

## การประเมินแผ่นหินแกรนิตด้วยสมรรถนะการเลื่อยและการแผ่รังสีความร้อน Assessment of Granite Slabs with Sawability and Heat Radiation

คุณพล ตันนโยภาส<sup>1</sup> อนุรักษ์ เกิดดี<sup>2</sup> และสุชาติ จันทรมณีชัย<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

ศึกษาเชิงทดลองมุ่งดำเนินการจัดทำสมบัติหินมีนัยสำคัญมากที่สุดต่ออิทธิพลของความเร็วในการตัดในกระบวนการทำแผ่นหินประดับชนิดแกรนิต เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้จึงตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของหินแกรนิตจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความแข็งแบบชอร์ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ กำลังอัด และการแผ่รังสีความร้อนได้ใช้เครื่องตรวจจับสนิวเคลียร์ การทดลองเลื่อยแผ่นหินแกรนิตที่ศึกษาได้ใช้ใบเลื่อยวงเดือนหุบเพชรตัดขนาดห้องปฏิบัติการและอัตราการตัดใช้เป็นเกณฑ์สำหรับพฤติภาพของสมรรถนะการเลื่อยผลวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของข้อมูลจากการทดลองระบุว่าความเร็วในการตัดกับสมบัติส่วนมากเป็นปัจจัยมีอิทธิพลต่อสมรรถนะการเลื่อย ยกเว้นการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น สมบัติหินแกรนิตทางกายภาพและเชิงกลที่ทดสอบได้แสดงสหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติกับสมรรถนะการเลื่อยบอกเป็นนัยว่าสมบัติทางกายภาพและเชิงกลเป็นดัชนีที่ดีของพฤติภาพการสึกหรอของเครื่องตัดเพชร ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นประโยชน์เลือกปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการเลื่อยวงเดือนแก่แผ่นหินแกรนิต

**คำสำคัญ :** แผ่นหินแกรนิต, ความเร็วในการตัด, สมบัติทางกายภาพและเชิงกล, การแผ่รังสีความร้อน, สหสัมพันธ์

### Abstract

An experimental study was carried out with the intent of establishing the most significant rock properties influencing cut of speed performance in the processing of granite slabs. To achieve this goal, physico-mechanical properties of five different types of granite samples was determined on bulk density, water absorption, Shore hardness, electrical resistance, compressive strength and heat radiation using an infrared detector. Sawing experiments of the studied granite slabs were performed on a laboratory-scale side-cutting machine, and cut rate was adopted as the criteria for sawability performance. Linear regression analysis of the experimental data indicated speed of cut and most properties to be the most dominant factors influencing sawability. Except heat radiation, all of the tested physico-mechanical rock properties showed a statistically significant correlation to sawability, suggesting that the physico-mechanical properties were a good indicator of diamond tool wear performance. This studied result can serve as a useful guideline for the selection optimal machining parameters in circular sawing granite slabs.

**Keywords :** granite slab, speed of cut, physico-mechanical properties, heat radiation, correlationship.

<sup>1</sup>อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112 ติดต่อผู้เขียน: danunp.t@psu.ac.th  
<sup>2</sup>น.ศ.ป.ตรี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
<sup>3</sup>วิศวกรประจำภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## 1. บทนำ

เลื่อยวงเดือนเคลื่อนที่แบบเฟืองเพอร์นิมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมหินประดับชนิดหินแกรนิต ซึ่งการคาดคะเนถึงอัตราการผลิตเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินค่าใช้จ่ายต้นทุนและการวางแผนในโรงงานแปรรูปหินซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นไหวสะเทือนและพลังงานในการตัดจำเพาะ (Specific Cutting Energy- SCE) ในการตัดหินบางชนิดได้รับอิทธิพลจากปัจจัยการทำงาน (ความลึกในการตัด ความเร็วเส้นรอบวงใบเลื่อย อัตราการป้อน วิธีการตัด ลักษณะใบมีดเป็นต้น) และสมบัติหิน (กำลังเชิงกล สมบัติทางวิทยาแร่และสัณฐานวิทยา) เป็นต้น Ozcelik et al. [1] ได้ทดสอบเลื่อยวงเดือนในโรงงานแปรรูปหินได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของหินกับ SCE ในการแปรรูปหินแอนดีไซต์ ผลศึกษาค่า SCE ได้จากการทดสอบเลื่อยอยู่ในช่วง 1.66 ถึง 2.00 จูลย์/มม.<sup>3</sup> Buyuksagis and Goktan [2] ศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะสภาพการเลื่อยของหินอ่อนต่างกันเจ็ดชนิดในระหว่างเลื่อยวงเดือน ขึ้นกับเงื่อนไขการทดสอบและหินอ่อนที่ทดสอบได้ค่า SCE จาก 0.6 ถึง 2.10 จูลย์/มม.<sup>3</sup> Günes Yilmaz and Gökten [3] ทดสอบหินแกรนิตหลายชนิดทั้งอัตราการเลื่อยคงที่และความลึกคงที่ได้ค่าพลังงานจำเพาะ 3.53-6.68 จูลย์/มม.<sup>3</sup> ส่วน Xu et al. [4] ทดสอบพลังงานจำเพาะของหินแกรนิตสีเทา และ Li et al. [5] ทดสอบแกรนิตสีแดงจากการเลื่อยวงเดือนกับใบเลื่อยสี่ชนิดผงบเพชร รายงานว่าค่าพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วงจาก 3.2 ถึง 6.9 จูลย์/มม.<sup>3</sup>

พบว่าวิธีการคาดคะเนถึงความเหมาะสมสำหรับอัตราการผลิตของหินประดับบางโรงงานด้วยการนำเกณฑ์สมบัติหินบางประการ ได้แก่ กำลังอัด ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ [6] จะนำไปสู่การประเมินการสึกหรอของเลื่อย [7] หรือตัด [8] ซึ่งพฤติกรรมการเลื่อยหรือตัดหินชนิดต่างๆ ส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตและคุณภาพแผ่นหิน [9] ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มุ่งหาความสัมพันธ์สมบัติทางกายภาพและเชิงกลทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมของหินแกรนิตที่มีอิทธิพลกับสมรรถนะการตัดและการแผ่รังสีความร้อนของหินแกรนิต

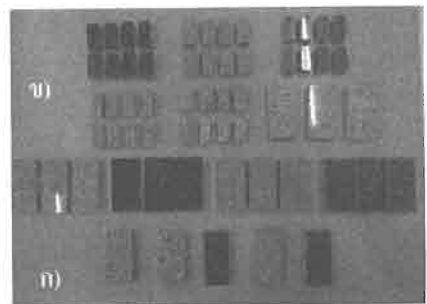
## 2. การดำเนินวิจัย

### 2.1 หินแกรนิตที่ใช้ทดลอง

แผ่นหินประดับแกรนิตที่เลือกมาทดสอบประกอบด้วย 5 ชนิด โดยให้ครอบคลุมชนิดหินแกรนิตให้มากที่สุดพิจารณาตามสีหินขนาดและการกระจายเม็ดแร่ที่ประกอบมักเป็นแร่ควอตซ์และเฟลด์สปาร์เป็นหลักเนื้อหิน (texture) และการนิยมใช้ในประเทศไทยชื่อตัวอย่างเรียกตามทางการค้า ได้แก่ 1) “พิงค์” เป็นตัวอย่างหินเม็ดสีขาวขุนปนกับเนื้อพื้นแกมเหลืองเนื้อทรสค์ (phaneritic) 2) “สัมนิวออร์ก” มีสีส้มอ่อน เม็ดหยาบ 3) “ชมพูนุจิน” สีขาวขุนแกมชมพู เม็ดแร่ปานกลาง 4) “แดงอินเดีย” สีแดงเข้มแกมน้ำตาล เม็ดปานกลาง และ 5) “ดำแอฟริกา” สีดำ เนื้อจูน (aphanitic)

### 2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างหินแกรนิตมิติ กว้าง×ยาว×หนา ประมาณ 100×100×20 มิลลิเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง รวม 15 ตัวอย่าง นำมาทดสอบความเร็วของเลื่อยในการตัด ตัวอย่างขนาด 50×100×20 มิลลิเมตร (รูปที่ 1 ก) จำนวน 6 ตัวอย่างทดสอบวัดการแผ่รังสีความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 3 ระดับ คือ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส ตัวอย่างทดสอบการดูดซึมน้ำขนาด 20×50×20 มิลลิเมตรจำนวน 2 ตัวอย่างต่อชนิด (รูปที่ 1 ข) และก้อนตัวอย่างขนาด 50×100×20 มิลลิเมตร ชนิดละก้อน ทดสอบความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ สำหรับการทดสอบความแข็งแบบชอร์และกำลังอัดใช้ตัวอย่างมีขนาด 20×20×50 มิลลิเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 1 ขนาดตัวอย่างหินแกรนิตทั้งหมดที่ทดสอบ

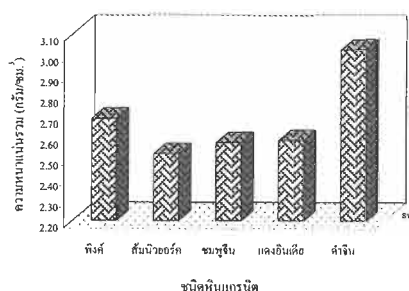
## 2.2 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบดูดซึมน้ำตาม ASTM C97 [10] วิธีการทดสอบกำลังอัดต่างจาก ASTM C170 [11] คือตัวอย่างทดสอบครั้งนี้ขนาดเล็กกว่าและผิวหน้าด้านหนึ่งได้ขัดมันด้วยเครื่องกระบับไฮโดรลิกที่มีแรงกดสูงสุด 1,500 กิโลนิวตัน ด้วยอัตราแรงกด 12 กิโลนิวตันต่อนาที เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้ารุ่น C.A 6525 MEGOHMMETER เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ (EQUATIP SN 898-1540 V.2.8) เครื่องตัดหินใบเลื่อยวงเดือนเคลือบกากเพชร (Dis-cottom-2) เส้นผ่านศูนย์กลาง 22.5 ซม. ความเร็ว 3,440 รอบต่อนาที กำลัง 154,880 วัตต์ ตู้อบให้ความร้อนแก่ตัวอย่างวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด (DIGICON DP-88)

## 3. ผลและอภิปรายผล

### 3.1 ความหนาแน่นรวม

ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหินแกรนิตทุกก้อนพบว่าผ่านเกณฑ์ที่ ASTM C97-02 [12] ได้กำหนดขั้นต่ำไว้ที่ 2,560 กก./ม<sup>3</sup> ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมสูงสุดเฉลี่ย 3,075.87 กก./ม<sup>3</sup> ของตัวอย่างหินแกรนิตดำจีน ซึ่งใกล้เคียงกันกับค่าความหนาแน่นรวมสูงสุดเฉลี่ยในผลศึกษาของอนุพลและคณะ [13] ที่ได้ 3,042.72 กก./ม<sup>3</sup> ส่วนค่าความหนาแน่นรวมต่ำสุดของตัวอย่างหินแกรนิตส้มนิวยอร์ก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,560.72 กก./ม<sup>3</sup> (รูปที่ 2) พบว่าค่าความหนาแน่นนั้นได้

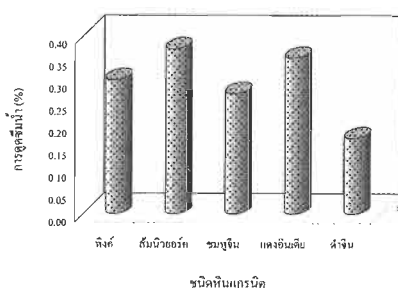


รูปที่ 2 ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นรวมของหินแกรนิต

ขึ้นกับชนิดแร่ที่ประกอบเนื้อหิน และระดับความผุ ซึ่งผลการศึกษาของอนุพลและคณะ [14] สามารถจำแนกระดับชั้นการผุของหินแกรนิตได้ด้วยค่าความหนาแน่นรวมเช่นเดียวกับ Sousa et al. [15] พบว่าสมบัติทางกายภาพและเชิงกลและความผุได้รับอิทธิพลมาจากรอยแตกจุลภาคและความพรุน ดังนั้นแกรนิตดำจีนจึงเป็นหินสดและเนื้อจืดจึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นสูง

### 3.2 การดูดซึมน้ำ

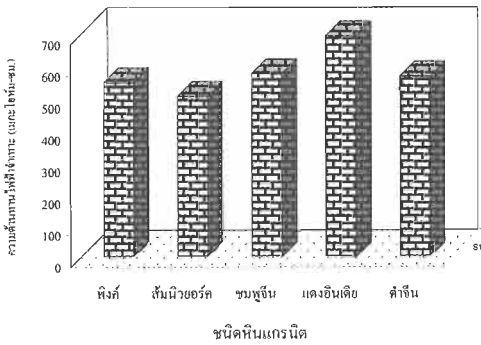
ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างหินแกรนิตทุกชนิดพบว่าผ่านเกณฑ์ตาม ASTM C615 [6] ซึ่งกำหนดไว้ที่ร้อยละ 0.40 โดยก้อนตัวอย่างที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดเป็นตัวอย่างดำจีนมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.17 และตัวอย่างที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเป็นหินแกรนิตส้มนิวยอร์กมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.37 (รูปที่ 3) และเมื่อเทียบงานวิจัยของอนุพลและคณะ [13] พบว่าค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดเป็นตัวอย่างหินแกรนิตดำจีน มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.07 และค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเป็นหินแกรนิตส้มนิวยอร์กมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.22 เช่นเดียวกัน ซึ่งการที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาก อาจเนื่องจากการใช้หินแกรนิตที่ผิวหน้าขัดมันเรียบด้านหนึ่ง ต่างจากตัวอย่างก่อนแปรรูปหินแกรนิต ดังนั้นจึงทำให้ค่าต่ำกว่ากำหนดและด้านที่ขัดมันดูดซึมน้ำได้น้อย การที่หินดูดซึมน้ำมากเปิดโอกาสให้น้ำทำปฏิกิริยากับแร่ได้มาก จึงก่อให้เกิดการผุทางเคมีและทำให้แร่ที่ประกอบหินแกรนิตเกิดการแปรเปลี่ยน (alteration) อันส่งผลแก่ค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 2) แปรผกผันกับการดูดซึมน้ำ Vazquez et al. [16] รายงานว่าการดูดซึมน้ำมีผลจากโครงข่ายรอยร้าวในหินด้วยอันให้แง่คิดได้ว่าการดูดซึมน้ำมีโอกาสมามากจากสาเหตุรอยร้าวได้ เช่น ส้มนิวยอร์กที่มีเม็ดแร่หยาบและร้าว



รูปที่ 3 ความแปรปรวนของค่าการดูดซึมน้ำของแกรนิต

### 3.3 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงสุดของตัวอย่างหินแกรนิตแดงอินเดีย วัดได้ค่าเฉลี่ยที่ 691.28 เมกะโอห์ม-เซนติเมตร ส่วนค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำสุดเป็นตัวอย่างหินแกรนิตสีมนิวยอร์กค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 502.68 เมกะโอห์ม-เซนติเมตร (รูปที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำ (รูปที่ 3) อันเนื่องมาจากหินเนื้อฟ้าม (permeable rock) ความต้านทานกระแสไฟฟ้ามาก ส่วนหินเนื้อตัน (impermeable rock) กระแสไฟฟ้าผ่านน้อยทำให้ความต้านทานกระแสไฟฟ้าน้อยเช่นกัน

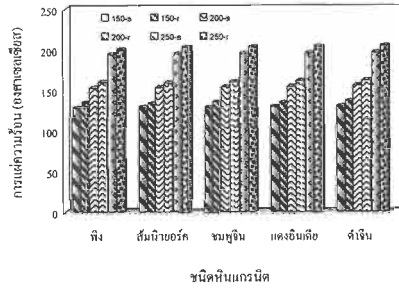


รูปที่ 4 ความแปรปรวนของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของหินแกรนิต

### 3.4 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation) ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ (รูปที่ 5) ของหน้าผิวหินแกรนิตที่ขัดมันกับหน้าไม่ขัดมัน ซึ่งพบว่าค่าการแผ่รังสีความร้อนของทั้งสองหน้าในหินแต่ละชนิดทั้งสามอุณหภูมิต่างกัน 4-7 องศา ซึ่งชนิดแร่ประกอบ สีหินและเนื้อหินมีอิทธิพลน้อยต่อการแผ่รังสีความร้อน หน้าที่ไม่ขัดแผ่รังสีความร้อนได้มากกว่าหน้าที่ขัดมันของหินแกรนิตทุกชนิด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ผิวหน้าหินขัดมันอาจนำยาและผิวเรียบไปบดบังการแผ่รังสีความร้อน โดยอุณหภูมิที่ 150 องศาของหินทั้งสองหน้าก็รังสีความร้อนไว้ได้ 15-25 องศา ส่วนที่อุณหภูมิ 200 และ 250 องศา อุณหภูมิก็กักเก็บอยู่ในเนื้อหิน

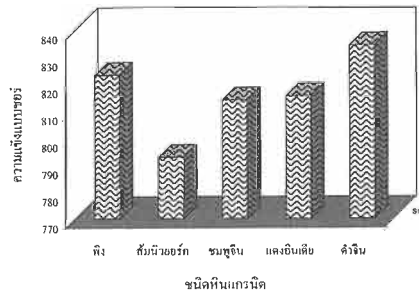
ทั้งสองหน้าเท่ากันอยู่ใน ช่วง 40-60 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิความร้อนสูงขึ้นจาก 50 องศา ถึง 100 องศา ตัวอย่างหินแกรนิตสามารถกักเก็บความร้อนได้เพิ่มขึ้นประมาณสองเท่า



รูปที่ 5 ความแปรปรวนของค่าการแผ่รังสีความร้อนของหินแกรนิต

### 3.5 ความแข็งแบบชอร์

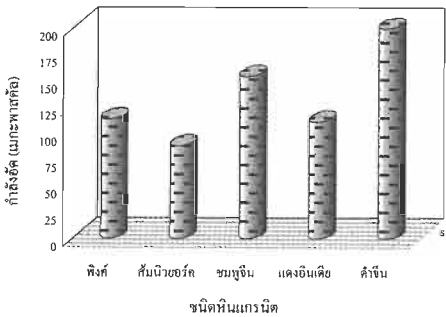
ค่าความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) พบว่าค่าสูงสุดเป็นตัวอย่างหินแกรนิตดำจีน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 834.17 ส่วนค่าความแข็งแบบชอร์ต่ำสุดเป็นตัวอย่างหินแกรนิตสีมนิวยอร์ก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 792.83 (รูปที่ 6) ซึ่งเมื่อนำค่านี้เทียบกับค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 2) พบว่าสอดคล้องกัน นั่นคือเมื่อหินเนื้อแน่นขึ้น การกระดอน (rebound) กลับขึ้นมาของเคียวได้สะท้อนถึงความแข็งของเนื้อหินด้วยการทดสอบครั้งนี้ พบว่าความแข็งแบบชอร์แปรผันตามค่าความหนาแน่นรวม และแปรผกผันกับค่าการดูดซึมน้ำ ซึ่ง Sanchez Delgado et al. [17] รายงานว่าความแข็งจุลภาค (microhardness) มีผลต่อสมรรถนะการเสียดสีด้วย



รูปที่ 6 ความแปรปรวนของค่าความแข็งแบบชอร์ของหินแกรนิต

3.6 กำลังอัด

ค่ากำลังอัดที่ทดสอบตัวอย่างหินแกรนิต พบว่าที่ผ่านเกณฑ์ที่ ASTM C615 ที่ได้กำหนดขั้นต่ำไว้คือ 131 เมกะพาสคัล ได้แก่ หินแกรนิตชมพูจีนและคำจีน โดยก้อนตัวอย่างที่มีค่ากำลังอัดสูงสุดเป็นก้อนตัวอย่างคำจีน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 198.81 เมกะพาสคัล ส่วนค่ากำลังอัดต่ำสุดเป็นของก้อนตัวอย่างหินแกรนิตสัมนิวยอร์กมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 87.61 เมกะพาสคัล (รูปที่ 7) ซึ่งใกล้เคียงกับผลทดสอบของคณพลและคณะที่ค่ากำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 158.74 เมกะพาสคัล และตัวอย่างคำจีนที่มีขนาดเม็ดแร่ละเอียดมีกำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างสัมนิวยอร์กที่เม็ดแร่ใหญ่กว่า สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gunes Yilmaz et al. [18] ที่พบว่าอิทธิพลของขนาดเม็ดแร่มีผลต่อความเปราะสัมพันธ์ของหินแกรนิต ผลการศึกษครั้งนี้ยังพบอีกว่าค่ากำลังอัดแปรผันตามความหนาแน่นรวม (รูปที่ 2) และความแข็งแบบชอร์ (รูปที่ 6)

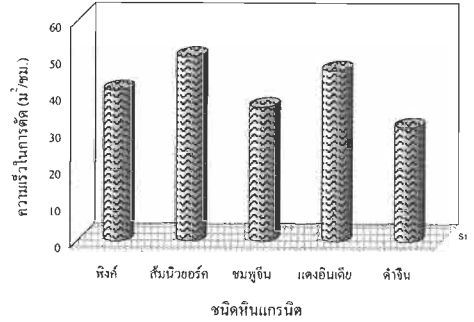


รูปที่ 7 ความแปรปรวนของค่ากำลังอัดของแกรนิต

3.7 ความเร็วในการตัด

พบว่าค่าความเร็วในการตัดสูงสุดเป็นตัวอย่างสัมนิวยอร์กที่ค่าเฉลี่ย 50.09 มม.<sup>2</sup>/วินาที ส่วนค่าความเร็วในการตัดต่ำสุดเป็นก้อนตัวอย่างชนิดคำจีนมีค่าเฉลี่ยที่ 30.93 มม.<sup>2</sup>/วินาที (รูปที่ 5) สังเกตได้ว่าความเร็วในการตัด สอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำ (รูปที่ 3) ซึ่งการดูดซึมน้ำมากบ่งถึงเนื้อหินมีความพรุนสูงเนื้อหินเสียดสีไปเรื่อยลดและแปรผกผันกับค่าความหนาแน่นรวม(รูปที่ 2)ความแข็งแบบชอร์ (รูปที่ 6) และกำลังอัด (รูปที่ 7)

ขณะที่เนื้อหินมีความหนาแน่นเสียดสีกับใบวงเลื่อย ทำให้หมุนรอบข้างผลทำให้เนื้อหินขาดออกจากกันเข้าไป ด้วยคั้งนั้นสมบัติทางกลาวรรณาทากายภาพและเชิงกล มีอิทธิพลต่อความเร็วในการตัด Gunes Yilmaz et al. [19] และมีผลต่อการสึกหรอของใบเลื่อยเพชร



รูปที่ 8 ความแปรปรวนของค่าความเร็วในการตัดแกรนิต

3.8 สหสัมพันธ์ของสมบัติแผ่นหินแกรนิต

Ersoy and Atici [20] ได้คาดคะเนพลังงานจำเพาะสำหรับเลื่อยวงเดือนเพชรในการตัดหินชนิดต่างกัน โดยวิเคราะห์สมบัติหินด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพและเชิงกลทั้งหมด 12 ชุด สหสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นระดับ 1 (linear regression) ได้ 16 คู่ เมื่อคัดกรองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ R<sup>2</sup> ที่เกิน 0.5 ซึ่งยอมรับได้ในงานวิศวกรรมทั่วไป พบว่ามีอยู่เพียง 5 คู่ ดังสมการ (1) – (5) และรูปที่ 9

$$BD = -20.702SC + 3536.3 \quad R^2 = 0.51 \quad (1)$$

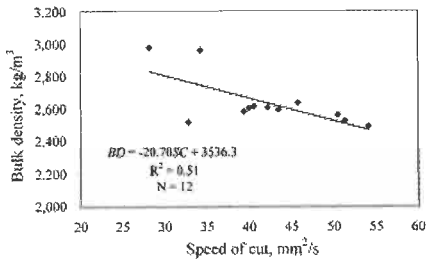
$$SC = -0.4216SH + 384.64 \quad R^2 = 0.55 \quad (2)$$

$$CS = 2.2214SH - 1678.3 \quad R^2 = 0.84 \quad (3)$$

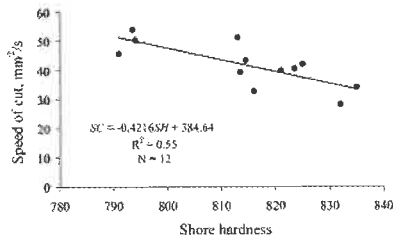
$$CS = 0.1463BD - 260.7 \quad R^2 = 0.63 \quad (4)$$

$$CS = -4.8209SC + 329.91 \quad R^2 = 0.58 \quad (5)$$

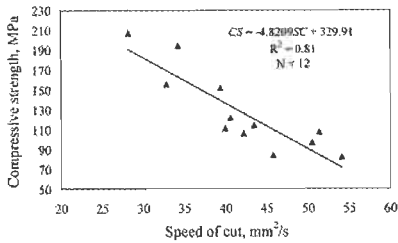
กำหนดให้ SC = Speed of Cut (ความเร็วในการตัด); WA = Water Absorption (การดูดซึมน้ำ); CS = Compressive Strength (กำลังอัด); BD = Bulk Density (ความหนาแน่นรวม); SH = Shore Hardness (ความแข็งแบบชอร์)



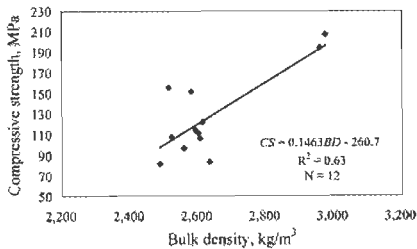
ก)



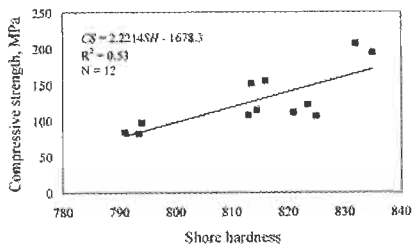
จ)



ค)



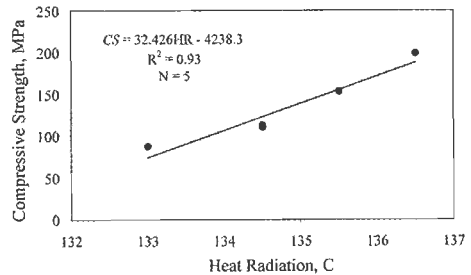
ง)



ฉ)

รูปที่ 9 สหสัมพันธ์เชิงเส้นของสมบัติแผ่นหินแกรนิต

ความเร็วในการตัดหินแกรนิตนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์พื่อใช้กับค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 9 ก) ความแข็งแบบชอร์ (รูปที่ 9 ข) และสัมพันธ์ขั้นดีกับกำลังอัด (รูปที่ 9 ค) นอกจากนี้กำลังอัดก็สัมพันธ์ขั้นพื่อใช้กับความหนาแน่นรวม (รูปที่ 9 ง) และความแข็งแบบชอร์ (รูปที่ 9 ฉ) สำหรับค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรสมบัติทุกชนิดต่ำ ( $R^2 < 0.50$ ) ส่วนค่าการแผรังสีความร้อนนั้นจำนวนค่าตัวแปรไม่เท่ากับชนิดอื่น จึงนำค่ามาเฉลี่ยแล้ววิเคราะห์ในรูปตัวแทนของแต่ละชนิดหินซึ่งมี 5 ชุด พบว่าความสัมพันธ์สมบัติต่างๆ ในสมการที่ (1)-(5) ค่า  $R^2$  เพิ่มขึ้นถึง 0.90 ดังเช่นในรูปที่ 10 พบว่าการแผรังสีความร้อนของผิวไม้ขัดมันความร้อนที่ 150 องศา เท่านั้นที่มีค่า  $R^2 > 0.50$  ดังนั้นการประเมินความสัมพันธ์ตัวแปรการแผรังสีความร้อนและความต้านทานไฟฟ้าต้องอาศัยข้อมูลสถิติความน่าจะเป็น (probability) และการเบี่ยงเบนปกติมาพิจารณาเพิ่มเติมจึงได้การคาดการณ์ที่น่าเชื่อถือมากขึ้น



รูปที่ 10 สหสัมพันธ์เชิงเส้นของการแผรังสีความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส กับกำลังอัดของหินแกรนิต

#### 4. สรุปและเสนอแนะ

การศึกษาสมบัติต่างๆ ของตัวอย่างหินแกรนิตเพื่อเลือกสภาวะการทำงาน เครื่องตัดและใบเลื่อยเพชรที่เหมาะสม สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ได้ตามเกณฑ์ ASTM C615 ขณะที่สมบัติทางอ้อม ได้แก่ ความแข็งแบบชอร์ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความเร็วในการตัดและการแผรังสีความร้อน ล้วนมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันซึ่งค่าการแผรังสีความร้อน

ของตัวอย่างหินแกรนิตในหน้าตัดมันแต่ความร้อนได้น้อยกว่าหน้าที่ไม่ขัดมัน ส่วนสมบัติเชิงกลนั้นค่ากำลังอัดของแผ่นตัวอย่างหินแกรนิตสองชนิดต่ำกว่าเกณฑ์ASTMC615 เล็กน้อย และชนิดยกเว้นตัวอย่างหินแกรนิตดำจีน และตัวอย่างหินชมพูจีน ขนาดตัวอย่างและวิธีการทดสอบแบบนี้สามารถประเมินสมบัติหินได้ใกล้เคียงเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบที่ ASTM กำหนด [10,11] สหสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตัดแผ่นหินกับบรรดาค่าความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความแข็งแบบชอร์ และกำลังอัดได้ผลค่อนข้างดีเป็นที่น่าพอใจ และใช้ในการคะเนความเร็วที่เหมาะสมในการตัดหินแกรนิตเพื่อประหยัดพลังงาน [22] อันจะนำไปสู่การประเมินค่าใช้จ่ายในโรงงานอุตสาหกรรมของหินประดับได้เป็นอย่างดี ความสัมพันธ์ของสมบัติเหล่านี้จึงช่วยในการเลือกชนิดหินที่แปรรูปให้เหมาะสม กับผลิตนำไปใช้งาน และช่วยลดการสึกหรอของไบมีด แต่สำหรับการแผ่รังสีความร้อนนั้นเนื่องจากมีผลกระทบจากหน้าตัดและไม่ขัดมันจึงควรใช้ความน่าจะเป็นและการเบี่ยงเบนปกติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการแผ่รังสีความร้อนกับสมบัติอื่นๆ และความเร็วในการตัดหินแกรนิตน่าจะเหมาะสมกว่า และเสนอแนะว่าควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงความร้อนที่เกิดจากการเลื่อยหินแกรนิตการประเมินสมบัติทางกายภาพและเชิงกลด้วยความเร็วคลื่นพิ [22] และการสึกหรอจากการขัดสี ก็อาจช่วยเสริมเป็นดัชนีช่วยในการทำนยถึงพลังงานจำเพาะที่ใช้และความสึกหรอของไบเลื่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายที่แท้จริงอันเกิดจากการตัดหินแกรนิต

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Ozcelik Y., Kulaksiz, S. and Eyuboglu A.S., 2001. "Investigation of the effect of rock parameters on the specific energy in cutting process of Ankara-Cubuk andesites with disc cutter," In: **Proceedings of the ISRM Regional Symposium**, 4-7 June 2001. Eurock, 597-602
- [2] Buyuksagis I.S. and Goktan R.M., 2005. "Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter," *Journal of Materials Processing Technology*. 169,2 (Nov) : 258-262
- [3] Günes Yilmaz N. and Gökten R.M., 2008. "Effect of sawing rate on force and energy requirements in the circular sawing of granites," *Eng & Arch. Fac. Eskiehir Osmangazi University*, XXI,2 : 59-74.
- [4] Xu X.P., Li Y., and Malkin S., 2001. "Forces and energy in circular sawing and grinding of granite." **Journal of Manufacturing Science Engineering**. 123,1 (Feb) : 13-22.
- [5] Li Y., Huang H. and Xu X.P., 2003. "Characteristic of energy in circular sawing of natural granite," **Key Engineering Materials**. 250 (Sep) : 209-214.
- [6] ASTM C615-03. **Standard specification for granite dimension stone**.
- [7] Ersoy A., Buyuksagic S. and Atici U., 2005. "Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks," *Wear*. 258,9 (April) : 1422-1436.
- [8] Buyuksagis I.S., 2007. "Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade," **Journal of Materials Processing Technology**. 183,2-3(Mar):399-406.

- [9] Ersoy A. and Atici U., 2004. "Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks," **Diamond and Related Materials**. 13,9 (Jan) : 22–37.
- [10] ASTM C97/C97M–09, **Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of dimension stone**.
- [11] ASTM C170/C170M–09, **Standard test method for compressive strength of dimension stone**.
- [12] ดนุพล ตันนโยภาส, 2536. คู่มือการทดสอบหินมิติ. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [13] ดนุพล ตันนโยภาส วิชัย กาญจนะ ชิตพล เอียดปาน และสุชาติจันทรมณี, 2551. "วิธีการใหม่สำหรับประเมินคุณภาพแผ่นหินประดับชนิดแกรนิตเชิงพาณิชย์," **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6**, 8-9 พฤษภาคม 2551: 593-598.
- [14] ดนุพล ตันนโยภาส อนันต์ ศรียา และชิตพล เอียดปาน, 2551. "ผลกระทบของระดับความถี่ที่มีต่อสมบัติทางธรณีเทคนิคของหินแกรนิตเนื้อดอกในสงขลา," **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6**, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8-9 พฤษภาคม 2551, หน้า 31-36. (CD-ROM)
- [15] Sousa L.M.O., Suarez del Rio L.M., Calleja L., Ruiz de Argandona V.G. and Rey A.R., 2005. "Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites," **Engineering Geology**. 77,1-2 (Feb) : 153–168.
- [16] Vázquez P., Alonso F.J., Esbert R.M., and Ordaz J., 2010. "Ornamental granites: Relationships between p-waves velocity, water capillary absorption and the crack network," **Construction and Building Materials**, 24,12, (Dec) : 2536-2541.
- [17] Sanchez Delgado N., Rodriguez-Reya A., Suarez del Rio L.M., Diez Sarria I., Calleja L. and Ruiz de Argandon V.G., 2005. "The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain)," **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. 42,1 (Jan) : 161–166.
- [18] Gunes Yilmaz N., Karaca Z., Goktan R.M. and Akal C., 2009. "Relative brittleness characterization of some selected granitic building stones: Influence of mineral grain size," **Construction and Building Materials**. 23,1, (Jan) : 370–375.
- [19] Gunes Yilmaz N., Goktan R.M. and Kibici Y., 2011. "An investigation of the petrographic and physico-mechanical properties of true granites influencing diamond tool wear performance, and development of a new wear index," **Wear**. 271,5-6 (June) : 960– 969.
- [20] Ersoy A. and Atici U., 2005. "Specific energy prediction for circular diamond saw in cutting different types of rocks using multivariable linear regression analysis," **Journal of Mining Science**. 41,3 (May-Jun) : 240-260.
- [21] Bilim, N., 2012. "Optimum cutting speed of block-cutting machines in natural stones for energy saving," **Journal of Central South University**. 19,5 (May) : 1234-1239.
- [22] Chaki S., Takarli M. and Agbodjan W.P., 2008. "Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions," **Construction and Building Materials**. 22,7, (July) : 1456-1461.