

รายงานวิจัย

เรื่อง



การพัฒนาและสร้างชุดวัดความหนาแน่น  
และความพรุนของตัวอย่างหิน

Development and Construction of Density  
and Porosity Measuring Equipment

ผู้วิจัย

นายบุญเชิญ เจริญศรี

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

แหล่งทุนสนับสนุน

เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ปีงบประมาณ 2532

Order Key 24956

BIB Key 167 448

เลขหมู่ ๐๐๑๑ ๒๗๐ ๕๕๕๕  
เลขทะเบียน 75 พ.ย. 75

## บทคัดย่อ

ได้ทำการพัฒนาและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับวัดความหนาแน่น และความพรุนของตัวอย่างหิน ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 200 กรัม เพื่อให้สามารถวัดความหนาแน่นแห้ง ความหนาแน่นเปียก ความหนาแน่นของเนื้อหิน และความพรุนของหิน อุปกรณ์ชุดนี้นอกจากจะใช้วัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการหาความหนาแน่นและความพรุนของวัสดุอื่น เช่น วัสดุเซรามิกส์ ซึ่งมีมวลไม่เกิน 200 กรัมได้อีกด้วย

## Abstract

Rock density and porosity measuring equipment was developed. The developed equipment will be suitable for rock sample which is less than 200 grams. Dry density, saturated density, matrix density and porosity of rocks could be determined from this equipment. In addition, density and porosity of other materials, e.g. ceramic material, whose mass is less than 200 grams could also be determined by this equipment.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	v
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีพื้นฐาน	2
3. วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย	4
4. ผลและวิจารณ์	9
5. สรุปผล	20
6. เอกสารอ้างอิง	21
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B	23
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD24	24
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง T	25
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง U	26

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการทำให้ตัวอย่างหินอิมดัวด้วยน้ำ	5
รูปที่ 2 โถอบแห้งและปั๊มสุญญากาศ	6
รูปที่ 3 ตำแหน่งของตัวอย่างหินที่ B, DD, U และ T บนแผนที่ธรณีวิทยา	7
รูปที่ 4 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการชั่งตัวอย่างหินในน้ำ	8
รูปที่ 5 ความหนาแน่นอิมดัวของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B	12
รูปที่ 6 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B	12
รูปที่ 7 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B	13
รูปที่ 8 ความพรุนของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B	13
รูปที่ 9 ความหนาแน่นอิมดัวของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD	14
รูปที่ 10 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD	14
รูปที่ 11 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD	15
รูปที่ 12 ความพรุนของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD	15
รูปที่ 13 ความหนาแน่นอิมดัวของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง T	16
รูปที่ 14 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง T	16
รูปที่ 15 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง T	17
รูปที่ 16 ความพรุนของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง T	17
รูปที่ 17 ความหนาแน่นอิมดัวของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง U	18
รูปที่ 18 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง U	18
รูปที่ 19 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง U	19
รูปที่ 20 ความพรุนของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง U	19

## 1. บทนำ

ความหนาแน่นเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของหิน ความหนาแน่นกำหนดเป็นอัตราส่วนของมวลของหินต่อปริมาตรของหิน ในระบบหน่วยเอสไอ (SI) ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความหนาแน่นหินมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในหินต่างชนิดกัน ตัวอย่างเช่น หินอัคนีซึ่งเป็นหินผลึกมีพิสัยของความหนาแน่น 2200-3370 kg/m<sup>3</sup> หินแปรมีพิสัยของความหนาแน่น 2390-3540 Mg/m<sup>3</sup> สำหรับกรณีของหินตะกอน ความหนาแน่นจะแปรผันตามอายุ ความลึก ความพรุน วัสดุเชื่อมประสานที่มีอยู่ในช่องว่างภายในหิน โดยทั่วไปหินตะกอน และดินตะกอน มีพิสัยของความหนาแน่น 1200-3200 Mg/m<sup>3</sup> (Telford et al, 1976)

แม้ว่าหินต่างชนิดกันจะมีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันมากนัก แต่อธิพลของความหนาแน่นที่แตกต่างกันสามารถส่งผลให้เกิดค่าผิดปกติของสนามโน้มถ่วง หรือเรียกสั้นๆว่าค่าผิดปกติของความถ่วง ค่าผิดปกติของความถ่วงกำหนดเป็นค่าความถ่วงที่บิดเบนไปจากค่าความถ่วงปกติของโลก (ค่าความถ่วงปกติของโลกมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 9.8 m/s<sup>2</sup>) ค่าผิดปกติของความถ่วงเกิดขึ้นเนื่องจากการแปรผันตามแนวราบของความหนาแน่นของหินที่อยู่ใกล้ผิวโลก เช่น แอ่งน้ำมัน แอ่งถ่านหิน หรือแอ่งตะกอนอื่นๆ ซึ่งตะกอนในแอ่งจะมีอายุน้อยกว่าและมีความหนาแน่นน้อยกว่าหินฐานที่ฟอร์มตัวเป็นตัวแอ่งรองรับแอ่งตะกอนนั้นอยู่ ค่าผิดปกติของความถ่วงของแอ่งตะกอนประมาณ -100  $\mu\text{m/s}^2$  ถึง -600  $\mu\text{m/s}^2$  ในขณะที่ตะกอนในแอ่งตะกอนมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าหินฐานที่รองรับแอ่งตะกอนประมาณ 200-600 kg/m<sup>3</sup>

ดังนั้นการสามารถประเมินความหนาแน่นของหินตะกอนในพื้นที่วิจัยหนึ่งๆอย่างแม่นยำ จะช่วยกำหนดความลึกและขอบเขตที่ถูกต้องของแอ่งตะกอน หรือโครงสร้างธรณีวิทยาในลักษณะอื่นๆจากการแปลความข้อมูลด้านความถ่วงด้วยความแม่นยำ

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์วัดความหนาแน่นของหินและความพรุนของหิน กรณีที่ตัวอย่างหินมีขนาดเล็กน้ำหนักไม่เกิน 200 กรัม

## 2. ทฤษฎีพื้นฐาน

ระเบียบวิธีดั้งเดิมในการวัดค่าความหนาแน่นเกี่ยวข้องกับหลักการของอาร์คิมิดีส กล่าวคือน้ำหนักของวัตถุที่หายไปเมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลวจะเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่โดยวัตถุ (Parasnis, 1971)

ดังนั้นถ้า  $W_{air}$  และ  $W_{liq}$  แทนน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศและน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในของเหลว ดังนั้นน้ำหนักที่หายไป  $W_{air} - W_{liq}$  จะเท่ากับ  $V\rho_0$  เมื่อ  $V$  แทนปริมาตรของวัตถุ และ  $\rho_0$  แทนความหนาแน่นของของเหลว ถ้าของเหลวที่ใช้เป็นน้ำ (ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$ ) น้ำหนักที่หายไปจะเท่ากับปริมาตรของวัตถุโดยตัวเลข ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีนี้  $\rho_0$  แทนความหนาแน่นของน้ำซึ่งเท่ากับ  $1\text{ g/cm}^3$  ดังนั้นโดยตัวเลขความหนาแน่นของวัตถุจึงเท่ากับ  $W_{air}/(W_{air} - W_{water})$  นอกจากนี้เราต้องทำการปรับแก้น้ำหนักของเส้นลวดที่ใช้สำหรับแขวนตัวอย่างหินและการปรับแก้ส่วนหนึ่งของเส้นลวดที่จมอยู่ในเหลวในกรณีที่วัตถุมีขนาดเล็กมาก

สำหรับการวัดค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินขนาดใหญ่ การใช้ตาชั่งสปริงอย่างดีก็มีความเหมาะสม แต่สำหรับตัวอย่างขนาดเล็กเราควรใช้ตาชั่งสารเคมีสำหรับการวัดค่าความหนาแน่นของผลึกแร่ขนาดเล็ก และใช้ของเหลวหนักเช่น Carbon tetrachloride ( $\rho_0 = 1.595\text{ g/cm}^3$ )

หินส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินตะกอน และหินอัคนีบางชนิดมีความพรุนจำนวนหนึ่งและความหนาแน่น ถิ่นเดิมของหินตะกอนและหินอัคนี ขึ้นกับปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ ดังนั้นเราจึงความกำหนดความหนาแน่นแห้งและความหนาแน่นอิ่มตัวของตัวอย่างหินเพื่อกำหนดพิสัยของความหนาแน่นของตัวอย่างหิน ถิ่นเดิม อัตราส่วนของช่องว่าง (อัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรของหิน) กำหนดโดย (ความหนาแน่นอิ่มตัว-ความหนาแน่นแห้ง)/(1-ความหนาแน่นอิ่มตัว+ความหนาแน่นแห้ง) โดยตัวอย่างหินควรถูกทำให้อิ่มตัวภายใต้สุญญากาศ ดังนั้น ในกรณีของตัวอย่างหิน และใช้น้ำแทนของเหลว เมื่อกำหนดให้

$\rho_0$  แทน ความหนาแน่นของตัวอย่างแห้ง

$\rho_s$  แทน ความหนาแน่นของตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

$\rho_m$  แทน ความหนาแน่นเฉลี่ยของเนื้อหิน

$W_1$  แทน น้ำหนักของตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งชั่งในน้ำ

$W_2$  แทน น้ำหนักของตัวอย่างแห้งซึ่งชั่งในอากาศ

$W_3$  แทน น้ำหนักของตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งชั่งในอากาศ

$\rho_w$  แทน ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิขณะที่ทำการวัด

$W_w$  แทน น้ำหนักของเส้นลวดในน้ำ

เราจะได้ว่า

$$\rho_d = \frac{W_2}{W_3 - (W_1 - W_w)} \cdot \rho_w$$

$$\rho_s = \frac{W_3}{W_3 - (W_1 - W_w)} \cdot \rho_w$$

$$\rho_m = \frac{W_2}{W_2 - (W_1 - W_w)} \cdot \rho_w$$

$$\phi = \frac{W_3 - W_2}{W_3 - (W_1 - W_w)} \cdot 100$$

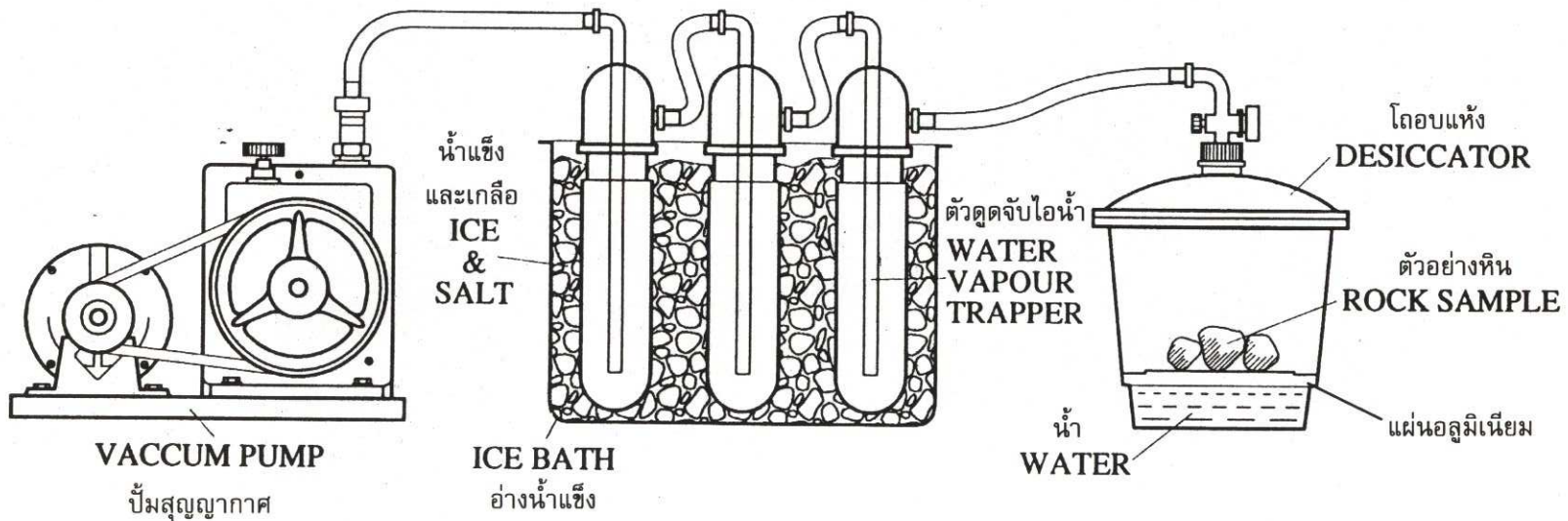
ค่าความพรุน  $\phi$  ในหน่วยร้อยละ สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรข้างล่างนี้

ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างหินก้อนใหญ่สามารถประเมินได้จากการรวมมวลและปริมาตรของตัวอย่างหินก้อนเล็กๆ ซึ่งแต่ละก้อนมีขนาดไม่เกิน 200 กรัม ถ้าตัวอย่างหินเล็กๆเหล่านั้นมีขนาดเท่าๆกัน เราจะสามารถคำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างหินก้อนใหญ่จากค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของตัวอย่างหินขนาดเล็กเหล่านั้น

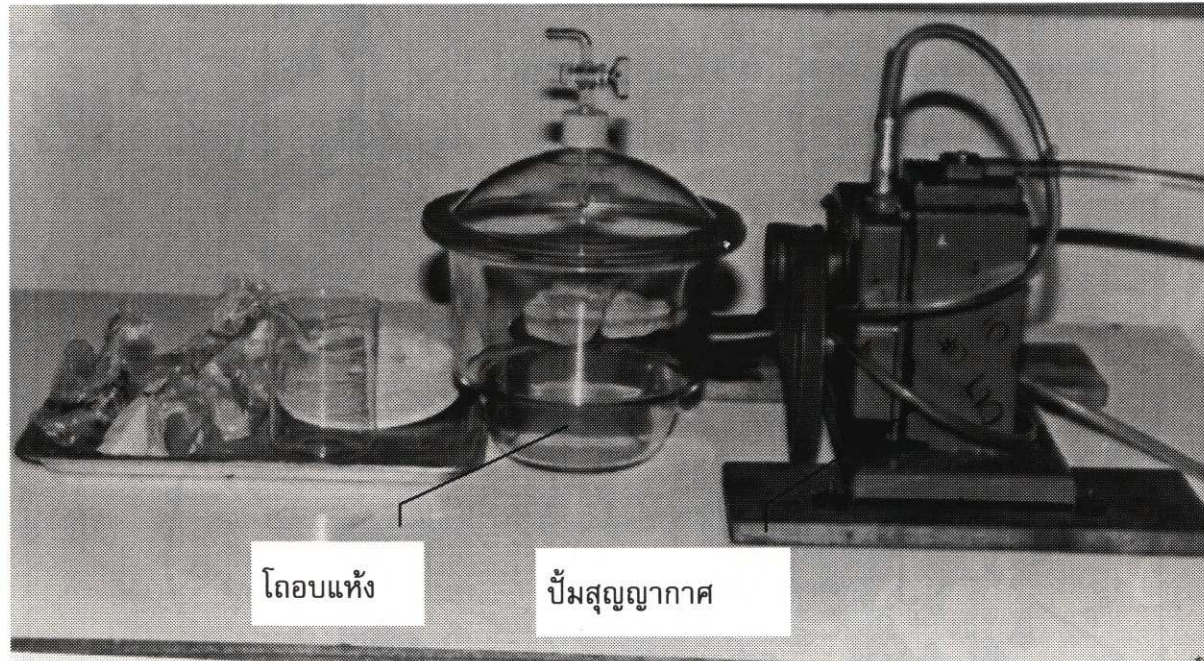


### 3. วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

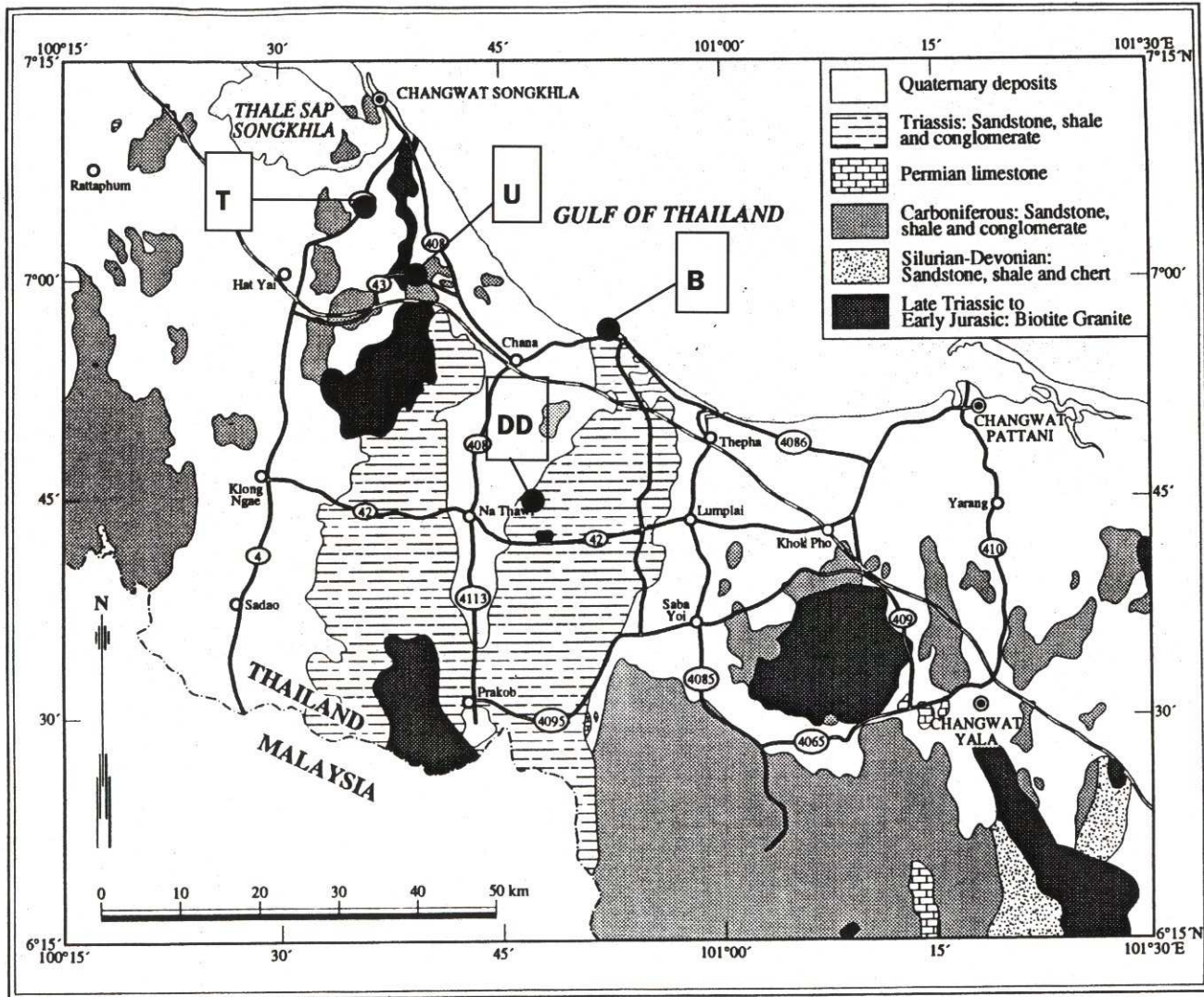
- 3.1 พัฒนาอุปกรณ์ทำให้หินอิมิตัวด้วยน้ำ (รูปที่ 1 และรูปที่ 2)
- 3.2 เก็บตัวอย่างหินตะกอนและหิน ภายในจังหวัดสงขลา (รูปที่ 3) สำหรับเป็นตัวอย่างในการกำหนดความหนาแน่นอิมิตัว ความหนาแน่นแห้ง ความหนาแน่นของเนื้อหิน และความพรุนของหินตัวอย่าง เนื่องจากในกรณีของหินตะกอน ตัวอย่างหินทรายจะเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมกับการทดลองเนื่องจากเป็นหินที่มีเนื้อแน่น ไม่มีแตกง่ายระหว่างการทำการทดลอง
- 3.3 เนื่องจากเครื่องชั่งละเอียดไม่สามารถจะชั่งวัตถุที่มีมวลมากกว่า 200 กรัม (เครื่องชั่งยี่ห้อ Mettler Analytical balance AE200) ดังนั้นตัวอย่างหินก้อนใหญ่จึงถูกทำให้เล็กลงเป็นก้อนเล็กที่มีมวลไม่เกิน 200 กรัม
- 3.4 ทำให้ตัวอย่างหินที่มีขนาดเล็กกว่า 200 กรัม แห้ง โดยการอบในเตาอบที่อุณหภูมิคงที่ประมาณ 105 องศาเซลเซียสประมาณ 5 ชั่วโมง (เตาอบแห้งยี่ห้อ National NB-7500E) หลังจากนั้นชั่งตัวอย่างหินที่แห้ง และบันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้เป็น  $W_2$
- 3.5 หลังจากนั้นทำให้ตัวอย่างหินอิมิตัวด้วยน้ำภายใต้ระบบสุญญากาศ โดยระบบทำให้ตัวอย่างหินอิมิตัวด้วยน้ำได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้
- 3.6 ชั่งตัวอย่างหินที่อิมิตัวด้วยน้ำในน้ำ โดยแขวนให้ตัวอย่างหินจมอยู่ใต้ผิวน้ำในบีกเกอร์ (รูปที่ 4) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งได้ในกรณีนี้ไว้เป็น  $W_1$
- 3.7 ชั่งเฉพาะลวดแขวนตัวอย่างมวลในน้ำ เพื่อใช้สำหรับการปรับแก้น้ำหนักของตัวอย่างหินที่ชั่งในน้ำ บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้เป็น  $W_w$
- 3.8 ชั่งตัวอย่างหินที่อิมิตัวด้วยน้ำในอากาศ และบันทึกน้ำหนักไว้เป็น  $W_3$
- 3.9 ประเมินค่าความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิที่ทำการทดลอง โดยอาศัยขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร (volume flask of 25 ml) โดยความหนาแน่นของน้ำกำหนดได้จากอัตราส่วนของมวลของน้ำที่อยู่ในขวดปริมาตรกับปริมาตรของขวดปริมาตร



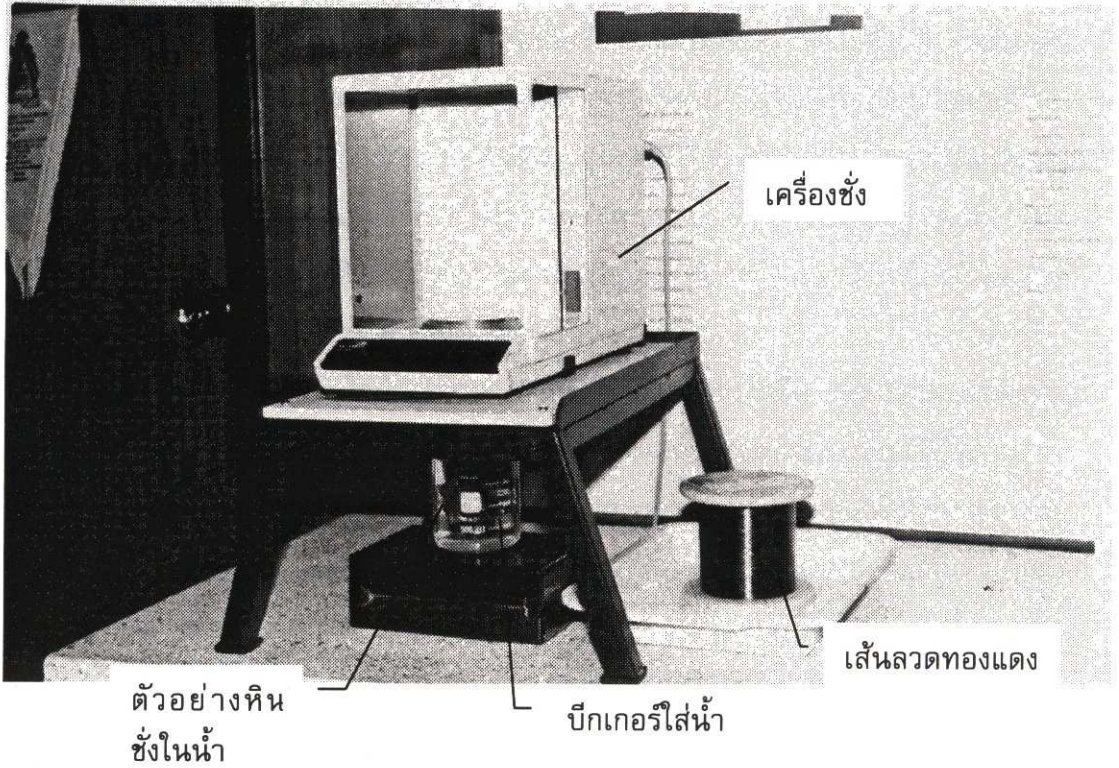
รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการทำให้ตัวอย่างหินอิมตัวด้วยน้ำ



รูปที่ 2 โถอบแห้งและปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 3 ตำแหน่งของตัวอย่างหินที่ B, DD, U และ T บนแผนที่ธรณีวิทยา



รูปที่ 4 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการชั่งตัวอย่างหินในน้ำ

## 4. ผลและวิจารณ์

4.1 ได้พัฒนาอุปกรณ์ชุดเพื่อทำให้หินอิมตัวด้วยน้ำโดยระบบสุญญากาศ (รูปที่ 1)

ซึ่งประกอบด้วย โถอบแห้ง (desiccator) ที่ได้รับการพัฒนาดัดแปลง อุปกรณ์ชุดดักจับไอน้ำ ที่ได้จัดทำขึ้น และปั๊มสุญญากาศ

4.1.1 โถอบแห้งได้รับการพัฒนาดัดแปลงโดยภายในได้ติดตั้งเดือยสำหรับรองรับแผ่นจานอลูมิเนียม แผ่นจานอลูมิเนียมนี้จะถูกเจาะไว้เป็นรูพรุน บนแผ่นจานนี้จะวางตัวอย่างหิน และภายใต้แผ่นจานนี้จะมีน้ำ ถ้าเรากระแทกหรือหมุนกระตุกโถอบแห้งอย่างแรง จะทำให้แผ่นจานหลุดออกจากเดือยที่รองรับอยู่ และทำให้ทั้งแผ่นจานและตัวอย่างหินตกลงไปจมอยู่ในน้ำข้างล่าง และน้ำจะได้เข้าไปแทนที่ในช่องว่างที่มีอยู่ภายในเนื้อหินได้

4.1.2 อุปกรณ์ดักจับไอน้ำ ประกอบด้วยถังใส่น้ำแข็งและเกลือ และหลอดแก้วดักจับไอน้ำ 3 ตัวต่ออนุกรมกัน ชุดอุปกรณ์ดักจับไอน้ำนี้จะต่อเชื่อมระหว่างปั๊มสุญญากาศกับ โถอบแห้ง เมื่อปั๊มสุญญากาศทำงาน อากาศที่ไหลออกจากโถอบแห้งจะไหลผ่านอุปกรณ์ดักจับไอน้ำ ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเนื่องจากหลอดแก้วดักจับไอน้ำถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิของจุดหลอมเหลว โดยน้ำแข็งและเกลือที่อยู่ในถัง อุปกรณ์ชุดดักจับไอน้ำมีความจำเป็นเนื่องจากอากาศจากโถอบแห้งมีความชื้นสูงมาก ถ้าไม่ดึงไอน้ำออกจากอากาศ ไอน้ำจะเข้าไปผสมกับน้ำมันของปั๊มสุญญากาศ ส่งผลให้เราไม่สามารถลดความดันภายในโถอบแห้งลงจนสามารถทำให้น้ำภายในโถอบแห้งเดือดได้

4.1.3 ปั๊มสุญญากาศ เพื่อปั๊มอากาศออกจากโถอบแห้ง และทำให้ความดันของอากาศภายในโถอบแห้งลดลง และขณะเดียวกันก็จะดูดเอาอากาศที่มีอยู่ในช่องว่างในตัวตัวอย่างหินที่อยู่ภายในโถอบแห้งออกมา เมื่อตัวอย่างหินหล่นลงไปใต้น้ำจะทำให้มีน้ำเข้าไปแทนที่ในช่องว่างดังกล่าว

4.2 ได้ทดลองใช้ตัวอย่างหินของหินตะกอนและหินอัคนีในจังหวัดสงขลาเพื่อเป็นตัวอย่างในการทดลอง ตำแหน่งของตัวอย่างหินตะกอนและหินอัคนีแสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างหินทรายยุคไทรแอสซิก (Triassic sandstone) จำนวน 2 ตำแหน่ง (B และ DD) ตัวอย่างหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous sandstone) จำนวน 1 ตำแหน่ง (U) และตัวอย่างหินแกรนิตยุคไทรแอสซิกตอนปลายถึงยุคจูแรสซิกตอนต้น (Late Triassic to Early Jurassic granite) ดังนี้

4.2.1 ตัวอย่างที่ 1 (B) ตัวอย่างหินทรายยุคไทรแอสซิก ใช้จำนวนตัวอย่างรวม 48 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหินมีขนาดตั้งแต่ 39.2 – 177.9 กรัม จากผลการทดลองได้กำหนดความหนาแน่นอิมิตัวได้เท่ากับ  $2600.5 \pm 10.5 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นแห้งได้เท่ากับ  $2569.7 \pm 15.7 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นของเนื้อหินเท่ากับ  $2651.3 \pm 5.5 \text{ kg/m}^3$  และความพรุนเท่ากับ  $3.08 \pm 0.57 \%$  (รูปที่ 5, 6, 7 และ 8)

4.2.2 ตัวอย่างหินที่ 2 (DD) ตัวอย่างหินทรายยุคไทรแอสซิก ใช้จำนวนตัวอย่างรวม 49 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหินมีขนาดตั้งแต่ 63.6 – 174.6 กรัม จากผลการทดลองได้กำหนดความหนาแน่นอิมิตัวได้เท่ากับ  $2563.6 \pm 14.0 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นแห้งได้เท่ากับ  $2508.4 \pm 21.5 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นของเนื้อหินเท่ากับ  $2654.9 \pm 11.1 \text{ kg/m}^3$  และความพรุนเท่ากับ  $5.52 \pm 0.90 \%$  (รูปที่ 9, 10, 11 และ 12)

4.2.3 ตัวอย่างหินที่ 3 (T) ตัวอย่างหินแกรนิตยุคปลายไทรแอสซิกถึงต้นจูแรสซิก ใช้จำนวนตัวอย่างรวม 50 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหินมีขนาดตั้งแต่ 48.6-146.2 กรัม จากผลการทดลองได้กำหนดความหนาแน่นอิมิตัวได้เท่ากับ  $2628.6 \pm 9.5 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นแห้งได้เท่ากับ  $2618.4 \pm 9.6 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นของเนื้อหินได้เท่ากับ  $2645.4 \pm 10.1 \text{ kg/m}^3$  และความพรุนได้เท่ากับ  $1.02 \pm 0.16 \%$  (รูปที่ 13, 14, 15 และ 16)

4.2.4 ตัวอย่างหินที่ 4 (U) ตัวอย่างหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส ใช้จำนวนตัวอย่างรวม 43 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหินมีขนาดตั้งแต่ 42.3-133.8 กรัม ผลการทดลองได้กำหนดความหนาแน่นอิมิตัวได้เท่ากับ  $2455.3 \pm 10.0 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นแห้งเท่ากับ  $2339.7 \pm 16.2 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแน่นของเนื้อหินเท่ากับ  $2645.4 \pm 10.5 \text{ kg/m}^3$  และความพรุนได้เท่ากับ  $11.55 \pm 0.76\%$  (รูปที่ 17, 18, 19 และ 20)

จากผลการวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินทั้ง 4 ตำแหน่ง ได้แสดงให้เห็นว่าหินตะกอนที่ถูกจัดประเภทให้เป็นชนิดและอายุช่วงเดียวกัน แต่มาจากตำแหน่งที่ต่างกัน อาจจะมีมีความหนาแน่นที่แตกต่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าของความพรุน อันดับของการเชื่อมประสาน อันดับของการผุพัง และแร่ประกอบหิน เช่น กรณีของหินทรายยุคไทรแอสซิก ตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B มีความหนาแน่นอิมิตัวมากกว่าตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B มีความพรุนน้อยกว่า หรือมีอันดับของการผุพังน้อยกว่า หรือมีอันดับของการเชื่อมประสานในช่องว่างมากกว่าตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าความหนาแน่นของเนื้อหิน

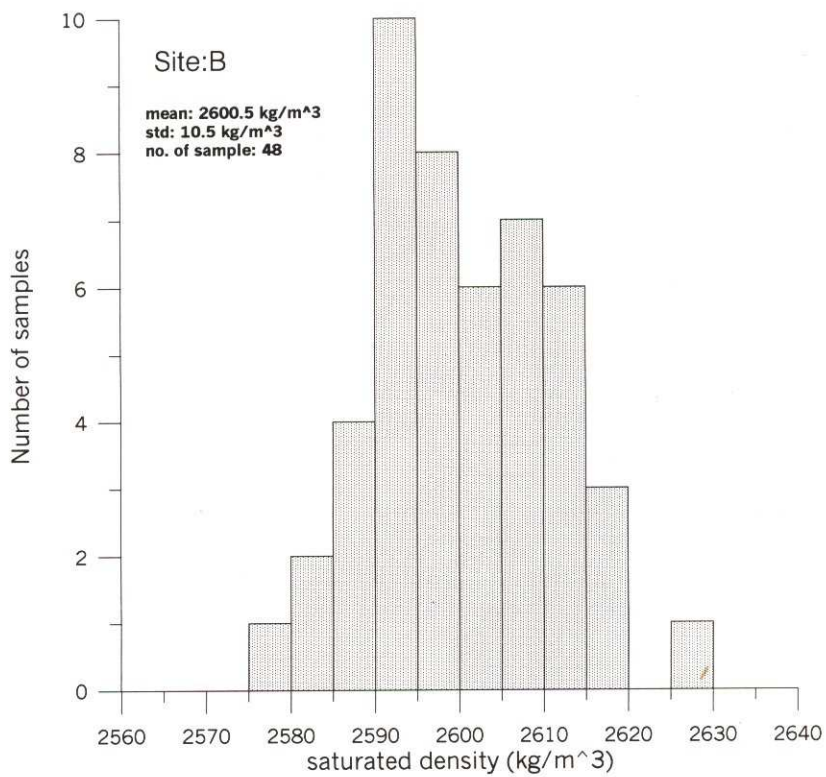
(matrix density) ของตำแหน่ง B และตำแหน่ง DD มีค่าเท่ากัน ซึ่งประมาณเท่ากับ  $2650 \text{ kg/m}^3$  แสดงให้เห็นว่าเนื้อหินเป็นแร่ประกอบหินอย่างเดียวกัน

ในกรณีของหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (U) จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างหินที่ตำแหน่งนี้มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นของหินทรายยุคโทรแอสติก แต่มีค่าของความพรุนมากกว่า ทั้งๆที่หินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัสมีอายุแก่กว่าหินทรายยุคโทรแอสติก ทั้งนี้อาจจะชี้แสดงว่าหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัสที่นำมาทำการทดลองมีอันดับการผุพังสูงกว่าหินทรายยุคโทรแอสติก อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบค่าความหนาแน่นของเนื้อหินกลับพบว่ามีค่าเท่ากับค่าความหนาแน่นของหินทรายยุคโทรแอสติก ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าแร่ประกอบหินทั้งสองเป็นชนิดเดียวกัน

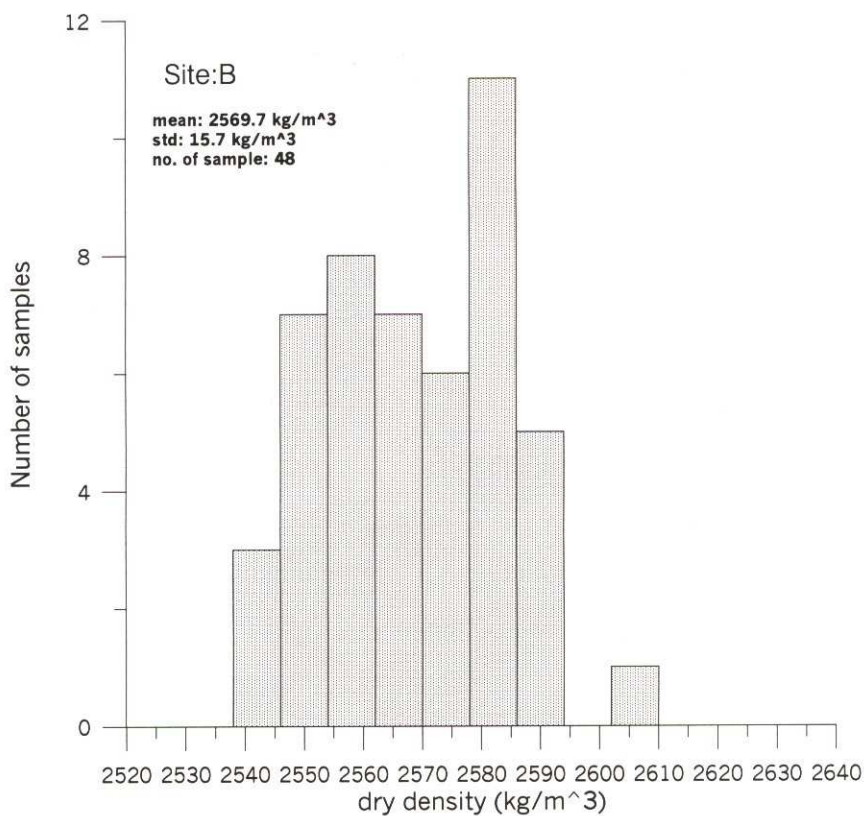
ในกรณีของหินแกรนิต ซึ่งเป็นหินอัคนี หรือหินผลึก ความหนาแน่นอิมตัวของตัวอย่างหิน ( $2629 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ) มีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหิน ( $2618 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ) และมีความหนาแน่นของเนื้อหินเท่ากับ  $2645 \pm 10 \text{ kg/m}^3$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นเนื้อหินของหินทรายยุคโทรแอสติกและหินทรายยุคคาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งชี้แสดงว่าแร่ประกอบหินในหินทั้งสองเป็นชนิดเดียวกัน ซึ่งควรจะเป็นแร่ quartz เป็นส่วนใหญ่ซึ่งทนทานต่อการผุกร่อน

ค่าความหนาแน่นสากลของตัวอย่างหินซึ่งมีตีพิมพ์ไว้โดย Telford et al (1976) และ Parasn (1997) เช่น หินแกรนิตมีพิสัยของความหนาแน่น  $2500-2810 \text{ kg/m}^3$  และมีความหนาแน่นเฉลี่ย  $2640 \text{ kg/m}^3$  หินทรายมีพิสัยของความหนาแน่น  $1610-2760 \text{ kg/m}^3$  และมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ  $2350 \text{ kg/m}^3$  แร่ Quartz มีพิสัยของความหนาแน่นเท่ากับ  $2500-2700 \text{ kg/m}^3$  และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ  $2650 \text{ kg/m}^3$  สำหรับแร่ Orthoclase feldspar จะมีพิสัยของความหนาแน่น  $2500-2600 \text{ kg/m}^3$  ดังนั้นจะเห็นว่าตัวอย่างหินนำมาทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้มีค่าความหนาแน่นที่อยู่ในพิสัยเดียวกับค่าความหนาแน่นสากล และแสดงให้เห็นว่าชุดวัดความหนาแน่นและความพรุนของตัวอย่างหินที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้หาค่าความหนาแน่นที่เชื่อถือได้ และถูกต้องของตัวอย่างหินที่มีมวลน้อยกว่า 200 กรัม

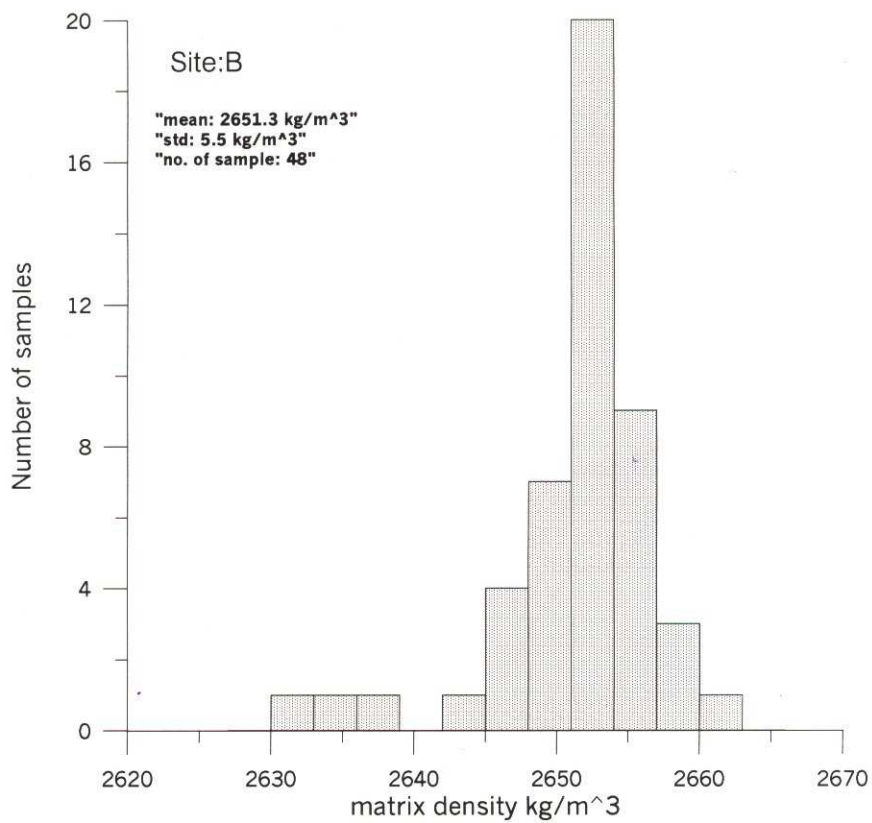




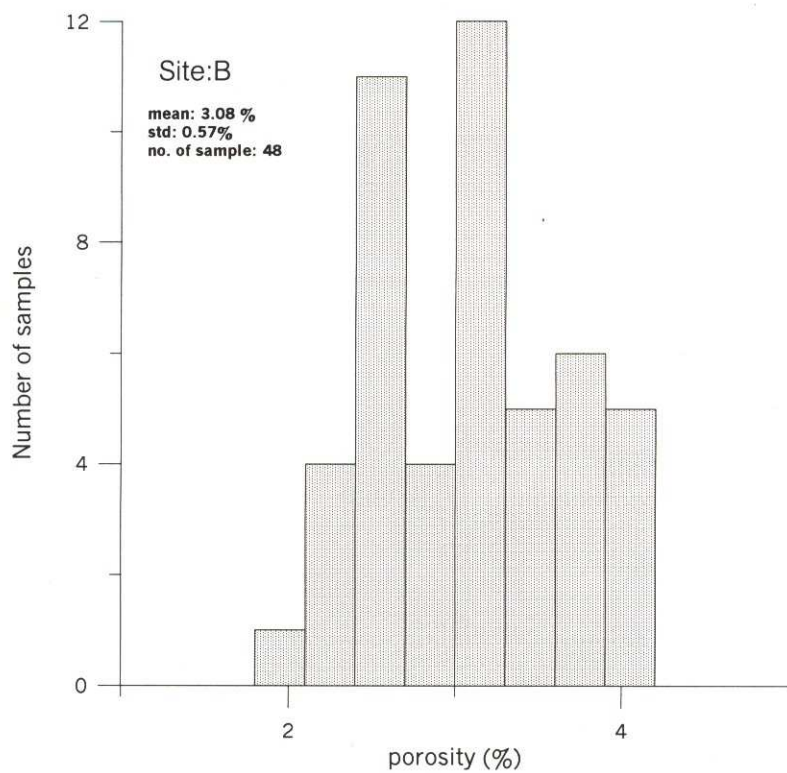
รูปที่ 5 ความหนาแน่นอิ่มตัวของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B



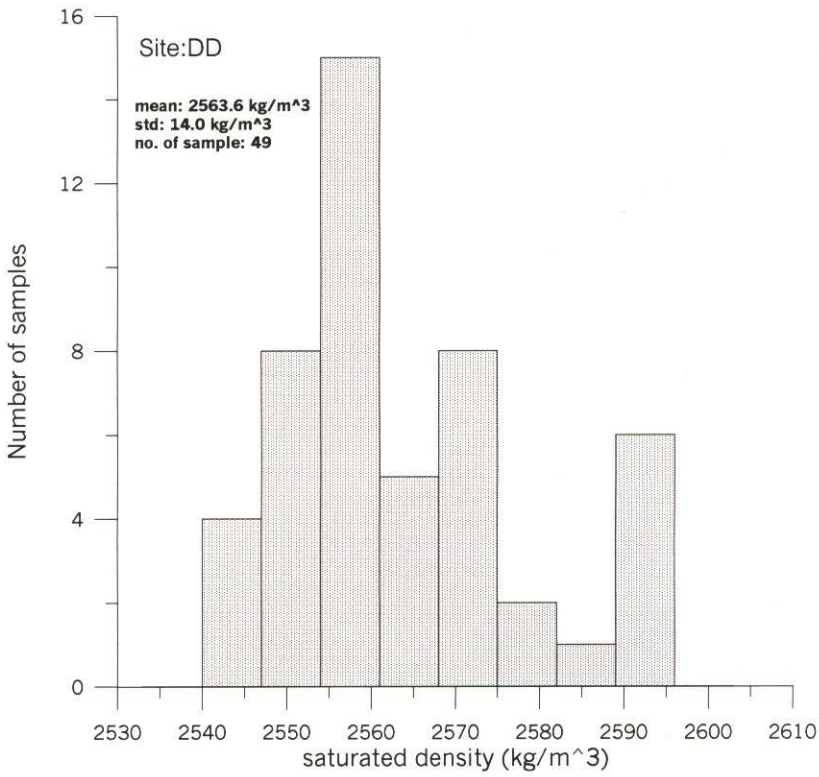
รูปที่ 6 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B



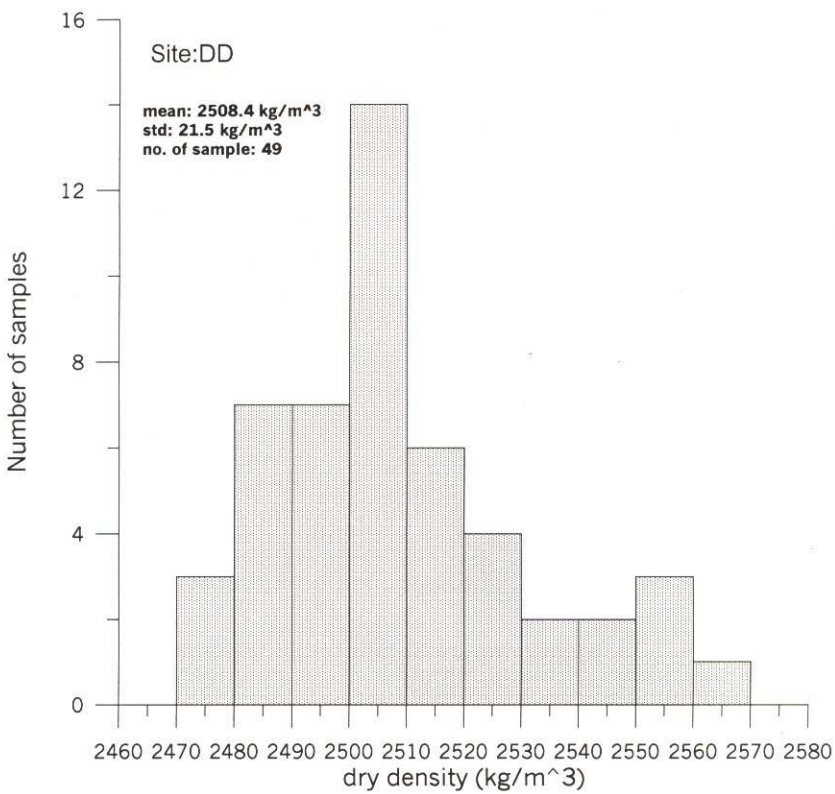
รูปที่ 7 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B



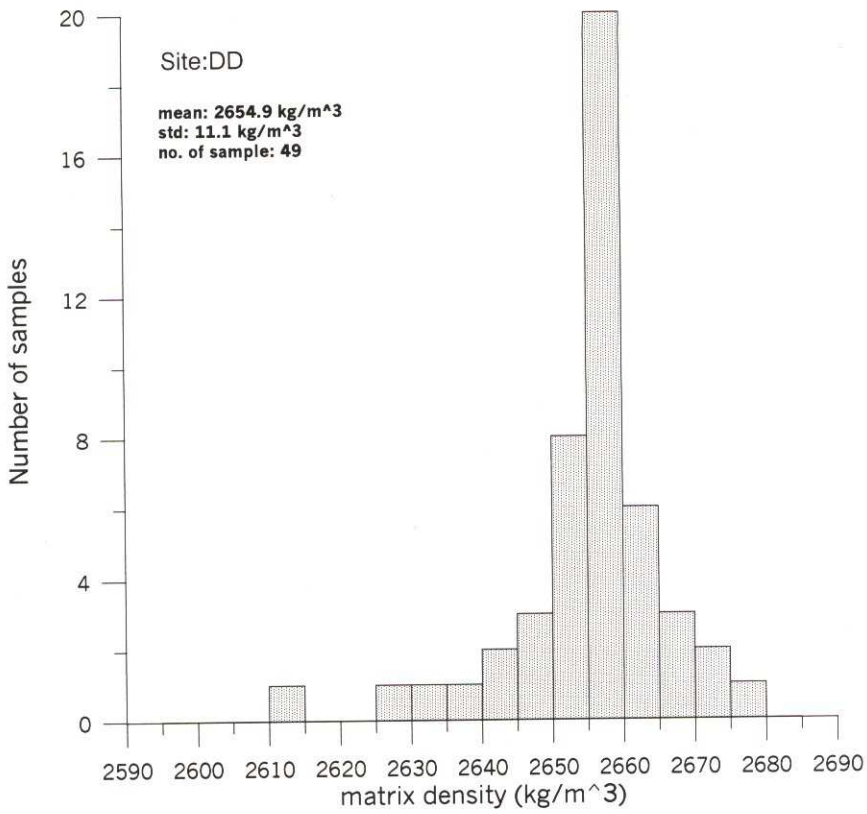
รูปที่ 8 ความพรุนของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B



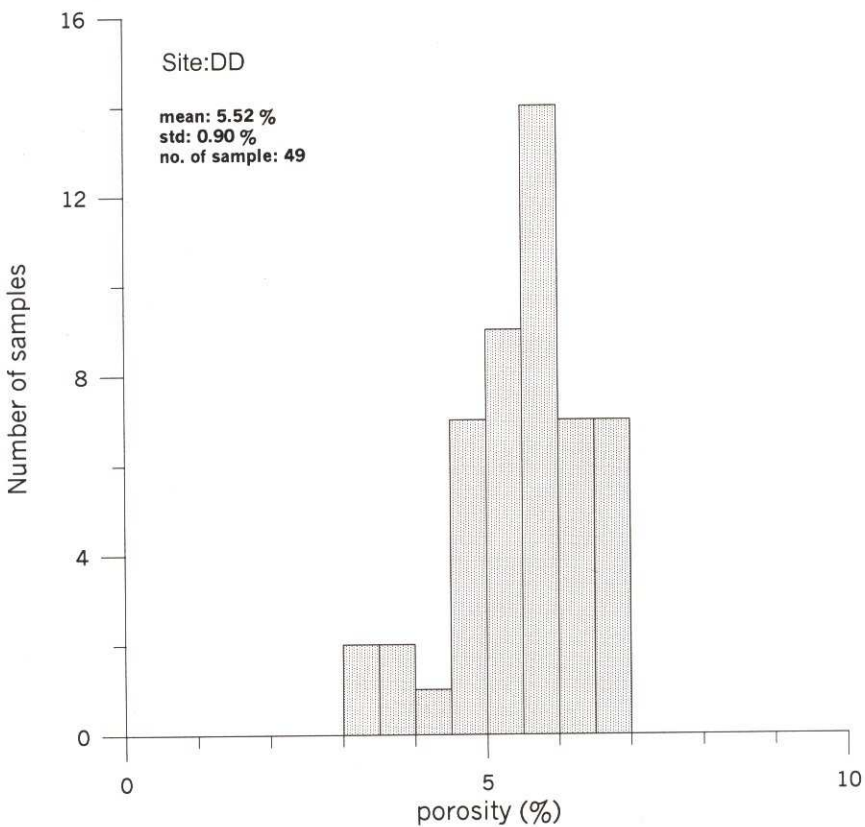
รูปที่ 9 ความหนาแน่นอิ่มตัวของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง DD



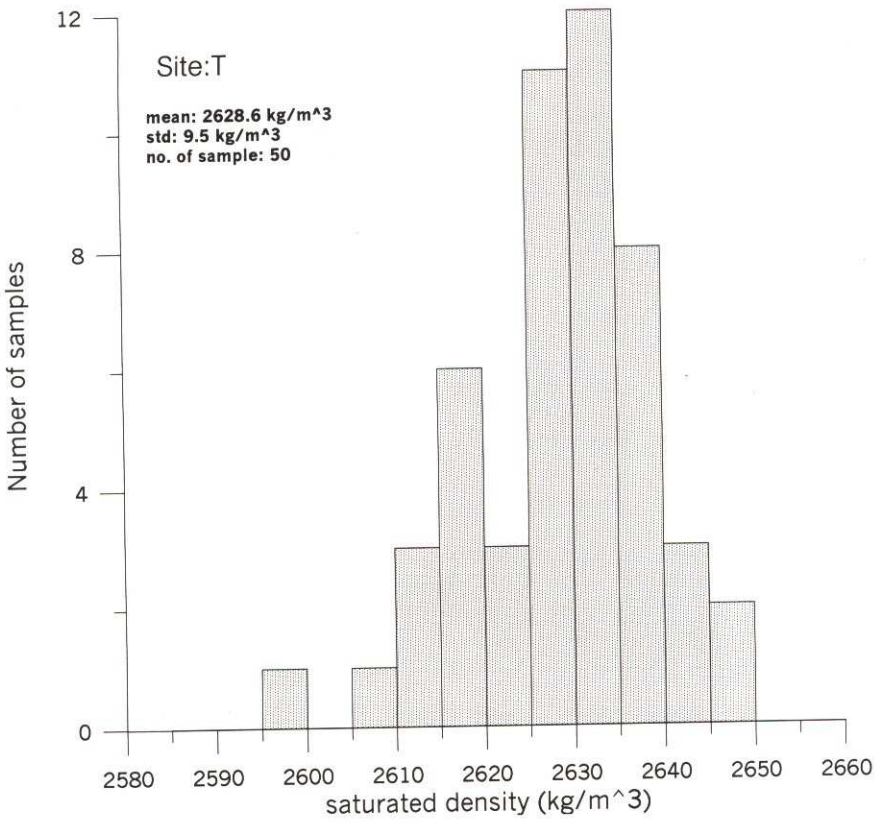
รูปที่ 10 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง DD



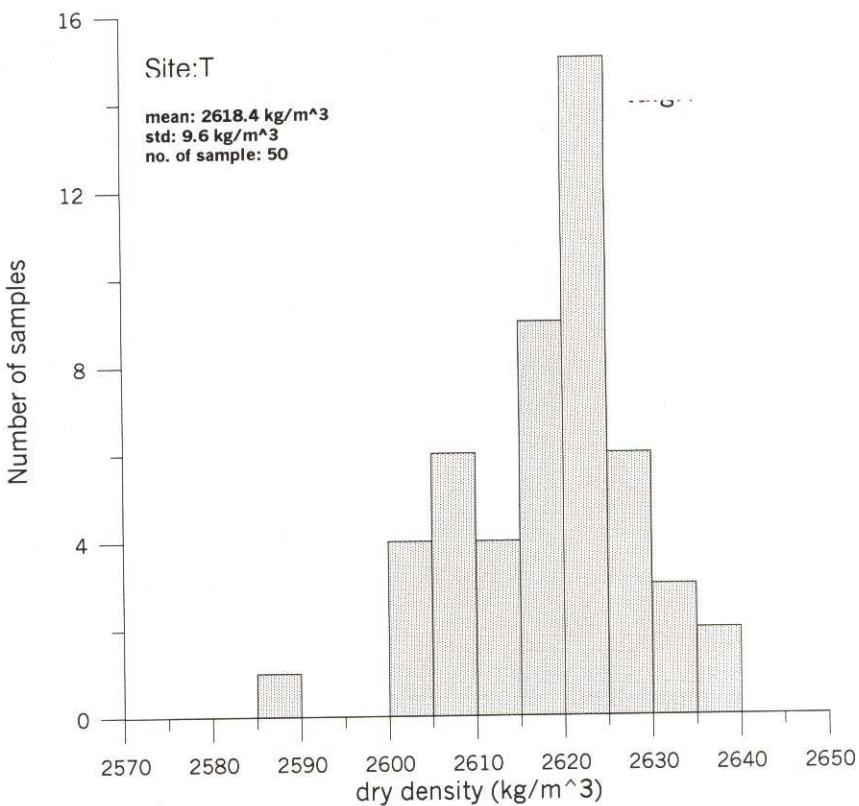
รูปที่ 11 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง DD



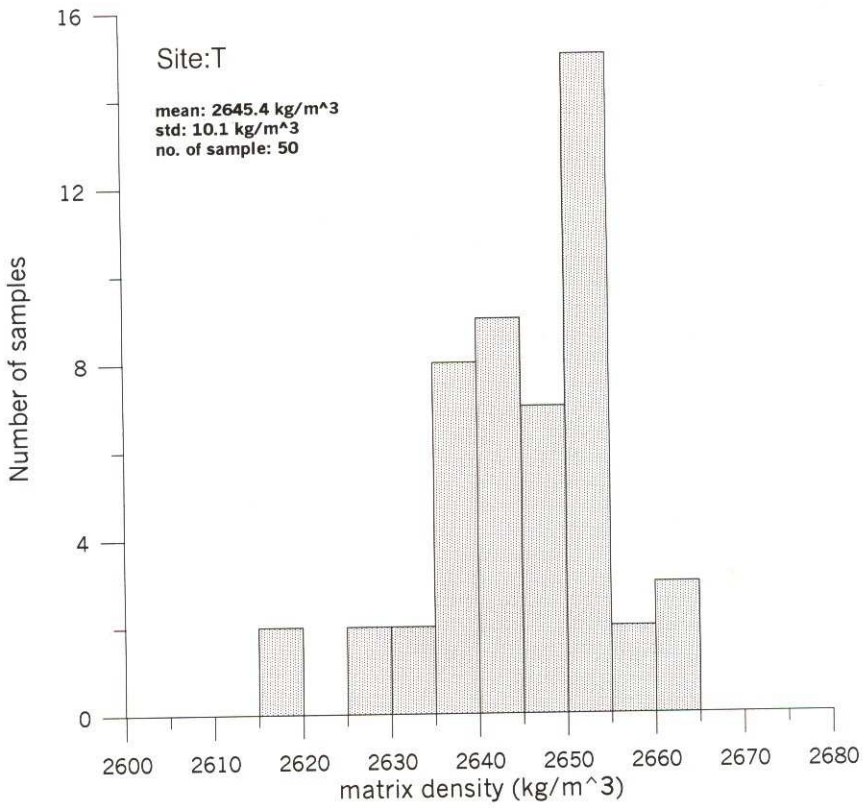
รูปที่ 12 ความพรุนของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง DD



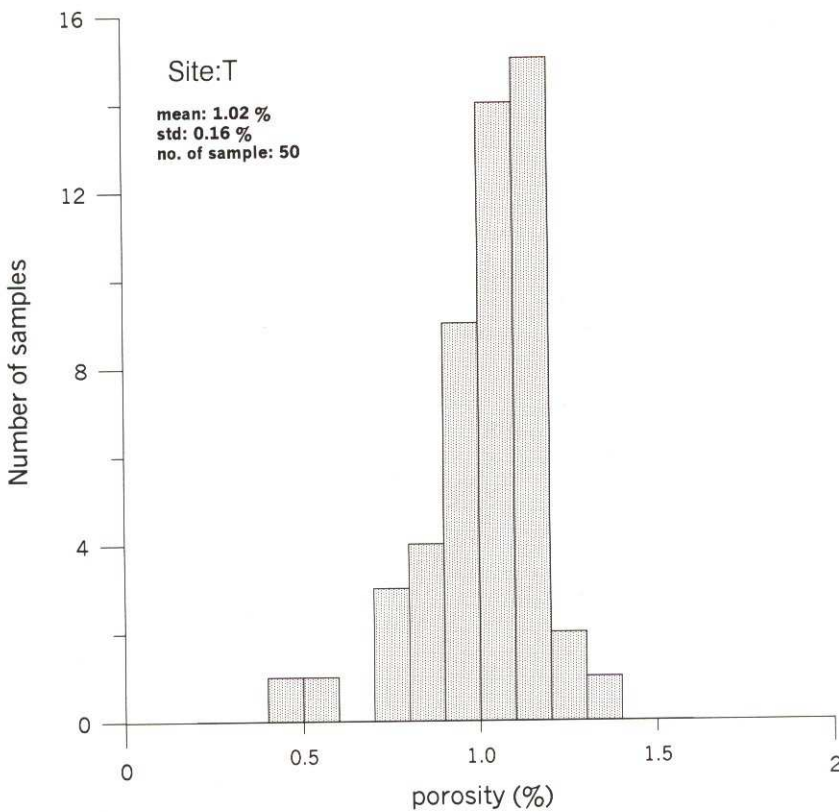
รูปที่ 13 ความหนาแน่นอิ่มตัวของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง T



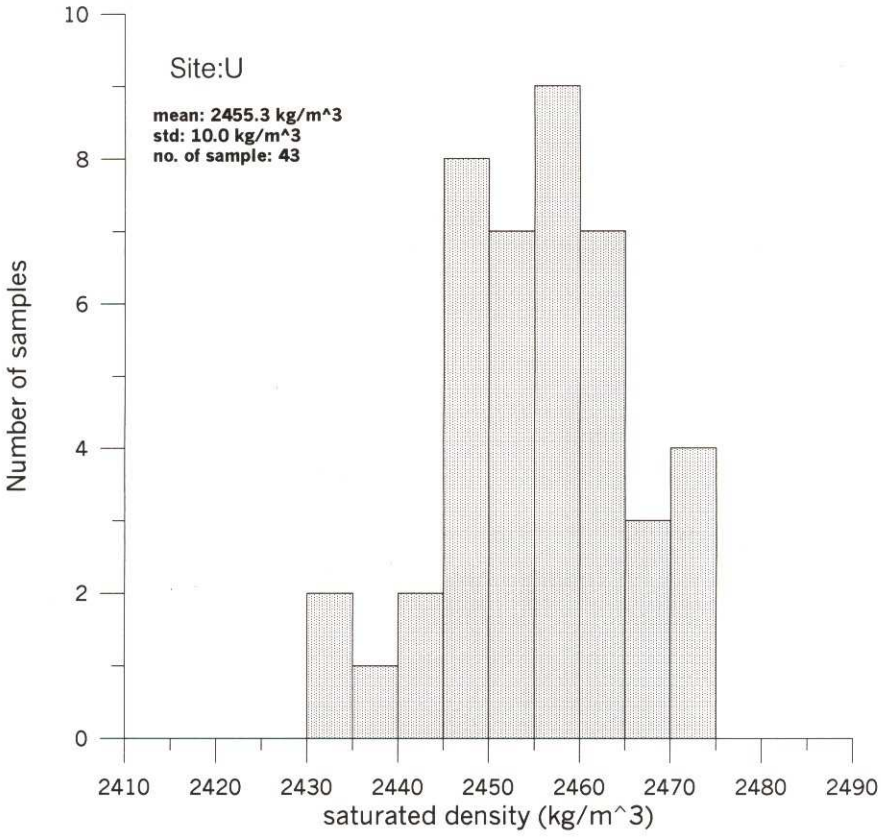
รูปที่ 14 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง T



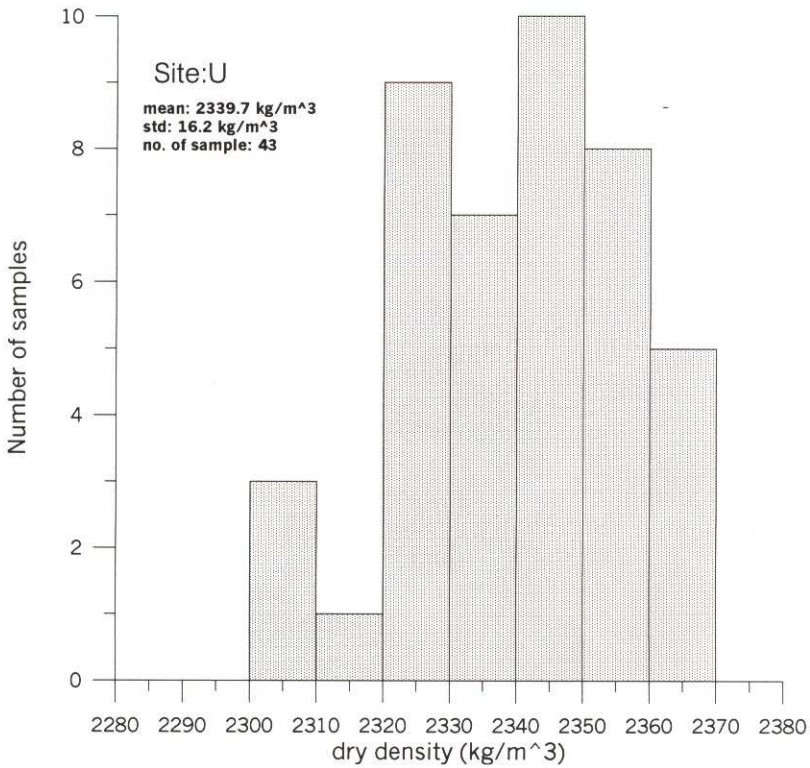
รูปที่ 15 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง T



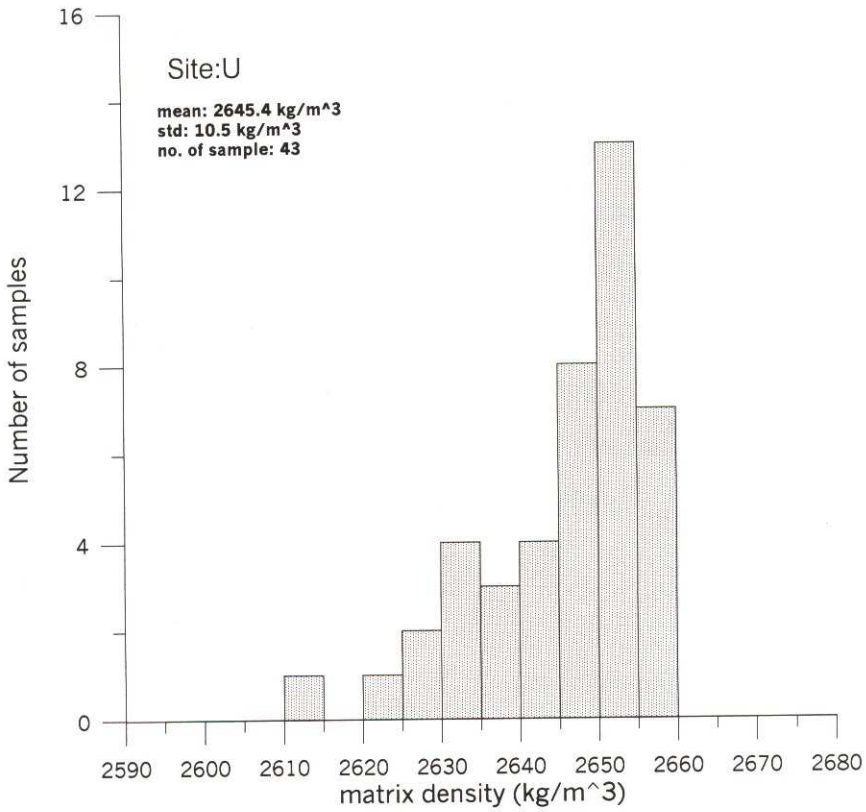
รูปที่ 16 ความพรุนของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง T



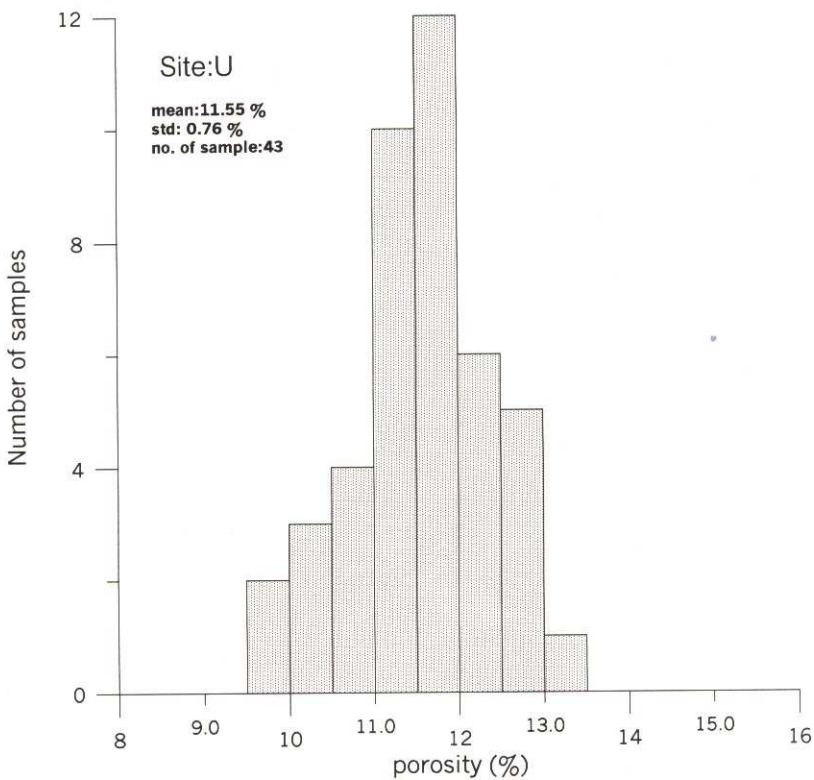
รูปที่ 17 ความหนาแน่นอิ่มตัวของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง U



รูปที่ 18 ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง U



รูปที่ 19 ความหนาแน่นเนื้อหินของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง U



รูปที่ 20 ความพรุนของตัวอย่างหิน ที่ตำแหน่ง U



## 5. สรุป

ในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาชุดวัดความหนาแน่นและความพรุนของตัวอย่างหิน ซึ่งตัวอย่างหินมีขนาดของมวลน้อยกว่า 200 กรัม โดยอุปกรณ์ชุดหลักที่พัฒนาขึ้นได้แก่อุปกรณ์ที่ทำให้ตัวอย่างหินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยวิธีสุญญากาศ ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองวัดในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นสากลของตัวอย่างหิน อุปกรณ์ชุดนี้สามารถใช้กำหนดค่าความหนาแน่นอิ่มตัว ค่าความหนาแน่นแห้ง ค่าความหนาแน่นของเนื้อวัสดุ และความพรุน ของวัสดุอื่น เช่น วัสดุเซรามิกส์ ซึ่งมีมวลน้อยกว่า 200 กรัมได้เช่นกัน

## 5. เอกสารอ้างอิง

- Lindfors, R., 1988. Determination of saturated and dry densities, average matrix density and porosity of rock samples. Dept of Applied Geophysics, Hogskolan i Lulea: Lulea
- Lohawijarn, W., 1992. Regional gravity and auxiliary geophysical measurements in the Songkhla, Yala and Pattani provinces in Peninsular Thailand and their geological interpretation. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology:Lulea.
- Parasnis, D.S., 1971. Physical property guide for rocks and minerals, Geophysical Memorandum 4/71. ABEM printed matter no 90157. ABEM AB:Bromma.
- Parasnis, D.S., 1997. Principles of Applied Geophysics. 5<sup>th</sup> ed. Chapman and Hall: London, p.74.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press : Cambridge, pp. 24-28.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง B

Site : B. XLS								
No.	w <sub>2</sub> (gm)	w <sub>3</sub> (gm)	w <sub>1</sub> (gm)	w <sub>w</sub> (gm)	Rs (kg/m <sup>3</sup> )	Rd (kg/m <sup>3</sup> )	Rm (kg/m <sup>3</sup> )	Porosity (%)
1	136.6115	138.7536	85.9245	0.7356	2590.3926	2550.4017	2656.6432	3.9991
2	121.7517	123.0703	76.5260	0.6334	2608.6541	2580.7044	2654.9082	2.7950
3	134.1747	135.8996	84.1347	0.7320	2588.7167	2555.8595	2642.6909	3.2857
4	141.7670	143.9744	89.0567	0.6336	2591.7377	2552.0015	2657.6047	3.9736
5	109.2469	110.3255	68.5935	0.5271	2610.6921	2585.1686	2652.8794	2.5523
6	92.1710	93.0838	58.0057	0.5901	2609.7140	2584.1226	2651.9908	2.5591
7	108.5470	109.9265	68.0369	0.6337	2585.0886	2552.6476	2638.2347	3.2441
8	120.3721	121.6407	75.6642	0.7365	2604.0010	2576.8437	2648.7774	2.7157
9	132.6666	134.5841	83.2591	0.5890	2592.4433	2555.5072	2653.5177	3.6936
10	94.0354	94.9260	59.2478	0.5944	2617.0167	2592.4637	2657.7186	2.4553
11	121.5855	123.4971	76.4226	0.6372	2588.4028	2548.3372	2654.6994	4.0066
12	110.9365	111.9844	69.7003	0.5881	2612.0516	2587.6092	2652.4413	2.4442
13	90.8191	91.9887	57.1017	0.5331	2597.0762	2564.0554	2651.6138	3.3021
14	127.2219	129.2975	79.9823	0.7307	2583.5783	2542.1043	2652.0972	4.1474
15	116.2114	117.5996	73.0531	0.5870	2605.5945	2574.8369	2656.5460	3.0758
16	135.3689	136.6117	84.9349	0.5327	2616.6062	2592.8021	2656.0264	2.3804
17	79.1927	80.0251	50.0943	0.7321	2609.8347	2582.6879	2654.7560	2.7147
18	161.2109	162.8921	101.2681	0.7260	2612.5437	2585.5798	2657.2291	2.6964
19	175.7593	177.8925	110.2051	0.7322	2600.0225	2588.8443	2651.5137	3.1178
20	122.6524	124.4383	76.9714	0.5916	2589.3089	2552.1479	2650.6485	3.7161
21	111.6650	112.5073	70.4299	0.7289	2628.2884	2608.6113	2660.9713	1.9677
22	110.8812	111.8798	69.8636	0.7398	2616.7041	2593.3483	2655.3665	2.3356
23	132.3628	134.0644	83.1461	0.7030	2597.0752	2564.1121	2651.5143	3.2963
24	151.4922	153.2611	95.1179	0.7294	2603.2671	2573.2208	2652.9314	3.0046
25	82.5093	83.6229	51.9518	0.5925	2591.8651	2557.3495	2648.7737	3.4516
26	84.4226	85.2470	53.2734	0.6982	2609.1920	2583.9593	2650.8475	2.5233
27	88.4089	89.7147	55.7251	0.6375	2590.8811	2553.1708	2653.2248	3.7710
28	80.3529	81.0599	50.6583	0.6383	2611.4743	2588.6971	2649.0345	2.2777
29	77.6796	78.7850	48.9934	0.5912	2593.0790	2556.6966	2653.2274	3.6382
30	80.8005	81.8055	51.0282	0.7000	2598.8728	2566.9451	2651.6049	3.1928
31	152.9936	154.9619	95.8760	0.6968	2592.0860	2559.1618	2646.2888	3.2924
32	113.2977	114.4575	71.3004	0.7384	2607.4996	2581.0778	2651.1254	2.6422
33	68.7583	69.6168	43.3878	0.5490	2599.7759	2567.7160	2652.7634	3.2060
34	72.7400	73.9187	45.8594	0.5490	2583.8201	2542.6188	2651.8797	4.1201
35	115.3025	116.4493	72.4421	0.5900	2611.1348	2585.4202	2653.6580	2.5715
36	99.2959	100.2699	62.3577	0.5878	2604.4130	2579.1143	2646.0561	2.5299
37	95.5008	96.3094	59.8610	0.6429	2596.5496	2574.7493	2632.1305	2.1800
38	79.9211	80.9235	50.4594	0.7384	2593.4941	2561.3685	2646.3853	3.2126
39	86.9853	87.7966	54.7146	0.5812	2608.0884	2583.9879	2647.8012	2.4101
40	73.0630	74.1670	46.2800	0.7344	2591.3128	2552.7403	2655.1564	3.8573
41	67.3574	68.2885	42.6560	0.7060	2592.7255	2557.3742	2651.0938	3.5351
42	52.0752	52.5839	33.0345	0.5883	2611.2168	2585.9557	2652.9726	2.5261
43	55.1182	55.7736	34.8897	0.5497	2602.1574	2571.5792	2652.6937	3.0578
44	69.8620	70.7817	44.2316	0.7056	2596.9504	2563.2070	2652.7187	3.3743
45	50.1107	50.8207	31.9831	0.7345	2596.5890	2560.3129	2656.6872	3.6276
46	71.7942	72.5690	45.2460	0.5458	2603.9514	2576.1497	2649.8191	2.7802
47	38.7700	39.2365	24.8473	0.7066	2599.1667	2568.2640	2650.1610	3.0903
48	45.6935	46.3122	28.8951	0.5488	2577.7835	2543.3460	2634.0562	3.4437

## ภาคผนวก ข. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง DD

Site : DD. XLS

No.	w <sub>2</sub> (gm)	w <sub>3</sub> (gm)	w <sub>1</sub> (gm)	w <sub>w</sub> (gm)	Rs (kg/m <sup>3</sup> )	Rd (kg/m <sup>3</sup> )	Rm (kg/m <sup>3</sup> )	Porosity (%)
1	171.9823	174.5503	107.7714	0.5883	2591.0280	2552.9085	2654.0806	3.8119
2	94.0339	95.1598	58.9902	0.5509	2591.4625	2560.8012	2641.8024	3.0661
3	136.1207	139.5386	85.7060	0.5538	2565.6892	2502.8445	2670.6829	6.2845
4	155.4401	159.0329	97.5166	0.5874	2560.7637	2502.9121	2656.6007	5.7852
5	168.3047	171.8391	105.6520	0.5889	2573.3662	2520.4370	2661.2973	5.2929
6	85.6222	86.7075	53.3600	0.5345	2559.1022	2527.0704	2610.6956	3.2032
7	90.1899	91.9755	56.8533	0.6002	2574.7290	2524.7436	2657.5841	4.9985
8	158.8203	162.6029	99.6184	0.5490	2559.3254	2499.7883	2658.0403	5.9537
9	135.8972	138.9360	85.3731	0.6013	2565.0891	2508.9856	2658.1151	5.6103
10	106.7022	109.0452	67.0775	0.6000	2561.6888	2506.6471	2652.6537	5.5042
11	100.2069	102.837	63.2028	0.6005	2555.9281	2490.5591	2664.7511	6.5369
12	119.2213	122.0305	74.7110	0.5490	2549.2861	2490.6003	2645.8755	5.8686
13	109.4627	111.5158	68.7825	0.5537	2576.1961	2528.7661	2654.6773	4.7430
14	78.6476	80.2655	49.5539	0.5251	2569.5896	2517.7948	2655.3270	5.1795
15	105.7853	108.2374	66.4881	0.5266	2560.2625	2502.2602	2656.3336	5.8002
16	78.0315	79.4594	49.3771	0.6002	2589.7303	2543.1924	2667.3241	4.6538
17	104.1299	106.1109	65.1796	0.5523	2557.9000	2510.1462	2636.0265	4.7754
18	127.4378	130.2112	80.1269	0.5998	2569.0739	2514.3546	2659.9027	5.4719
19	104.9882	106.6917	66.0853	0.5271	2593.7909	2552.3770	2662.6477	4.1414
20	118.6648	120.9798	74.9034	0.5892	2592.4835	2542.8753	2675.6075	4.9608
21	124.5068	127.3301	78.2438	0.5889	2563.2529	2506.4177	2657.4547	5.6835
22	76.5273	78.4909	48.2392	0.5491	2548.3397	2484.5881	2653.7701	6.3752
23	115.2110	117.6138	72.3509	0.5199	2568.9517	2516.4691	2655.8552	5.2483
24	119.8556	123.1529	75.4041	0.5491	2549.8603	2481.5903	2663.4223	6.8270
25	79.0517	80.6748	49.8541	0.5496	2571.6936	2519.9536	2657.4501	5.1740
26	72.5602	74.2375	45.7454	0.5277	2558.1672	2500.3687	2653.7515	5.7798
27	147.7007	151.6846	92.6565	0.5550	2545.7655	2478.9026	2656.5256	6.6863
28	114.6316	117.2840	71.9836	0.5477	2558.0995	2500.2476	2653.7734	5.7852
29	80.6649	82.3336	50.5020	0.5256	2544.5218	2492.9506	2628.5058	5.1571
30	110.5853	113.4661	69.4933	0.5528	2548.3340	2483.6341	2655.4408	6.4700
31	99.1722	101.9337	62.4408	0.5995	2542.4694	2473.5910	2656.5714	6.8878
32	102.8566	105.1325	64.6155	0.5467	2560.2296	2504.8059	2651.7771	5.5424
33	89.7291	91.5621	56.3563	0.6032	2556.9577	2505.7695	2640.9554	5.1188
34	75.7572	77.3773	47.8760	0.5893	2571.4775	2517.6367	2660.9016	5.3841
35	98.7502	101.3086	62.2012	0.5895	2552.0532	2487.6048	2658.9711	6.4448
36	91.8785	93.9286	57.7332	0.5532	2555.9776	2500.1905	2647.9099	5.5787
37	69.4888	71.1777	43.8802	0.5498	2556.0000	2495.3514	2656.4622	6.0649
38	105.7531	108.5264	66.5409	0.6071	2548.0107	2482.8984	2655.8252	6.5112
39	63.6557	65.0594	40.2184	0.5258	2564.7460	2509.4099	2656.4051	5.5336
40	81.9386	83.8872	51.7795	0.5489	2568.7671	2509.0977	2668.3144	5.9669
41	81.7175	83.3105	51.5741	0.5536	2580.0712	2530.7371	2662.0680	4.9334
42	62.6665	63.6000	39.6036	0.5574	2590.2304	2552.2119	2653.0781	3.8019
43	66.3860	67.8519	41.8783	0.5906	2554.2610	2499.0777	2645.0397	5.5183
44	70.6938	72.6656	44.6990	0.6315	2540.9240	2471.9754	2655.0366	6.8949
45	67.1682	68.5325	42.5164	0.5256	2582.0690	2530.6668	2667.7973	5.1402
46	71.6364	73.4651	45.1862	0.5115	2551.7221	2488.2044	2656.9690	6.3518
47	64.6883	66.3791	40.9002	0.5527	2549.9431	2484.9913	2657.6078	6.4952
48	69.2965	71.1265	43.873	0.5246	2560.5243	2494.6451	2670.5809	6.5879
49	65.6654	66.9039	41.2726	0.5538	2555.0370	2507.7391	2632.2385	4.7298

## ภาคผนวก ค. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง T

Site : T. XLS

No.	w <sub>2</sub> (gm)	w <sub>3</sub> (gm)	w <sub>1</sub> (gm)	w <sub>w</sub> (gm)	Rs (kg/m <sup>3</sup> )	Rd (kg/m <sup>3</sup> )	Rm (kg/m <sup>3</sup> )	Porosity (%)
1	120.5690	121.1107	75.6851	0.5880	2632.0631	2620.2905	2651.5057	1.1773
2	144.7568	145.3180	90.8478	0.5653	2640.4412	2630.2441	2657.3412	1.0197
3	145.6708	146.2123	91.4513	0.6184	2640.1929	2630.4149	2656.3891	0.9778
4	67.6022	67.8450	42.7610	0.5684	2644.9880	2635.5223	2660.7078	0.9466
5	78.4414	78.7407	49.3115	0.6264	2619.8346	2609.8764	2636.1275	0.9958
6	97.1415	97.5444	61.0052	0.5704	2628.5489	2617.6919	2646.4242	1.0857
7	93.9847	94.3802	59.0963	0.5625	2632.9060	2621.8728	2651.1231	1.1033
8	77.0288	77.4219	48.3786	0.5654	2614.8362	2601.5597	2636.5640	1.3277
9	84.1932	84.5865	53.0840	0.6260	2632.7560	2620.5145	2652.9910	1.2241
10	76.7486	77.0795	48.5058	0.5606	2645.6616	2634.3039	2664.5674	1.1358
11	90.3706	90.7203	56.8833	0.5636	2637.1720	2627.0065	2653.9857	1.0166
12	105.4581	105.9004	66.3550	0.6206	2636.5682	2625.5564	2654.7905	1.1012
13	52.6327	52.8707	33.3465	0.5686	2631.3256	2619.4806	2650.8804	1.1845
14	102.3690	102.7736	64.4220	0.6250	2636.8026	2626.4220	2653.9718	1.0381
15	126.3041	126.6636	79.1867	0.5658	2636.4796	2628.9967	2648.8176	0.7483
16	119.0228	119.5085	74.7405	0.6233	2632.8503	2622.1501	2650.5113	1.0700
17	52.9258	53.1148	33.5990	0.6132	2638.7203	2629.3308	2654.2528	0.9389
18	74.6404	74.9985	46.9626	0.5646	2622.2793	2609.7586	2642.8490	1.2521
19	92.4338	92.5990	57.7180	0.6186	2608.4519	2603.7984	2615.9720	0.4654
20	125.9501	126.3864	78.9960	0.5622	2635.6527	2626.5541	2650.6715	0.9099
21	111.9383	112.4091	69.7911	0.6182	2599.8839	2588.9949	2617.4969	1.0889
22	86.0435	86.4356	54.1349	0.5794	2628.8120	2616.8868	2648.4702	1.1925
23	59.6099	59.8617	37.6489	0.5789	2626.4693	2615.4214	2644.6391	1.1048
24	65.1565	65.3656	41.2258	0.5610	2646.2949	2637.8295	2660.3502	0.8465
25	135.4143	135.9778	84.8699	0.6276	2628.3268	2617.4348	2646.2577	1.0892
26	69.5461	69.8457	43.9251	0.5818	2635.4481	2624.1435	2654.1476	1.1305
27	64.9116	65.2037	40.9976	0.5648	2632.2701	2620.4781	2651.7476	1.1792
28	81.3669	81.6278	51.2548	0.6256	2633.2738	2624.8573	2647.1369	0.8417
29	115.1368	115.5193	72.1359	0.6234	2625.0329	2616.3411	2639.2813	0.8692
30	111.2717	111.7401	69.9351	0.6230	2633.6405	2622.6006	2651.8770	1.1040
31	79.2270	79.4629	49.8348	0.5617	2632.1108	2624.2969	2644.9644	0.7814
32	88.5219	88.9077	55.8076	0.6298	2635.8720	2624.4341	2654.7995	1.1438
33	82.6196	82.9361	51.9211	0.5696	2625.8398	2615.8191	2642.2968	1.0021
34	116.1873	116.6233	72.7856	0.6657	2620.5481	2610.7511	2636.5817	0.9797
35	121.4105	121.9202	76.0574	0.5712	2625.6665	2614.6897	2643.7093	1.0977
36	125.5199	126.0213	78.4428	0.5622	2617.7704	2607.3551	2634.7973	1.0415
37	62.7294	62.9494	39.6253	0.6142	2629.6521	2620.4618	2644.7680	0.9190
38	110.1912	110.4416	68.8260	0.5629	2618.4336	2612.4969	2628.0991	0.5937
39	76.8561	77.1852	48.2282	0.5799	2613.1788	2602.0368	2631.3553	1.1142
40	87.9348	88.3150	55.1972	0.6260	2617.2215	2605.9543	2635.6508	1.1267
41	81.3491	81.6749	51.2282	0.5785	2632.5342	2622.0331	2649.8596	1.0501
42	50.8239	51.0352	32.2253	0.5796	2632.1050	2621.2074	2650.0871	1.0898
43	58.2257	58.4879	36.8770	0.6282	2629.9580	2618.1680	2649.4046	1.1790
44	90.6205	90.9426	56.7542	0.6218	2612.5274	2603.2743	2627.5875	0.9253
45	81.3000	81.5428	51.1576	0.6270	2629.3781	2621.5489	2642.2355	0.7829
46	69.3549	69.6212	43.6648	0.6243	2619.2388	2609.2202	2635.6254	1.0019
47	79.9152	80.1747	50.2613	0.5624	2630.7661	2622.2511	2644.7712	0.8515
48	74.9315	75.2383	47.1695	0.5825	2625.9995	2615.2915	2643.5993	1.0708
49	48.3994	48.6136	30.6828	0.6278	2619.4648	2607.9230	2638.3747	1.1542
50	79.7244	79.9991	50.0852	0.5793	2623.5062	2614.4977	2638.2646	0.9009

## ภาคผนวก ง. ข้อมูลการวัดความหนาแน่นของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง U

Site : U.XLS

No.	w <sub>2</sub> (gm)	w <sub>3</sub> (gm)	w <sub>1</sub> (gm)	w <sub>w</sub> (gm)	Rs (kg/m <sup>3</sup> )	Rd (kg/m <sup>3</sup> )	Rm (kg/m <sup>3</sup> )	Porosity (%)
1	96.5540	101.1781	60.8582	0.6868	2467.3553	2354.5908	2653.8510	11.2764
2	81.8947	86.0435	51.7359	0.7225	2456.2733	2337.8380	2651.9188	11.8435
3	73.2743	77.0326	46.3752	0.6638	2459.4396	2339.4474	2658.4394	11.9992
4	119.4995	126.0609	75.0846	0.6338	2442.5626	2315.4286	2652.6737	12.7134
5	65.0855	68.2190	41.0928	0.7172	2450.0959	2337.5558	2633.9848	11.2540
6	75.0614	78.6025	47.4016	0.7135	2462.9164	2351.9602	2645.4942	11.0956
7	77.5597	80.8191	48.7884	0.7310	2466.8775	2367.3894	2628.9374	9.9488
8	127.2698	133.7541	79.7337	0.6348	2447.2347	2328.5945	2642.0474	11.8640
9	105.8051	110.6286	66.4478	0.5977	2470.5740	2358.3885	2656.3979	11.2186
10	40.5496	42.3378	25.8663	0.7317	2461.0421	2357.0964	2630.5287	10.3946
11	52.7160	55.0609	33.3755	0.7261	2456.8146	2352.1853	2627.0519	10.4629
12	119.2672	124.8222	75.1001	0.7247	2474.3334	2364.2174	2656.7703	11.0116
13	79.6471	83.6316	50.3495	0.7216	2459.4853	2342.3069	2653.2053	11.7178
14	97.2234	102.1053	61.2374	0.6607	2458.6743	2341.1191	2652.9919	11.7555
15	106.1413	111.0537	66.4525	0.6424	2454.5726	2345.9959	2631.7417	10.8577
16	77.7725	81.4532	48.9823	0.7173	2454.2819	2343.3781	2635.6858	11.0904
17	102.1224	107.5745	64.1809	0.5729	2446.7379	2322.7321	2651.5381	12.4006
18	69.4724	73.2258	43.9699	0.6352	2449.7526	2324.1835	2657.9385	12.5569
19	83.3873	87.7532	52.6720	0.7115	2451.7066	2329.7292	2653.3818	12.1977
20	87.9180	92.9496	55.4451	0.6657	2435.1353	2303.3152	2653.0391	13.1820
21	73.9941	77.4738	46.7886	0.6599	2471.6399	2360.6273	2655.4114	11.1013
22	61.2883	64.3437	38.6490	0.5723	2449.6022	2333.2813	2640.4169	11.6321
23	77.2088	81.2089	48.6842	0.6437	2448.3816	2327.7819	2647.0106	12.0600
24	79.7645	83.4250	50.3079	0.6370	2471.5516	2363.1055	2650.5470	10.8446
25	123.5384	130.1258	77.5523	0.6425	2445.2383	2321.4522	2649.4126	12.3786
26	70.6228	73.9422	44.5089	0.7113	2452.9169	2342.8010	2632.7036	11.0116
27	60.3895	63.5306	38.3539	0.6969	2455.4217	2334.0200	2656.5270	12.1402
28	68.2804	71.6648	43.1537	0.6617	2456.5623	2340.5501	2647.7176	11.6012
29	60.5013	63.3956	38.2995	0.6649	2460.9138	2348.5618	2645.8256	11.2352
30	67.9125	71.2970	43.0704	0.7338	2461.8790	2345.0125	2655.3318	11.6866
31	118.7902	125.0205	74.7228	0.7245	2450.3157	2328.2062	2652.0465	12.2110
32	55.0565	58.0999	34.8924	0.7002	2430.1752	2302.8773	2638.7897	12.7298
33	64.7197	67.7238	40.9859	0.7297	2465.5885	2356.2197	2645.5618	10.9369
34	49.1176	51.5434	31.2324	0.6728	2456.3425	2340.7390	2646.7076	11.5603
35	47.0804	49.7168	29.9950	0.7027	2434.1746	2305.0944	2646.7357	12.9080
36	77.2684	80.7426	48.3531	0.6626	2442.8887	2337.7758	2612.3694	10.5113
37	51.8566	54.4175	32.8242	0.5749	2454.7550	2339.2337	2644.7599	11.5521
38	53.2895	55.5141	33.7042	0.7303	2462.8930	2364.1982	2623.0828	9.8695
39	82.6394	85.7188	52.0324	0.6609	2495.6489	2405.9941	2642.9469	8.9655
40	53.0406	55.6913	33.5206	0.6023	2445.4969	2329.1003	2635.9114	11.6397
41	47.7124	49.9274	30.3493	0.7009	2462.0248	2352.7985	2641.2976	10.9226
42	64.1615	67.2490	40.6764	0.7155	2464.4076	2351.2630	2651.2359	11.3145
43	85.9822	90.2387	54.2632	0.7126	2459.6177	2343.5992	2651.1859	11.6019