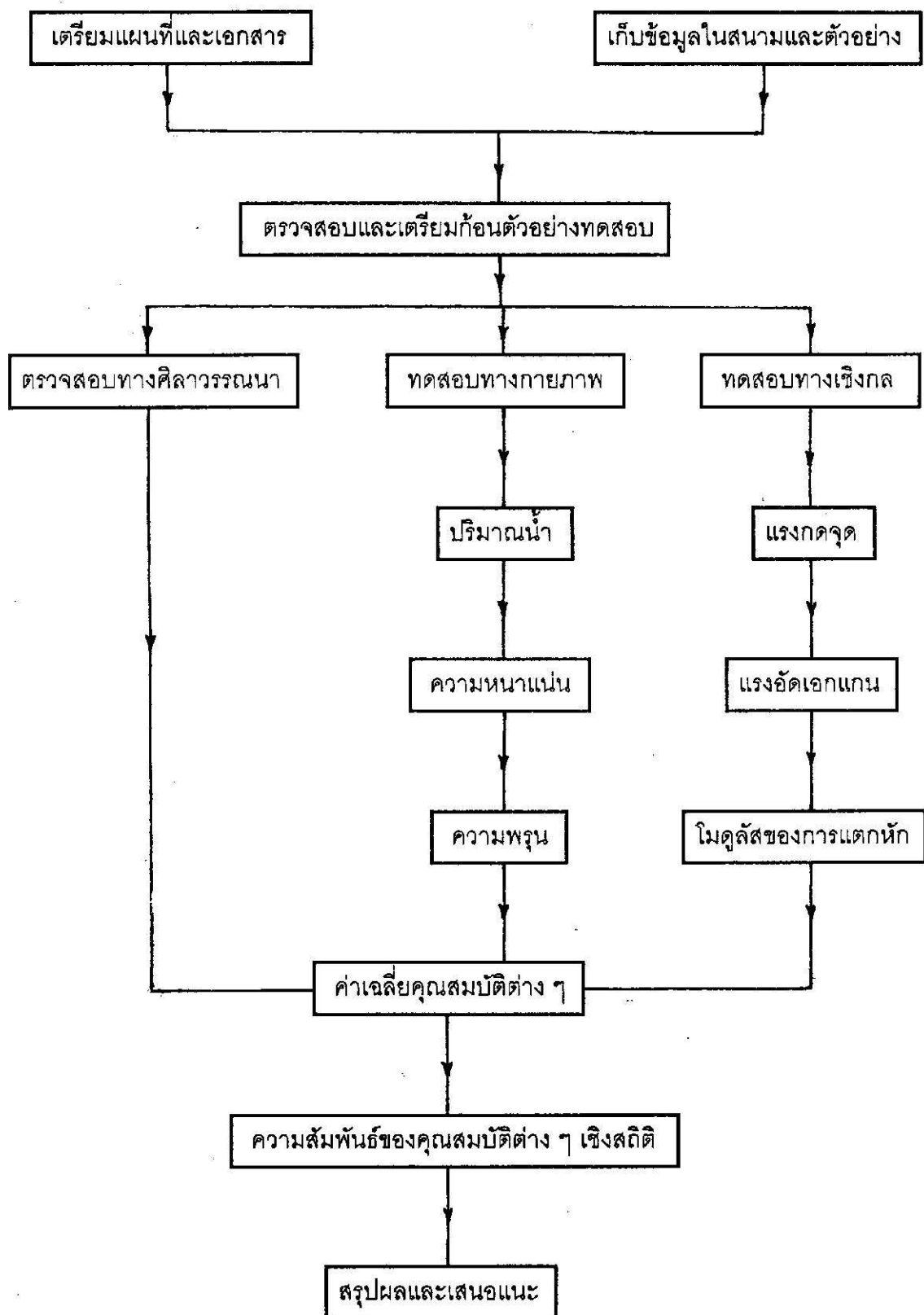
- เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด (UNIVERSAL) มีกำลังกดสูงสุด 40 ตัน
- เครื่องทดสอบแรงกดจุดสามารถเคลื่อนย้ายได้
- โถดูดความชื้น (dessicator)
- ตาชั่งที่วัดได้ละเอียดถึงหลังจุดทศนิยม 2 หลัก
- เวอร์เนียคาลิเปอร์
- ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 105° ซ นานถึง 24 ชั่วโมง
- เครื่องสูบลมอากาศออก
- เครื่องเจาะหัวเพชร ระบบหมุน (Geoequip) เก็บตัวอย่างแท่งหินทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 มม.
- เครื่องตัดหินแบบหยาบ และละเอียด
- เครื่องขัด และอุปกรณ์การเตรียมแผ่นหินบาง
- กล้องจุลทรรศน์พร้อมกล้องถ่ายรูป
- เครื่องชั่ง ซึ่งสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

### 2.3 วิธีการ

ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกได้ช่วง 3 ตอนใหญ่คือ

- การเก็บข้อมูลในสนาม
- การทดสอบในห้องปฏิบัติการ
- การวิเคราะห์โดยทางสถิติ

ส่วนขั้นตอนมองดูในภาพลักษณะรวมของวิธีการวิจัยได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ข้างล่างนี้



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของงานวิจัย

### 2.3.1 การเก็บข้อมูลในสนาม

ทำการสำรวจบริเวณรอบพื้นที่เหมืองนั้น เพื่อให้ได้ข้อสรุปของการกำเนิดของหินตัวอย่างและลักษณะการวางตัวของแหล่งหินตัวอย่างในสนาม ก่อนที่จะเก็บมาทดสอบ ตลอดจนความสัมพันธ์กับหินท้องที่และหินข้างเคียง รวมถึงการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนหินอ่อนที่ศึกษา

### 2.3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

แบ่งตัวอย่างออกและจัดเตรียมตัวอย่างให้ได้ขนาดและรูปทรงตรงตามชนิดการทดสอบและจำนวนพอเพียงแก่การทดสอบนั้นโดยยึดตามวิธีทดสอบของ ISRM (1981) และ ASTM (1992)

#### 1. ทดสอบกำลังรับแรงกดจุด (Point load test)

ก้อนตัวอย่างนำมาทดสอบประมาณ 20 ก้อน มีลักษณะเป็นก้อนเท่าฝ่ามือ และรูปทรงลูกบาศก์และนำเข้าไปวางไว้ในระหว่างปลายกรวยหัวกดแรง โดยจุดปลายกรวยแรงกดอยู่ห่างจากด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งมีความยาวเป็นระยะทางมากกว่า 0.5 เท่าของความสูงที่น้อยที่สุด อ่านค่าระยะห่างของกรวย (ความสูง) ให้ละเอียดถึง  $\pm 2\%$  จากนั้นกดแรงอย่างต่อเนื่อง ก้อนหินจะแตกภายใน 10 - 60 วินาที บันทึกแรงสูงสุด เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังรับแรงกดจุดต่อไป

#### 2. ทดสอบกำลังแรงอัดเอกแกน (Uniaxial compression test)

ก้อนตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก มีความสูงประมาณ 135 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 มม. จำนวนแหล่งละ 5 ก้อน วางไว้ใจกลางของแท่นตัวให้แรง จากนั้นติดมาตรวัดแบบหน้าปิดเพื่อวัดความเครียดในแนวตั้งให้อัตราแรงกด 0.5 - 1.0 MPa/วินาที ตัวอย่างจะพิบัติภายใน 5 - 15 นาที การเพิ่มแรงควรกระทำอย่างค่อยเป็นค่อยไปและอย่างต่อเนื่อง บันทึกค่าแรงกดให้สอดคล้องกับค่าความเครียดจนกระทั่งถึงจุดพิบัติ สังเกตการวิบัติของก้อนตัวอย่าง นำค่าไปคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดเอกแกน และค่ายังคโมดูลัส

#### 3. ทดสอบโมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture test)

ก้อนตัวอย่างขนาด 4 x 8 x 2.25 นิ้ว หน้าทุกด้านควรขนานกัน จำนวนแหล่งละ 3 แห่ง ชีดเส้นกึ่งกลางของก้อนตัวอย่างทดสอบตลอดทั้งก้อน ลากเส้นขนานกับเส้นกึ่งกลางออกมาข้างละ 3.5 นิ้ว นำไปวางไว้บนใบมีดที่หนายก้าน 2 ใบ และใบมีดให้แรงกด โดยพยายามให้ใบมีดทั้งสามอยู่ตรงกับเส้นที่ลากไว้ดังกล่าวให้แรงกดเพื่อยึดก้อนตัวอย่าง 44 นิวตัน หลังจากจัดให้ก้อนตัวอย่างวางตัวในแนวราบแล้ว จึงเพิ่มแรงกดด้วยอัตรา 4450 นิวตัน/วินาที จนกระทั่งพิบัติ

บันทึกค่าแรงกดที่ก้อนตัวอย่างแตกหัก นำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสของการแตกหัก

### 2.3.3 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

ผลจากการทดสอบจะนำมาหาความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ของข้อมูลทดสอบ โดยพิจารณาดูการกระจายของตัวแปรเหล่านั้น หาแนวเส้นโค้งที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดอย่างคร่าว ๆ และอย่างง่าย ลำดับ 1 ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares)

จากนั้นประเมินค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ทดสอบได้ หรือการพยากรณ์ค่าเหล่านั้นจากเส้นโค้งที่มีภาวะรูปทับสนิทพอดีกับข้อมูลกลุ่มนั้น ได้สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนในรูปแบบการถดถอยเชิงเส้น (linear regression)

### 3. วิธีการทดลอง

ผลการทดลองได้แสดงแจกแจงผลออกมาทั้งในรูปตารางและรูปภาพ ของการทดสอบของแต่ละประเภท และความสัมพันธ์ของค่าผลทดสอบทั้งหมด

#### 3.1 การจำแนกทางปิโตรกราฟี (Petrographic Identification)

ก่อนตัวอย่างถูกนำมาตัดทำแผ่นขัดหินบาง (thin section) เพื่อดูถึงลักษณะองค์ประกอบของเนื้อหิน (texture) เม็ดแร่ (mineral grain) จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทั้งแสงปกติ (normal light) และหักเหแสงคลื่นเดียว (polarized light) ของตัวอย่างแผ่นหินบางทั้งหมด 18 แผ่นสรุปได้ดังนี้

- 1) แหล่งปิโนเยาะ 1 : ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเม็ดแร่แคลไซต์ที่มีการประสานกัน (interlocking texture) ขนาดละเอียดถึงปานกลาง ในแผ่นขัดที่ดูมีสายแร่แคลไซต์กว้าง 3 มม. แทรกเข้ามา (รูปที่ 3.1 ก)
- 2) แหล่งปิโนเยาะ 3 : มีแนวริ้วขนานค่อนข้างเด่นชัด สีเทา เม็ดแร่ขนาดปานกลาง (รูปที่ 3.1 ข)
- 3) แหล่งปิโนเยาะ 4 : ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ 70 % และแร่พวกเหล็กออกไซด์และแร่อื่น ๆ 30 % เม็ดแร่มีขนาดปานกลางถึงหยาบ (รูปที่ 3.1 ค)
- 4) เมืองบาดัน : สีเทา เนื้อหินมีแนวเรียงตัว (foliation) เม็ดแร่ขนาดละเอียด (รูปที่ 3.1 ง)
- 5) เมืองวีวีเอส : สีเทาจาง เนื้อหินมีริ้วขนาน ขนาดเม็ดแร่ปานกลาง (รูปที่ 3.1 จ)
- 6) เมืองหน้าถ้ำ : มีสองสีคือ ขาวและดำลายทาง สีขาวจะมีแร่แคลไซต์ประกอบอยู่มาก มีขนาดเม็ดปานกลางถึงละเอียด ส่วนสีดำลายทางจะมีแร่ลทินของเหล็กปนอยู่มาก และมีเม็ดแร่ขนาดหยาบ (รูปที่ 3.1 ฉ)

#### 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

การทดสอบทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณน้ำตามธรรมชาติ (ความชื้น) การดูดซึม ความพรุน ระดับชั้นการอัดตัว และความหนาแน่น

##### 3.2.1 ความชื้นตามธรรมชาติ (Moisture content, w)

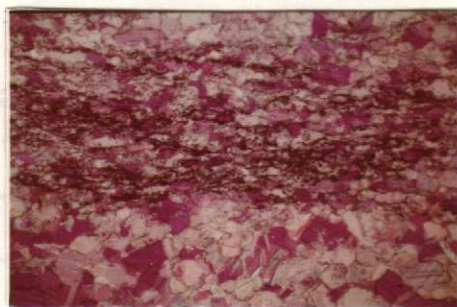
พบว่าหินอ่อนที่นำมามีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่น้อย ค่าที่ต่ำสุด 0.32% ของเหมืองปิโนเยาะ 1 ส่วนค่าสูงสุด 0.32 % ของเหมืองปิโนเยาะ 1 เช่นกัน ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความเข้มสีตามธรรมชาติ

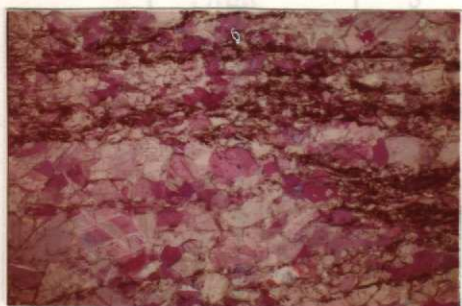


2.2 การดูดซึม (Absorption, A)

สามารถดูดซึมมีลักษณะหรือความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น คือ ดูในภาพที่ค่อนข้างดำ โดยค่าเฉลี่ย 0.15 % ของเนื้อไม้เป็นเยาะ 1 และ 4 สลับกับค่าดูดซึม 0.87 % เป็นเยาะ 1 ได้แสดงผลทั้ง 2 ชนิดในตารางที่ 3.2 นี้



สีตามธรรมชาติ	ค่า	ค่าเฉลี่ย
ก)	0.03	0.042
ข)	0.11	0.132
ค)	0.15	0.180
ง)	0.87	0.378
จ)	0.265	0.266



รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายจุลทรรศน์ภายใต้แสงหักเหคลื่นเดียว (polarized light) ของ ก) แหล่งปิ่นเยาะ 1 ข) แหล่งปิ่นเยาะ 3 ค) แหล่งปิ่นเยาะ 4 ง) เหมือนบาดัน จ) เหมือนวีวีเอส และ ฉ) เหมือนหน้าถ้ำ

ตารางที่ 3.1 ค่าความชื้นตามธรรมชาติ

ตำแหน่งเก็บ	จำนวน	wต่ำสุด, %	wสูงสุด, %	wเฉลี่ย, %
ปิ่นเยาะ 1	5	0.01	0.32	0.10
ปิ่นเยาะ 3	5	0.04	0.10	0.07
ปิ่นเยาะ 4	5	0.02	0.13	0.06
บาดัน	5	0.05	0.18	0.09
วีวีเอส	3	0.04	0.06	0.05
หน้าถ้ำ	5	0.03	0.30	0.11

### 3.2.2 การดูดซึ่ม (Absorption, A)

ค่าการดูดซึ่มมีลักษณะคล้ายตามค่าความชื้น คือ อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ โดยค่าต่ำสุด 0.15 % ของเหมืองปิ่นเยาะ 3 และ 4 สำหรับค่าสูงสุด 0.87 % ปิ่นเยาะ 1 ได้แสดงผลทั้งหมดไว้ในตารางที่ 3.2 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.2 ค่าการดูดซึ่ม

ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	Aต่ำสุด, %	Aสูงสุด, %	Aเฉลี่ย, %
ปิ่นเยาะ 1	5	0.242	0.867	0.43
ปิ่นเยาะ 3	5	0.152	0.541	0.31
ปิ่นเยาะ 4	5	0.149	0.387	0.25
บาดัน	5	0.172	0.379	0.30
วีวีเอส	3	0.255	0.463	0.36
หน้าถ้ำ	5	0.266	0.431	0.37

### 3.2.3 ความพรุน (Porosity ; n)

สำหรับค่าความพรุนซึ่งได้ผลมาจากการคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลชุดเดียวกันกับการหาค่าการดูดซึ่ม ค่าความพรุนที่ต่ำสุดคือ 0.15 % ของเหมืองปิ่นเยาะ 3 และ 4 และค่าสูงสุด 0.87 % ของเหมืองปิ่นเยาะ 1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าการดูดซึ่มมาก ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าความพรุน

ตำแหน่งเก็บ	จำนวน	$\rho_{\text{ต่ำสุด}}$ , %	$\rho_{\text{สูงสุด}}$ , %	$\rho_{\text{เฉลี่ย}}$ , %
ปิ่นเยาะ 1	5	0.241	0.860	0.43
ปิ่นเยาะ 3	5	0.151	0.538	0.31
ปิ่นเยาะ 4	5	0.149	0.386	0.25
บาดัน	5	0.172	0.378	0.30
วีวีเอส	3	0.254	0.461	0.36
หน้าถ้ำ	5	0.265	0.431	0.37

### 3.2.4 ระดับขั้นการอิ่มตัว (Degree of saturation; S)

ค่าระดับขั้นการอิ่มตัวซึ่งได้จากการคำนวณเช่นเดียวกับค่าความพรุน พบว่าที่ต่ำสุดคือ 5.71 % เป็นของเหมืองปิ่นเยาะ 4 และค่าสูงสุด 84.61 % ของเหมืองหน้าถ้ำ ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าระดับขั้นการอิ่มตัว

ตำแหน่งเก็บ	จำนวน	$S_{\text{ต่ำสุด}}$ , %	$S_{\text{สูงสุด}}$ , %	$S_{\text{เฉลี่ย}}$ , %
ปิ่นเยาะ 1	5	5.88	37.39	21.11
ปิ่นเยาะ 3	5	16.17	33.33	24.08
ปิ่นเยาะ 4	5	5.71	62.50	26.92
บาดัน	5	16.67	50.00	28.98
วีวีเอส	3	9.84	25.00	16.06
หน้าถ้ำ	5	11.94	84.62	29.27

### 3.2.3 ค่าความหนาแน่น (Density; $\rho$ )

ผลการทดสอบพบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่าต่างกันที่หลังทดสอบตำแหน่งที่สอง ค่าต่ำสุด 2.301 กรัม/ลบ.ซม. เป็นตัวอย่างมาจากเหมืองวีวีเอส ส่วนค่าสูงสุดมีค่า 2.368 กรัม/ลบ.ซม. ดังสรุปไว้ในตารางที่ 3.5



ตารางที่ 3.5 ค่าความหนาแน่น

ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	ช่วงค่าความหนาแน่น หน่วย กรัม/ลบ.ซม.
ปิ่นเยาะ 1	3	2.315 - 2.335
ปิ่นเยาะ 3	3	2.319 - 2.324
ปิ่นเยาะ 4	3	2.327 - 2.343
บาดัน	3	2.312 - 2.322
วีวีเอส	3	2.301 - 2.368
หน้าถ้ำ	3	2.318 - 2.351

### 3.3 คุณสมบัติทางกลเชิงกล (Mechanical Properties)

สำหรับผลการทดสอบเชิงกลซึ่งได้แก่ สมรรถนะการเจาะ (drillability) กำลังรับแรงอัดเอกแกน (uniaxial compressive strength) ดัชนีกำลังรับแรงกดจุด (point load strength index) และโมดูลัสของการแตกหัก (modulus of rupture)

#### 3.3.1 สมรรถนะการเจาะ (Drillability; D)

จากการใช้หัวเจาะเพชร แบบระบบหมุน (rotary) ในการเจาะเตรียมก้นตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดเอกแกนได้ค่าความเร็วต่ำสุด 3.39 ซม./ชม. ของเหมืองวีวีเอส และความเร็วสูงสุดเป็น 13.54 ซม./ชม. แสดงผลในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สมรรถนะในการเจาะ

ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	Dต่ำสุด	Dสูงสุด	Dเฉลี่ย
ปิ่นเยาะ 1	5	6.08	7.15	6.60
ปิ่นเยาะ 3	2	9.12 - 13.54		
ปิ่นเยาะ 4	5	5.52	5.77	5.68
บาดัน	5	9.43	10.20	10.64
วีวีเอส	2	3.39 - 3.80		
หน้าถ้ำ	5	4.98	5.60	5.38

### 3.3.2 ดัชนีกำลังรับแรงกดจุด (Point load strength index; $I_p$ )

ค่าดัชนีกำลังรับแรงกดจุดมีความแปรปรวนมาก โดยค่าต่ำสุดมีค่า 0.29 MPa ของเหมืองหน้าถ้ำ และค่าสูงสุด 5.19 MPa ของแหล่งปิ่นเยาะ 1 สำหรับค่าเฉลี่ยนั้นจะหาหลังจากตัดค่าสูงสุดและต่ำสุดของชุดข้อมูลแต่ละแหล่ง ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าดัชนีกำลังรับแรงกดจุด

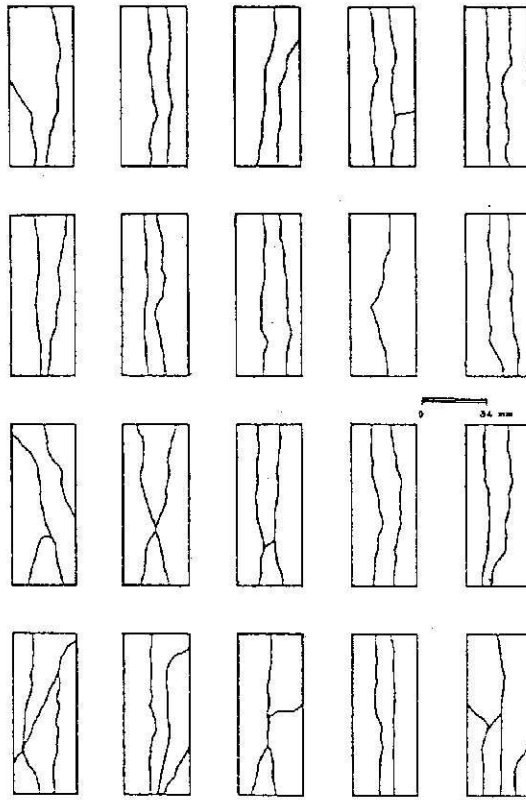
ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	ต่ำสุด, MPa	สูงสุด, MPa	เฉลี่ย, MPa
ปิ่นเยาะ 1	20	0.62	5.19	2.48 ± 0.83
ปิ่นเยาะ 3	20	0.35	3.53	1.73 ± 0.81
ปิ่นเยาะ 4	26	1.00	4.50	2.03 ± 0.67
บาตัน	20	1.05	4.59	2.36 ± 0.79
วีวีเอส	20	0.43	1.38	0.77 ± 0.26
หน้าถ้ำ	20	0.29	3.00	0.74 ± 0.48

### 3.3.3 กำลังรับแรงอัดเอกแกน (Uniaxial compressive strength; $\sigma$ )

ผลการทดสอบค่ากำลังเอกแกนได้ค่ามีนัยสำคัญ คือค่าต่ำสุด 27.28 MPa ของแหล่งเก็บปิ่นเยาะ 1 และค่าสูงสุดได้ 82.72 MPa ของแหล่งเก็บปิ่นเยาะ 3 ส่วนลักษณะการพิบัติของก้อนตัวอย่างทดสอบทั้งหมดส่วนมากมีแนวแตกในแนวตั้ง (extension fractures) มีก้อนตัวอย่างส่วนน้อยที่พิบัติแตกเป็นแนวทะแยงมุมประมาณ 60° (brittle shear failures) (รูปที่ 3.2) ซึ่งสรุปผลค่าเหล่านี้ไว้ในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่ากำลังรับแรงอัดเอกแกน

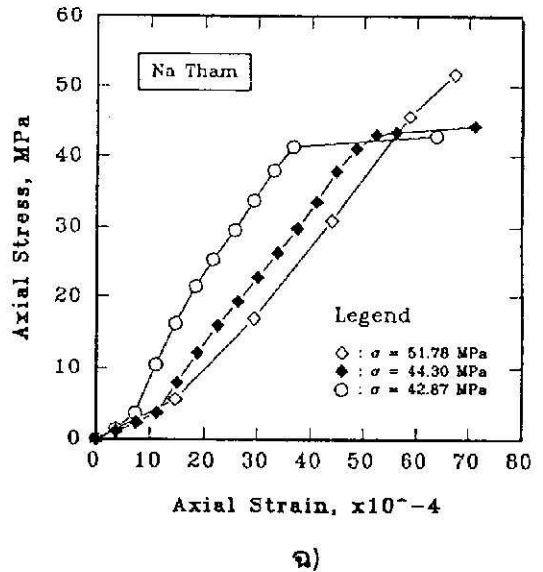
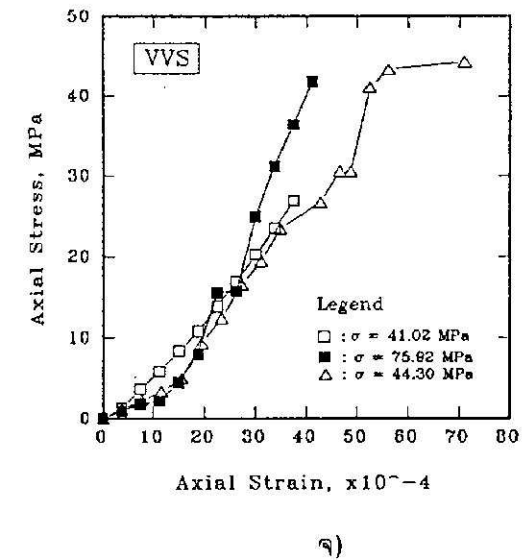
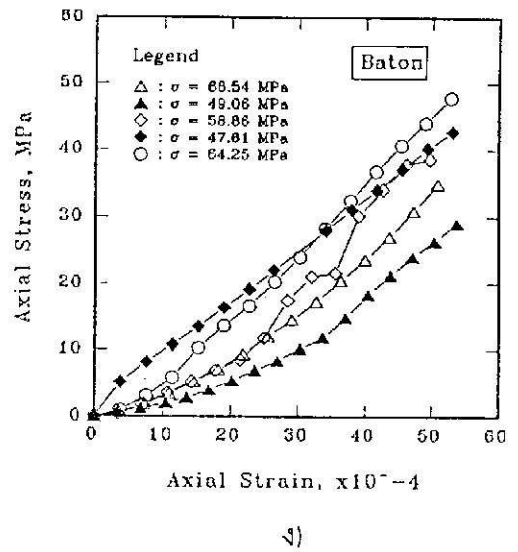
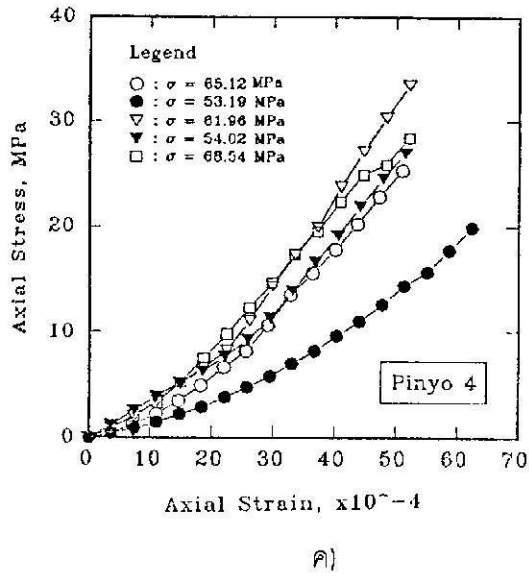
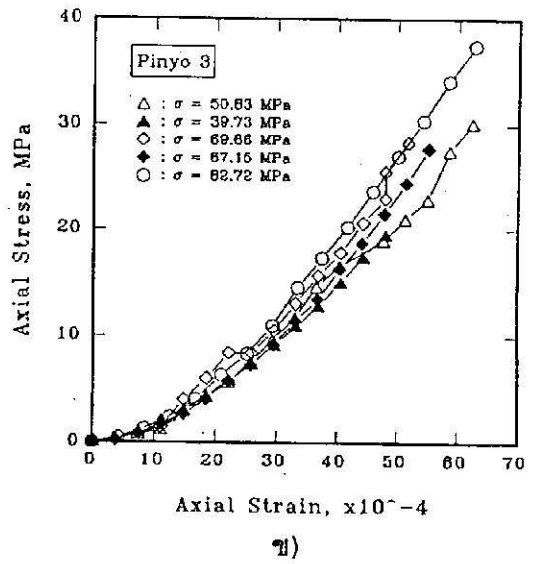
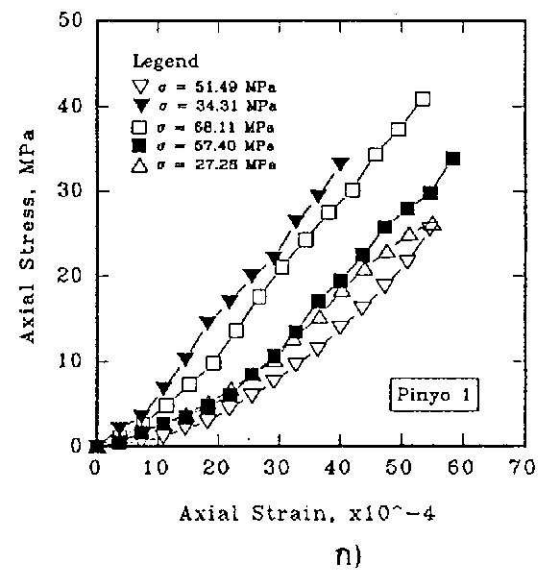
ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	$\sigma$ ต่ำสุด, MPa	$\sigma$ สูงสุด, MPa	$\sigma$ เฉลี่ย, MPa
ปิ่นเยาะ 1	5	27.28	68.12	47.72
ปิ่นเยาะ 3	5	39.72	82.72	65.44
ปิ่นเยาะ 4	5	53.18	65.12	55.04
บาตัน	5	47.61	68.54	57.66
วีวีเอส	3	41.02	75.92	61.42
หน้าถ้ำ	5	32.32	51.78	41.73



รูปที่ 3.2 ภาพลักษณะการพิบัติของบางก้อนตัวอย่างภายหลังการทดสอบอัดเอกแกน

ตารางที่ 3.9 ค่ายังคโมดูลัส

ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	$Y_{ต่ำสุด} \times 10^4$	$Y_{สูงสุด} \times 10^4$	$Y_{เฉลี่ย} \times 10^4$
ปิ่นเยาะ 1	5	0.44	0.70	0.55
ปิ่นเยาะ 3	5	0.67	0.71	0.69
ปิ่นเยาะ 4	5	0.33	0.93	0.63
บาดัน	5	0.40	0.70	0.55
วีวีเอส	3	0.66	0.75	0.71
หน้าถ้ำ	5	0.88	1.38	1.12



รูปที่ 3.3 เส้นโค้งระหว่างความเค้นและความเครียดของ ก) แหล่งปิ่นเยาะ 1 และ ข) แหล่งปิ่นเยาะ 3 ค) แหล่งปิ่นเยาะ 4 ง) เหมือนบาตัน จ) เหมือนวีวีเอส และ ฉ) เหมือนหน้าถ้ำ

### 3.3.4 โมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture, R)

ค่าโมดูลัสของการแตกหักต่ำสุด 6.30 MPa ของเหมืองหน้าถ้ำ และค่าสูงสุด 20.87 MPa ของเหมืองวีวีเอส ค่าทั้งหมดสรุปในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ค่าโมดูลัสของการแตกหัก

ตำแหน่งที่เก็บ	จำนวน	ค่า R หน่วยเป็น MPa
ปิ่นเยาะ 1	3	8.85 - 15.46
ปิ่นเยาะ 3	3	10.18 - 17.31
ปิ่นเยาะ 4	3	13.90 - 19.08
บาดัน	3	14.20 - 15.60
วีวีเอส	3	12.38 - 20.87
หน้าถ้ำ	3	6.30 - 10.87

## 3.4 สหสัมพันธ์ของผลทดสอบ (Correlation of Results)

### 3.4.1 ระหว่างกลุ่มของคุณสมบัติ

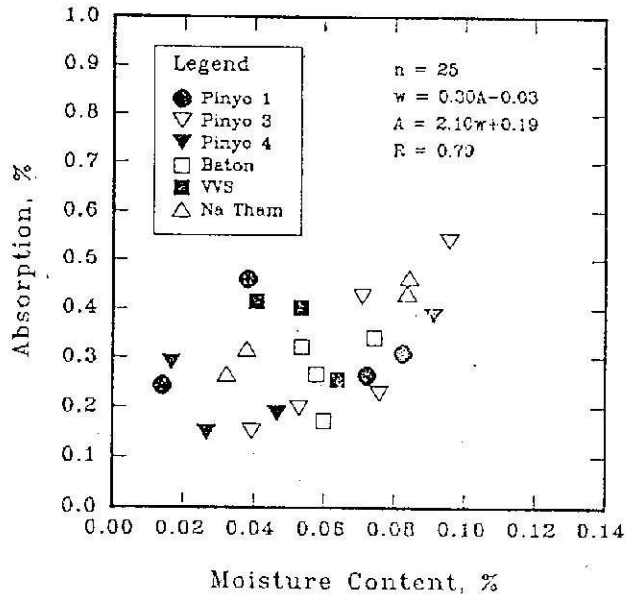
จากผลการทดสอบทั้งทางกายภาพและทางเชิงกล ได้หาค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าใด ๆ ทั้งในด้านกายภาพหรือทางเชิงกลด้วยกัน และในระหว่างต่างกลุ่ม พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าอื่นมีเพียง 3 คู่ คือ ค่าปริมาณน้ำกับการดูดซึมน้ำ ค่ากำลังรับแรงอัดกับค่าโมดูลัสของการแตกหัก และค่าภาวะการเจาะกับปริมาณน้ำตามธรรมชาติ สำหรับค่าดัชนีกำลังแรงกดจุด มีความสัมพันธ์กับค่าต่าง ๆ น้อยมากไม่อยู่ในนัยสำคัญ

#### 1. ปริมาณน้ำตามธรรมชาติกับการดูดซึมน้ำ

มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ = 0.79 ในรูปสมการเส้นตรงอย่างง่าย (รูปที่ 3.4)

$$w = 0.30A - 0.03 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{หรือ} \quad A = 2.10w + 0.19 \quad \dots\dots\dots (2)$$



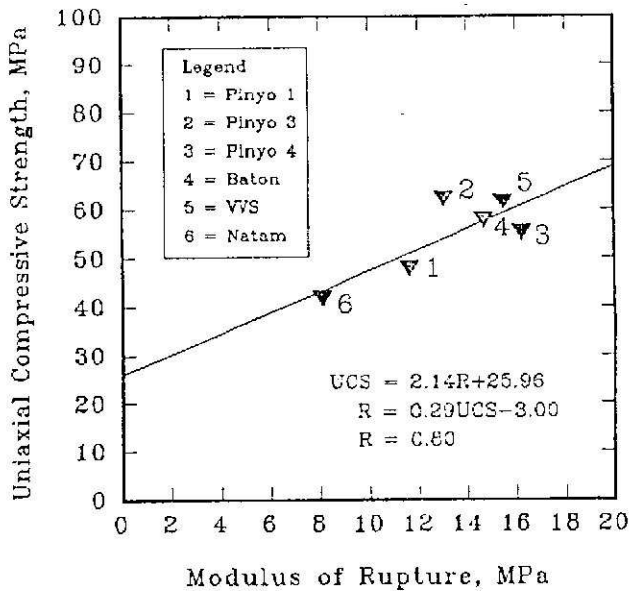
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตามธรรมชาติกับการดูดซึม

## 2. กำลังแรงอัดกับค่าโมดูลัสของการแตกหัก

ความสัมพันธ์เป็นปฏิกภาคโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ = 0.80 เขียนรูปสมการได้ (รูปที่ 3.5)

$$UCS = 2.14R + 25.96 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{หรือ} \quad R = 0.29UCS - 3.00 \quad \dots\dots\dots (4)$$



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสของการแตกหักกับกำลังรับแรงอัดเอกแกน

### 3.4.2 ระหว่างต่างกลุ่มของคุณสมบัติ

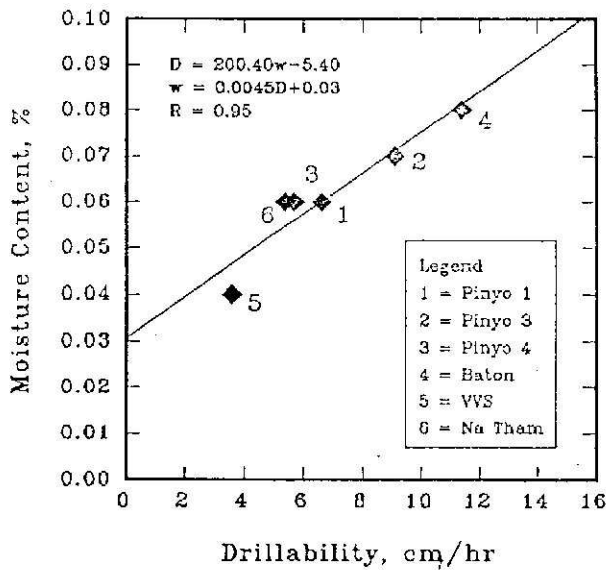
ความสัมพันธ์ระหว่างต่างประเภทคุณสมบัติ ที่เห็นเด่นชัดเจมมีอยู่แค่เพียง 1 คู่ คือ

#### 1. ปริมาณน้ำตามธรรมชาติกับภาวะการเจาะ

ความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ = 0.95 ในรูปสมการเส้นตรง (รูปที่ 3.6)

$$D = 200.40w - 5.40 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{หรือ } w = 0.0045D + 0.03 \quad \dots\dots\dots (6)$$



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาวะการเจาะกับปริมาณน้ำตามธรรมชาติ

## 4. วิจัย

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า หินอ่อนในพื้นที่จังหวัดยะลามีค่าอยู่ในพิสัยมาตรฐานหินอ่อนก่อสร้างด้านภายนอกตามที่กำหนดของ ASTM (1984) และจากการจัดประเภทของหินอ่อนตามสถาบันหินอ่อนอเมริกัน (Harben and Purdy, 1991) สามารถจัดหินอ่อนยะลาอยู่ในกลุ่ม บี และ ซี ที่ควรตระหนักไว้ในใจก็คือ ค่าทำการทดสอบได้ เป็นเพียงค่าเฉลี่ยของหินในหน้าเหมืองช่วงใดช่วงหนึ่งเท่านั้นไม่ใช่ค่าที่เป็นตัวแทนถึงแหล่งหินทั้งหมด สำหรับรายละเอียดของคุณสมบัติในแต่ละด้าน จะได้กล่าวไว้ข้างล่างต่อไปนี้

### 4.1 ลักษณะทางด้านสีและรส

#### 4.1.1 สี

สีต่าง ๆ ตามธรรมชาติของหินอ่อนยะลา ขึ้นอยู่กับสีของแร่กำเนิดกรรมพันธุ์ดั้งเดิมของมัน รูปแบบชุดของมวลรวมแร่และปริมาณของมลทินต่างๆ การผสมผสานปนเปของปริมาณเล็กน้อยของ แร่มักเป็นเหตุให้หินอ่อนที่ผลิตมีสีออกมาหลากหลาย ถ้าแร่กำเนิดกรรมพันธุ์ และแร่ที่อยู่รวมกันมีการกระจายตัวดี สีกำเนิดกรรมพันธุ์ที่เด่น คือสีที่เป็นตัวแทนธรรมชาติของหินอ่อนนั้น (เป็นเยาะ)

ถ้าแร่ที่ผสมมีการออกซิไดส์ ผิวหินอ่อนจะปรากฏมีสีแผ่นเคลือบบางๆ หรือที่เรียกว่าสีแบบเรืองรอง ซึ่งเป็นสีไม่จรัสยั่งยืนและไม่เป็นสีเดียวกัน (เอกพันธ์) ลักษณะเช่นนี้จะยากลำบากต่อการกำหนดว่าแท้จริงที่เปิดหน้าเหมืองจะเหมือนตามหินโผล่ แต่ขณะเดียวกันสีเช่นนี้เหมาะกับงานตกแต่งประดับประดา และงานด้านหัตถกรรม เพราะจะกระจายให้สีที่มีความขึ้นขอบและยังพบว่าสำหรับเจดสีพิเศษเช่นนี้เป็นที่ถูกใจกับสายตาของลูกค้าและผู้คนที่พบเห็น

ข้อพึงสังวรอีกประการหนึ่งก็คือ แร่ที่มีการกำเนิดสีกรรมพันธุ์และมีมลทินปนอยู่ สีจะเปลี่ยนแปลงกับสภาวะภายนอกด้วยคือ หินอ่อนที่มีความขึ้นจะมีสีเข้มกว่าหินอ่อนที่แห้งซึ่งให้การดูสีว่าจางกว่า

#### 4.1.2 เนื้อหิน

หินอ่อนของยะลาที่วิจัยมีขนาดเม็ดแร่ละเอียดถึงปานกลาง มักปรากฏมีลายเนื้อจากแร่พวกเหล็กออกไซด์แทรกอยู่ ทำให้เนื้อหินไม่เป็นเนื้อเอกพันธ์ เนื้อหินเรียบจะให้การตกแต่งได้ง่ายและสวยงาม และความเข้มสีจะขึ้นกับขนาดเม็ดแร่ คือ หากเม็ดแร่ยิ่งหยาบขึ้นมากเท่าใด ความจางของสีก็แปรผกผันตามนั้น นอกเหนือจากนี้การผูกพันอยู่กับที่ การออกซิไดส์ การลดออกซิเจน การเพิ่มปฏิกิริยาจากการที่มีและการขาดน้ำ มีผลกระทบต่อหินอ่อนที่มีเม็ดแร่ผลึก



ชี้แจง การเพิ่มปฏิกริยาจากการที่มีและการขาดน้ำ มีผลกระทบต่อหินอ่อนที่มีเม็ดแร่ลึกลับหายมากกว่าละเอียด

## 4.2 ลักษณะทางด้านกายภาพ

### 4.2.1 ปริมาณความชื้น

ค่าที่ทดสอบได้มีผลต่อลักษณะความเข้มหรือจางของสี และการมีเจดสีเรื่อรองต่างจากสีที่แท้จริงนอกจากนี้ยังมีผลโดยตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล อาทิการทนทานต่อการกลั้วน้ำ (slake durability) กำลังรับแรงอัด นั้นหมายความว่า การขัดให้ผิวมันเรียบ ความวาวก็จะขึ้นกับค่านี้เช่นกัน

## 4.3 ลักษณะทางด้านเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลนี้จะมีบทบาทอย่างมากกับในการตัดเลื่อยหินอ่อนออกเป็นแผ่น แท่งก้อน และในการขัดผิวมัน และตกแต่งประดับประดา หัตถกรรม

### 4.3.1 กำลังรับแรงอัดเอกแกน

ค่าที่ได้หากจัดจำแนกตามกำลัง (ISRM, 1981) จะอยู่ในช่วง หินแข็งปานกลาง ( $R_3$ ) ถึง หินแข็ง ( $R_4$ ) ยังพบว่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากแรงกดที่ตั้งฉากหรือแนวตั้งกับร้าวขนาน มักจะได้ค่าสูงกว่าที่ได้จากการขนานกับร้าวขนานหรือกับรอยไม่ต่อเนื่อง (discontinuity)

จากข้อสังเกตพบวก่อนตัวอย่างที่มีเม็ดแร่ขนาดละเอียด จะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าก้อนตัวอย่างที่มีเม็ดผลึกแร่ที่หยาบ (ป็นเยาะ 3) และค่ากำลังรับแรงอัดจากตัวอย่างที่มีความชื้นน้อยมักสูงกว่าที่ได้จากตัวอย่างที่มีการอิมตัวน้ำสูงกว่า

จากลักษณะเส้นโค้งตามรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของหินอ่อนในรูปแบบ โหลเลื่อน-ยืดหยุ่น-โหลเลื่อน (plastic-elastic-plastic) ซึ่งช่วงโหลเลื่อนอาจเห็นไม่ชัดเจน เนื่องจากการนำมาตรวจวัดหน้าปัด (dial gage) ออกมาก่อนที่หินอ่อนจะถึงจุดคลาก (yield point) และแตกหัก เพราะเกรงว่ามาตรวัดจะได้รับความเสียหายจากแรงที่กดลงมาอย่างรวดเร็วจะกระแทกมาตรวัดดังกล่าว จึงไม่ปรากฏเห็นพฤติกรรมของการเปลี่ยนสภาพช่วงโหลเลื่อนเท่าที่ควร

### 4.3.2 โมดูลัสของการแตกหัก

ตามวิธีการทดสอบซึ่งเสนอโดย ASTM (1992) ควรทดสอบตัวอย่างที่อบให้แห้งและแช่น้ำให้ออิมตัว แต่เนื่องจากผลการหาค่าปริมาณน้ำในก้อนตัวอย่างทดสอบมีอยู่น้อยมาก จึงได้ทดสอบก้อนตัวอย่างจากสภาพที่ปกติ และในบรรดาตัวอย่างทั้ง 6 แห่ง มีก้อนตัวอย่างจากแหล่ง

ปีนเยาะ 4 และหน้าถ้าเท่านั้นที่มีเนื้อผลึกเดียว นอกนั้นจะมีริ้วขนานทั้งที่เด่นและไม่เด่นชัดเจน พบว่าค่าโมดูลัสที่ได้จากแรงกดอยู่ในแนวตั้งกับริ้วขนาน (บาดันและวีวีเอส) จะสูงกว่าค่าที่ได้จากขนานกับริ้วขนาน (ปีนเยาะ 3)

#### 4.3.3 กำลังรับแรงกดจุด

จากผลที่ได้จากการทดสอบจะเห็นชัดเจนว่า ตัวอย่างขึ้นก่อนที่มีเม็ดผลึกแร่ละเอียด จะมีค่ากำลังแรงกดจุดสูงกว่าพวกขึ้นก่อนที่มีเม็ดผลึกแร่หยาบ (ปีนเยาะ 3 และ วีวีเอส) นอกจากนี้ลำดับขั้นของการมุพังอยู่กับที่ (weathering) มีอิทธิพลอย่างสูงกับการลดกำลังรับแรงกดจุดเป็นอย่างมาก (ก้อนตัวอย่างหน้าดำ) นอกจากนี้การทดสอบใช้ก้อนตัวอย่างทั้งแบบทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและขึ้นก่อนไม่สม่ำเสมอ ค่ากำลังรับแรงกดจุดที่ได้จึงแปรปรวนพอสมควร ซึ่งเหล่านี้เองเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์คุณสมบัตินี้กับค่าอื่น ๆ

## เอกสารอ้างอิง

กองธรณีวิทยา (2528) แผนที่ธรณีวิทยากระทรวงจังหวัดนราธิวาสและอำเภอตากใบ 1 : 250,000

กรมทรัพยากรธรณี

จุมพล คีนดัก และวัฒน์ อยู่เย็น (2532) หินมิติและหินย่อย (ตอนที่ 2) ข่าวสารการธรณี ปีที่ 34 ฉบับที่ 8, หน้า 29-40.

ASTM (1984) Standard specification for marble building stone (exterior) Designation: C 503-79, Section 4, Vol. 04.08, pp. 29-30.

Harben P. and Purdy J. (1991) Dimension stone evaluation from cradle to gravestone, Industrial Minerals, pp. 47-61.

ISRM (1981) Rock characterization testing & monitoring, Brown (ed.), Pergamon Press, New York, 211 p.