



การประเมินอัตราการเจาะแบบกระแทกของหินคาร์บอเนตในภาคใต้ประเทศไทย
โดยใช้การจำแนกมวลหินและสมบัติมวลรวม

**Percussion Drilling Rate Assessments of Carbonate Rocks in Southern Thailand
Using Rock Mass Classification and Aggregate Properties**

วิชัย นกแก้ว

Wichai Nogkeaw

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์


**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Mining Engineering
Prince of Songkla University**

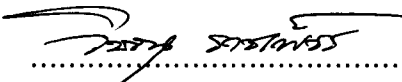
2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

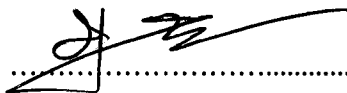
ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินอัตราการเจาะแบบกระแทกของหินคาร์บอนेटในภาคใต้
ประเทศไทยโดยใช้การจำแนกมวลหินและสมบัติมวลรวม
ผู้เขียน นายวิชัย นกแก้ว
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่

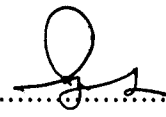
คณะกรรมการที่ปรึกษา

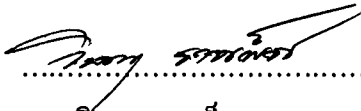

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.คณพล ตันนโยภาส)

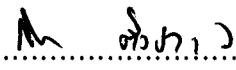

.....กรรมการ
(ดร.วิษณุ ราชเพชร)

คณะกรรมการสอบ

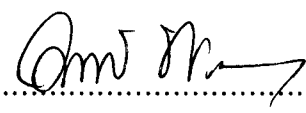

.....ประธานกรรมการ
(ดร. มนูญ มาศนิยม)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.คณพล ตันนโยภาส)


.....กรรมการ
(ดร.วิษณุ ราชเพชร)


.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตั้งชวาล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
เหมืองแร่


.....
(ศาสตราจารย์ ดร. อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินอัตราการเจาะแบบกระแทกของหินคาร์บอนेटในภาคใต้ประเทศไทย
โดยใช้การจำแนกมวลหินและสมบัติมวลรวม
ผู้เขียน นายวิชัย นกแก้ว
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ศึกษาอัตราการเจาะแบบกระแทก (PDR) สำหรับการเจาะรูระเบิดสัมพันธ์กับการจำแนกมวลหินและสมบัติมวลรวมของเหมืองหินคาร์บอนेटในภาคใต้ประเทศไทย พื้นที่แหล่งหินศึกษาประกอบด้วย ชุมพร (CH) นครศรีธรรมราช (NK) กระบี่ (NK) พังงา (PN) พัทลุง (PH) สงขลา (SK) และสตูล (ST) ตัวอย่างหินคาร์บอนेटทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ประกอบด้วย การดูดซึมน้ำ ความถ่วงจำเพาะ การสึกหรอแบบลอสแอนเจลีส ค่าการกระแทก ดัชนีกำลังแรงกดจุด ความแข็งกระดองก้อนชนิดอัด และความแข็งวิกเกอร์ การวัดและการสังเกตสภาพของผิวไม่ต่อเนื่องของมวลหินประกอบด้วย แนวแตก รอยเลื่อน การวางชั้น ระยะห่าง ความขรุขระ ความคงอยู่ ผงอูด และน้ำบาดาล นอกจากนั้นทิศทางการวางตัวของสภาพผิวไม่ต่อเนื่อง (แนวเทและมุมเท) ประยุกต์ใช้สำหรับการจำแนกการประเมินมวลหิน (RMR) และดัชนีกำลังธรณี (GSI) การวิเคราะห์เสถียรภาพหินโดยใช้วิธีการถ่ายโอนค่าขั้วมิติกับโปรแกรม DIP 5.0

ผลการตรวจสอบสมบัติทางกลของหินคาร์บอนेटได้ว่า ดัชนีกำลังแรงกดจุดอยู่ในช่วง 2.62-3.81 เมกะพาสคัล ความแข็งวิกเกอร์อยู่ในช่วง 292.06-1147.40 HV ค่าการกระแทก อยู่ในช่วงร้อยละ 7.12-12.24 การสึกหรอแบบลอสแอนเจลีส อยู่ในช่วงร้อยละ 23.44-36.89 และความแข็งกระดองก้อนชนิดอัดอยู่ในช่วง 36.20-56.07 ซึ่งสมบัติเชิงกลมีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะแบบกระแทกแสดงความสัมพันธ์ระดับพอใช้ถึงดี ระหว่างสมบัติเชิงกลและอัตราการเจาะแบบกระแทก ผลสมบัติทางกายภาพได้ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.58-2.71 การดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.76 และแสดงความสัมพันธ์ไม่ดีกับอัตราการเจาะแบบกระแทก นอกจากนี้ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR อธิบายถึงสภาพของมวลหินของพื้นที่ศึกษา CH อยู่ในช่วงหินเลว-ดี NK อยู่ในช่วงหินเลว-พอใช้ KR อยู่ในช่วงหินเลว-ดี PN อยู่ในช่วงหินเลว-ดี ST อยู่กลุ่มหินเลว และ PH อยู่ในช่วงหินเลว-พอใช้ ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI พื้นที่ศึกษา CH, NK, KR, PN, ST, และ PH อยู่ในช่วง 20-68, 18-36, 42-52, 28-44, 50-68, และ 20-26 ตามลำดับ ในแง่กลับกันการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI แสดงความสัมพันธ์ไม่ดีกับอัตราการเจาะแบบกระแทก การวิเคราะห์โอกาสการ

พิบัติของหน้าความลาดใช้เทคนิคการถ่ายโอนตาข่ายมิติของการพิบัติแบบระนาบ แบบรูปสี่เหลี่ยมและแบบค้อม้า อัตราส่วนปลอดภัยที่คำนวณโดยอัตราส่วนระหว่างมุมเสียดทานภายในกับระยะทางของจุดขั้วที่มีศักยภาพพิบัติ จากการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูล (การกระจายตัวแบบปกติ บล็อกพล็อต การทดสอบแบบที และการทดสอบแบบเอฟ) ในรูปสมการเชิงเส้นและสมการถดถอยหลายตัวแปร ให้ผลที่ยอมรับในส่วนของสมบัติหิน คุณภาพมวลหินและอัตราการเจาะแบบกระแทก ดัชนีพื้นฐานการเจาะในมวลหินสำหรับการประเมินอัตราการเจาะแบบกระแทก ของหินคาร์บอนेटในพื้นที่ศึกษาจำแนกได้เป็น อัตราการเจาะแบบกระแทกอยู่ในช่วงเจาะช้าปานกลางถึงความเร็วปานกลาง ความสัมพันธ์สามารถจำแนกในรูปสมการหลายนิพจน์ อันใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการทำงานภาคสนามสำหรับคาดคะเนการอัตราการเจาะ การวางแผนและออกแบบรูเจาะระเบิดในการทำเหมืองหินต่อไป

คำหลัก: อัตราการเจาะ การจำแนกมวลหิน หินคาร์บอนेट การถ่ายโอนเส้นโค้งแผนที่โลก การวิเคราะห์ความลาด

Thesis Title Percussion drilling rate assessments of carbonate rocks in southern Thailand using rock mass classification and aggregates properties

Author Mr. Wichai Nogkeaw

Major Program Mining Engineering

Academic Year 2010

Abstract

Percussion drilling rate (PDR) for blasting holes correlation with rock mass classification and aggregate properties were investigated in carbonate rock quarries in Southern Thailand. The sites of studied quarries in Chumphon (CH), Nakhon Si Thammarat (NK), Krabi (KR), Phangnga (PN), Phatthalung (PH), Songkhla (SK), and Satun (ST). The carbonate rock samples were determined physical and mechanical properties, they are water absorption, specific gravity, Los Angeles abrasion, impact value, Schmidt rebound hardness, point load strength index and Vickers hardness. The measured and observed the discontinuities of rock mass including joint, fault, bedding, spacing, roughness, persistence, filling and groundwater condition. Moreover, their orientations of discontinuities (dip direction and dip angle) were used for applying the Rock Mass Rating (RMR) classification and Geological Strength Index (GSI) system. The stability of rock slope was also analyzed by stereographic projection method with program of Rocscience, DIP 5.0

The mechanical property results of carbonate rock, point load strength index ranged from 2.62 to 3.81 MPa, Vickers hardness ranged from 292.06 to 1147.40 HV, impact value ranged from 7.12 to 12.24%, Los Angeles abrasion ranged from 23.44 to 36.89% and the Schmidt rebound hardness ranged from 36.20 to 56.07. The results of mechanical properties were very influenced with the PDR. Good to fair correlation between mechanical properties and PDR. The physical property results, specific gravity of rock ranged 2.58 to 2.71, water absorption ranged 0.18 to 0.76% and poor correlation with the PDR. Furthermore, the results of rock mass classification RMR system described the rock mass condition, CH was the poor-good rock, NK was the poor to fair rock, KR was the poor to good rock, PN was the poor to fair rock, ST was the fair rock and PH was the poor to fair rock. The values of GSI of CH, NK, KR, PN, ST and PH

were in range of 20-68, 18-36, 42-52, 28-44, 56-68 and 20-26 respectively. On the contrary, the rock mass classification RMR and GSI were poor correlation between PDR.

The rock slope failure risks were analysed by stereographic projection technique, planar failure, wedge and toppling failures. Calculated safety factor by ratio of internal friction angle and distance of pole indicated potential mode of failure. From the statistical analysis of the data (normal distribution, box plot, t-test, and F-test,) linear and multiple regression equations were established among rock properties, rock mass quality and PDR. Based on rock mass drillability index, PDR assessments of carbonate rocks in the study area could be classified into slow-medium to medium fast. The relationships can be expressed in several equations that can be practically used in the field as a predictive tool for the estimation of the penetration rates, planning and design of the drill hole for blasting in quarrying.

Keywords: Percussion drilling, Rock mass classification, Carbonate rocks, Stereonet projection, Slope analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมิได้ออกนาม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.คณพล ดันนโยภาส ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำแนะนำที่ดีเสมอมาตลอดจนช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้ข้อเสนอแนะที่เอื้อประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ ศ. ดร. สง่า ตั้งชवाल และ ดร. มนูญ มาศนิยม ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบและตรวจแก้วิทยานิพนธ์เพื่อให้ความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ทุนกักกุฎีเป็นค่าใช้จ่ายในระหว่างการศึกษา และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้งบประมาณอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 จังหวัดสงขลาในการให้ความอนุเคราะห์ในการติดต่อประสานงานในการเข้าพื้นที่เก็บตัวอย่างหินทดสอบและเก็บข้อมูลของเหมืองหินคาร์บอนเตในพื้นที่ภาคใต้

คุณความดีหรือประโยชน์อันใดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบแต่บุพการีผู้มีพระคุณ ครูอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน

วิชัย นกแก้ว

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการรูป	(13)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
1.5 วรรณกรรมปริทัศน์	5
2. วิธีการดำเนินการวิจัย	32
2.1 พื้นที่แหล่งหินศึกษา	32
2.2 อุปกรณ์	36
2.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	37
2.4 การทดสอบ	40
2.5 ป้ายจำแนกมวลหิน GSI	47
2.6 อัตราการเจาะแบบกระแทก	50
2.7 การวิเคราะห์ความลาดด้วยวิธีการ โอนถ่ายถ่ายต่ายมิติ	51
2.8 การวิเคราะห์เชิงสถิติและถดถอยเชิงเส้น	53
3. ผลการศึกษา	57
3.1 สมบัติมวลรวมหินคาร์บอนेट	57
3.2 การจำแนกมวลหิน	68
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและถดถอยเชิงเส้น	85
3.4 การวิเคราะห์การถ่ายโอนต่ายมิติ	110

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. สรุป	119
4.1 สรุปผล	119
4.2 ข้อเสนอแนะ	121
เอกสารอ้างอิง	122
ภาคผนวก ก.	131
ภาคผนวก ข.	149
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์	167
ประวัติผู้เขียน	184

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ปริมาณการผลิตหินปูนอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย พ.ศ. 2545-2550	1
1.2 ปริมาณการผลิตหินปูนอุตสาหกรรมหินประดับและอุตสาหกรรมอื่นๆ ในประเทศไทย พ.ศ. 2545-2550	2
1.3 การจำแนกดัชนีการเจาะในมวลหิน	18
1.4 การคาดคะเนเชิงปริมาณของอัตราการเจาะในมวลหินโดยใช้ RDi	18
1.5 การประเมินปรับแนวแตกสำหรับแนวแตก	23
1.6 การประเมินปรับสำหรับวิธีการขุดเปิดหน้าความลาด	24
1.7 การจำแนกมวลหานครบ RMR	27
2.1 การจัดพวกกำลังแรงกคจุดของหินนำมาทดสอบ	43
2.2 ลำดับขนาดของตัวอย่างทดสอบ (วัสดุเล็กกว่า 37.5 มม)	45
2.3 น้ำหนักและจำนวนลูกบดเหล็กขัดสีที่ใช้ทดสอบต่างกัน	45
2.4 ค่าปรับแก้ก่อนชนิดที่อ่านได้	46
2.5 ค่ามาตรฐานสากลของสมบัติวัสดุหินงานทาง	48
2.6 ค่าสมบัติวัสดุหินในประเทศไทย	49
3.1 ผลการดูซึมน้ำของมวลรวมคาร์บอนेट	58
3.2 ผลความถ่วงจำเพาะของมวลรวมคาร์บอนेट	58
3.3 การสึกหรอแบบลอสเองเจลีซของมวลรวมคาร์บอนेट	59
3.4 ค่าการกระแทกของมวลรวมคาร์บอนेट	60
3.5 ความแข็งกระดอนก้อนชนิดของมวลรวมคาร์บอนेट	61
3.6 ดัชนีกำลังแรงกคจุดของมวลรวมคาร์บอนेट	61
3.7 กำลังอัดพื้นที่แหล่งหินศึกษา	62
3.8 ผลความแข็งวิกเกอร์ของมวลรวมคาร์บอนेट	63
3.9 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษาชุมพรและกระบี่	64
3.10 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษาพังงาและสตูล	65
3.11 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชและพัทลุง	66

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.12	ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษาสงขลา	67
3.13	ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR การประเมินความลาด SMR และประเมินอัตรา เจาะของพื้นที่ศึกษาชุมพรและกระบี่	75
3.14	ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR การประเมินความลาด SMR และประเมินอัตรา เจาะของพื้นที่ศึกษาพังงาและสตูล	76
3.15	ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR การประเมินความลาด SMR และประเมินอัตรา เจาะของพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราชและพัทลุง	77
3.16	ปัจจัยด้านมวลหินและผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษา ชุมพรและกระบี่	82
3.17	ปัจจัยด้านมวลหินและผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษา พังงาและสตูล	83
3.18	ปัจจัยด้านมวลหินและผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษา นครศรีธรรมราชและพัทลุง	84
3.19	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างค่าตัวแปรต่างๆของสมบัติมวล รวมหินคาร์บอนेट	93
3.20	สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่ายของสมบัติมวลรวม	97
3.21	สมการถดถอยเชิงพหุคูณของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนेट	98
3.22	สมการความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างอัตราการเจาะแบบกระแทกและสมบัติมวล รวม	99
3.23	สมการถดถอยเชิงพหุคูณของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนेटและอัตราการเจาะ แบบกระแทก	99
3.24	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างค่าตัวแปรต่างๆของสมบัติมวล รวมหินคาร์บอนेटและอัตราการเจาะแบบกระแทก	101
3.25	ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษา นครศรีธรรมราช	117
3.26	ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษา กระบี่	117

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.27	คำปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษา ชุมพร	118
3.28	คำปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษา พังงา	118
3.29	คำปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษา พัทลุง	119
3.30	คำปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษา สตูล	119

รายการรูป

รูป	หน้า
1.1 ปริมาณสำรองแหล่งหินอุตสาหกรรมพื้นที่แหล่งหินภาคใต้ประเทศไทย	3
1.2 การประเมินการจำแนกมวลหินระบบ GSI	26
2.1 ตำแหน่งพื้นที่แหล่งหินศึกษาภาคใต้ประเทศไทย	32
2.2 พื้นที่หน้างานศึกษา (ก) นครศรีธรรมราช และ (ข) สตูล	33
2.3 พื้นที่หน้างานศึกษา (ก) กระบี่ และ (ข) พังงา	34
2.4 พื้นที่หน้างานศึกษา (ก) ชุมพร และ (ข) สงขลา	35
2.5 พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง	36
2.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	37
2.7 ตัวอย่างมวลรวมของพื้นที่แหล่งหินศึกษา	40
2.8 การประยุกต์วงวัดขณะตะวันกับการพิบัติแบบระนาบ	52
2.9 การหาค่าการวางตัวของเส้นที่ตัดกันของระนาบของการพิบัติแบบลิ้ม	52
2.10 การสร้างวงคมาของการพิบัติแบบคมา	53
3.1 กราฟแท่ง ก) การดูซึมน้ำ และ ข) ความถ่วงจำเพาะ	53
3.2 กราฟแท่ง ก) การสึกหรอแบบลอสเองเจลิส และ ข) ค่าการกระแทก	59
3.3 กราฟแท่ง ก) ความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี และ ข) ดัชนีกำลังแรงกดจุด	62
3.4 กราฟแท่งความแข็งวิกเกอร์	63
3.5 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร	69
3.6 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่	70
3.7 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาพังงา	71
3.8 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาสตูล	72
3.9 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช	73
3.10 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง	74
3.11 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวม ก) การดูซึมน้ำ ข) ความถ่วงจำเพาะ	86
3.12 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวม ก) การสึกหรอแบบลอสเองเจลิส ข) ค่าการกระแทก	86
3.13 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวม ก) ความแข็งค้อนชนิดดี ข) ดัชนีกำลังแรงกดจุด	87
3.14 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวมความแข็งวิกเกอร์	88

รายการรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.15 การกระจายตัวข้อมูลของแต่ละพื้นที่ที่หน้างานศึกษา ก) การดูดัชนีน้ำ ข) ความถ่วงจำเพาะ	89
3.16 การกระจายตัวข้อมูลของแต่ละพื้นที่ที่หน้างานศึกษา ก) การสึกหรอแบบลอสเองเจลิส ข) ค่าการกระแทก	90
3.17 การกระจายตัวข้อมูลของแต่ละพื้นที่ที่หน้างานศึกษา ก) ความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี ข) ดัชนีกำลังแรงกดจุด	91
3.18 การกระจายตัวข้อมูลของแต่ละพื้นที่ที่หน้างานศึกษาความแข็งวิกเกอร์	91
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระแทกและการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส	94
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกระดอนค้อนชนิดดีและการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส	94
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส	94
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส	95
3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกระดอนค้อนชนิดดีและค่าการกระแทก	95
3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และค่าการกระแทก	95
3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและค่าการกระแทก	96
3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี	96
3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และดัชนีกำลังแรงกดจุด	96
3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี	97
3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและอัตราการเจาะ	102
3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระแทกและอัตราการเจาะ	102
3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและอัตราการเจาะ	102
3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และอัตราการเจาะ	103
3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกระดอนค้อนชนิดดีและอัตราการเจาะ	103
3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดัชนีน้ำและอัตราการเจาะ	103
3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอัตราการเจาะ	104
3.36 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ SMR	105
3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI	105

รายการรูป(ต่อ)

รูป		หน้า
3.38	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และค่าคงที่ mb	106
3.39	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และค่าคงที่ s	106
3.40	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และค่าคงที่ c	107
3.41	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และมุมเสียดทาน (ϕ)	107
3.42	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และกำลังดึงของหิน (σ_p)	107
3.43	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และกำลังอัดของวัสดุหิน (σ_c)	108
3.44	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และกำลังดึงของมวลหิน (σ_{cm})	108
3.45	ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และ โมดูลัสการเสียดรูป (E_m)	108
3.46	การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาชุมพร	110
3.47	การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษากระบี่	111
3.48	การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาพังงา	112
3.49	การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาพัทลุง	113
3.50	การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาสตูล	114
3.51	การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

หินคาร์บอนेटเป็นที่รู้จักกันดีในประเทศไทย เพราะมีการนำมาใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ ไม่น้อยกว่า 80% ของหินก่อสร้างทั้งหมด ซึ่งในอดีตความต้องการใช้หินคาร์บอนेटในอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในประเทศมีปริมาณน้อย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมก่อสร้างและปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงการสาธารณูปโภคทั้งภาครัฐและเอกชนมีไม่มาก (คนุพลและกัลยาณี, 2540) แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมก่อสร้างได้มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะภาครัฐได้มีการเร่งรัดพัฒนาโครงการสาธารณูปโภคเพื่อรองรับการขยายตัวของประเทศ เช่น โครงการสนามบิน เชื้อน ถนน สะพาน โรงงานอุตสาหกรรม โครงการหมู่บ้านและที่อยู่อาศัย ทำให้มีความต้องการใช้วัสดุเพื่อการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ในส่วนของกลุ่มหินคาร์บอนेटที่ป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่ หินปูน และหินโคลโลไมต์

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการผลิตหินปูนอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย พ.ศ. 2545-2550

ปี พ.ศ.	หินปูนอุตสาหกรรมชนิดก่อสร้าง		หินปูนอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2545	53,960,070	3,777.20	54,213,950	4,608.20
2546	64,858,409	4,540.10	46,868,457	3,983.80
2547	73,277,274	5,129.40	63,195,561	5,371.60
2548	82,739,582	5,791.80	55,583,777	4,724.60
2549	83,299,232	5,831.00	61,583,302	5,234.60
2550	83,426,643	5,839.00	63,799,284	5,422.80

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

การผลิตหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างของภาคใต้ ในปี พ.ศ. 2550 ได้ทำการผลิตในท้องที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี สงขลา ชุมพร พังงา กระบี่ ยะลา สตูล และพัทลุง มีผลผลิตรวมกัน 11,739,999 เมตริกตัน มูลค่า 822 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีก่อน (2549)

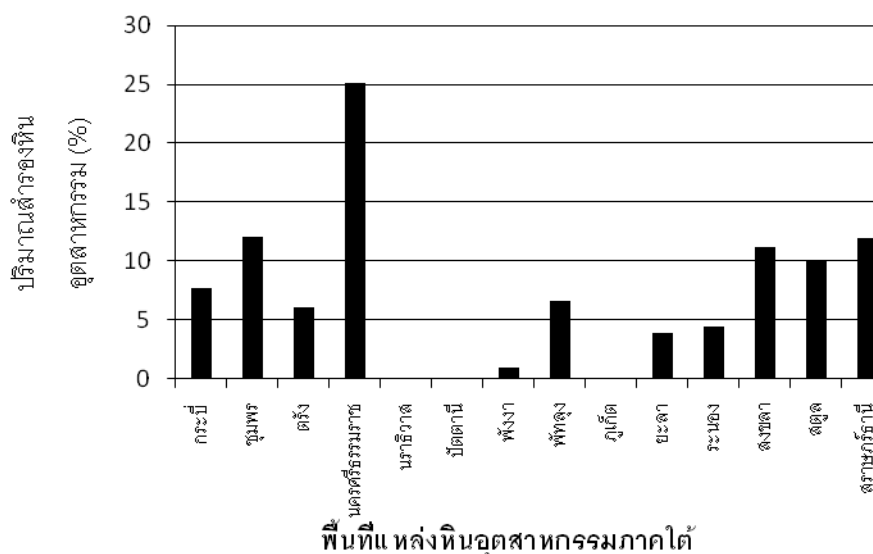
ตารางที่ 1.2 ปริมาณการผลิตหินปูนอุตสาหกรรมหินประดับและอุตสาหกรรมอื่นๆในประเทศไทย พ.ศ. 2545-2550

ปี พ.ศ.	หินปูนอุตสาหกรรมหินประดับ		หินปูนอุตสาหกรรมอื่นๆ	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2545	560	1.10	2,266,318	192.60
2546	722	1.50	2,114,919	179.80
2547	529	1.10	1,892,212	160.80
2548	960	1.90	2,479,869	210.80
2549	201	0.40	4,588,162	390.00
2550	233	0.50	3,975,415	337.90

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและโลจิสติกส์ (ภาคใต้) จังหวัดภูเก็ต

ผลผลิตและมูลค่าเพิ่มขึ้น 14,604 เมตริกตัน และ 1 ล้านบาท ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1 โดยจังหวัดนครศรีธรรมราช มีผลผลิตมากที่สุด 3,559,165 เมตริกตันหรือร้อยละ 30 ของผลผลิตรวม ปี 2550 การผลิตหินปูนซีเมนต์ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผลผลิต 7,270,317 เมตริกตัน มูลค่า 618 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปี 2549 ผลผลิตและมูลค่าเพิ่มขึ้น 287,813 เมตริกตัน และ 25 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การขยายตัวในภาคอุตสาหกรรม การก่อสร้างสาธารณูปโภคที่เพิ่มขึ้นตามโครงการกระตุ้นเศรษฐกิจต่างๆ ของรัฐบาล

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ อาทิเช่น ทรัพยากรแร่ ซึ่งมีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศโดยเฉพาะหินอุตสาหกรรมชนิดหินก่อสร้าง ซึ่งได้มีการประเมินแหล่งหินชนิดหินอุตสาหกรรมก่อสร้างทั่วประเทศ และมีการขอสัมปทานในการทำเหมืองหินเพื่อผลิตหินป้อนเป็นวัตถุดิบเข้าอุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นต้น ตามความต้องการของตลาดและการขยายตัวของเศรษฐกิจประเทศ อุตสาหกรรมเหมืองหินภายในประเทศมีอยู่เกือบทุกจังหวัดของประเทศไทย ซึ่งภาคใต้ประเทศไทยก็เช่นกัน อุตสาหกรรมเหมืองหินชนิดหินก่อสร้างมีเกือบทุกจังหวัด



รูปที่ 1.1 ปริมาณสำรองแหล่งหินอุตสาหกรรมพื้นที่แหล่งหินภาคใต้ประเทศไทย
ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

ปริมาณสำรองแหล่งหินอุตสาหกรรมภาคใต้มีทั้งหมดมี 77 แหล่งหิน คิดเป็นพื้นที่ 20,399 ไร่ คิดเป็นปริมาณหินทั้งหมด 1,108.56 ล้านเมตริกตัน โดยจังหวัดนครศรีธรรมราชมีปริมาณแหล่งหินสำรองมากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 25.10 ของปริมาณสำรองแหล่งหินภาคใต้ทั้งหมด คิดเป็นพื้นที่ 4,557 ไร่ หรือ จำนวน 278.05 ล้านเมตริกตัน รองลงมาได้แก่ จังหวัดชุมพร ร้อยละ 12.10 จังหวัดสุราษฎร์ธานีร้อยละ 11.90 และจังหวัดพัทลุงร้อยละ 11.2 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่จังหวัดที่ไม่มีปริมาณสำรองแหล่งหินอุตสาหกรรม ได้แก่ จังหวัด ภูเก็ต ปัตตานี และนราธิวาส (รูปที่ 1.1) ในการดำเนินงานด้านเหมืองหินมีหลายปัจจัยที่สัมพันธ์กับการผลิตของเหมือง อาทิเช่น โครงสร้างทางธรณีวิทยาของพื้นที่แหล่งหิน การเจาะระเบิด กำลังการผลิตของเหมืองที่สัมพันธ์กับพื้นที่แหล่งหินและความต้องการหินของตลาดในการนำไปใช้งาน

การดำเนินการขั้นตอนการผลิตของเหมืองหินขั้นตอนการเจาะระเบิดถือเป็นส่วนที่สำคัญในการพัฒนาและการผลิตของเหมืองหิน การศึกษาอัตราการเจาะของการเจาะระเบิดในการทำเหมืองหินที่สัมพันธ์กับสมบัติของมวลรวม และการจำแนกมวลหินของพื้นที่หน้าเหมืองเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการออกแบบการเจาะระเบิด จำนวนหลุมเจาะระเบิดปริมาณหินที่ได้ที่สัมพันธ์กับกำลังการผลิตของเหมือง มีความถูกต้องเหมาะสม การวิเคราะห์โอกาสการพิบัติของความลาดหินมีความสำคัญในการเฝ้าระวังติดตามถึงโอกาสการพิบัติในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ช่วยลดอุบัติเหตุในระหว่างขั้นตอนการทำงาน รวมถึงการเลือกเปิดหน้าความลาดให้มีความเหมาะสมกับค่าความปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนเตในบริเวณหน้าเหมืองภาคใต้ของประเทศไทย ที่สัมพันธ์กับอัตราการเจาะแบบกระแทก
2. ประเมินมวลหินหน้างานศึกษาด้วยวิธีการจำแนกแบบ RMR และ GSI
3. วิเคราะห์เสถียรภาพความลาดโดยวิธีการถ่ายโอนตาข่ายมิติ (Stereographic projection method)
4. สร้างความสัมพันธ์แบบจำลองคณิตศาสตร์เบื้องต้นระหว่างสมบัติมวลรวม การจำแนกมวลหินและอัตราการเจาะแบบกระแทก

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. ทำให้ทราบเสถียรภาพของหน้างานและเฝ้าระวังป้องกันในระหว่างการทำงาน
2. เป็นแนวทางในการออกแบบวางแผนโครงการเพื่อทำให้การทำเหมืองหินมีประสิทธิภาพ
3. เป็นฐานข้อมูลนำไปพิจารณาการเจาะระเบิดทำเหมืองหินภาคใต้ประเทศไทย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ทดสอบสมบัติมวลรวม ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ความถ่วงจำเพาะ การขัดสีแบบลอซแอนเจลีส์ (Los Angeles abrasion) ความแข็งค้อนกระดอนชมิคต์ (Schmidt rebound hardness) ดัชนีกำลังแรงกดจุด (Point load strength index) ค่าการกระแทก (Impact value) และความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness) เก็บข้อมูลการเจาะแบบกระแทกทำเหมืองหินคาร์บอนเตบริเวณพื้นที่หน้าเหมืองในจังหวัด นครศรีธรรมราช ชุมพร พัทลุง สงขลา พังงา สตูล และกระบี่ และศึกษาสภาพมวลหินด้วยระบบ RMR และ GSI ประเมินความลาดหน้าเหมืองดังกล่าวด้วยโปรแกรม Rocscience ชื่อ DIP5.0 นำสมบัติมวลรวมและอัตราการเจาะมาจัดทำเป็นสมการความสัมพันธ์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม SPSS (Multiple linear regression, box plot, t-test, F-test and normal distribution)

1.5 วรรณกรรมปริทัศน์

1.5.1 หินปูน (Limestone)

เป็นหินตะกอน การจำแนกหินคาร์บอเนตนั้นได้ยึดหลักว่าหินปูนที่บริสุทธิ์จะมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 100% ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงถึง 56% และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงถึง 44% เท่าที่พบมักตกผลึกเป็นแคลไซต์ หินปูนที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่า 95% เรียกว่าหินปูนชั้นดี สำหรับหินปูนที่ไม่บริสุทธิ์มักมีมลทิน ต่อไปนี้ ซิลิกา อะลูมินา แมกนีเซียม เหล็กออกไซด์ แมงกานีส คาร์บอน ฟอสเฟต และกำมะถัน เป็นต้น สำหรับหินปูนค่อนข้างบริสุทธิ์มักจะถูกแปรสภาพเป็นหินปูนเกิดผลึกใหม่ (Recrystallized limestone) หินคาร์บอเนตที่มีปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนตสูงถึง 45.65% ให้จัดเป็นหินโดโลไมต์ (Dolomite) หรือโดโลสโตน (Dolostone) หากมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 45.65% (ดนุพลและคณะ, 2537) จัดเป็นประเภทหินปูนโดโลไมต์ (Dolomitic limestone)

1.5.2 หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

หินปูนจัดเป็นหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างประเภทหนึ่งในหลายชนิดที่มีในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่ออกสีเทา บางครั้งอาจพบสีอื่นๆ เช่น สีเทาดำ สีเทาปนน้ำตาล ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นวัสดุงานทางทั่วไป ใช้เผาทำปูนขาว ทำวัสดุทนไฟ และสี นอกจากนี้ ยังใช้ทำปูนกินกับหมาก แคลเซียมคาร์ไบด์และปุ๋ย เป็นต้น แต่ที่ใช้ประโยชน์มากมักจะเป็นทางด้านงานก่อสร้างหลายรูปแบบ เช่น การทำถนน อาคาร บ้านเรือน หินอุตสาหกรรมชนิดหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง หมายถึง หินปูนที่ถูกผลิตขึ้นใช้เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างต่างๆ ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการบดย่อยจากโรงโม่หิน หินถือว่ามีควมสำคัญอย่างมากในงานก่อสร้าง ในแง่ที่หินเป็นส่วนสำคัญที่อยู่ใน “มวลรวม” (Aggregate) ซึ่งหมายถึงส่วนผสมของทราย กรวด และหินที่ถูกบดย่อยแล้ว ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะจำแนกมวลรวมออกเป็น 2 ชนิด คือมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ซึ่งมวลรวมทั้ง 2 ชนิดนี้จะแยกตามขนาดของหินที่ใช้เป็นส่วนประกอบดังนี้

มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) โดยปกติเป็นหินที่บดย่อย หรือ กรวดที่ล้างบนตะแกรงเบอร์ 4 U.S. Standard size ซึ่งมีขนาดช่องตะแกรง 0.187 นิ้ว หรือ 4.75 มิลลิเมตร

มวลรวมละเอียด (Fine aggregate) โดยปกติเป็นหินฝุ่นหรือหินเกร็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว (9.52 มิลลิเมตร) และส่วนใหญ่เป็นหินที่มีขนาดอนุภาคสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ขนาดช่องตะแกรง 4.75 มิลลิเมตร) แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาดช่องตะแกรง 0.075 มิลลิเมตร) สำหรับประเทศไทยนั้น หินที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมี 4 ชนิด เรียกตามขนาดของหินที่ถูกบดย่อยจากโรงโม่หิน ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตามภูมิภาคหรือท้องถิ่น ดังนี้

1. หินฝุ่น มีขนาดตั้งแต่เป็นฝุ่น (น้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตร) จนถึง 5 มิลลิเมตร หินประเภทนี้ใช้สำหรับทำอิฐบล็อกหรือใช้โรยบนพื้นถนนลาดยาง บางครั้งใช้ในการผสมคอนกรีต

2. หินเกร็ด มีขนาด 5 ถึง 10 มิลลิเมตร หรือมีขนาดระหว่าง 1/4 ถึง 3/8 นิ้ว กับมีขนาดระหว่าง 3/16 ถึง 3/8 นิ้ว ขนาดของหินประเภทนี้ค่อนข้างจะไม่คงที่

3. หินเบอร์หนึ่ง มีช่วงขนาดหลายช่วง ตั้งแต่ 3/8 ถึง 3/4 นิ้ว หรือมีขนาดตั้งแต่ 3/8 ถึง 7/8 นิ้ว ขนาดโดยรวมจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 มิลลิเมตร ส่วนมากนำไปใช้ทำถนน สะพาน สนามบิน หรืออาคารที่พักอาศัย หินชนิดนี้เป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด และมีราคาสูงกว่าหินประเภทอื่น

4. หินเบอร์สอง มีช่วงขนาดหลายช่วง ตั้งแต่ 3/4 ถึง 1 นิ้วหรือมีขนาดตั้งแต่ 7/8 ถึง 1 1/8 นิ้ว และขนาดโดยรวมจะอยู่ระหว่าง 20 ถึง 25 มิลลิเมตร ส่วนมากนำไปใช้ทำถนน หรือพื้นอาคารที่พักอาศัย และใช้ผสมในงานคอนกรีต หินชนิดต่างๆ ทั้งหินย่อยที่ผ่านกระบวนการผลิต และหินก้อนที่ไม่ผ่านการบดย่อย สามารถถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างหลายรูปแบบ คือ

1. มวลรวมในการทำถนน หินย่อยที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยถูกนำมาใช้เป็นมวลรวมหินทำถนน (Road aggregate) มากที่สุด

2. มวลรวมหินในการทำคอนกรีต หินจะถูกใช้ผสมกับทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม สำหรับคอนกรีต หินประเภทนี้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับรูปร่าง ขนาด และมลทินด้วย

3. มวลรวมในการทำสารผสมบิทูเมนหรือยางมะตอย งานประเภทนี้มักใช้หินย่อยชนิดหินเกร็ด และหินฝุ่นโดยนำมาผสมกับสารบิทูเมน

4. หินโรยทางรถไฟ เป็นหินย่อยที่มีค่าความแข็งแรงค่อนข้างสูง เนื่องจากใช้รับถ่านน้ำหนักจากหมอนรองรถไฟ อีกทั้งยังช่วยระบายน้ำออกจากราง

5. หินคันทางถนนหรือของเขื่อน โดยปกติจะใช้หินก้อนใหญ่ที่เกิดจากการระเบิด และยังไม่ผ่านการบดย่อย

6. งานอื่นๆ หินที่ถูกย่อยจะมาใช้ในงานตามขนาดที่ความเหมาะสม เช่น ทำพื้นสะพาน พื้นสนามบิน เป็นส่วนผสมของปูนก่อ นอกจากนี้มีการใช้หินบางประเภทเป็นวัตถุดิบในการทำปูนซีเมนต์อีกด้วย

1.5.3 การเจาะ

1) รูปแบบการเจาะ

1. การเจาะแบบกระแทก (Percussion drilling) เป็นแบบการเจาะที่ใช้กันมากที่สุด ใช้ได้กับหินเกือบทุกชนิด เครื่องเจาะที่ใช้กันมีทั้งแบบที่เครื่องเจาะอยู่นอกรูเจาะ และแบบที่เครื่องเจาะอยู่ในหลุมเจาะ (Down the hole drills)

2. การเจาะแบบหมุนและกด (Rotary drilling) รูปแบบเดิมใช้ในการเจาะหลุมน้ำมัน แต่ในปัจจุบัน การเจาะแบบนี้ได้นำมาใช้ในการเจาะรูระเบิดในเหมืองหาบขนาดใหญ่ และใช้ในการเจาะหินที่มีความแข็งมากได้ การเจาะแบบหมุนและกด ใช้เจาะหินที่มีกำลังอัดสูงถึง 5,000 บาร์

3. การเจาะแบบหมุนและกด (Rotary cutting) มักใช้ในการเจาะหินที่ไม่แข็งมากนัก มีกำลังอัดไม่เกิน 1,500 บาร์

4. การเจาะแบบหมุนและบด (Rotary abrasive drilling) ใช้มากในการเจาะสำรวจ ในการเจาะเก็บแท่งตัวอย่าง (Core) จากหลุมสำรวจ ซึ่งดอกเจาะที่ใช้ในการเจาะจะเป็นแบบกลวง

สำหรับการทำเหมืองหิน การเจาะแบบกระแทกเป็นที่นิยมมากที่สุด การศึกษาอัตราการเจาะ ทำให้ทราบถึงเวลาที่ใช้ในการเจาะ ในการเจาะรูระเบิด ช่วยในการประเมิน วางแผนในการเลือกเครื่องจักร การออกแบบการเจาะระเบิด และการวางแผนกำลังการผลิตของเหมือง

1.5.4 ภาพลักษณ์โครงสร้าง

โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหิน เนื่องจากความเค้นและความเครียดที่มากกระทำต่อตัวหินหรือเปลือกโลก ได้แก่ ชั้นหินคดโค้ง (Folds) รอยเลื่อน (Faults) แนวแตก (Joints) รอยแตก (Fracture)

1) ชั้นหินคดโค้ง

หมายถึง การคดโค้งของหิน ที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือการเปลี่ยนรูปในช่วงสถานะพลาสติก (Plastic deformation) ถูกแรงกระทำที่อุณหภูมิสูง มวลหินได้รับแรงอัดอาจคดโค้งหรือแตกหัก เมื่อมีแรงกระทำอย่างรวดเร็วตกลงไปในเปลือกโลก ความดันรอบข้างรอยแตกมักจะเกิดขึ้น

ใกล้ผิวโลก และเมื่อแรงกระทำอย่างช้ามากในคาบเวลายาวนาน ดังนั้นชั้นหินคดโค้งอาจก่อรูปขึ้นได้ อันเนื่องมาจากกระบวนการพลาสติก จะมีความสัมพันธ์กับความหนาของชั้นหินด้วย

2) รอยเลื่อน

เป็นระนาบที่เลื่อนลงมาตามการเคลื่อนไหวยของการเกิดสายแร่ หน้าสัมผัสของรอยเลื่อนประกอบด้วยวัตถุเนื้อละเอียด เช่น ผงรอยเลื่อน (Clay gouge) เศษหิน (Rock fragment) แผ่นเนื้อถ่าน (Carbonaceous slice) ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการเลื่อนแนวของรอยแตก รอยเลื่อนที่ทำให้อัตราการทะลวงของการเจาะลดลง เพราะการติดขัดของสว่าน รูปแบบของการเจาะจึงต้องดัดแปลงให้เหมาะสมกับความสามารถในการระเบิด และหินชนิดนี้จะสามารถทำให้เกิดบริเวณที่แตกหักเกินขอบเขต รอยเลื่อนแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ รอยเลื่อนท้องถื่น ซึ่งมีขนาดเล็กพบในเฉพาะแหล่งและรอบบริเวณนั้น และรอยเลื่อนปริมาตร ซึ่งมีขนาดใหญ่ อาจจะคลุมพื้นที่ตั้งแต่หมู่บ้านจนถึงข้ามจังหวัด นอกจากนี้บริเวณรอบรอยเลื่อนมักจะทำให้สมบัติของหินเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีปริมาณของซิลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์สูง อันจะทำให้การเจาะล่าช้าเพราะความแข็ง และการนำไปใช้ผลิตซีเมนต์ไม่ตามเกณฑ์กำหนดสมบัติ

3) แนวแตก

มักพบเป็นชุดแนวแตก (Joint sets) แต่บ่อยครั้งไม่ได้พบเป็นชุด มีความยาวตั้งแต่ไม่กี่เซนติเมตรจนถึงหลายเมตร บางครั้งอาจมีแร่แคลไซต์หรือสนิมเหล็กเคลือบอยู่ตามข้างผนังรอยแตก

4) รอยแตก

รอยแตกมักจะมีผลสืบเนื่องมาจากการแทรกซอนของหินอัคนี หรือการแปรสภาพสัมผัส (Contact metamorphism) ไม่มีระบบและทิศทางที่แน่นอน มักเกิดเป็นแท่ง บางแห่งพัฒนาขึ้นเป็นลำโพรงขนาดใหญ่ มักมีการซึมผ่านของน้ำใต้ดินหรือน้ำฝน หรือขังอยู่ภายในจนตกเป็นลักษณะผลึก (Habit) ของแร่แคลไซต์ อะราโกไนต์ ทำให้มีคราบสนิมเหล็กและหรือโคลนดินเหนียวติดอยู่ภายในบางครั้ง

1.5.5 ภาพลักษณ์ของความไม่ต่อเนื่อง

ความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) หมายถึง ภาพลักษณ์ของโครงสร้างทางธรณีวิทยาอันได้แก่ แนวแตก รอยเลื่อน และผิวการวางชั้น ซึ่งแยกมวลหินออกเป็นแท่งก้อน ลักษณะของความไม่ต่อเนื่องประกอบด้วยปัจจัยหลายประการด้วยกันคือ

1) แนววางตัว (Orientation)

การอธิบายการวางตัวของรอยไม่ต่อเนื่องโดย มุมเท (Dip angle) ของเส้นเอียงเทที่ชันที่สุด โดยวัดจากแนวราบ และ แนวเท (Dip direction) วัดตามเข็มนาฬิกาออกจากทิศเหนือจริง บันทึกค่าเป็น แนวเท/มุมเท การเรียงตัวซึ่งกันและกันของรอยไม่ต่อเนื่อง จะทำให้ทราบรูปทรงของแต่ละแท่งก้อน ชั้นหิน หรือการที่ต่อประกอบกันเข้าเป็นมวลหิน

2) ช่องห่าง (Spacing)

หมายถึงระยะทางระหว่างระนาบที่ประาในมวลหิน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบรอยไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีผลมาจากรอยแยกมาตัดกันมาก ได้มีการกำหนดค่าที่เรียกว่า จำนวนรอยแยกเชิงปริมาตร (Volumetric joint count, J_v) โดยมีนิยามว่าเป็นการรวมจำนวนรอยแยกในระยะ 1 เมตร สำหรับรอยแยกแต่ละชุดที่มีอยู่ในหิน ส่วนรอยไม่ต่อเนื่องที่ทึบสะเปะสะปะก็ให้นับรวม แต่โดยทั่วไปมีผลเล็กน้อยต่อผลลัพธ์

3) ความคงอยู่ (Persistence)

หมายถึง สภาพความไม่ต่อเนื่องที่ทอดตัวยาวต่อเนื่องไกลเพียงใด

4) ความขรุขระ (Roughness)

เป็นลักษณะผิวหน้าของรอยไม่ต่อเนื่องที่แสดงต่อพื้นที่มวลหินดังกล่าว คลอไรต์ ดินเหนียว ดินทรายแป้ง ผงบดรอยเลื่อน และหินกรวดเหลี่ยม เป็นต้น

5) ความถ่างหรือการแยกห่าง (Aperture or Separation)

คือระยะห่างในแนวตั้งฉากที่แยกผนังหินรอบข้างด้วยรอยไม่ต่อเนื่องเปิด

6) ผงอุด (Filling) ได้แก่วัสดุที่ผนังหินอยู่ในร่องของรอยไม่ต่อเนื่อง อาทิเช่น แร่แคลไซต์

1.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณพลและกัลยาณี (2539) ศึกษาคุณภาพของหินคาร์บอนेटในภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย การศึกษามุ่งเน้นในด้านสมบัติ เคมี กายภาพ และเชิงกล การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย การตรวจสอบทางศิลาวรรณนา (Petrography Examination) ความชื้น (Moisture Content) หรือปริมาณน้ำตามธรรมชาติ (Water Content) ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ความพรุน (Porosity) ระดับความชื้นของการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation) ความขาวและความขาวสว่าง (Whiteness and Brightness) ในส่วนการทดสอบเชิงกลประกอบด้วย การทดสอบความขัดสีแบบลอสแอนเจลิส (Los Angeles abrasion, LAA)

การทดสอบการอัดแกนเดียว (Uniaxial Compressive Test) การทดสอบแรงกดจุด (Point Load Test) การทดสอบความแข็งกระดอนค้อนชมิคต์ (Schmidt Rebound Hammer Test)

การศึกษาในภาคสนามประกอบด้วย การทดสอบความแข็งด้วยค้อนกระดอนชมิคต์ วัดค่าโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้แก่ ชั้นการวางตัว (Bedding) รอยแยก (Joint) รอยเลื่อน (Fault) สังเกตการณ์แทรกซอนของสายแร่แคลไซต์ (Calcite veins) รูปลักษณะของความไม่ต่อเนื่อง อันได้แก่ ช่องห่าง (Spacing) ความเปิดอ้าง (Aperture) ชนิดผงอุด (Filling) การวางตัว (Attitude) ความขรุขระของผิว (Roughness) การสำรวจทางโครงสร้างทางธรณีวิทยาชั้นละเอียด ได้วัดค่าแนววางตัวของรอยไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ในรูปของค่าแนวเทกกับมุมเท (Dip direction and Dip angle)

ซึ่งลักษณะหินคาร์บอนเนตภาคใต้ตอนล่างมีลักษณะเป็นภูเขาหน้าผาชัน มักวางตัวในแนวเทเหนือใต้ หินคาร์บอนเนตในภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ตามอายุทางธรณีวิทยา ได้แก่ หินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเซียน หินคาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียน และหินคาร์บอนเนตยุคไทรแอสซิกและจูราสซิก ทั้งสามกลุ่มนี้ แม้สภาพทั่วไปบ่งบอกว่าเป็นหินคาร์บอนเนต เหมือนกันก็ตาม แต่จะมีความแตกต่างกัน เพราะเป็นเนื้อวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous) สืบเนื่องมาจากสภาพกำเนิดของหิน ที่เกิดจากการตกตะกอนที่แตกต่างกัน

จากการพิจารณาหน่วยหินของลำดับชั้นหิน (Lithostratigraphic Successions) ของกลุ่มหินคาร์บอนเนตทั้ง 3 ยุค โดยพิจารณาเฉพาะคุณภาพทางกายภาพและลักษณะโครงสร้างที่ปรากฏให้ข้อเสนอแนะในด้านศักยภาพเชิงเศรษฐกิจของทรัพยากรหินคาร์บอนเนตในชั้นต้น ได้ดังนี้

หินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเซียน มีศักยภาพเชิงเศรษฐกิจค่อนข้างต่ำ ยกเว้นหน่วยหินที่ 5 ซึ่งอยู่ในช่วงบนของลำดับชั้นหิน จะเป็นช่วงของหินคุณภาพดี

หินคาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียน เป็นหินที่มีศักยภาพเชิงเศรษฐกิจมากกว่าหินคาร์บอนเนตยุคอื่นๆ เนื่องจากปรากฏการกระจายตัวอย่างกว้างขวางตามพื้นที่ต่างๆ เกือบทั่วภาคใต้ รวมทั้งมีหน่วยหินปูนคุณภาพดีที่เป็นชั้นหนาถึงหนามาก ปรากฏอยู่ในลำดับชั้นหินโดยทั่วไปอยู่หลายช่วง โดยตลอด หน่วยหินนี้ยังประกอบด้วยศักยภาพของหินโดโลมิติกไลม์สโตน และหินโดโลไมต์ ซึ่งปรากฏในพื้นที่หลายแหล่งในภาคใต้ของประเทศไทย รวมถึงศักยภาพของหินอ่อนด้วย

หินคาร์บอนเนตยุคไทรแอสซิกและจูราสซิก เป็นหินคาร์บอนเนตที่มีคุณภาพแตกต่างกันและมีอยู่ค่อนข้างจำกัด มักพบเป็นหินปูนและหินโดโลไมต์ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นชั้นหินปูนที่มีหินดินดานแทรกสลับ และเป็นเนื้อหินปูนปนเนื้อดินเมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวมแล้วเป็นหินคาร์บอนเนตคุณภาพต่ำ นับตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป หินคาร์บอนเนตที่พบด้านตะวันตกและตอนกลางของแหลมไทย ส่วนใหญ่เป็นหินปูนยุคออร์โดวิเซียน (กลุ่มหินปูนทุ่งสง) โดยมากจะเป็นหินปูนที่มีชั้นดินดาน ดินดานปนปูนชั้นบางๆ แทรกสลับ ส่วนชั้นตอนบนๆ จึงจะเป็นหินปูนชั้นหนาถึงหนา

มาก สีเทาถึงเทาดำ ซึ่งมีคุณภาพสามารถใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้ แต่โดยมากจะมีซิลิกาสูง และมีโคลโลไมต์ปน ส่วนหินปูนยุคเพอร์เมียน (กลุ่มหินราชบุรี) พบบริเวณด้านตะวันออกของแหลมไทย และด้านตะวันตกบางส่วน โดยมากตอนล่างของลำดับชั้นหินจะเป็นโคลโลไมต์ ส่วนตอนบนจะเป็นหินปูน สำหรับหินปูนยุคไทรแอสซิกพบบ้างในบางบริเวณ เช่น อำเภอสะบ้าย้อย อำเภอรัษฎุมิ จังหวัดสงขลา เป็นต้น สำหรับในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง หินคาร์บอนเนตแถบจังหวัดยะลา ซึ่งอยู่ในยุคเพอร์เมียน ส่วนใหญ่เป็นหินปูนและหินโคลโลไมต์ มีความแข็งปานกลาง เปอร์เซ็นต์การสึกหรอต่ำ และความแข็งแรงอยู่เกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้คุณภาพองค์ประกอบทางเคมีของแคลซียมคาร์บอนเนตมีปริมาณมากพอสมควร สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาง ยาปราบศัตรูพืช ปุ๋ย ส่วนคุณภาพหินปูนเหมาะที่นำไปทำหินย่อยก่อสร้างและส่วนผสมในการทำปูนซีเมนต์ (Tonmayopas et al., 1995) หินคาร์บอนเนตพื้นที่จังหวัดตรังซึ่งอยู่ในยุคออร์โดวิเซียนและเพอร์เมียน ประกอบด้วยหินปูน หินโคลโลไมต์และหินปูนเนื้อผลึก ซึ่งมีการแปรสภาพไปบางส่วนจนถึงขั้นเต็มที่กลายเป็นหินอ่อน พื้นที่อำเภอห้วยยอด มีศักยภาพเหมาะสมที่จะพัฒนานำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแร่เช่นกัน ผลการทดสอบสมบัติทางเคมี กายภาพและเชิงกล พบว่า หินคาร์บอนเนตในพื้นที่จังหวัดตรัง มีความแข็งปานกลาง เปอร์เซ็นต์การสึกหรอต่ำ และความแข็งแรงอยู่เกณฑ์ที่กำหนด เหมาะที่นำไปทำหินย่อยก่อสร้างและส่วนผสมในการทำปูนซีเมนต์ (Tonmayopas et al., 1995)

ในขณะที่หินโคลโลไมต์ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่จังหวัดตรังและพัทลุง ในส่วนพื้นที่จังหวัดพัทลุงหินคาร์บอนเนตอยู่ในยุคเพอร์เมียน พบหินปูนและหินโคลโลไมต์ ที่มีการกระจายตัวในแนวเหนือ-ใต้ มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นมวลรวมขนาดเล็กและส่วนผสมในการทำปูนซีเมนต์ เนื่องจาก มีความแข็งปานกลาง เปอร์เซ็นต์การสึกหรอต่ำ และตัวประกอบความแข็งแรงอยู่เกณฑ์ที่กำหนด (Tonmayopas et al., 1996)

การศึกษาคุณภาพหินย่อยในจังหวัดสตูล ซึ่งหินย่อยในจังหวัดสตูลจัดเป็นหินปูนถึงหินโดโลมิติกไลม์สโตน (Dolomitic limestone) ของกลุ่มหินทุ่งสง ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไป หินที่วางเรียงลำดับด้วยหินทรายสีแดงยุคแคมเบรียน (Cambrian) หินปูนยุคออร์โดวิเซียน (Ordovician) และหินโคลนปนกรวด หินทราย หินดินดาน ของยุคดีโวเนียน-คาร์บอนิเฟอรัส (Devonian-Carboniferous) โดยเฉพาะหินปูนมักโผล่ไม่ต่อเนื่องอย่างเห็นได้ชัดบนที่ราบชายฝั่งและเกาะในทะเลอันดามัน ที่โผล่ให้เห็นมากที่สุดคือ หินทรายและหินดินดานยุคดีโวเนียน-คาร์บอนิเฟอรัสพบโผล่เป็นจำนวนมากในร่องน้ำขึ้นถึง (Tidal channel) และตามแนวชายฝั่งทะเล

ผลการศึกษาพบว่าหินย่อยจังหวัดสตูล จัดเป็นหินปูนที่มีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ทั่วไป บางครั้งมีการแปรสภาพแทนที่ด้วยแร่แมกนีเซียมจนทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นถึงหินโดโลมิติกไลม์สโตน ผลการทดสอบพบว่ามีความเหมาะสมอย่างมากในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการ

ก่อสร้างที่ทนทานต่อการสึกกร่อนสูง มีความแข็งแรงปานกลาง และความแข็งแรงเอกรูปจัดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้คุณภาพองค์ประกอบทางเคมีของแคลซีียมคาร์บอเนตมีปริมาณมากพอสมควรสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาง ยาบราบศักรูพีช และปุ๋ย (คนุพลและกัลยาณี, 2539) วัสดุก่อสร้างสำคัญที่สุดในภาคใต้ตอนล่างประเทศไทย เป็นหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนและออร์โดวิเซียน ประกอบด้วยหินปูนและหินโดโลไมต์ การกระจายตัวของหินดังกล่าวอยู่ในแนวเหนือใต้ ในรูปเทือกเขาและโซลเล็กๆ ในการศึกษาประกอบด้วยสมบัติทางเคมี ภายภาพและเชิงกล ผลการทดสอบได้แสดงถึงค่าสูงสุดและต่ำสุดของหน่วยน้ำหนักคือ 2.57-3.27 กรัม/ลบ.ซม. ความพรุนประมาณ 0.02-3.08% ความแข็งกระดอนแบบชนิดค้อยู่ในช่วง 24.84-59.60 กำลังแรงกดจุดเป็น 0.30-3.84 MPa กำลังอัดแกนเดียวแปรปรวนตั้งแต่ 7.70-156.54 MPa ความสึกหรออยู่ในพิสัย 21.62-44.10% และค่าตัวประกอบเอกรูปของลอสเองเจลิส คือ 0.16-0.28 จากผลการทดสอบทั้งหมดระบุว่าหินคาร์บอเนตในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตปูนซีเมนต์และวัสดุก่อสร้างชนิดมวลรวมขนาดเล็ก (Tonnyopas et.al., 1997)

คนุพล ตันนโยภาส และกัลยาณี คุปตานนท์ (2540) ศึกษาคุณภาพของหินคาร์บอเนตในภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำต่อเนื่องจากการศึกษาหินคาร์บอเนตภาคใต้ตอนล่าง ได้แก่ พังงา นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี ชุมพร หากอาศัยยุคหินเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ หินคาร์บอเนตยุคออร์โดวิเซียน (Ordovician) หินคาร์บอเนตยุคเพอร์โมคาร์บ และเพอร์เมียน (Permocarb and Permian) หินคาร์บอเนตยุคไทรแอสซิก – จูเรสซิก (Triassic – Jurassic) หินคาร์บอเนตยุคออร์โดวิเซียน ประกอบด้วยหินปูนส่วนใหญ่ เรียกว่า หินปูนชุดทุ่งสง (Thung Song Group) มีอายุในช่วง 435-500 ล้านปี สีเทาเข้มถึงดำ มีขนาดเม็ดเนื้อตะกอนละเอียดแทรกอยู่ในเนื้อคาร์บอเนต มักแสดงลักษณะเป็นชั้นบางๆ บางส่วนแปรสภาพอย่างอ่อนเป็นหินอ่อน (Recrystallized Limestone) ความหนาทั้งหมดประมาณ 1600 เมตร (Bunopas and Villa, 1983) หินยุคนี้แพร่กระจายใน จ.นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง และสตูล

หินคาร์บอเนตยุคเพอร์โมคาร์บ และเพอร์เมียน หินยุคนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า กลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group) ส่วนใหญ่เป็นหินปูน มีอายุในช่วง 225-280 ล้านปี แพร่กระจายในบริเวณกว้าง (Baird and Bosence, 1993; Ingavat, 1993) พบใน จ. สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สำหรับในเขต จ.ยะลา หินคาร์บอเนตยุคนี้ จะเกิดผลึกใหม่จนกลายเป็นหินอ่อน ลักษณะของการลำดับชั้นหินปูนเป็นชั้นหนามากจะพบอยู่ช่วงล่างถัดขึ้นมา ช่วงกลางส่วนใหญ่จะเป็นหินเนื้อทรายซิลิกาสลับชั้นหินปูนบางๆ บางแห่งจะพบเป็นเนื้อโดโลไมต์ถึงโดโลไมต์ ส่วนช่วงบนสุดจะเป็นชั้นเนื้อหินปูน มีชั้นทรายและเนื้อซิลิกาเป็นกระเปาะแทรกสลับอยู่ หรือมีเนื้อโดโลไมต์อีก (Chinoroje, 1993) กลุ่มหินคาร์บอเนตชุดนี้ ในบางพื้นที่จะพบเป็นเนื้อโดโลไมต์ไลม์สโตนและหินโดโลไมต์ มี

การแปรสภาพขององค์ประกอบแร่เรียกว่า การก่อตัวใหม่ (Diagenesis) มาจากสาเหตุการทับถมตัว และจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก (Baird and Bosence, 1993) โดยเฉพาะแนวรอยเลื่อนขนาด ใหญ่ เช่นแนวรอยเลื่อน รัตนอง-ชุมพร แนวรอยเลื่อนคลองมารุย (กระบี่-สุราษฎร์ธานี)

หินคาร์บอนेटยุคไทรแอสซิก – จูแรสซิก มีอายุราว 190-225 ล้านปี หินยุคนี้ไม่ค่อย พบแพร่หลายในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง คงมีปรากฏรอบอ่าวไทย (Fontaine et al., 1992) ลักษณะหิน ยุคนี้เชื่อว่าเกิดจากการสมตัวของตะกอนในทะเล ในสภาพแวดล้อมบริเวณที่ลาน (Platform) และ บริเวณที่มีกระแสน้ำทะเลขุ่น (Turbidity) หินยุคไทรแอสซิกพบการกระจายตัวมากกว่าหินยุคจูแรสซิก เช่น อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา และหินยุคจูราสซิกพบที่ จ.ชุมพร จากการศึกษาพบว่าหินคาร์บอนेट หลายบริเวณมีศักยภาพเหมาะสมในด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างและปูนซีเมนต์

Faisal et al. (2006) ศึกษาการประเมินสมบัติทางวิศวกรรมของหินโดยการทดสอบ สมบัติด้านความแข็ง กล่าวว่างานทางด้านวิศวกรรม เช่น งานเขื่อน อุโมงค์ งานฐานราก และ เสถียรภาพของความลาด สมบัติด้านกำลังและการยึดหยุ่นของหินคงสภาพมีอิทธิพลต่อการ ออกแบบ โครงการและการดำเนินงานด้านโครงสร้าง หลายครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและเสียเวลาใน การทดสอบโดยตรงเพื่อประเมินสมบัติทางวิศวกรรมของหินคงสภาพ ได้แก่ กำลัง โมดูลัสการ ยึดหยุ่น และอัตราส่วนปัวซอง ของหินคงสภาพ ที่สัมพันธ์กับสมบัติด้านความแข็งของหิน (Schmidt, Shore scleroscope, Abrasion and Total hardness) การเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติ ทางวิศวกรรมของหินคงสภาพและชนิดของการทดสอบความแข็งเป็นการประเมินที่ง่ายและ ค่าใช้จ่ายถูก ได้ทำการศึกษา หินโคลไลไมต์ หินปูนปนโคลไลไมต์ และหินดินดาน เสนอความสัมพันธ์ อย่างง่ายเชิงเส้นในการวิเคราะห์สถิติ ผลทดสอบพบความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสมบัติทางวิศวกรรม ของหินคงสภาพและสมบัติด้านความแข็ง กำลังอัดและโมดูลัส โดยเฉพาะของหินตะกอนสามารถ ประเมินจากความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางวิศวกรรมและความแข็งของหิน อัตราส่วนปัวซอง สามารถทำนายพื้นฐานจากผลของกำลังอัดและความแข็ง อัตราส่วนปัวซองมีค่าลดลงกับการเพิ่มขึ้น ของกำลังและความแข็งของหิน และผลของการสึกหรอสามารถประเมินจากผลของความแข็ง กระดอนได้เช่นกัน นอกเหนือไปจากชนิดของหินทดสอบแล้ว โครงสร้างขนาดเล็กเป็นปัจจัยที่มี ความสำคัญ (ความหนาแน่น ขนาดเม็ดและความพรุน) ต่อสมบัติทางวิศวกรรมของหิน ได้เสนอ ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความแข็งของหินและสมบัติทางวิศวกรรมของหิน ควรจำแนกแต่ละ ประเภทและชนิดของหินเพื่อการปรับปรุงความสัมพันธ์ที่ดีขึ้น

ซึ่งสมบัติทางกายภาพของหินคงสภาพขึ้นอยู่กับโครงสร้างขนาดเล็ก (Willard and McWilliams, 1969) โครงสร้างขนาดเล็กประกอบด้วย การแยกออกของแร่ ขอบเขตของเม็ด และ โครงสร้างขนาดเล็ก ที่มีผลต่อกำลังของหินและทิศทางการพิบัติ Merriam et al. (1970) พบ

ความสัมพันธ์ที่ติระหว่างกำลังของหินแกรนิตและองค์ประกอบของควอตซ์ และกำลังของหินอัคนีที่ลดลงเป็นเส้นตรงกับการเพิ่มขึ้นของขนาดเม็ด (Onodera et al., 1980)

Ugur et al. (2010) ศึกษาผลกระทบของสมบัติหินต่อการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส และการกระแทกจากพฤติกรรมของสมบัติมวลรวม มวลรวมเป็นวัสดุพื้นฐานที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับงานโครงสร้าง การประเมินการสึกหรอของมวลรวมโดยการสึกหรอลอสเองเจลิสและการกระแทก (LAAI) ประกอบด้วยการศึกษาหินปูน หินทราเวอร์ทีน (Travertines) หินอ่อนเนื้อผลึก (Crystalline marble) และหินแอนดีไซต์ (Andesite) ทดสอบประเมินความสัมพันธ์ระหว่างผลของ LAAI และสมบัติทางกายภาพของมวลรวม ได้แก่ ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ความแข็งชมิคต์ (Schmidt hardness) ความแข็งชอร์ (Shore hardness) ความเร็วคลื่นพี และสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัดแกนเดียว ดัชนีแรงกดจุดและกำลังดึงทางอ้อมของหิน การทดสอบสมบัติหินเป็นสัญญาณบ่งชี้ได้ถึงกำลังของมวลรวม นอกเหนือจากการศึกษาสมบัติของหินจากการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบยังให้ความสนใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลของ LAAI และสมบัติของหิน ทดสอบแต่ละประเภทที่ทำการศึกษา โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบถดถอย (Regression analysis) เสนอความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการความสัมพันธ์อย่างง่ายในการคาดคะเนผลของ LAAI จากพื้นฐานผลของสมบัติหิน ผลการศึกษาพบว่าสมบัติทั้งทางกายภาพและเชิงกลของหินมีอิทธิพลต่อผลของ LAAI ผลของ LAAI ขึ้นอยู่กับสมบัติของหิน การวิเคราะห์ใช้วิธีการถดถอยกำลังสอง (Least squares regression) ในรูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดและการพิจารณาถึงค่าความเชื่อมั่น R^2 ที่มีค่ามากกว่า ± 0.50 ผลของ LAAI แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความหนาแน่นรวม กำลังอัดแกนเดียว กำลังดึง ความแข็งชมิคต์ ความแข็งชอร์ และดัชนีแรงกดจุด โดยสมการความสัมพันธ์ที่เสนอมีค่าความเชื่อมั่น R^2 มากกว่า ± 0.50 ในแง่ความคงทนต่อการสึกหรอและการกระแทกพบว่าหินแอนดีไซต์และหินปูนมีค่ามากกว่าหินอ่อนและหินทราเวอร์ทีน

Kahramand (2001) ได้ใช้ข้อมูลหินที่เผยแพร่ 48 ชนิด มาประเมินสหสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับผลสอดคล้องกับการทดสอบแรงกดจุด ค้อนชมิคต์ ความเร็วเสียงและกำลังกระแทก ได้ประเมินสภาพแปรปรวนของผลทดสอบในแต่ละการทดสอบและหินแต่ละชนิด โดยการคำนวณสัมประสิทธิ์ของการแปรปรวน ใช้วิธีการถดถอยยกกำลังสอง ค่ากำลังอัด สหสัมพันธ์กับค่าทดสอบอื่นๆ ยังประเมินวิธีทดสอบโดยการลงจุด ค่าประมาณการของกำลังอัดเปรียบเทียบกับค่าที่วัดกำลังอัดจากการทดสอบแต่ละชนิด ผลระบุว่าสภาพแปรปรวนได้แสดงขึ้นในการทดสอบกระแทก ดังนั้นท่ามกลางวิธีการทดสอบต่างๆ ในการศึกษารุ่นนี้ การทดสอบกระแทกเป็นการทดสอบผลน่าเชื่อถือมากที่สุด ถึงกระนั้นสภาพแปรปรวนสำหรับวิธีทดสอบอื่นๆ นั้นยังอยู่ในขอบเขตยอมรับได้สำหรับเป้าหมายทางวิศวกรรมส่วนมาก ในการศึกษารุ่นนี้พบความสัมพันธ์เชิง

เส้นมากระหว่างค่าดัชนีกำลังแรงกดจุดกับค่ากำลังอัดแกนเดียวสำหรับถ่านหินและหินอื่นๆ การทดสอบค้อนชนิดตีและความเร็วเสียงแสดงสหสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นกับกำลังอัดของหิน ในการทดสอบความเร็วเสียง จุดข้อมูลกระเจิงที่ค่ากำลังสูงขึ้นไป ความสัมพันธ์ไม่ชัดเจนระหว่างค่ากระแทกกับค่ากำลังอัดสำหรับถ่านหิน พบสหสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นน้อยระหว่างค่ากระแทกกับค่ากำลังอัดสำหรับหินอื่นๆ วิธีการทดสอบทั้งหมดที่ประเมินในการศึกษาครั้งนี้ ยกเว้นกระแทก ให้การประมาณกำลังอัดของหินน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามสมการคาดคะเนได้มาจากนักวิจัยคนอื่นนั้นได้ขึ้นกับชนิดหินและเงื่อนไขการทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้ด้วย

Kasim and Shakoor (1996) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวโดยการวิเคราะห์การถดถอยของหินที่เลือกมา ในการหาว่าการเสื่อมถอยใช้เป็นตัวคาดคะเนต่อกำลังอัด นอกจากนี้ผลกระทบของขนาดอนุภาคมวลรวมประเมินจำนวนก้อนกระทุ้งระหว่างการทดสอบเสื่อมถอย สมบัติดัชนีทางวิศวกรรม ลักษณะทางสิลาบรรณนาและการอิมตัวของน้ำที่มีต่อความสัมพันธ์กำลังอัดกับการเสื่อมถอยที่ได้จากการประเมิน ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งแบบแปรผกผันระหว่างกำลังอัดและการเสื่อมถอย (ที่ขนาดมวลรวม 9.5-4.75 มิลลิเมตร) สำหรับหินทราย หินอัคนีและหินแปร แต่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญของหินปูนและหินโดโลไมต์ ผลยังแสดงความสัมพันธ์อย่างหนักแน่นระหว่างการเสื่อมถอยกับการสึกหรอ LA และสามารถใช้เป็นขีดจำกัดผลกระทบสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน สมบัติดัชนีทางวิศวกรรมไม่มีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและการเสื่อมถอย แต่ลักษณะทางสิลาบรรณนามีความสำคัญในการอธิบายพฤติกรรมความแข็งและพฤติกรรมการเสื่อมถอยของหินในการศึกษา ความอิมตัวของน้ำมีค่าลดลง กำลังอัดและการเพิ่มระดับของการเสื่อมถอย

กำลังอัดแกนเดียว (UCS) และโมดูลัสยืดหยุ่น (E) ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการกำหนดและหาค่าสำหรับการศึกษาทศวรรษหินในโครงการโยธาธิการและการทำเหมือง **Dehghan et al. (2010)** ได้ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์สองวิธีคือ วิเคราะห์การถดถอยและโครงข่ายปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks -ANNs) ในการคาดคะเนกำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่น ใช้ความเร็วคลื่นปฐมภูมิ ดัชนีแรงกดจุด ค่ากระดอนค้อนชนิดตีและความพรุนป้อนเข้าในทั้งสองวิธี สมการการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชุดนำเข้าความเร็วคลื่นปฐมภูมิ ดัชนีแรงกดจุด ตัวเลขค่ากระดอนค้อนชนิดตีและความพรุนกับกำลังอัดแกนเดียวและโมดูลัสยืดหยุ่นภายใต้เงื่อนไขการสัมพันธ์เชิงเส้นได้สัมประสิทธิ์ของการกำหนดค่า (R^2) 0.64 และ 0.56 ตามลำดับ การใช้ ANNs ได้ปรับผลการถดถอยดีขึ้น การถดถอยทั่วไปและป้อนส่งต่อโครงข่ายปัญญาประดิษฐ์ที่มีผลลัพธ์สองค่า (UCS และ E) ปรับปรุงสัมประสิทธิ์กำหนดค่าในระดับยอมรับมากขึ้นจาก 0.86 เป็น 0.92

สำหรับ UCS และจาก 0.77 เป็น 0.82 สำหรับ E ผลแสดงว่าวิธีการ ANNs สามารถใช้เป็นวิธีการยอมรับใหม่สำหรับการคาดคะเนกำลังอัดแกนเดียวและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหินทดสอบ

Toraman et al. (2010) ศึกษาการคาดคะเนการบดหินจากดัชนีกำลังกระแทก โดยการศึกษาก่อนการบดหิน 24 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย หินอัคนี 8 ชนิด หินตะกอน 8 ชนิด และหินแปร 8 ชนิด รวมถึงการทดสอบความพรุนและความหนาแน่น ผลของการบดหาความสัมพันธ์กับดัชนีกำลังกระแทกโดยวิธีการถดถอย เสนอในรูปแบบสมการความสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ที่ดีแบบแปรผกผันระหว่างการบดและดัชนีกำลังกระแทก รวมถึงการวิเคราะห์แบบถดถอยหลายตัวแปรในการคาดคะเนการบดหิน โดยการตรวจสอบสมการจากการวิเคราะห์ ใช้ t-test และ f-test ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นแบบแปรผกผันระหว่างการบดและกำลังกระแทก รวมถึงอิทธิพลของความพรุนและความหนาแน่นสามารถใช้สมการอย่างง่ายในการคาดคะเนการบดหินได้

ค็อนซมิคต์จัดว่าเป็นเครื่องมือวัดความแข็งผิวหน้ารู้ค่ารวดเร็วและราคาข่อมเยา ใช้กันแพร่หลายสำหรับประมาณสมบัติเชิงกลของวัสดุหิน อย่างไรก็ตามมีหลายประเด็น อาทิเช่น ชนิดของค็อน ค่ากระดอนปรับเสมอกัน มิติก้อนตัวอย่าง ความเรียบผิวหน้า ปริมาณการฟูและความชื้น และการทดสอบ การลดข้อมูลและกระบวนการวิเคราะห์ต่อเนื่องถึงอิทธิพลความสม่ำเสมอและความน่าเชื่อถือของผลทดสอบด้วยค็อนซมิคต์ **Aydin and Basu (2005)** ได้ทบทวนถึงประเด็นพื้นฐานเหล่านี้ และผลการทดสอบทำต่อหินแกรนิตที่มีระดับการฟูแตกต่างกัน พบว่ามีสหสัมพันธ์ดีมากกว่าระหว่างค่ากระดอนค็อนชนิด L กับ N ซึ่งค็อนทั้งคู่ไวปานกลางกับสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะความหนาแน่นแห้ง ลดลงกับความพรุนทั้งหมด ค็อนชนิด N ให้ข้อมูลการกระเจิงน้อยกว่า พิสูจน์ได้ว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าค็อนชนิด L ในการคาดคะเนกำลังอัดแกนเดียวและโมดูลัสของยังค์ พบว่าเส้นโค้งสหสัมพันธ์ในรูปแบบยกกำลังสะท้อนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในระหว่างเข้าสู่การฟูและแตกต่างกันในมาตราส่วนหรือกลไกในความหมายของการวัดสมบัติเชิงกล และสามารถใช้ได้ทั่วไปกับหินอัคนีเนื้อผลึกอื่นๆ ยังได้ค้นพบถึงความน่าจะเป็นไปได้ของการคาดคะเนลำดับการฟูจากค่ากระดอน การเปลี่ยนแปลงค่ากระดอนระหว่างกระแทกหลายครั้งเป็นจุดหนึ่งทำให้การระบุลำดับการฟูดีขึ้นกว่าค่ากระแทกเพียงครั้งเดียว สรุปได้ว่าการพลังงานกระแทกเพิ่มขึ้นและเส้นผ่าศูนย์กลางปลายหัวค็อนจะลดการกระเจิงอย่างน้อยสำคัญต่อหินเนื้อหยาบและดังนั้นปรับปรุงให้ความน่าเชื่อถือของค็อนซมิคต์เป็นเครื่องมือตรวจคุณลักษณะวัสดุหิน

Toraman et al. (2010) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการคาดคะเนสมรรถนะการย่อยหินจากดัชนีกำลังกระแทก ได้ทดสอบหินต่างกัน 24 ชนิดในห้องปฏิบัติการ ผลของสมรรถนะย่อยหินทำสหสัมพันธ์กับผลของการทดสอบกำลังกระแทกและวิเคราะห์การถดถอย เชิง พบว่าดัชนีสมรรถนะการย่อยหินสัมพันธ์เชิงเส้นแบบผกผันกับดัชนีกำลังกระแทกอย่างดี ยังได้แสดงผล

กระทบของความพรุนและความหนาแน่นต่อสหสัมพันธ์ นอกจากนี้ดำเนินการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณประกอบด้วยความพรุนและความหนาแน่น ทดสอบเชิงสถิติถึงนัยสำคัญของแบบจำลองได้ออกมา จึงสรุปได้ว่าสมรรถนะย่อยหินนั้นสามารถประมาณการได้จากดัชนีกำลังกระแทกโดยใช้แบบจำลองการถดถอยธรรมดา

Hoseinie et al. (2007) ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการเจาะ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะมีหลายประการ โดยได้แบ่งปัจจัยออกเป็นกลุ่ม และได้เสนอเป็นระบบ Rock Mass Drillability Index (RDi) โดยให้ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะ 6 ปัจจัย ได้แก่ เนื้อและขนาดเม็ด กำลังอัด ความแข็งแบบโมส์ ระยะห่างแนวแตก มุมเทแนวแตก ผงอุด โดยระบบ RDi จะให้คะแนนแก่ปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษา โดยคะแนนที่ให้เริ่มตั้งแต่ 1-100 คะแนน (ตารางที่ 1.3) และนำคะแนนจาก

ตารางที่ 1.3 การจำแนกดัชนีสภาพการเจาะในมวลหิน

เนื้อ	พรุน	เศษหิน	เนื้อแกรนิต	เนื้อดอก	เนื้อสमानแน่น
ขนาดเม็ด	-	>5 มม	2-5 มม	0.05-1 & 2.5 มม	0.05-1 มม
ค่าประเมิน	15	10	7	4	1
ความแข็งแบบโมส์	1-3	3-4.5	4.5-6	6-7	>7
คำบรรยาย	นุ่มมาก-นุ่ม	นุ่มปานกลาง	แข็งปานกลาง	แข็ง	แข็งมาก
ค่าประเมิน	18	13	9	4	1
กำลังอัด (MPa)	1-25	25-50	50-100	100-200	>200
คำบรรยาย	กำลังต่ำมาก	กำลังต่ำ	กำลังต่ำปานกลาง	กำลังสูง	กำลังสูงมาก
ค่าประเมิน	22	16	11	6	2
ระยะห่างแนวแตก	>2 ม	1-2 ม	0.5-1 ม	0.15-0.5 ม	0-0.15 ม
แยกชิ้นแนวแตก และผงอุด	แนวแตกปิด 0-2 มม	>20 มม	12-20 มม	9-12 มม	2-9 มม
ค่าประเมิน	15	10	7	4	1
มุมระหว่างแนวแตก กับแกนหลุมเจาะ	70°-90°	55°-70°	35°-55°	20°-35°	0°-20°
ค่าประเมิน	12	8	6	3	1

ปัจจัยดังกล่าวมาประเมินอัตราการเจาะ โดยแบ่งเป็น 5 รูปแบบ ได้แก่ ช้ำ ช้ำปานกลาง ปานกลาง เร็ว ปานกลาง และเร็ว (ตารางที่ 1.4) คะแนนของปัจจัยยิ่งมากแสดงให้เห็นถึงอัตราการเจาะที่เร็ว การใช้ระบบ RD_i ประเมินปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะพบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่ออัตราการเจาะจากมากไปน้อย คือ กำลังอัด ความแข็งแรงแบบโมสั ระยะห่างแนวแตก เนื้อและขนาดเม็ด ผงอุด มุมเทแนวแตก ตามลำดับ

ตารางที่ 1.4 การคาดคะเนเชิงปริมาณของอัตราการเจาะในมวลหินโดยใช้ RD_i

RD _i	7-20	20-40	40-60	60-80	80-100
การเจาะอัตราเจาะ	ช้า	ช้าปานกลาง	ปานกลาง	เร็วปานกลาง	เร็ว

Kahraman (1999) ได้อธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะ ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึง ดัชนีแรงกดจุด ความแข็งแรงก้อนกระดอนชนิดดี ความเร็วคลื่นปฐมภูมิ โมดูลัสการยืดหยุ่นและความหนาแน่น ล้วนเป็นปัจจัยที่ศึกษาว่ามีผลต่ออัตราการเจาะระเบิด ได้รวบรวมผลทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างหินจากพื้นที่ทำการเจาะระเบิด เพื่อหาความสัมพันธ์กับอัตราการเจาะระเบิด พบว่าความสัมพันธ์ที่ไม่ดีจากผลการทดสอบของ ความเร็วคลื่นปฐมภูมิ โมดูลัสการยืดหยุ่นและความหนาแน่น กับอัตราการเจาะระเบิด ส่วนผลการทดสอบของ กำลังอัด ดัชนีแรงกดจุด และความแข็งแรงก้อนกระดอนชนิดดี พบว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของหินที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเจาะระเบิด

Kahraman (2002) ได้ศึกษาเชิงสถิติถึงสหสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวัดความเปราะต่างกันสามวิธีกับทั้งสมรรถนะการเจาะและสมรรถนะหลุมเจาะ โดยใช้ข้อมูลดิบได้จากงานทดสอบของนักวิจัยหลายคน พบว่าความสัมพันธ์แบบโค้งระหว่างอัตราการเจาะของเครื่องเจาะอุโมงค์กับความเปราะของ B1 (อัตราส่วนของกำลังอัดกับกำลังดึง) และ B2 (อัตราส่วนของกำลังอัดลบกำลังดึงต่อกำลังอัดบวกกำลังดึง) ดี ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเจาะของเครื่องเจาะแบบเพชรกับความเปราะ มีสหสัมพันธ์ระหว่างแบบเส้นโค้งระหว่างอัตราการเจาะของการเจาะแบบหมุนกับความเปราะ B1 และ B2 ระดับดี อย่างไรก็ตามพบว่าไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแทรกทะลวงของการเจาะแบบหมุนกับความเปราะ B3 (ผลของจำนวนร้อยละค่าลอดผ่านในการทดสอบกระแทกกับกำลังอัด) อัตราการแทรกทะลวงของการเจาะแบบกระแทกไม่ปรากฏสหสัมพันธ์กับความเปราะ B1 และ B2 แต่อัตราการแทรกทะลวงของการเจาะแบบกระแทกสหสัมพันธ์กับความเปราะ B3 จึงสรุปได้ว่าแต่ละวิธีการวัดความเปราะใช้ได้กับการเปิดหน้าหินขึ้นอยู่กับใช้ให้เป็นประโยชน์การทำงานใด

Kahraman et al. (2003) สังเกตการณ์หลุมเจาะระเบิดแบบกระแทกในหินแปดชนิดที่บ่อเหมืองแห่งหนึ่งและสามจุดในทางควันทิศระหว่างเมือง จำนวนอัตราการเจาะแทรกทะลวงสุทธิจากการวัดได้ปฏิบัติ ตัวอย่างหินเก็บรวบรวมจากสถานที่เจาะและได้หาค่าสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของหินทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ ทำสหสัมพันธ์อัตราการแทรกทะลวงกับสมบัติหิน กำลังอัดแกนเดียว กำลังดึงแบบบราซิล กำลังแรงกดจุด และค่าค้อนชนิดต์ แสดงสหสัมพันธ์มากกับอัตราการแทรกทะลวง กำลังกระแทกแสดงสหสัมพันธ์ปานกลางกับอัตราแทรกทะลวง พบว่าสหสัมพันธ์น้อยระหว่างอัตราการแทรกทะลวงกับทั้งโมดูลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นตามธรรมชาติ ไม่พบสหสัมพันธ์เชิงนัยสำคัญใดระหว่างอัตราการแทรกทะลวงกับความเร็วคลื่นปฐมภูมิเจาะ จึงสรุปได้ว่าในบรรดาสมบัติหินที่ได้ใช้ในการศึกษานี้ กำลังอัดแกนเดียว กำลังดึงแบบบราซิล กำลังแรงกดจุด และค่าค้อนชนิดต์ เป็นสมบัติเด่นที่มีผลกระทบต่ออัตราการแทรกทะลวงของการเจาะแบบกระแทก พลังงานจำเพาะเชิงทฤษฎีได้นิยามจากนักวิจัยหลายคนก็ยังได้พิสูจน์มีสหสัมพันธ์ดีกับอัตราแทรกทะลวงของการเจาะแบบกระแทก ซึ่งเป็นการพิสูจน์ยืนยันผลงานเชิงทฤษฎีพื้นฐาน นอกจากนี้การทดสอบแรงกดจุดและค้อนชนิดต์สามารถใช้ปฏิบัติในภาคสนามได้เป็นเครื่องมือคาดการณ์สำหรับการประมาณอัตราการแทรกทะลวง

ความเปราะ (brittleness) เป็นสมบัติหินพื้นฐานและมีผลกระทบต่อ การเจาะและการเปิดหน้าหิน การทราบความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเจาะ (drillability) กับความเปราะจะช่วยให้ในการทำงานแก่วิศวกรหิน ด้วยเหตุนี้ **Yarali et al. (2011)** จึงได้ทดสอบหิน 32 ชนิด ในห้องทดลองในการที่หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอัตราการเจาะ (DRI) กับค่าความเปราะต่างกัน ได้หาค่ากำลังอัดแกนเดียวและกำลังดึงเพื่อคำนวณความเปราะ ทั้งความเปราะของ B_3 (อัตราส่วนของกำลังอัดลบด้วยกำลังดึงหารด้วยกำลังอัดบวกกับกำลังดึง) และความเปราะของ B_8 (ครึ่งของค่ากำลังอัดแกนเดียวและกำลังดึง) จำนวนจากผลการทดสอบ นอกจากนี้ได้ดำเนินการทดสอบเจาะขนาดเล็กแบบ Sievers' J กับ การทดสอบความเปราะ และคำนวณค่า DRI แล้วนำค่า B_3 และ B_8 สหสัมพันธ์กับค่า DRI ไม่พบสหสัมพันธ์ระดับดีระหว่าง DRI กับความเปราะของ B_3 อย่างไรก็ตามพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงโค้งอย่างมากระหว่าง DRI กับความเปราะของ B_8 เปรียบเทียบผลกับผลงานในอดีตแสดงมีความสอดคล้องกันระหว่างการศึกษารุ่นนี้กับการศึกษาที่ผ่านมา จึงสรุปได้ว่า B_8 สามารถใช้สำหรับประเมินสมรรถนะการเจาะหินได้

งานทางด้านวิศวกรรมและธรณีวิศวกรรมที่ทำงานร่วมกับหิน การมองเห็นภาพพจน์ของมวลหินเป็นสิ่งที่จำเป็นเกี่ยวกับความไม่ต่อเนื่องทางธรณีวิทยา เพราะฉะนั้นการพิจารณาทั้งวัสดุหินและมวลหินเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น ซึ่งสมบัติของวัสดุหินทดสอบ (Intact rock) โดยปกติจะขึ้นอยู่กับสภาพความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน โดยทั่วไปถ้าความไม่ต่อเนื่องมีขนาดกว้างหรือหิน

ทดสอบ มีสภาพที่เลว และมีการเปลี่ยนแปลงของหินทดสอบ ทั้งหมดนี้จะมีผลต่อพฤติกรรมที่เหมาะสมต่อมวลหิน ถึงแม้ว่าสมบัติของความไม่ต่อเนื่องจะมีความสำคัญมากกว่าสมบัติของวัสดุ หินทดสอบมีหลายปัจจัยในการบรรยายสภาพแนวแตกของมวลหินสำหรับงานทางวิศวกรรม

กำลังของวัสดุหินเป็นปัจจัยประกอบสำหรับการจำแนกมวลหินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ สามารถหาได้โดยทางอ้อมจากการทดสอบดัชนีกำลังแรงกดจุดในภาคสนาม (Frenklin, 1976) ปัจจัยที่ 2 คือ RQD (Rock Quality Designation) คือ ดัชนีเชิงปริมาณที่มีการประยุกต์ การเก็บแท่งตัวอย่าง ตัวอย่างควรมีความยาวเท่ากับหรือมากกว่า 100 มม. RQD ใช้ในการวัดคุณภาพแท่งหินเจาะ หรือลักษณะของความถี่ การวางตัวของความไม่ต่อเนื่องและผองผูด ผลของ RQD ไม่สามารถใช้ในการบรรยายสภาพของมวลหินได้ทั้งหมด RQD เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการจำแนก และสามารถประยุกต์ใช้กับงานอุโมงค์เป็นแนวทางในการเลือกระบบการค้ำยันของอุโมงค์ (Deere et al., 1967)

ดัชนีคุณภาพแท่งหินเจาะได้มีการกล่าวมากกว่า 20 ปี ที่ผ่านมา ซึ่งข้อมูลคุณภาพได้จากการบรรยายลักษณะธรณีวิทยาและเปอร์เซ็นต์ของการเก็บแท่งตัวอย่าง (Deere and Deere, 1988) Deere ได้พัฒนาดัชนีในปี 1964 จนกระทั่งถึงปี 1967 ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับดัชนีขึ้นเป็นครั้งแรก (Deere et al., 1967) RQD ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับกรณีของแท่งตัวอย่างหินที่เก็บขึ้นมาเป็นการรวมกันของท่อนตัวอย่างที่มีความยาวมากกว่า 100 มม. หรือ 4 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 54.7 มม. (Deere et al., 1968; Palmstrom, 1982) ประสบความสำเร็จ แต่หากว่าไม่มีตัวอย่างแท่งหินเจาะ การประเมิน RQD ก็อาจจะประเมินจากจำนวนของชุดแนวแตกของความไม่ต่อเนื่องต่อหน่วยปริมาตร ดังสมการ

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

เมื่อ J_v คือ จำนวนของชุดแนวแตกต่อลูกบาศก์เมตร

การจำแนกมวลหินระบบ Rock Mass Rating หรือ ระบบ RMR เป็นระบบการจำแนกอีกอย่างหนึ่งของเทคนิค พัฒนาขึ้นระหว่างปี 1972-1973 (Bieniawski, 1973) ระบบ RMR เป็นมาตรฐานนำมาใช้ในงานอุโมงค์ อุโมงค์ผิวน้ำ เขื่อนแก้มเสือ ความลาด และงานฐานราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสหรัฐอเมริกา อินเดีย และออสเตรเลีย (Laubscher, 1977) ได้ประยุกต์การจำแนก RMR ในงานเหมืองหินในแอฟริกา เหมืองถ่านหิน เหมืองหิน (Ghose and Raju, 1981; Abad et al., 1983; Unal, 1983; Kendorski et al., 1983; Newman and Bieniawski 1986; Venkateswarlu, 1986) ถึงแม้ว่าความสำคัญของระบบ RMR ที่ถูกพัฒนามาใช้สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมแต่ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด ระบบ RMR ได้มีการพัฒนาหลายช่วงเวลา ประยุกต์ใช้งานเหมืองแร่ (Laubscher, 1977, 1984) เหมืองหิน (Kendorski et al., 1983) เหมืองถ่าน (Unal 1983; Newman and

Bieniawski 1986) งานเซ็อน (Serafim and Pereira, 1983) งานอุโมงค์ (Gonzalez de Vallejo, 1983) เสถียรภาพความลาด (Romana, 1985) และเหมืองถ่านหิน (Venkateswarlu, 1986)

ข้อมูลในการจำแนกประกอบด้วยข้อมูลลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของมวลหิน ได้แก่ ชั้นการวางชั้น รอยแตก รอยเลื่อน รูปลักษณ์ของความไม่ต่อเนื่อง อันได้แก่ ช่วงห่าง ความเปิดอ้า ชนิดผองอูด การวางตัวความขรุขระของผิว การสำรวจทางธรณีวิทยาขั้นละเอียด โดยได้วัดค่าแนววางตัวของความไม่ต่อเนื่องในรูปของค่าแนวเทกกับมุมเท

การจำแนกมวลหินโดยใช้ระบบ Rock Mass Rating (RMR) ใช้ข้อมูลจากภาคสนาม และห้องปฏิบัติการทดสอบในการจำแนกมวลหิน ปัจจัยที่ใช้ในการจำแนกมวลหินเสนอโดย Bieniawski (1973) ประกอบด้วย 6 ปัจจัย คือ

- กำลังอัดแกนเดียวของวัสดุหิน (Uniaxial compressive strength of rock material)
- ดัชนีคุณภาพของหิน RQD
- ระยะห่างของความไม่ต่อเนื่อง (Spacing of discontinuities)
- สภาพความไม่ต่อเนื่อง (Condition of discontinuities)
- สภาพของน้ำใต้ดิน (Groundwater conditions)
- การวางตัวของความไม่ต่อเนื่อง (Orientation of discontinuities)

ซึ่งปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยมีอยู่หนึ่งปัจจัย คือ กำลังอัดแกนเดียวของวัสดุหิน (Uniaxial compressive strength of rock material) ไม่สามารถเก็บข้อมูลจากภาคสนามได้ แต่ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินในห้องปฏิบัติการ ในการประเมินการจำแนกมวลหินโดยระบบ RMR ต้องใช้ข้อมูลจากภาคสนามและการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการควบคู่กัน ข้อมูลที่ได้ทั้งจากภาคสนามและการทดสอบตัวอย่างหิน มาให้คะแนนการการจำแนกมวลหินโดยใช้ตารางการจำแนกมวลหินของ Bieniawski (1973) โดยให้คะแนนแก่แต่ละปัจจัย แล้วรวมคะแนนของทุกปัจจัยเพื่อจำแนกมวลหินว่าคุณภาพหินประเภทไหน ค่าของคะแนนจากการประเมินสามารถแบ่งเป็น 5 ช่วงคะแนน และการ

บรรยายหินก็แบ่งเป็น 5 ประเภท ตามช่วงคะแนน คือ ช่วงคะแนน 100-81 หินดีมาก 80-61 หินดี 60-41 หินพอใช้ 40-21 หินเลว และคะแนนน้อยกว่า 21 หินเลวมาก โดยใช้ตารางการจำแนกมวลหินของ Bieniawski (1979) ซึ่งคะแนนจากทั้ง 6 ปัจจัยยิ่งมากแสดงให้เห็นถึงหินมีคุณภาพดี (ตารางที่ 1.7)

การจำแนก RMR ประยุกต์กับงานความลาด (Romana, 1985) และงานฐานราก (Bieniawski and Orr 1976) การออกแบบความลาดใกล้ทางเข้าอุโมงค์เพื่อประเมินการเสถียรของ

มวลหิน เช่น โครงสร้างสะพานและงานเขื่อน ในกรณีของการเสียรูปของหิน (Rock deformation) ของมวลหินเป็นส่วนแรกที่มีความสำคัญ การจำแนกธรณีกลศาสตร์ใช้ในการประเมินการเสียรูป ณ ที่เดิม (insitu) ของมวลหิน (Bieniawski, 1978) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (1.2)

$$E_M = 2RMR - 100 \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

เมื่อ E_M คือ โมดูลัสการเปลี่ยนรูป ณ ที่เดิม (in-situ modulus of deformation) หน่วย GPa และค่า RMR มากกว่า 50 ต่อมา Serafim and Pereira (1983) ได้เสนอความสัมพันธ์ กรณี RMR น้อยกว่า 50

$$E_M = 100 \frac{RMR-10}{40} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

การประยุกต์การจำแนกธรณีกลศาสตร์ของมวลหินจำแนกตามโครงสร้าง ถึงแม้ว่าสภาพความไม่ต่อเนื่องของมวลหินจะขึ้นอยู่กับสภาพตามธรรมชาติ แสดงความไม่สม่ำเสมอของหลายพื้นที่ เช่น ชนิดของหิน หรือระยะห่างความไม่ต่อเนื่อง มีหลายกรณี ขอบเขตของโครงสร้างมีลักษณะพ้องกันกับโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น รอยแตก พัง บริเวณเฉือนและอื่นๆ จากการศึกษาโครงสร้าง ปัจจัยในการจำแนกโครงสร้างศึกษาได้จากการวัดเก็บข้อมูลภาคสนามและจุดบันทึกข้อมูล การจำแนก RMR เสนอในตาราง 1.5 โดยการให้คะแนนในการประเมินแต่ละค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยของความไม่ต่อเนื่อง คะแนนยิ่งสูงแสดงให้เห็นถึงเงื่อนไขที่ดีของสภาพมวลหิน (Priest and Hudson, 1976) ในส่วนการวางตัวของความไม่ต่อเนื่อง มุมเทและแนวเทของความไม่ต่อเนื่องที่เพิ่มเข้าไปใน RMR พื้นฐาน ในหมวด B ในตารางการประเมิน ซึ่งอิทธิพลการวางตัวของความไม่ต่อเนื่องขึ้นกับการประยุกต์งานทางด้านวิศวกรรม เช่น อุโมงค์ เหมือง ความลาด หรืองานฐานราก (Wickham et al., 1972) สำหรับงานความลาดและฐานรากได้มีการกล่าวในรายงานของ Romana (1985) และ Bieniawski and Orr (1976)

Romana (1985) ประยุกต์การจำแนกมวลหินแก่การประเมินเสถียรภาพของความลาดหิน เกี่ยวกับพฤติกรรมของความไม่ต่อเนื่อง (ตารางที่ 1.5 และ 1.6) สำหรับประเด็นเรื่องสภาพเอื้ออำนวยของการวางตัวแนวแยกที่ขาดหาย โดยได้เสนอตัวประกอบปรับแก้สำหรับการวางตัวของความไม่ต่อเนื่อง การประเมินปรับแก้ใหม่สำหรับแนวแตกในความลาดหินมีสามตัวประกอบคือ

- F1 สะท้อนถึงเปรียบเทียบกันระหว่างแนวระดับของความลาดกับของความไม่ต่อเนื่อง
- F2 หมายถึงมุมเทของความไม่ต่อเนื่องในระนาบที่ทำหน้าพิบัติ
- F3 เกี่ยวข้องกับสัมพันธภาพระหว่างมุมเทความลาดกับมุมเทความไม่ต่อเนื่อง

F4 ขึ้นอยู่กับความลาดธรรมชาติได้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือ खुดเปิดหน้าโดยแยกนำร่องก่อน การระเบิดหน้าเรียบ การ खुดด้วยเครื่องจักรหรือการระเบิดเฉว สามารถคำนวณความลาด RMR ปรับแก้ ได้ดังสมการที่ (1.4)

$$\text{ความลาด RMR พื้นฐาน} - (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad \dots \dots \dots (1.4)$$

ตารางที่ 1.5 การประเมินปรับแนวแตกสำหรับแนวแตก (ที่มา Romana, 1985)

กรณี	เอื้ออำนวย มาก	เอื้ออำนวย	พอใช้	ไม่เอื้ออำนวย	ไม่เอื้ออำนวย มาก
P $ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30-20^\circ$	$20-10^\circ$	$10-5^\circ$	$< 5^\circ$
T $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P $ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20-30^\circ$	$30-35^\circ$	$35-40^\circ$	$> 45^\circ$
T F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P/T F_2	1	1	1	1	1
P $\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10-20^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T $\beta_j + \beta_s$	$< -110^\circ$	$110-120^\circ$	$> 120^\circ$		
P/T F_3	0	-6	-25	-50	-60

P = พบบิตแบบระนาบ α_s = แนวเทของความลาด α_j = แนวเทของแนวแตก

T = พบบิตแบบคมะ β_s = มุมเทของความลาด β_j = มุมเทของแนวแตก

Hoek (1994) และ Hoek et al. (1995) ได้เสนอระบบการจำแนกมวลหิน ชื่อว่า Geological Strength Index ย่อว่า GSI ซึ่งการประเมินเพื่อจำแนกมวลหินจะใช้ข้อมูลจากมวลหินเป็นปัจจัยในการประเมิน ได้แก่ ลักษณะการแตกของมวลหินเป็นพื้นฐานในการประเมิน โดยการใช้ Hoek's chart (รูปที่ 1.2) ในการประเมิน GSI ซึ่งสามารถบรรยายลักษณะของมวลหินในเชิงคุณภาพ เกี่ยวกับลักษณะของโครงสร้าง ธรณีวิทยาและสภาพของความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการประเมินระบบ GSI ประกอบด้วยโครงสร้างของมวลหินและสภาพของผิวหน้าของมวลหินที่ทำการประเมิน ได้แก่ แนวแตก สารเติม สภาพผิวหน้าของแนวแตก (เรียบ ขรุขระ ลื่นไถล) ระยะห่างของแนวแตก จำนวนแนวแตก ปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการประเมินระบบ GSI (รูปที่ 1.2) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้จากภาคสนาม (Cai et al., 2007)

ตารางที่ 1.6 การประเมินปรับสำหรับวิธีการขุดเปิดหน้าความลาด (ที่มา Romana, 1985)

วิธีการ	ความลาด ธรรมชาติ	แยกก่อน	ระเบิดเรียบ	ระเบิดเป็น ระเบียบ	ระเบิดด้วย ประสิทธิภาพ
F4	+15	+10	+8	0	-8
$SMR = RMR - (F1 \times F2 \times F3) + F4$					
Tentative Description of SMR Classes					
Class No.	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Description	Very Poor	Poor	Fair	Good	Very Good
Stability	Very unstable	Unstable	Partially stable	Stable	Fully stable
Failures	Large planar or soil like	Planar or large wedge	Some joints or many wedges	Some blocks	None

Liu Ya and Chao-Shi (2007) เสนอแนวทางใหม่ในการประยุกต์สำหรับการจำแนกมวลหินของเสถียรภาพความลาดในการประเมิน การเสนอระบบการจำแนกมวลหินแบบใหม่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินความมั่นคงของความลาดหิน ได้เสนอรูปแบบการประเมินพื้นฐานและกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับ (Analytic Hierarchy Process, AHP) และวิธีการ Fuzzy Delphi method (FDM) ในการประเมินคุณภาพมวลหิน การศึกษาถือว่าการจำแนกความลาดหินแบ่งออกเป็นกลุ่มในการตัดสินใจการแก้ปัญหา และการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Fuzzy logic theory เป็นเกณฑ์ในการคำนวณปัจจัย นอกจากนี้ความลาดหินทั่วไปที่พบในตอนใต้ของทางหลวง Cross-Island ในประเทศไต้หวันได้รับเลือกเป็นตัวแทนในกรณีการศึกษา หลังจากการกำหนดคุณภาพของความลาดหินในการศึกษาสำหรับการประเมินแต่ละกรณี การวิเคราะห์เชิงเส้นตรง (LDA) ใช้ในการแยกประเภทของความมั่นคงหรือไม่มั่นคงของความลาด และฟังก์ชันการจำแนกที่สามารถตรวจสอบความน่าจะเป็นของรูปแบบการพิบัติของความลาดหิน ที่ได้ดำเนินการของกระบวนการ LDA ผลที่ได้เปรียบเทียบกับความลาดหินที่มั่นคงที่มีอยู่จริง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่







นำเสนอสามารถนำไปใช้ในการประเมินความมั่นคงของความลาดหินตามขั้นตอนการแบ่งกลุ่มและความน่าจะเป็นของการพิบัติในตอต้น

Hoek and Brown (1997) ประสบความสำเร็จอย่างสูงเกี่ยวกับดัชนี เรียกว่า GSI ผลการประเมินระบบ GSI ให้คะแนนในช่วง 10 ถึง 85 ในการประเมิน แผนภาพการประเมินรูปที่ 1.2 สามารถใช้ในการพิจารณาทางด้านงานวิศวกรรมขึ้นอยู่กับความชำนาญหรือประสบการณ์เกี่ยวกับมวลหิน ตัวอย่างการประเมิน หินมีลักษณะเป็นบล็อก และเงื่อนไขผิวหน้าที่ดี (B/VG) ผลการประเมินอยู่ในช่วง 63 ถึง 85

การจำแนกมวลหินพัฒนามากว่า 600 ปี มีหลายปัจจัยในการจำแนก (Wickham et al., 1972; Bieniawski, 1973, 1989; Barton et al., 1974) พัฒนาขึ้นสำหรับงานโยธาและงานทางด้านธรณีวิศวกรรมที่ทำงานร่วมกับมวลหิน ระบบ Geological Strength Index (GSI) system เสนอในปี 1995 พัฒนาโดย Hoek et al. (1995) มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการประเมินกำลังของมวลหิน และปัจจัยที่มีผลต่อการเสีรูปของมวลหิน ระบบ GSI ให้ความสนใจในการบรรยาย 2 ปัจจัยเกี่ยวกับมวลหิน ได้แก่ โครงสร้างของมวลหินและเงื่อนไขผิวหน้าของบล็อกหิน

Cai et al. (2006) กล่าวว่า ความรู้ด้านกำลังของมวลหินและพฤติกรรมการเสีรูปถูกนำมาใช้ในการออกแบบมากมายในงานโครงสร้างทางวิศวกรรม งานฐานราก ความลาด อุโมงค์ เหมืองใต้ดิน และความลาดของบ่อเหมือง เป็นเรื่องที่ดีถ้าหากมีความเข้าใจต่อพฤติกรรมของมวลหิน ที่ประกอบด้วย กำลังสูงสุดและกำลังที่จุดคงค้าง ทำให้สะดวกขึ้นเกี่ยวกับการออกแบบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับโครงสร้าง มีงานวิจัยมากมายในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการอธิบายถึงพฤติกรรม การเสีรูปของแนวแตกของมวลหิน (Oda, 1983; Amadei, 1988; Cai et al., 1992) มีความพยายามในการพัฒนาแบบจำลองในการประเมินพฤติกรรมการเสีรูปและกำลังของแนวแตกมวลหินโดยวิธี อ้อม ระบบ GSI ใช้สมบัติของหินทดสอบและเงื่อนไขของแนวแตกในการศึกษาหรือประเมิน พฤติกรรมการเสีรูปและกำลังของมวลหิน ผลของ GSI สามารถประเมินเป็นพื้นฐานในการบรรยาย ลักษณะทางธรณีวิทยาของมวลหินและพฤติกรรมของมวลหิน

Russo (2007) ศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน GSI โดยได้กล่าวถึงการให้คะแนนแก่ ปัจจัยด้านโครงสร้างของมวลหิน (Sonmez et.al., 1999) ได้แก่ ลักษณะของแนวแตกและความไม่ต่อเนื่องต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร (Palmstrom, 1996) และเงื่อนไขของความไม่ต่อเนื่องของแนวแตก (Cai et al., 2004) เงื่อนไขของแนวแตก ความขรุขระของแนวแตก (Palmstrom, 2000) เป็นปัจจัยในการประเมิน GSI โดยการใช้ตารางการจำแนกของ Hoek's chart (รูปที่ 1.2)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the description of structure and surface conditions of the rock mass, pick an appropriate Box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI=38. It is also important to recognise that the Hoek-Brown criterion should only be applied to rock masses where the size of individual blocks is small compared with the size of the excavation under consideration. when individual block sizes are more than approximately one quarter of the excavation dimension, failure will be structurally controlled and the Hoek-Brown criterion should not be used.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Smooth, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or filling
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE- Intact rock specimens or massive in-situ rock masses with very few widely spaced discontinuities	90 M/VG	M/G	NOT APPLICABLE		
	BLOCKY-very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	80 B/VG	B/G	B/F	B/P	B/VP
	VERY BLOCKY-interlocked partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	70 VB/VG	VB/G	VB/F	VB/P	VB/VP
	BLOCKY/DISTURBED-folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets	60 BD/VG	BD/G	BD/F	BD/P	BD/VP
	DISINTEGRATED-poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces	50 D/VG	D/G	D/F	D/P	D/VP
	FOLIATED/LAMINATED/SHEARED-Thinly laminated or foliated and tectonically sheared weak rocks. Closely spaced schistosity prevails over other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness	40 N/A	N/A	FLS/F	FLS/P	FLS/VP
		30			20	10
		↓	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES			

รูปที่ 1.2 การจำแนกมวลหินระบบ GSI (ที่มา Hoek, 1999)

ตารางที่ 1.7 การจำแนกมวลหินระบบ RMR (ที่มา ดนุพล, 2542)

หมวด ก. ปัจจัยการจำแนกและการประเมินค่า									
ปัจจัย									
1	กำลังของ วัสดุหิน สมบูรณ์	ดัชนีกำลัง แรงกดจุด	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	สำหรับพิสัยต่ำที่น้ำจะ ทดสอบกำลังอัดแกน เดียว		
		กำลังอัดแกน เดียว	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	ค่าประเมิน	15	12	7	4	2	1	0	
2	คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	ค่าประเมิน		20	17	13	8	3		
3	ระยะห่างความไม่ต่อเนื่อง		> 2 ม.	0.6-2 ม.	200-600 มม.	60-200 มม.	< 60 มม.		
	ค่าประเมิน		20	15	10	8	5		
4	สภาพความไม่ต่อเนื่อง (ดู เสริมในหมวด จ)		ผิวขรุขระมากไม่ ยาวต่อเนื่อง ไม่ แยกอ้า ผันงหิน ไม่ผุ	ผิวขรุขระ เล็กน้อย แยกอ้า < 1 มม. ผันงหินผุ เล็กน้อย	ผิวขรุขระ เล็กน้อย แยกอ้า < 1 มม. ผันงหินผุ มาก	ผิวสัน ไกลหรือผง อุดหนา < 5 มม. หรือแยกอ้า 1- 5 มม. ยาวต่อเนื่อง	ผงอุดหนานิ่ม > 5 มม. หรือ แยกอ้า > 5 มม. ยาวต่อเนื่อง		
	ค่าประเมิน		30	25	20	10	0		
5	น้ำใต้ดิน	ไหลเข้าต่อ ความยาว อุโมงค์ 10 ม. (ลิตร/นาทีก)	ไม่มี	< 10	10-25	25-125	>125		
		แรงดันน้ำตาม แนวแตก/ความ เค้นเบื่องัด หลัก	0	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
	ค่าประเมิน		15	10	7	4	0		
หมวด ข ปรับแก้ค่าประเมินสำหรับแนววางตัวของความไม่ต่อเนื่อง (ดูหมวด จ)									
การวางแนวระดับและมุมเท		เอื้ออำนวยมาก	อำนวย	พอใช้	ไม่เอื้ออำนวย	ไม่เอื้ออำนวยมาก			
ค่าประเมิน	อุโมงค์และเหมือง		0	-2	-5	-10	-12		
	ฐานราก		0	-2	-7	-15	-25		
	ความลาด		0	-5	-25	-50	-		
หมวด ค ชั้นมวลหินที่หาค่าจากการประเมินทั้งหมด									
ค่าประเมิน		100<-- 81	80<-- 61	60<-- 41	40<-- 21	< 21			
หมายเลขชั้น		I	II	III	IV	V			
บรรยาย		หินดีมาก	หินดี	หินพอใช้	หินเลว	หินเลวมาก			

ตารางที่ 1.5 การจำแนกมวลหินระบบ RMR (ต่อ)

หมวด ง ความหมายของชั้นหิน					
หมายเลขชั้น	I	II	III	IV	V
เวลายื่นหยัดเฉลี่ย	20 ปี สำหรับ หน้ากว้าง 15 ม.	2 ปี สำหรับหน้า กว้าง 10 ม.	1 สัปดาห์ สำหรับหน้า กว้าง 5 ม.	10 ชม. สำหรับ หน้ากว้าง 2.5 ม.	30 นาทีสำหรับ หน้ากว้าง 1 ม.
การขีดเกาะกันของมวลหิน (KPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
มุมเสียดทานของมวลหิน (องศา)	45	35-45	25-35	15-25	< 15
หมวด จ แนะนำสำหรับจำแนกสภาพความไม่ต่อเนื่อง					
ความยาวความไม่ต่อเนื่อง(ความ คงอยู่) ค่าประเมิน	< 1 ม. 6	1-3 ม. 4	3-10 ม. 2	10-20 ม. 1	20 ม. 0
การแยกห่างกัน(ความถ่าง) ค่าประเมิน	ไม่มี 6	< 0.1 มม. 5	0.1-1.0 มม. 4	1-5 มม. 1	5 มม. 0
ความขรุขระ ค่าประเมิน	ขรุขระมาก 6	ขรุขระ 5	ค่อนข้างขรุขระ 3	เรียบ 1	คลื่นไกล 0
ผองผด (ผองรอยเลื่อน) ค่าประเมิน	ไม่มี 6	ผองผดแข็ง <5 มม. 4	ผองผดแข็ง >5 มม. 2	ผองผดนุ่ม < 5 มม. 2	ผองผดนุ่ม >5 มม. 0
การผุพัง ค่าประเมิน	ไม่ผุ 6	ค่อนข้างผุ 5	ผุปานกลาง 3	ผุสูง 1	เสื่อมสลาย 0
หมวด ฉ ผลของการวางตัวแนวระดับและมุมเทของความไม่ต่อเนื่องในการเจาะอุโมงค์					
แนวระดับตั้งฉากกับแกนอุโมงค์			แนวระดับขนานกับแกนอุโมงค์		
เจาะตามมุมเท มุมเท 45-90°	เจาะตามมุมเท มุมเท 20-45°		มุมเท 45-90°	มุมเท 20-45°	
เอื้ออำนวยมาก	เอื้ออำนวย		เอื้ออำนวยมาก	พอใช้	
เจาะสวนมุมเท มุมเท 45-90°	เจาะสวนมุมเท มุมเท 20-45°		แนวระดับไม่ค้ำยันถึง มุมเท 0-20°		
พอใช้	ไม่เอื้ออำนวย		พอใช้		

Sopaci and Akgün (2008) ได้สำรวจทางธรณีวิศวกรรมและออกแบบค้ำยันอุโมงค์ Boztepe ของทางหลวงวงนอก Ordu ตั้งอยู่ตุรกีตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะมวลหินในอุโมงค์ Boztepe ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินฟลิช (ส่วนใหญ่การแปรเปลี่ยนของหินทรายดินมาร์ลและหินทรายแป้ง) และหินตะกอนภูเขาไฟ (หินกรวดมนภูเขาไฟและหินถ้ำภูเขาไฟ) การสำรวจทางธรณีวิศวกรรมดำเนินการ 3 ขั้นตอน คือ ผิวดิน ใต้ดินและห้องปฏิบัติการ โดยได้ใช้ระบบการจำแนกมวลหิน (ระบบการจำแนกธรณีกลศาสตร์ (Geomechanics) RMR, ระบบคิวดาบันธรณีเทคนิคนอร์เวย์ (Norwegian Geotechnical Institution Q-system) และดัชนีกำลังทางธรณีวิทยา

(Geological Strength Index), GSI) ผ่านสารสนเทศที่ได้จากการสำรวจทางธรณีวิศวกรรม ได้เจาะสิบลูกกลมมีความยาวทั้งสิ้น 1497 เมตร อันช่วยให้การจำแนกมวลหินชัดเจน ตัวอย่างหินประมาณเจ็ดสิบลูกก้อนได้นำไปสำหรับทดสอบกลศาสตร์หิน สารสนเทศที่ได้จากขั้นตอนการสำรวจทางธรณีวิศวกรรมทั้งหมดได้ไปจัดการคุณลักษณะของมวลหินที่ระดับความสูงของอุโมงค์ ในความพยายามตรวจสอบถึงความสมเหตุสมผลของสมการการค้ำยันอุโมงค์ของระบบการจำแนกมวลหินชนิดหลากหลาย ได้ปฏิบัติการวิเคราะห์ความเค้นรอบเปิดหน้าอุโมงค์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ส่วนประกอบกำหนดขอบ 2 มิติ (the 2D finite element analysis program) ชื่อว่า Phase2 ได้ใช้ข้อมูลป้อนเข้าเป็นข้อมูลมวลหินได้จากระบบการจำแนกมวลหินต่างๆ ในการวิเคราะห์เหล่านี้พบว่าระบบค้ำยันที่ได้นำเสนอในรูปสมการประสบผลสำเร็จแก่การป้องกันการเปลี่ยนรูปรอบที่เปิดหน้างานอุโมงค์

การหาค่ากำลังของมวลหินที่มีแนวแตกใกล้เคียงกันเป็นเรื่องยุ่งยาก เนื่องจากขนาดของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแทนใหญ่เกินกว่าสำหรับทดสอบในห้องทดลอง ความยุ่งยากนี้ผ่านพ้นไปได้โดยใช้เกณฑ์พิบัติของ Hoek-Brown นับตั้งแต่มิมีการเปิดตัวในปี 1980 เกณฑ์ได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นและขยายเวลาหลายปี โดยเฉพาะเนื่องจากขีดจำกัดในการประยุกต์แก่มวลหินคุณภาพต่ำ แม้เปิดตัวดัชนีกำลังทางธรณีวิทยา รุ่นล่าสุด (geological strength index -GSI) อย่างไรก็ตามรูปแบบการจำแนก GSI ยังยึดแบบเดิมนำไปสู่การประมาณการค่า GSI ได้แบบหยาบ โดยเฉพาะยังขาดแนวชี้แนะชัดเจนในประเด็นการใช้รายการมวลหินคงสภาพกับมวลหินเสียหายเพื่อหาปัจจัยอยู่ในเกณฑ์ นอกเหนือจากนี้ข้อมูลการค้ำยันได้ปรับปรุงใหม่ในบางรายการ โดยเฉพาะรุ่นล่าสุดไม่ได้เผยแพร่ ทำให้ลำบากแก่การตัดสินใจถึงความถูกต้อง Sonmez and Ulusay (1999) ได้ศึกษาเพื่อทำให้ได้ปริมาณพื้นฐานมากขึ้นสำหรับประเมินค่า GSI ได้เสนอการดัดแปลงบางประการไว้ โดยแนะนำปัจจัยวัดได้อย่างง่ายกับประเมินค่าและหรือช่วงซึ่งนิยามเป็นแท่งก้อนและสภาพผิวของความไม่ต่อเนื่อง นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการที่ประเมินอิทธิพลของการเสียหายของตัวค้ำของมวลหินอันเนื่องมาจากวิธีการเปิดหน้า การดัดแปลง GSI และเสนอวิธีประยุกต์ความไม่เสถียรภาพของความลาดในกรณีอดีตเลือกมาจากประเทศตุรกีโดยทำการวิเคราะห์ย้อนกลับ อภิปรายความถูกต้องของเกณฑ์และระเบียบวิธีการของการประเมินปัจจัย ได้แสดงให้เห็นจากการยืนยันสภาพการพิบัติในแต่ละกรณี เมื่อพิจารณาการดัดแปลงเสนอไว้และสภาพมวลหินเสียหาย ผิวพิบัติที่วิเคราะห์สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนปลอดภัย ตามผลที่ได้ยังเสนอแผนภูมิประเมินผลกระทบของการเสียหายในพจน์ของวิธีการเปิดหน้างาน การวิเคราะห์ย้อนกลับของความไม่เสถียรภาพระบุว่าวัสดุเสาเข็มประกอบด้วยเศษหินก้อนและเหลี่ยมสามารถจัดเป็นมวลหินแตกสลายไว้ในการจำแนก GSI และ

เกณฑ์ดูเหมือนว่าประยุกต์ได้กับวัสดุดังกล่าว อย่างไรก็ตามวิธีการเสนอแนะไว้ที่นี้ยังต้องปรับแก้จากการข้อมูลเพิ่มเติมจากการพิบัติความลาดก่อนสามารถสูตรแนะแนวแม่นยำได้

Gurocak et al. (2007) เสนอสมบัติทางธรณีวิศวกรรมและการออกแบบระบบการค้ำยันของเขื่อน Boztepe เป็นหน่วยหิน basalt และ tuffites ในรูปแบบเชิงประจักษ์และเชิงตัวเลขถูกมาใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบความปลอดภัย โดยเน้นการออกแบบอุโมงค์ที่ปลอดภัย การศึกษามวลหินใช้วิธีการเชิงประจักษ์คือการให้คะแนนแก่มวลหินแบบ RMR, Q และ GSI โดยใช้ข้อมูลภาคสนามและดัชนีสมบัติเชิงกลทดสอบในห้องปฏิบัติการ การเสนอระบบการค้ำยันที่ต้องการที่ได้เสนอในรูปแบบตามการจำแนกมวลหินที่แตกต่างกัน การออกแบบระบบการค้ำยันใช้ระบบซอฟต์แวร์พื้นฐานตามวิธีการ finite element method (FEM) การคำนวณปัจจัยโดยวิธีการเชิงประจักษ์ถูกใช้เป็นข้อมูลในการป้องกันปัจจัยสำหรับการวิเคราะห์ FEM ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าในการออกแบบที่เชื่อมีความน่าเชื่อถือได้ และมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น สามารถใช้ควบคู่กับวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงประจักษ์และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

Lim et al. (2000) ศึกษาการพิบัติแบบระนาบของความลาดหิน โดยวิธีการถ่ายโอนตาข่ายมิติ การถ่ายโอนตาข่ายมิติมีการใช้อย่างกว้างขวางในการประเมินเสถียรภาพของความลาดหิน ผลจากการประเมินโดยการถ่ายโอนตาข่ายมิติไม่สามารถแสดงในเชิงปริมาณได้ จึงเป็นเรื่องค่อนข้างยากในการนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบความลาดหิน การเสนอวิธีวิเคราะห์ขอบเขตจำกัด (limit analysis method) จากผลการถ่ายโอนตาข่ายมิติและการคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยที่ระดับแตกต่างกันในวงวัฒนธรรม (daylight envelope) อันแสดงถึงพื้นที่โอกาสพิบัติบนตาข่ายมิติ ค่ามุมเทและแนวเทของความไม่ต่อเนื่องที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของจุดขั้วในวงวัฒนธรรม แสดงถึงน้ำหนักและระดับอัตราส่วนปลอดภัยที่แตกต่างกันในวงวัฒนธรรม ได้แบ่งระดับอัตราส่วนปลอดภัยในวงวัฒนธรรมออกเป็น 5 ระดับ จากวิธีการถ่ายโอนตาข่ายมิติ สำหรับประยุกต์ใช้ในภาคสนาม สิ่งอำนวยความสะดวกหลายพื้นที่ เช่น ถนน ระบบรางรถไฟ เขื่อน เป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพชีวิตและพัฒนาเศรษฐกิจโดยรวม สิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมาก และมีจำนวนครั้งของการพังทลายหรือการพิบัติเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีเทคนิคในการวิเคราะห์มากมายที่พัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกและยับยั้งการพิบัติ ของความลาดและการเพิ่มระบบการค้ำยันใหม่ๆ ประยุกต์กับความลาด (Yu et al., 2000)

Lim and Yang (2004) ศึกษาการวิเคราะห์การพิบัติแบบระนาบของหน้าความลาด โดยการถ่ายโอนตาข่ายมิติ กล่าวว่าการถ่ายโอนตาข่ายมิติเป็นวิธีการที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการประเมินหรือวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดหิน อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์การถ่ายโอนตาข่ายมิติไม่สามารถแสดงในเชิงปริมาณได้ แต่สามารถทำนายโอกาสเกิดการพิบัติของความ

ลาดหินได้ ซึ่งการทำนายเสถียรภาพของความลาดหินมีบทบาทสำคัญต่อการออกแบบงานเขื่อน ถนน อุโมงค์ เหมืองแร่ และทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างอื่นๆ (Davis, 1987) วิธีการในการถ่ายโอนตาข่ายมิติเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้กับทุกความลาดหินในการประเมินโอกาสการพิบัติและออกแบบการค้ำยันให้มีความมั่นคง (Yu et al., 2000) จากการลงตำแหน่งของจุดขั้ว (Pole) ลงใน Daylight envelope ซึ่งได้จากการวัดค่าความไม่ต่อเนื่องของมวลหินด้วยค่ามุมเท (Dip angle) และแนวเท (Dip direction) พื้นที่หน้าความลาดหิน รวมถึงการคำนวณค่าความปลอดภัยจากการลงตำแหน่งของจุดขั้ว ใน Daylight envelope โดยแบ่งระดับความเข้มข้นของค่าความปลอดภัยเป็น 5 ระดับ

Markland (1972) เสนอการพิบัติแบบลิ้มที่เกิดจากการตัดกันของแนวแตก แนวที่ตัดกันอยู่ใน Daylight บนผิวความลาด สำหรับการตัดกันของแนวแตกทิศทางกดลงควรจะน้อยกว่าค่ามุมเทของหน้าความลาดและมีค่ามากกว่ามุมเสียดทานของระนาบแนวแตก การไหลการพิบัติแบบลิ้ม Markland อธิบายว่าทิศทางมุมตัดกันของแนวแตกควรมีค่าน้อยกว่าค่ามุมความลาดและมีค่ามากกว่าค่ามุมเสียดทานของแนวแตก ถ้าเกิดการตัดกันของ 2 แนวแตกมีโอกาสเป็นไปได้ของการพิบัติแบบรูปลิ้ม

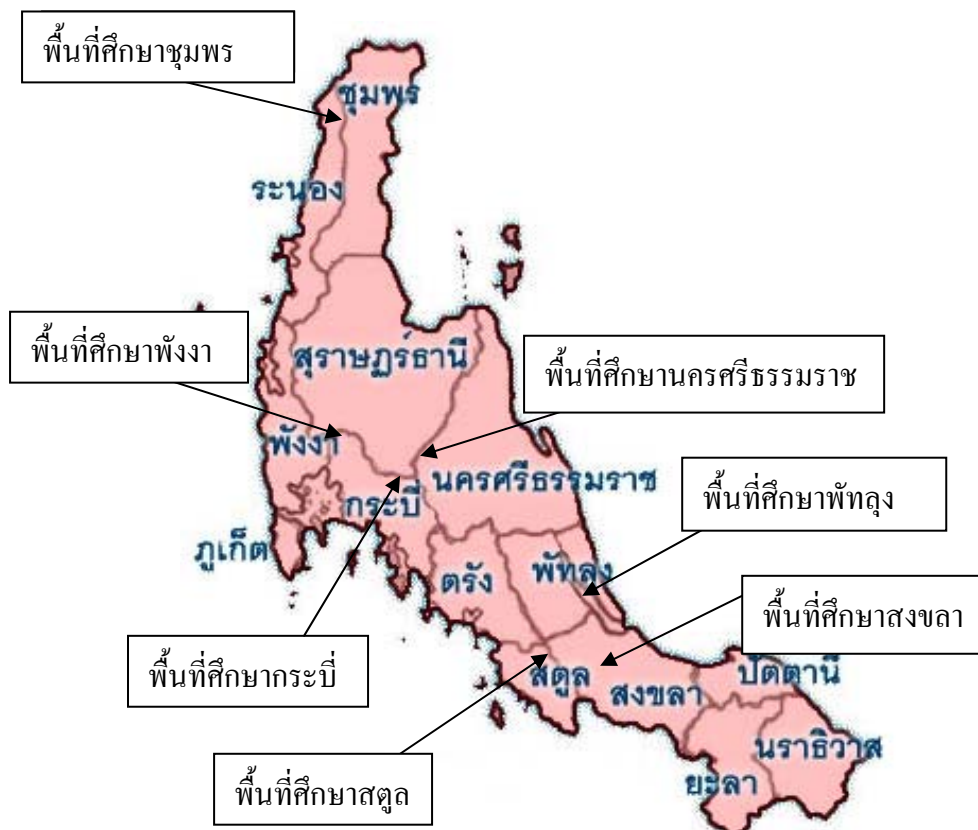
Hocking (1976) ได้แบ่งรูปแบบการพิบัติแบบรูปลิ้ม ออกเป็น 2 รูปแบบ ในลักษณะของระนาบไหลรูปลิ้ม ประกอบด้วย ระนาบการไหลแบบระนาบเดี่ยว และระนาบการไหลหลายระนาบ โดยกล่าวว่าการไหลแบบระนาบเดี่ยวรูปลิ้มเป็นการไหลอย่างเดี่ยวของขอบเขตแนวแตกจากฐานของลิ้ม และการไหลหลายระนาบ เป็นการไหลของทั้งสองระนาบแนวแตกที่ขนานไปกับเส้นแนวแตกที่บรรจบกัน

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่หน้างานศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยพื้นที่หน้างานของเหมืองหินคาร์บอนेटพื้นที่ภาคใต้ประเทศไทยจำนวน 7 แหล่งหิน (รูปที่ 2.1) เป็นตัวแทนในการทำวิจัยจังหวัดละ 1 พื้นที่แหล่งหินศึกษา เป็นเหมืองหินคาร์บอนेटที่กำลังดำเนินการผลิตหิน ระเบิด ขุดชน ซึ่งในการเลือกแหล่งหินที่ทำการเก็บข้อมูลศึกษาจากแหล่งหินที่มีการเจาะระเบิดตัดหน้างานเป็นชั้นบันได เพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูลด้านอัตราการเจาะและการเก็บข้อมูลด้านมวลหินของหน้าความลาดหิน การวิเคราะห์เสถียรภาพของหน้าความลาดและการเก็บตัวอย่างหินเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการทดสอบที่เหมาะสมต่อไป พื้นที่หน้างานประกอบด้วย



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งพื้นที่แหล่งหินศึกษาภาคใต้ประเทศไทย

2.1.1 พื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช

อยู่ในอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช (รูปที่ 2.2 ก) บนทางหลวงหมายเลข 41 ช่วงตอน อ.ทุ่งสง-อ.ร่อนพิบูลย์ ตรงหลักกิโลเมตร 243+400 แหล่งหินชื่อ เขาประไพ อยู่ในพื้นที่ตำบลปากแพรก อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์เป็นเทือกเขาหินปูนและมีที่ราบเชิงเขาล้อมรอบ เป็นกลุ่มหินทุ่งสง ซึ่งอยู่ในยุคออร์โดวิเชียน (Ordovician) พื้นที่หน้างานศึกษาได้ดำเนินการเจาะระเบิดเปิดหน้างานเป็นขั้นบันได ในการผลิตหิน ความสูงของหน้างานอยู่ในช่วง 10-12 เมตร ลักษณะหินสีเทาเข้ม เนื้อประสานเชิงเคมี มีสายแร่แคลไซต์ตัดแทรกอยู่ประปราย

2.1.2 พื้นที่หน้างานศึกษาสตูล

อยู่ในอำเภอควนโดน จังหวัดสตูล (รูปที่ 2.2 ข) บนทางหลวงหมายเลข 406 ช่วงระหว่าง อ.รัตภูมิ-สตูลอยู่ตรงหลักกิโลเมตรที่ 51+500 แหล่งหินชื่อ เขาวังบุมากร ลักษณะภูมิประเทศของแหล่งหินเป็นภูเขาโดดทอดตัวยาวชื่อว่า เขาวังบุมากร สูงชันเป็นหน้าผา พื้นที่โดยรอบเป็นที่ราบ อายุแหล่งหินอยู่ในช่วงยุคออร์โดวิเชียน หรือกลุ่มหินทุ่งสง ลักษณะเป็นชั้นหินสลับกับหินดินดาน เป็นหินปูนสีเทา เนื้อประสาน



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.2 พื้นที่หน้างานศึกษา (ก) นครศรีธรรมราช และ (ข) สตูล

2.1.3 พื้นที่หน้างานศึกษากระบี่

พื้นที่แหล่งหินอยู่ในอำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่ (รูปที่ 2.3 ก) เป็นแหล่งหินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian) สีเทาและสีเทาขาว โผล่ให้เห็นทางด้านทิศตะวันตก การดำเนินการผลิตหินได้ดำเนินการถึงขั้นตอนการเปิดเป็นขุมเหมือง และมีบางบริเวณที่ทำการระเบิดเปิดหน้าเป็นชั้นบันได การวางตัวของชั้นหินแทรกสลับกับชั้นดินหนา 1-2 เมตร ที่ระดับความลึกของบ่อเหมือง และแสดงลักษณะของถ้ำโพรงให้เห็นอยู่บริเวณ บางพื้นที่พบการกัดกร่อนของน้ำทะเล และการสะสมตัวของกรวดทรายคละขนาด เป็นหินปูนปนโดโลไมต์ (Dolomitic limestone) เนื้อสีเทาอ่อน เนื้อประสาน

2.1.4 พื้นที่หน้างานศึกษาพังงา

อยู่ในอำเภอทับปุด จังหวัดพังงา (รูปที่ 2.3 ข) พื้นที่แหล่งหินอยู่ในหินยุคเพอร์เมียน (Permian) ของกลุ่มหินราชบุรี (Rat Bui Group) ลักษณะพื้นที่ในปัจจุบันเป็นแหล่งหินปูนที่สะสมตัวอยู่ในที่ราบมีตะกอนหน้าดินปิดทับสีน้ำตาลแดงหนาเฉลี่ยประมาณ 1 เมตร การดำเนินการผลิตหินได้ทำการเปิดเป็นขุมเหมืองลึกลงไปจากระดับพื้นราบประมาณ 5 เมตร และมีบางพื้นที่ที่เปิดหน้างานเป็นชั้นบันได เป็นหินปูนสีเทาเข้มถึงดำมีสายแร่แคลไซต์แทรกอยู่ทั่วไป เนื้อประสาน



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 พื้นที่หน้างานศึกษา (ก) กระบี่ และ (ข) พังงา

2.1.5 พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร

อยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดชุมพร (รูปที่ 2.4 ก) ช่วง แหล่งหินปูนจังหวัดชุมพร จัดอยู่ในหมวดหินชุมพร (Chumphorn Formation) กลุ่มหินราชบุรี (Rat Buri Group) ยุคเพอร์เมียน (Permian) ลักษณะแหล่งหินเป็นเขาลูกโตคขนาดใหญ่วางตัวแนวเหนือ-ใต้ ได้ทำการเปิดหน้างานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผลิตหิน และส่วนที่ดำเนินการพัฒนาตัดยอดเขาเพื่อปรับเป็นลานกว้าง พื้นที่หน้างานศึกษาได้ทำการเปิดเป็นขั้นบันได มีความสูงอยู่ในช่วง 6-10 เมตร เป็นหินปูนสีเทาเนื้อประสานละเอียด

2.1.6 พื้นที่หน้างานศึกษาสงขลา

อยู่ในอำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา (รูปที่ 2.4 ข) แหล่งเขาชื่อ เขาภูเขา เป็นลักษณะแนวเขาหินปูน ยุคไทรแอสซิก ได้มีการเปิดหน้าเพื่อทำการผลิตหิน บริเวณพื้นที่ส่วนยอดของภูเขา ชั้นดินบางส่วนแทรกอยู่ตามรอยแตกหรือโพรงของหินพบได้ทั่วไป และมีหินกรวดเหลี่ยมและหินฟอสฟอไรต์อยู่เป็นกระเปาะตามซอกหลืบรอยแตกของหิน (คนพล 2553) สังเกตได้จากสภาพหน้าเหมืองที่เปิดทำเหมืองแล้ว เป็นหินปูนสีเทาอ่อนประสมสีน้ำตาลชมพู เนื้อประสานปานกลาง มีผลึกแคลไซต์สีน้ำตาลติดอยู่ทั่วไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 พื้นที่หน้างานศึกษา (ก) ชุมพร และ (ข) สงขลา

2.1.7 พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง

อยู่ในพื้นที่อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง (รูปที่ 2.5) มีลักษณะเป็นเขาลูกโดด จัดอยู่ในชุดหินลำปาง ยุคไทรแอสซิก (Triassic) พบอยู่ทางทิศตะวันออกของอำเภอควนขนุน ชั้นหินแสดงลักษณะการวางตัวที่ชัดเจน (well bedded) ชั้นหินบางสลับกันของหินสีเข้มและสีจาง เป็นหินปูนสีเทา เนื้อประสานปานกลาง



รูปที่ 2.5 พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง

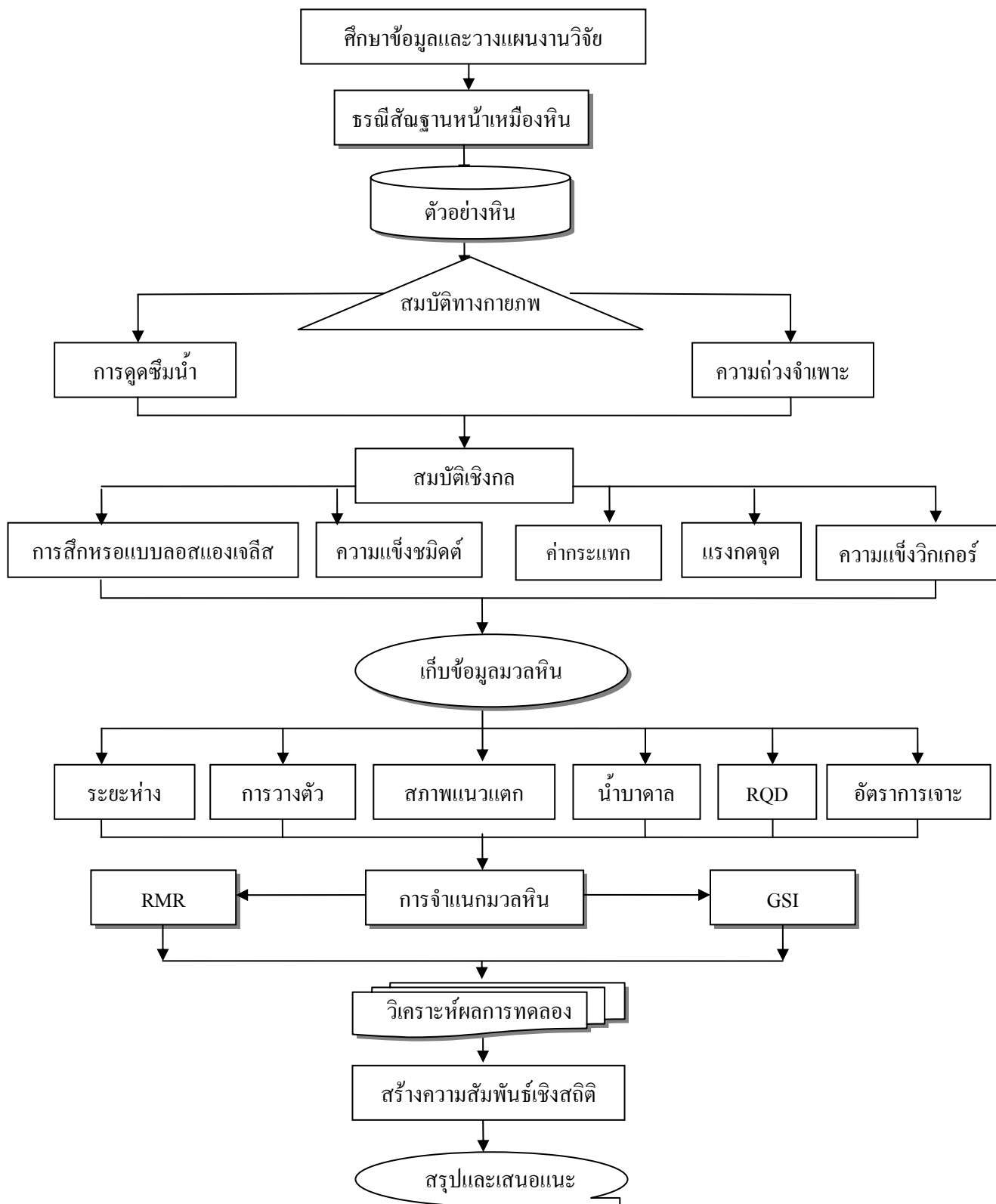
2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์และเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

1. เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vicks hardness test)
2. ค้อนทดสอบความแข็งกระดอนชนิดชมิตซ์ชนิด N (Schmidt Rebound Hammer)
3. เครื่องบดย่อยหิน (Jaw crusher)
4. เครื่องทดสอบแรงกดจุดแบบหิ้ว (Portable Point Load Test Equipments)
5. เครื่องทดสอบความทนขัดสีแบบลอสแอนเจลีส (Los Angeles Abrasion Machine)
6. เครื่องทดสอบการกระแทก (Impact test Apparatus)
7. ชุดตะแกรงคัดขนาด
8. เข็มทิศ (Brunton Compass) ค้อนธรณี เวอร์เนียคาลิเปอร์
9. เครื่องตัดหิน ขัดหิน (Cutting and Polish Machines)

2.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้คือ (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.3.1 การเก็บข้อมูลในภาคสนาม

ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา บริเวณหน้าเหมืองหินหรือแหล่งหินของโรงโม่ โดยทำการทดสอบความแข็งด้วยค้อนกระดอนชนิดวัดค่าโครงสร้างทางธรณีวิทยา ได้แก่ ขั้นตอนการวางตัว แนวแตก รอยเลื่อน รูปลักษณะของความไม่ต่อเนื่อง อัน ได้แก่ ช่วงห่าง ความเปิดอัด ชนิด ผงูด การวางตัว ความขรุขระของผิวน้ำบาดาล การสำรวจทางธรณีวิทยาขั้นละเอียด โดยได้วัดค่าแนววางตัวของความไม่ต่อเนื่อง ในรูปของค่าแนวเทและมุมเท การเก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่หน้าเหมืองหินทำการศึกษา 5 หน่วยงานศึกษาต่อ 1 เหมืองหิน รวมหน่วยงานทั้งหมดที่ทำการเก็บข้อมูล 35 หน่วยงานศึกษา ข้อมูลที่ได้นำมาใช้ควบคู่กับสมบัติของมวลรวมที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินการจำแนกมวลหินระบบ Rock Mass Rating (RMR) และ GSI รวมถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพของหน้าความลาด โดยการถ่ายโอนตาข่ายมิติ ซึ่งการประเมินการจำแนกมวลหินที่ได้หาความสัมพันธ์กับอัตราการเจาะแบบกระแทกและสมบัติของมวลรวมต่อไป

การศึกษ้อัตราการเจาะของรตเจาะแบบกระแทกในการเจาะรูระเบิด บริเวณพื้นที่ หน่วยงานที่สัมพันธ์กับการศึกษาข้อมูลด้านโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยการบันทึกเวลาของรตเจาะในการเจาะรูระเบิดของการเจาะ โดยใช้เวลาในการเจาะจริง ไม่รวมเวลาในการเปลี่ยนก้านเจาะ ต่อ ก้านเจาะ การย้ายตำแหน่งหลุมเจาะและเวลาที่เสียไปในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เนื่องจากแต่ละพื้นที่แหล่งหินศึกษาใช้รตเจาะที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษ้อัตราการเจาะแบบกระแทกของการเจาะรูระเบิดของเหมืองหินคาร์บอนेट จึงต้องใช้ช่วงของกำลังเครื่องยนต์ของรตเจาะ โดยกำลังของรตเจาะที่ใช้ในการเจาะ ได้แก่ อัตรากระแทก 2250-2500 ต่อนาที, จำนวนรอบหมุน 0-250 ต่อนาที, ความเร็วส่งผ่าน 0-3.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, ส่งผ่านอากาศ 5.0-7.1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที, ความดันอากาศทำงาน 1.03 เมกะพาสคัล, เส้นผ่านศูนย์กลางดอกเจาะ 65-102 มิลลิเมตร, ความยาวก้านเจาะ 3050 มิลลิเมตร (10 ฟุต)

2.3.2 การเก็บตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างมวลรวมหินคาร์บอนेटเก็บรวบรวมจากพื้นที่หน้างานที่ทำการเจาะของแต่ละแหล่งหิน ที่ทำการศึกษา แบ่งพื้นที่แหล่งหินละ 5 ตำแหน่งหน้างาน เพื่อทดสอบสมบัติมวลรวมประกอบด้วยสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ตัวอย่างมวลรวมประกอบด้วยขนาดก้อนไม่สม่ำเสมอขนาดก้อน 50 ×30 เซนติเมตร 25-30 ก้อนตัวอย่างต่อ 1 หน้างาน และขนาดก้อนประมาณ 30×20

เช่นติเมตร 3 ก้อนตัวอย่างต่อ 1 หน่วยงาน ก้อนตัวอย่างทดสอบทำการล้างและอบให้แห้ง เพื่อให้ น้ำหนักคงที่ เตรียมสำหรับการทดสอบ การดูดัชนีน้ำ ความถ่วงจำเพาะ ดัชนีกำลังแรงกดจุด และทำการบดคัดขนาด ทดสอบการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส ค่ากระแทก ก้อนตัวอย่างทำการตัดให้มีขนาดประมาณ 2×3 เซนติเมตร ทดสอบความแข็งวิกเกอร์ และก้อนตัวอย่างขนาด 30×20 เซนติเมตร ทดสอบความแข็งกระดอนก้อนซมิคต์

2.3.3 ลักษณะก้อนตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบเก็บรวบรวมจากพื้นที่แหล่งหินศึกษา ทั้ง 7 แหล่ง (รูปที่ 2.7 ก-ข) ขนาดก้อนไม่สม่ำเสมอประมาณ 10×50 เซนติเมตร และก้อนใหญ่ขนาดประมาณ 30×20 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ตัวอย่างมวลรวมมีลักษณะสีเทาถึงเทาเข้มแกมดำ ได้แก่ พื้นที่ศึกษา ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา และสงขลา และสีเหลืองปนน้ำตาล ถึงเทาจาง ได้แก่ พื้นที่แหล่งหินศึกษา กระบี่ พัทลุง และสตูล มักพบสายแร่แคลไซต์แทรกเนื้อหิน

2.3.4 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาในห้องปฏิบัติการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย การดูดัชนีน้ำ และความถ่วงจำเพาะของมวลรวมทดสอบ และการทดสอบสมบัติเชิงกล ประกอบด้วย การทดสอบดัชนีกำลังแรงกดจุด การทดสอบการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส การทดสอบค่ากระแทก และการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ โดยแบ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลเป็น 2 กลุ่มซึ่งตัวอย่างมวลรวมหินคาร์บอนเนตทดสอบขนาดก้อนไม่สม่ำเสมอล้างทำความสะอาด และอบให้น้ำหนักคงที่ก่อนทดสอบการดูดัชนีน้ำและความถ่วงจำเพาะ ตัวอย่างทดสอบก้อนไม่สม่ำเสมอทดสอบดัชนีกำลังแรงกดจุด และทำการบดย่อยด้วยเครื่องบดปากงับ (Jaw crusher) และคัดขนาดตามขนาดมวลรวมทดสอบในการทดสอบการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและการทดสอบการกระแทก ตัวอย่างทดสอบขนาดแท่งก้อนทำการตัดให้มีขนาด 0.50×0.30×0.05 เมตร โดยใช้เครื่องตัดหินและขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทรายสำหรับการทดสอบหาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างมวลรวมของพื้นที่แหล่งหินศึกษา ก) ชุมพร ข) กระบี่ ค) นครศรีธรรมราช ง) พัทลุง จ) พังงา ฉ) สตูล และ ช) สงขลา

2.4 การทดสอบ

2.4.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

ค่าการดูดซึมน้ำ (ASTM C127) คือ ปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไปจนเต็มช่องว่างของรูเล็ก (Capillary pores) ของมวลรวม แต่ไม่รวมน้ำที่เกาะอยู่ที่ผิวนอกของมวลรวม (Free water) แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในช่องว่างต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอบแห้ง ตัวอย่างมวลรวมนำไปแช่ในน้ำให้จมนิดเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ให้พอเพียงแก่น้ำเข้าไปแทนที่โพรง จนหมด นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ และเช็ดด้วยผ้าจนผิวของวัสดุแห้งหมด และชั่งน้ำหนักในอากาศ ตัวอย่างหินทดสอบทำการชั่งน้ำหนักในน้ำ นำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 24 ± 4

ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ในโถดูความชื้นประมาณ 30 นาที ให้อุณหภูมิลดลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำตามสมการ 2.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของหินอ่อนน้ำผิวแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักของหินอบแห้ง}} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.4.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ (ASTM C127) คือ อัตราส่วนของมวล (น้ำหนักซึ่งในอากาศ) ใน
หนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุกับมวลของน้ำที่มีปริมาตรเดียวกัน ณ อุณหภูมิเดียวกัน ในการทดสอบ
ใช้มวลรวมขนาดใหญ่กว่า 37.5 มิลลิเมตร มวลรวมทดสอบนำไปแช่น้ำให้จมนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
ให้เพียงพอที่น้ำเข้าไปแทนที่ ช่องว่าง หรือโพรงจนหมด ชั่งน้ำหนักของมวลรวมในน้ำ ตัวอย่าง
ทดสอบเช็ดผิวให้แห้งหมด และชั่งน้ำหนักในอากาศ จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบไปอบแห้งที่
อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง ปล่อยให้อุณหภูมิลดลง 1-3 ชั่วโมง พอสามารถหยิบได้
แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณความถ่วงจำเพาะของมวลรวมได้จากสมการ (2.2)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่อบแห้งซึ่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักที่อ้อมตัวผิวแห้งซึ่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักที่อ้อมตัวซึ่งในน้ำ}} \dots\dots (2.2)$$

2.4.3 ดัชนีกำลังแรงกดจุด (Point load strength index)

ทดสอบแบบก้อนไม่สม่ำเสมอ เก็บรวบรวมจากพื้นที่หน้าเหมืองหินของเหมืองหิน
คาร์บอนेट ก้อนตัวอย่างทดสอบจำนวน 25-30 ก้อนต่อ 1 หน้างานที่ศึกษา ค่าที่ได้เฉลี่ยเป็นของ 1
หน้างานนั้น เครื่องมือทดสอบ ประกอบด้วยหัวกรวยรูปกรวย และเครื่องบีบไฮดรอลิกสำหรับอัดแรง
พร้อมแท่นและมาตรวัดความดัน ดัชนีกำลังแรงกดจุด $I_{s(50)}$ นิยามไว้ว่าเป็นแรงพิบัติหารด้วยกำลังสอง
ของเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. ค่าที่ได้จากหินทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 50 มม. ต้องมี
การปรับแก้ วิธีการนี้มีการใช้กันแพร่หลายในทางปฏิบัติวิศวกรรมศิลา (ISRM, 1981) เพราะสามารถ
ดำเนินการได้สะดวกในภาคสนามและห้องปฏิบัติการทดสอบ

การคำนวณและปรับแก้ค่า (Calculation and Correction)

กำลังแรงกดจุดที่ไม่ได้ปรับแก้ค่า คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$I_s = P/D^2 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

เมื่อ P = แรงที่ให้ หน่วยเป็น นิวตัน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางแท่งทรงกระบอก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

กรณีทดสอบแบบเส้นผ่านศูนย์กลาง

ค่า $D_e = D$ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าดัชนีกำลังแรงกดจุดที่ปรับแก้ $I_{s(50)}$ คือ

$$I_{s(50)} = (D / 50)^{0.45} \times I_s \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

กรณีทดสอบแบบแนวแกน แท่งก้อนและชิ้นก้อนไม่สม่ำเสมอ

ค่า $D_e^2 = D^2 = 4A/\pi$ และค่า $A = W.D$ คือพื้นที่หน้าตัดภาคตัดขวางน้อยที่สุดของระนาบที่ผ่านเดือยที่ติดกับแป้น ค่าดัชนีกำลังแรงกดจุดที่ปรับแก้ $I_{s(50)}$ คือ

$$I_{s(50)} = (D_e / 50)^{0.45} \times I_s \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

การปรับแก้ขนาด (Size Correction)

กรณีทดสอบแท่งหินขนาดที่ไม่ใช่ 50 มม. หรือถ้าชิ้นเล็กชนิดน้อยเท่านั้น การปรับแก้ค่าอาจรวมกันได้เป็นสมการ

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

เมื่อ F คือตัวประกอบปรับแก้ขนาด (size correction factor)

ดัชนีกำลังแรงกดจุด $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแรงกดตามเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อเทียบสัมพันธ์กับกำลังอัดแกนเดียว (σ_c) โดยสมการ

$$\sigma_c = 22I_{s(50)} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

2.4.4 การทดสอบค่ากระแทก (Impact Test)

ค่ากระแทกสำหรับมวลรวม ใช้วัดความสัมพันธ์ของความเหนียวแน่นหรือความต้านทานต่อภาวะการฉีกแตกอย่างฉับพลัน ค่านี้เป็นนัยสำคัญในการใช้ของมวลรวมสำหรับงานทางหลวง ลานสนามบิน พื้นที่รับน้ำหนักมาก เป็นต้น ค่ากระแทกแสดงเป็นอัตราส่วนของน้ำหนัก

ตารางที่ 2.1 การจัดพิกัดกำลังแรงกดจุดของหินนำมาทดสอบ (ที่มา ดนุพล, 2551)

ลำดับชั้น	พจน์	กำลังแรงกดจุด	
		Deere หน่วย MPa	Bieniawski หน่วย MPa
1	กำลังสูงมาก	>10	>8
2	กำลังสูง	5-10	4-8
3	กำลังปานกลาง	2.5-5	2-4
4	กำลังต่ำ	1.5-2.5	1-2
5	กำลังต่ำมาก	0.0-1.25	0-1

ของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มม. (หลังจากมวลรวมได้ผ่านชั้นตอนมาตรฐานปล่อยกระทุ้ง 15 ครั้ง) ต่อน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างที่เลือกทดสอบ หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (ASTM C127-01) ตัวอย่างทดสอบคัดขนาดผ่านตะแกรง 12.5 มม. และล้างตะแกรง 10 มม. อบที่อุณหภูมิ $110^{\circ}\pm 5$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เทตัวอย่างทดสอบลงในกระบอกวัดมาตรฐานให้เทใส่ลงไปเป็นชั้น มีความหนาเท่ากัน แล้วแต่ละชั้นให้มีการกระทุ้งวัสดุทดสอบให้แน่นเต็มกระบอกพอดีซึ่งหาค่าน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด (W) นำลูกถ้วยกระบอกเหล็กไปยึดติดแน่นกับแผ่นรองด้านข้างล่างของเครื่องทดสอบกระแทก ปล่อยค้อนโลหะกระแทกอย่างอิสระ 15 ครั้ง จากนั้นเทตัวอย่างมวลรวมออกจากลูกถ้วยร่อนผ่านตะแกรง 2.36 มม. ซึ่งน้ำหนักมวลรวมที่ผ่านตะแกรง (W_1) ค่ากระแทกประมาณได้จากสมการ

$$\text{ค่ากระแทก} = \frac{W_1}{W} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักของมวลรวมที่ลอดผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มม.

W = น้ำหนักมวลรวมทั้งหมด

2.4.5 การทดสอบการสึกหรอบแบบลอสแอนเจลีส (Los Angeles abrasion test)

การทดสอบนี้เพื่อหาค่าความต้านทานการสึกกร่อนของหินโดยใช้เครื่องทดสอบลอสแอนเจลีส (ASTM C131-01) บดย่อยตัวอย่างหินทดสอบด้วยเครื่องบดปากงับ (Jaw crusher) และคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน ตามขนาดละเอียดของมวลรวมทดสอบแบบ A การทดสอบทดสอบแบบ A (ตารางที่ 2.2 และ 2.3) ใช้มวลรวมหยาบ 4 ขนาด ตามตารางที่ 2.2 (37.5-25, 25-

19,19-12.5 และ 12.5-9.5 มม.) แต่ละขนาดของมวลรวมน้ำหนัก 1.25 กิโลกรัม น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างมวลรวมทดสอบ 5.00 กิโลกรัม ทำการอบและทดสอบด้วยเครื่องขัดสีแบบลอสเองเจลีส์ จำนวนรอบหมุน 100 รอบ และ 500 รอบ ความเร็วรอบหมุน 30-33 รอบต่อนาที ตัวอย่างทดสอบผ่านตะแกรงเบอร์ 12 จำนวนเปอร์เซ็นต์การสึกหรอ ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงคุณภาพของหินในการต้านทานการสึกกร่อนและการกระแทก จากการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นกับมวลรวม จากการกระแทกและการเสียดสีกับลูกเหล็กกลม ซึ่งมีขนาดตามที่กำหนดและมีจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดคละของตัวอย่างทดสอบ ในขณะที่ถึงหมุนรอบตัวเองจะมีแผ่นเหล็กที่ตั้งฉากกับผนังของถัง จะพาตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กกลมขึ้นไปพร้อมๆ กัน เมื่อตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กกลมอยู่สูงขึ้นไปจะตกลงมากระแทกกับผนังด้านตรงข้ามในถังเหล็ก กระบวนการนี้จะทำซ้ำกันไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนรอบที่กำหนด จากมาตรฐาน ASTM C 33

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การสึกหรอ (Percentage of wear)

$$W = \frac{W_1 - W_{500}}{W_1} \times 100\% \quad \text{สำหรับขนาดเล็กกว่า 37.5 มม. (2.9)}$$

ตัวประกอบภาวะความเอกรูป (Uniformity factor- UF)

$$UF = \frac{W_1 - W_{100}}{W_1 - W_{500}} \quad \text{สำหรับขนาดเล็กกว่า 37.5 มม. (2.10)}$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักมวลรวมหินทดสอบ หน่วยกรัม

W_{100} = น้ำหนักมวลรวมหินทดสอบ หลังหมุน 100 รอบ หน่วยกิโลกรัม

W_{500} = น้ำหนักมวลรวมหินทดสอบ หลังหมุน 500 รอบ หน่วยกิโลกรัม

2.4.6 การทดสอบความแข็งกระดอนค็อนซมิคต์ (Schmidt Rebound Hardness)

ค็อนซมิคต์ประกอบด้วยตัวเด็ยกด (Plunger) ติดกับสปริงและกระบอก ในการปฏิบัติตัวเด็ยกดถูกดันให้สัมผัสกับผิวก้อนหินตัวอย่าง และจะค็อยกดสปริงภายในของค็อน เมื่อการอัดของสปริงถึงระดับค่าให้ไว้ก่อน กลไกอัตโนมัติจะคลายสปริงออก และส่งผ่านพลังงานที่เก็บสำรองไปสู่ตัวกระบอก โดยการติดกลับของกระบอกที่กระทำกับตัวเด็ยกด ความยาวของตัวเด็ยกดที่กระดอนขึ้นมาบนขีดมาตราส่วนที่ระบุ และนั่นคือค่าความแข็งกระดอน (ASTM C805) ตัวเครื่องทดสอบสามารถพกพาได้และสามารถใช้ได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม โดยทั่วไปค่าค็อนซมิคต์ขึ้นอยู่กับทิศทางการกดสัมผัสกับหน้าหิน ซึ่งต้องมีการปรับแก้ค่าดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 ลำดับขนาดของตัวอย่างทดสอบ (วัสดุเล็กกว่า 37.5 มม.) (ที่มา ISRM, 1981)

ขนาดของตะแกรงร่อน		น้ำหนักมวลรวม (กรัม) ตามขนาดของมวลรวมหยาบ (กรัม)			
ผ่าน (มม.)	ค้าง (มม.)	A	B	C	D
37.50	25.00	1250±25	-	-	-
25.00	19.00	1250±25	-	-	-
19.00	12.50	1250±25	2500±10	-	-
12.50	9.50	1250±25	2500±10	-	-
9.50	6.30	-	-	2500±10	-
6.30	4.75	-	-	2500±10	-
4.75	2.36	-	-	-	5000±10
รวม		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

ตารางที่ 2.3 น้ำหนักและจำนวนลูกบดเหล็กขัดสีที่ใช้ทดสอบต่างกัน (ที่มา ISRM, 1981)

ชนิดทดสอบ	จำนวนลูกเหล็ก (ลูก)	น้ำหนักลูกเหล็ก (กรัม)
A	12	5.000±25
B	11	4.580±25
C	8	3.300±10
D	6	2.500±10

2.4.7 การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

วิธีทดสอบความแข็งวิกเกอร์ประกอบด้วยการกดวัสดุทดสอบด้วยหัวกดเพชรรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม และมุม 136 องศา ระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม ภายใต้แรงกด 1 – 100 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 10 – 15 วินาที เส้นทแยงที่เกิดเป็นรอยลงบนผิวหน้าของชิ้นหินตัวอย่างภายหลังจากยกแรงกดขึ้น จะวัดโดยกล้องจุลทรรศน์ และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยง พื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะคำนวณ ค่าความแข็ง ได้จากผลแรงกดต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกดที่ได้จากค่าเฉลี่ยเส้นทแยงมุม

(ASTM E29) ค่าความแข็งวิกเกอร์คำนวณได้จากสูตร การให้แรงกดที่แตกต่างกันจะให้ค่าความแข็งที่ทำกันบนวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันดังสมการ (2.12)

ตารางที่ 2.4 ค่าปรับแก้คือนขมิตต์ที่อ่านได้ (ที่มา ดนุพล, 2551)

ค่ากระดอน	ทิศทางมุมกด		ทิศทางมุมเงยขึ้น		แนวราบ
R	X = -90	X = -45	X = +90	X = +45	X = 0
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-0.4	-3.3	-1.7

$$LA = \frac{2 F \sin \frac{136}{2}}{d^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

F = แรงกด หน่วยเป็น กิโลกรัมแรง

d = ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมทั้งสอง

HV = ความแข็งวิกเกอร์

ผลการทดสอบมวลรวมหินคาร์บอนेटสามารถประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานตามข้อกำหนดมาตรฐานการใช้งานของวัสดุหินอุตสาหกรรมชนิดหินก่อสร้างและงานคอนกรีต ได้แก่ ค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 5 สำหรับมวลรวมหยาบในการผสมคอนกรีต ค่าการสึกหรอทดสอบเองเจดิสสำหรับงานคอนกรีตต้องไม่เกินร้อยละ 40 (มาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ก 202/2554) ค่าความถ่วงจำเพาะต้องไม่น้อยกว่า 2.40 (มาตรฐานกรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม มถ. (ท) 101.4-2550) สำหรับวัสดุมวลรวมหินที่ใช้กับงานทางที่เหมาะสม ค่าค่าการสึกหรอแบบทดสอบเองเจดิสต้องไม่เกินร้อยละ 40 สำหรับวัสดุพื้นทางหินคลุก (ทล.-ม. 201/2554) หินคลุกผสม

ซีเมนต์ (ทล.-ม. 203/2532) พื้นทางหินคลุก (มถ. 203-2550) สำหรับงานแอสฟัลต์คอนกรีต (มถ. 209-2550) สำหรับผิวจราจรคอนกรีต (มถ. 201-2550) ค่าการสึกหรอแบบลอสมองเจลีส์ไม่เกินร้อยละ 60 สำหรับวัสดุไหล่ทาง (มถ. 205-2550) และวัสดุพื้นทาง (มถ. 202-2550) และค่าการสึกหรอแบบลอสมองเจลีส์ไม่เกินร้อยละ 35 สำหรับวัสดุรวมผิวจราจรแบบเซอร์เฟซทริตเมนต์ (มถ. 207-2550)

ตารางที่ 2.5 เป็นตารางแสดงค่ามาตรฐานสากลของสมบัติวัสดุหินงานทางและค่าสมบัติวัสดุหินในประเทศไทยที่เหมาะสมสำหรับงานทาง ตารางที่ 2.6 ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติมวลหินคาร์บอนเนตสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.5 ปัจจัยการจำแนกมวลหิน GSI

ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยาจากภาคสนาม และข้อมูลจากห้องปฏิบัติการทดสอบ (ดัชนีกำลังแรงกดจุด) นำมาใช้ควบคู่กันในการพิจารณาการจำแนกมวลหินระบบ RMR การปรับแก้ความลาด SMR และ GSI ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI เป็นปัจจัยพื้นฐานในการคำนวณปัจจัยการเสีรูปและกำลังของมวลหิน แสดงได้ดังสมการ

ปัจจัย Hoek-Brown Criterion (Hoek et al., 2002) สมการที่ 2.13-1.15

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 10a}{2s - 14D}\right) \dots\dots\dots (2.12)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 10a}{9 - 3D}\right) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

ปัจจัย Mohr-Coulomb สมการที่ 2.16-2.19

$$c = \frac{\sigma_{ci}(1+a)s_1(1-am_b\sigma_{3n})m_s m_b \sigma_{ci}^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} \dots\dots\dots (2.15)$$

ตารางที่ 2.5 ค่ามาตรฐานสากลของสมบัติวัสดุหินงานทาง (ที่มา NAASRA, 1976, 1982; Singh, 1978)

การทดสอบ	วัสดุผิวทาง	วัสดุพื้นทาง	วัสดุรองพื้นทาง	งานคอนกรีต
Secondary mineral content % Max (Basic igneous rocks)	25 ⁺	25*	30*	-
Unsound rock content % Max.	3 ⁺	5* ⁺	10*	-
Los Angeles abrasion test (LAA) %	<35	30-40	35-50*	-
Aggregate crushing value (ACV) %	<30* ^o	<30*, <40 ^o	<35	<30
Aggregate impact value (AIV) %	<30 ^o	<40 ^o	-	-
Washing degradation factor (Igneous and Metamorphic rock only)	<60 ⁺	-	-	-
Texas ball mill value (Sedimentary rock only) Max.	>30 ⁺ , >40 ⁺	-	-	-
Sodium sulphate soundness value Max.	Soundness 12%			
Polished stone value (PSV)	>43 ⁺	-	-	-
- Denes Mixes	>47 ⁺	-	-	-
- Open grade Mixes				

หมายเหตุ * ข้อมูลจาก National Association of Austrelien State Road Authorities, 1976

+ ข้อมูลจาก National Association of Austrelien State Road Authorities, 1982

o ข้อมูลจาก Singh, 1978

ตารางที่ 2.6 ค่าสมบัติวัสดุหินในประเทศไทย (ที่มา ส่วนธรณีวิศวกรรม สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ธันวาคม 2547)

ชนิดหิน	UCS* (KSC)		AIV (%)		ACV (%)		PSV		Absorption value (%)		Specific gravity	Water absorption (%)
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย		
หินบะซอลต์ Basalt	2,400-3700	2,995	12.1-14.8	13.9	11.4-14.6	13.4	49.1-51.8	50.1	15-20	17	2.638-2.924	0.5-1.9
หินแกรนิต Granite	1,800-3,650	2,800	13.5-18.2	16.1	19.2-23.8	21.1	48.0-52.0	51.3	21-29	25	2.598-2.750	0.3-1.06
หินปูน Limestone	1,400-2,200	1,760	9.7-14.8	12.5	17.5-26.0	21.5	36.0-44.0	41.0	22-33	28	2.684-2.762	0.15-0.55
หินทราย Sandstone	185-2,350	880	15.3-40.0	23.1	19.2-37.5	26.4	53.0-65.0	59.0	31-75	62	2.237-2.642	1.21-3.8
หินแอนดีไซต์ Andesite	-	2,880	11.0-13.0	11.8	12.0-15.0	13.6	49.4-51.3	50.7	-	22	2.635-2.662	0.7-1.05

หมายเหตุ * ค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) แปลงมาจากการทดสอบ Point load test, PSV = Polished-stone value.

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{-1}}{2(1+a)(2+c)6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{\alpha-1}} \right] \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{เมื่อ } \sigma_{3n} = \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{ct}} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94} \dots\dots\dots (2.19)$$

ปัจจัยกำลังของมวลหินและการเสีรูป สมการที่ 2.20-2.23

$$\sigma_c = \sigma_{ct} \times s^a \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_t}{m_b} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ct} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s)) \left(\frac{m_b + s}{4} \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$E_m (MPa) = 100000 \left(\frac{1 - D_2}{1 + e \left(\frac{28 + 28D - GSI}{11} \right)} \right) \dots\dots\dots (2.23)$$

2.6 อัตราการเจาะแบบกระแทก

สามารถทำได้โดยการจับเวลาของรถเจาะในการเจาะรูระเบิด โดยคิดเฉพาะเวลาในการเจาะ ไม่รวมเวลาในการตอกันเจาะ การถอนก้านเจาะ เวลาการย้ายบูม และเวลาที่เสียไประหว่างการซ่อมหรือเวลาอื่นๆ เวลาที่ได้แต่ละหลุมเจ้านำมาคำนวณค่าเฉลี่ยเวลาในการเจาะจริงหน่วยเมตร ต่อพื้นที่ต่อพื้นที่หน้างานเจาะระเบิด และหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับสมบัติมวลรวมทดสอบและการจำแนกมวลหิน

2.7 การวิเคราะห์ความลาดด้วยวิธีการถ่ายโอนตาข่ายมิติ

การวิเคราะห์การถ่ายโอนตาข่ายมิติเป็นวิธีการหนึ่งที่มีการใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการประเมินความลาดหินพิบัติ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่สามารถแสดงในเชิงปริมาณได้ (Lim et al., 2004) แต่สามารถทำนายโอกาสการพิบัติแบบระนาบ (Planar failure) แบบลิ้ม (Wedge failure) และแบบค่อม (Toppling) ของหน้าความลาดได้ โดยทิศทางการวางตัวของสภาพความไม่ต่อเนื่อง มุมเทและแนวเท (Dip and Dip direction) โดยใช้โปรแกรม DIPS 5.0 ในการวิเคราะห์โอกาสการพิบัติ และสามารถคำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัยของการพิบัติแบบระนาบและแบบรูปลิ้ม โดยจากอัตราส่วนระหว่างรัศมีของมุมเสียดทานต่อระยะทางจากจุดศูนย์กลางของตาข่ายมิติไปยังตำแหน่งจุดขั้ว (Pole) ของค่าความไม่ต่อเนื่องนั้นๆ (ค่ามุมเสียดทานได้จากการประเมินการจำแนกมวลหินแบบ GSI และ RMR) ค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าพื้นที่หน้างานที่ทำการวิเคราะห์มีโอกาสพิบัติ และถ้าค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าพื้นที่หน้างานที่ทำการวิเคราะห์ไม่มีโอกาสพิบัติ อันเป็นการสนับสนุนผลของการวิเคราะห์ความไม่เสถียรภาพความลาดจากการประเมินการจำแนกมวลหินของ SMR และ GSI

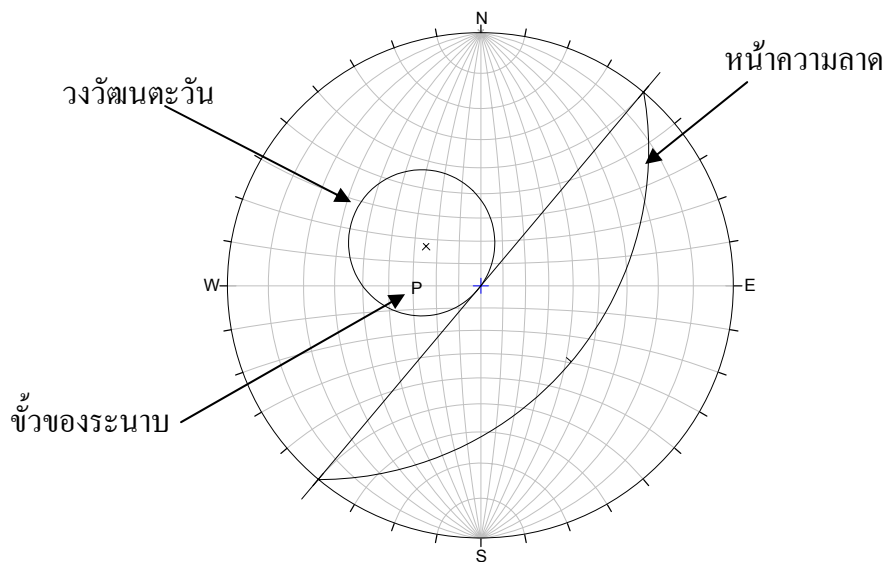
เมื่อ ϕ_{GSI} คือขนาดของมุมเสียดทานที่คำนวณได้จากการจำแนกมวลหินแบบ GSI และ ϕ_{RMR} คือขนาดของมุมเสียดทานที่คำนวณได้จากการจำแนกมวลหินแบบ RMR

J_1 และ J_2 คือชุดของความไม่ต่อเนื่องที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ SF คือ ค่าความปลอดภัย ที่คำนวณได้จากตำแหน่งของจุดขั้วของความไม่ต่อเนื่องที่มีโอกาสเกิดการพิบัติแบบระนาบและแบบรูปลิ้มตามขนาดของมุมเสียดทานที่ได้จาก ϕ_{RMR} และ ϕ_{GSI}

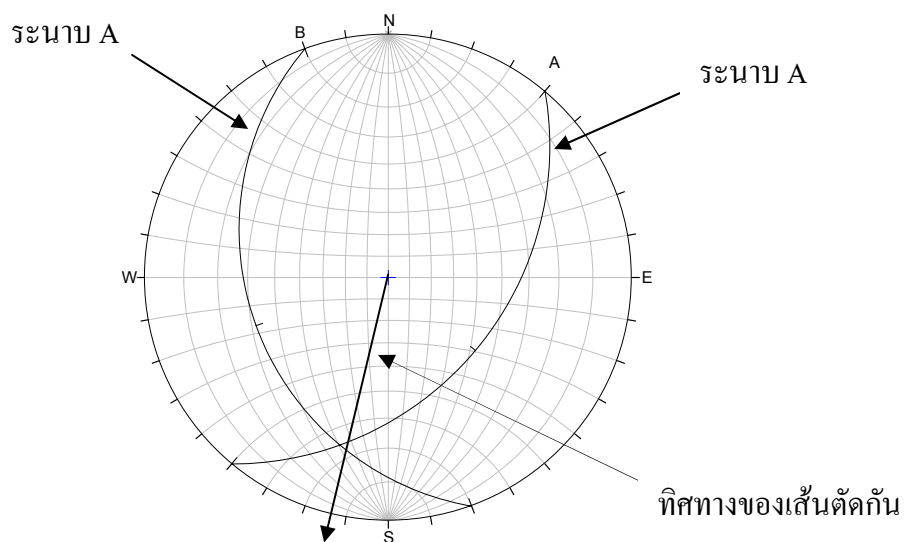
การวิเคราะห์การพิบัติแบบระนาบ ประยุกต์ “วงวัฒนธรรม” (Daylight envelope) โดยศึกษาภาพการเคลื่อนที่ของมวลหินที่วางอยู่บนระนาบที่มีมุมเทไปยังหน้าความลาด จุดขั้วที่ตกในวงวัฒนธรรมแทนระนาบที่มีการโอนถ่ายรูปแบบความพิบัติเป็นไปได้ (รูปที่ 2.8) และถ้าเส้นตัดกันของระนาบฐานแตกในหน้าความลาดเกิดลักษณะรูปแบลิ้ม (รูปที่ 2.9) แทนระนาบที่มีการโอนถ่ายรูปแบบความพิบัติแบบรูปลิ้ม (คนุพล, 2542)

การพิบัติแบบค่อม (รูปที่ 2.10) จะเกิดขึ้นได้เมื่อแนวระดับของรอยไม่ต่อเนื่องเกือบขนานกับแนวระดับของความลาดที่ตัด ซึ่ง Goodman and Bray (1976) ได้ให้ไว้ภายใน 10° แต่ละด้านของแนวระดับความลาด ต่อมาพบว่ามุมน้อยเกินไป มุมน่าจะได้มากถึง 15° (Goodman and Bray, 1976) และล่าสุดได้ขยายมาถึง 30° (Goodman, 1989) และนับต่อจากหน้าความลาดออกไปเท่ากับค่ามุมเสียดทานภายในของหินนั้น ดังนั้นจะได้กรอบรูปสี่เหลี่ยมโค้งที่เรียกว่า “วงวัฒนธรรมค่อม”

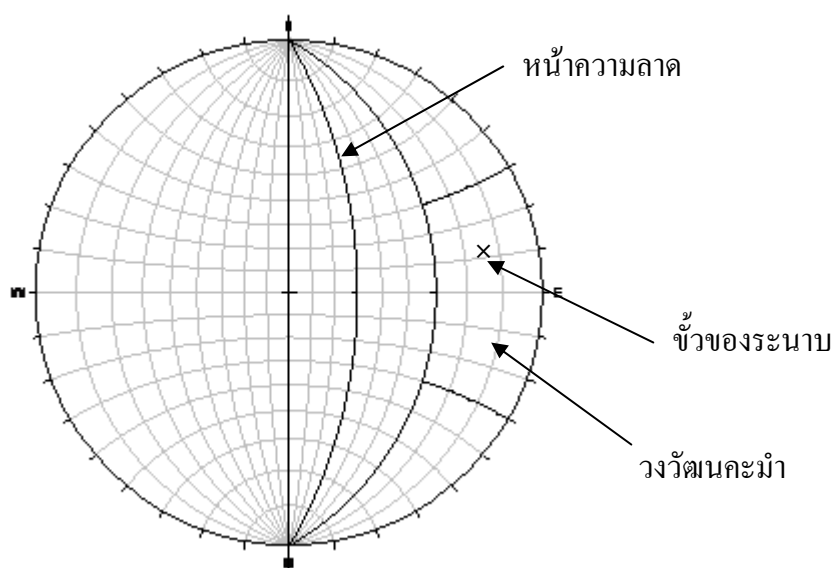
(Toppling envelope) ดังนั้นจุดชั่วไคของความไม่ต่อเนื่องที่ตกอยู่ในพื้นที่วง วัฒนธรรมมา มีโอกาสพิบัติแบบคระมา



รูปที่ 2.8 การประยุกต์วงวัฒนธรรมมากับการพิบัติแบบระนาบ



รูปที่ 2.9 การหาค่าการวางตัวของเส้นที่ตัดกันของระนาบทั้งสองของการพิบัติแบบรูปลิ้ม



รูปที่ 2.10 การสร้างวงกะมาของการพิบัติแบบกะมา

2.8 การวิเคราะห์เชิงสถิติและถดถอยเชิงเส้น

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการทดสอบ การศึกษาอัตราการเจาะ และการจำแนกมวลหินนำมารวบรวมเพื่อแจกแจงข้อมูลให้เป็นระเบียบ หลังจากนั้นนำข้อมูลไปหาความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ในเชิงสมการเส้นตรงที่เหมาะสม ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับนัยสำคัญ โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์การสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation- R^2) และสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R) ขึ้นระดับ 1 โดยใช้โปรแกรม SPSS ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยที่ค่า R^2 มีค่าน้อยกว่า 0.25 แสดงว่าค่าตัวแปรมีความสัมพันธ์น้อย ค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.55 แสดงว่าค่าตัวแปรมีความสัมพันธ์พอใช้ และค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.55-0.80 แสดงว่าค่าตัวแปรมีความสัมพันธ์ดี ค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.80 แสดงว่าค่าตัวแปรมีความสัมพันธ์ที่ดีมาก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจำเป็นต้องทำการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล การกระจายตัว และความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้ว่ามีความถูกต้องโดยการใช้สถิติเข้ามาทำการตรวจสอบประกอบด้วย

2.8.1 การตรวจสอบกลุ่มประชากรหรือข้อมูลการทดสอบ

2.8.1.1 การจำแนกสถิติโดยทั่วไป

ผลของสมบัติมวลรวมจากการทดสอบทั้งทางด้านสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ของทุกพื้นที่หน้างานศึกษา นำมาจำแนกสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive) คือสถิติที่ใช้ในการอธิบายถึงกลุ่มประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างประชากร เสนอในรูปแบบกราฟแท่งความถี่และเส้นโค้งปกติ ได้แก่ ตัวกลางเลขคณิต (Mean), ฐานนิยม (Mode), มัชฌิม (Median) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ถ้าข้อมูลมีการกระจายมาก SD ก็จะมีค่ามากตามไปด้วย แต่ถ้าข้อมูลไม่มีการกระจายผลก็คือ SD มีค่าเท่ากับ 0

เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลหรือ SD ร่วมกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือ Mean ของเส้นโค้งปกติแล้วสามารถกล่าวได้ว่า ค่า Mean จะอยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้นโค้งปกติ และเมื่อนำข้อมูลมาพลอตและมีขนาดความถี่ที่เหมาะสม จะได้เส้นโค้งของความถี่ มีลักษณะระฆังคว่ำ หรือเรียกว่าโค้งปกติ และถ้าพิจารณาค่าของ Mean, Mode, และ Median แล้วจะพบว่าค่าทั้งสามเป็นค่าเดียวกัน (ธวัชชัย, 2542)

2.8.1.2 Box plot

เป็นวิธีการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของกราฟผสมกับการจัดลำดับข้อมูลโดยใช้เปอร์เซ็นต์ไทด์ที่ 25, 50 และ 75 การเสนอวิธีการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลในรูปแบบกราฟที่เรียกว่า Box plot สามารถอธิบายการกระจายตัวของข้อมูลเปรียบเทียบตั้งแต่ 2 กลุ่มประชากรขึ้นไปเพื่อพิจารณาถึงข้อมูลมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงใด

2.8.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกลุ่มประชากรหรือข้อมูลผลการทดสอบ ใช้สถิติในการวิเคราะห์ คือ t-test และ F-test พิจารณาที่ระดับค่าความสำคัญ (Significant) 0.05 ผลการวิเคราะห์

ข้อมูลแบบ t-test พิจารณาค่าความสำคัญมากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อค่าความสำคัญมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลที่น่ามาใช้ในการคำนวณไม่มีความแปรปรวนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การตรวจสอบสถิติแบบ F-test พิจารณาค่าความสำคัญที่ระดับ 0.05 ถ้าค่าความสำคัญมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลของกลุ่มตัวแปรอิสระ (Independent variable) ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อข้อมูลที่เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) และถ้าพิจารณาค่าความสำคัญมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ากลุ่มของข้อมูลตัวแปรอิสระมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามที่ใช้ในการคำนวณ

2.8.2 สมการถดถอยเชิงพหุคูณ

สมการถดถอยเชิงพหุคูณ จุดประสงค์หลักของการคำนวณสหสัมพันธ์ก็เพื่อใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระอย่างน้อยสองตัว เมื่อมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ 1 สมการถดถอยที่สร้างขึ้นก็ยิ่งมีความเที่ยงตรงสูงขึ้น แนวความคิดของสมการถดถอยพหุคูณจะต้องมีตัวแปรตาม y หนึ่งตัวและตัวแปรอิสระ x มากกว่าหนึ่งตัว ถ้าผู้วิจัยสามารถหาสมการทั่วไปได้ก็สามารถใช้สมการทั่วไปในการทำนายปรากฏการณ์ได้ แต่การได้มาของสมการถดถอยพหุคูณนั้นจำเป็นต้องพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณของตัวแปร y และตัวแปรตาม x ด้วย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันเขียนแทนด้วย r ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเขียนแทนด้วย R ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ส่วนค่า R^2 ก็คือค่าของสัดส่วนความแปรปรวนที่สามารถนับได้หารด้วยความแปรปรวนทั้งหมด ซึ่งก็คือค่าสัดส่วนความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย และสิ่งที่ต้องคำนวณและพิจารณาก็คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการเส้นตรง โดยปกติจะคำนวณโดย F-test หรือ t-test

การเลือกสมการที่เหมาะสมเกิดเนื่องมาจากเหตุผลหลักสองประการคือ สมการถดถอยพหุคูณที่ดีจะต้องครอบคลุมทุกตัวแปร และสมการถดถอยที่เหมาะสมจะต้องมีตัวแปรน้อยที่สุด จากหลักการข้อแรกแสดงว่าสมการถดถอยที่ดีจะต้องครอบคลุมทุกตัวแปร นั้นหมายความว่าถ้าตัวแปรอิสระทั้งหมดมี 20-30 ตัวแปร สมการถดถอยที่ดีจะต้องครอบคลุมตัวแปรทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด ซึ่งวิธีการคำนวณตลอดจนข้อมูลจะต้องมีอยู่มาก ดังนั้นจึงใช้เวลานานและถ้ายังมีตัวแปรหลายๆก็ยิ่งใช้เวลามากขึ้น

จากหลักการข้อสองสมการถดถอยที่ดีจะต้องมีตัวแปรน้อยที่สุดที่จะทำได้ แสดงว่าถ้ามีตัวแปรอิสระ 20-30 ตัวแปร สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจะต้องมีตัวแปรในสมการน้อยที่สุด

และสามารถทำนายปรากฏการณ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำสูง จะเห็นว่าหลักการเลือกสมการที่เหมาะสมทั้งสองมีความขัดแย้งอยู่ในตัว ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาเทคนิควิธีการเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุดครอบคลุมทุกตัวแปรและสามารถทำนายปรากฏการณ์จากสมการถดถอยได้อย่างถูกต้องแม่นยำโดยมีตัวแปรน้อยที่สุด โดยวิธีการ Backward ของโปรแกรม SPSS ในการคำนวณสมการถดถอย หลักการสำคัญของวิธีการ Backward ก็คือการนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสู่สมการถดถอยทั้งหมด จากนั้นก็จะมีการคำนวณค่าต่างๆของสมการถดถอย (เช่นค่า R, R^2) แล้วจึงคำนวณค่า Partial F-test ของทุกตัวแปร ซึ่งมีค่าเท่ากับ t-test ยกกำลังสอง

บทที่ 3

ผลการศึกษา

3.1 สมบัติมวลรวมหินคาร์บอน

ผลการศึกษาสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนในด้านสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้อธิบายแต่ละผลการทดสอบแยกย่อยแต่ละพื้นที่ศึกษาของแต่ละแหล่งหิน ได้ใส่ค่าไว้ในตารางที่ 3.1-3.8 และเปรียบเทียบค่าในรูปกราฟแท่งดังในรูปที่ 3.1-3.4 กราฟแท่งสมบัติมวลรวม เป็นผลค่าทดสอบเฉลี่ยสมบัติมวลรวมทั้งทางกายภาพและเชิงเปรียบเทียบแต่ละพื้นที่แหล่งหินศึกษา และในตารางที่ 3.9-3.12 ได้แจกแจงค่าทดสอบสมบัติมวลพื้นที่หน้างานย่อยศึกษาทั้งหมด 35 หน้างานย่อยตามประเภทของการทดสอบ โดยใช้สัญลักษณ์อักษรแทนพื้นที่หน้างานย่อยศึกษา ประกอบด้วยพื้นที่หน้างานศึกษาย่อยชุมพร CH1-CH5 พื้นที่หน้างานศึกษาย่อยกระบี่ KR1-KR5 พื้นที่หน้างานศึกษาย่อยพังงา PN1-PN5 พื้นที่หน้างานศึกษาย่อยสตูล ST1-ST5 พื้นที่หน้างานศึกษาย่อยนครศรีธรรมราช NK1-NK5 พื้นที่หน้างานศึกษาย่อยพัทลุง PH1-PH5 และ พื้นที่หน้างานศึกษาย่อยสงขลา SK1-SK5 มีผลดังต่อไปนี้

3.1.1 การดูดซึมน้ำ

ผลการดูดซึมน้ำ (WB) ของมวลรวมหินคาร์บอนทั้ง 7 พื้นที่แหล่งหินศึกษา (ตารางที่ 3.1) ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.76 พื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุงมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำมากที่สุด ร้อยละ 0.63 และพื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพรมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำน้อยสุด ร้อยละ 0.33 (รูปที่ 3.1 ก) ค่าการดูดซึมน้ำมวลรวมหินคาร์บอนทั้ง 7 พื้นที่แหล่งหินศึกษา มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานวัสดุการทางและงานด้านคอนกรีตสำหรับชนิดหินปูน ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.15-0.53 (สุรพลและคณะ, 2547)

ตารางที่ 3.1 ผลการดูดซึมน้ำของมวลรวมคาร์บอนเนต (หน่วย ร้อยละ)

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	0.18	0.61	0.43	0.16
ชุมพร	0.26	0.38	0.33	0.25
กระบี่	0.31	0.74	0.48	0.18
พังงา	0.32	0.42	0.37	0.04
พัทลุง	0.37	0.76	0.63	0.15
สตูล	0.18	0.62	0.42	0.17
สงขลา	0.32	0.74	0.48	0.17

3.1.2 ความถ่วงจำเพาะ

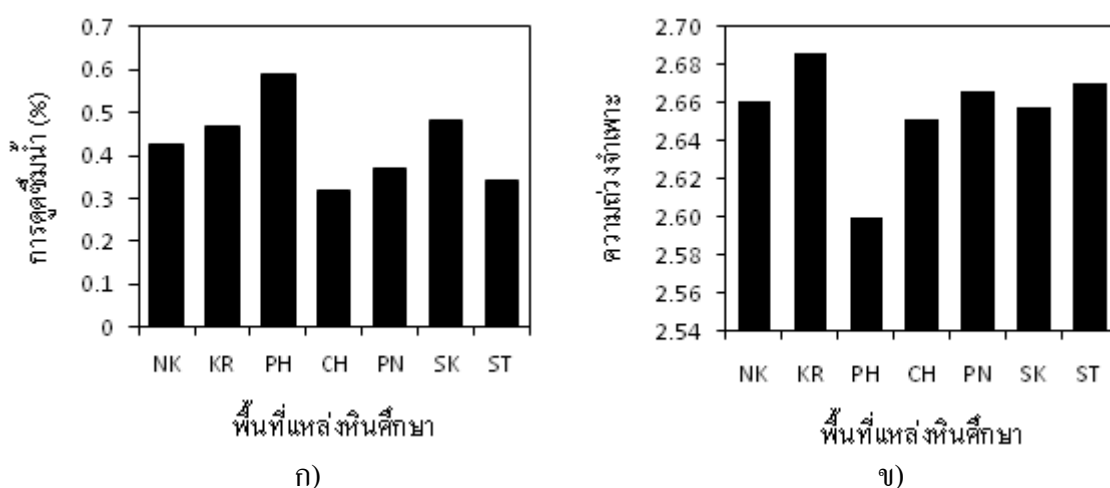
ความถ่วงจำเพาะ (SG) ของมวลรวมหินคาร์บอนเนตของพื้นที่แหล่งหินศึกษา (ตารางที่ 3.2) อยู่ในช่วง 2.63-2.71 ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะสูงสุดพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง 2.62 และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ 2.68 (รูปที่ 3.1 ข) เมื่อใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการพิจารณาจำแนกกลุ่มหินของ British Standard (ข้อมูลจาก Talbot, 1982) อยู่ในช่วง 2.5-2.8 เฉลี่ย 2.66 พบว่ามวลรวมทดสอบทั้ง 7 แหล่งหินศึกษาอยู่ในประเภทหินปูน สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติวัสดุหินในประเทศไทยชนิดหินปูน ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.684-2.762 (สุรพลและคณะ, 2547)

ตารางที่ 3.2 ผลความถ่วงจำเพาะของมวลรวมคาร์บอนเนต

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	2.65	2.68	2.66	0.01
ชุมพร	2.63	2.68	2.65	0.02
กระบี่	2.64	2.71	2.68	0.03
พังงา	2.66	2.68	2.67	0.01
พัทลุง	2.58	2.66	2.62	0.04
สตูล	2.66	2.68	2.67	0.01
สงขลา	2.64	2.68	2.66	0.02

3.1.3 การศึกษาแบบลอสเองเจดิส

การศึกษาแบบลอสเองเจดิส (LA) แสดงผลใน ตารางที่ 3.3 ของพื้นที่แหล่งหินศึกษาทั้ง 7 แหล่ง หิน การศึกษาแบบลอสเองเจดิสอยู่ในช่วงร้อยละ 23.44-36.89 ค่าเฉลี่ยการศึกษาแบบลอสเองเจดิสสูงสุดของพื้นที่แหล่งหินศึกษาสงขลา ร้อยละ 32.14 และต่ำสุดของพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา ร้อยละ 25.80 (รูปที่ 3.2 ก) ค่าเฉลี่ยตัวประกอบภาวะความเอกรูปอยู่ในช่วงร้อยละ 0.85-5.88 การศึกษาแบบลอสเองเจดิสของมวลรวมทั้ง 7 พื้นที่แหล่งหินศึกษา มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็น วัสดุงานทางประเภทหินปูน มีค่าการศึกษาอยู่ในช่วงร้อยละ 25-30 (สุรพลและคณะ, 2547) สำหรับวัสดุผิวทางมีค่าการศึกษาน้อยกว่าร้อยละ 35 วัสดุพื้นทางมีค่าการศึกษายอยู่ในช่วงร้อยละ 3-40 และวัสดุรองพื้นทางมีค่าการศึกษายอยู่ในช่วงร้อยละ 30-50 (NAASRA, 1976)



รูปที่ 3.1 กราฟแท่งของ ก) การดูดซึมน้ำ และ ข) ความถ่วงจำเพาะ

3.1.4 การกระแทก

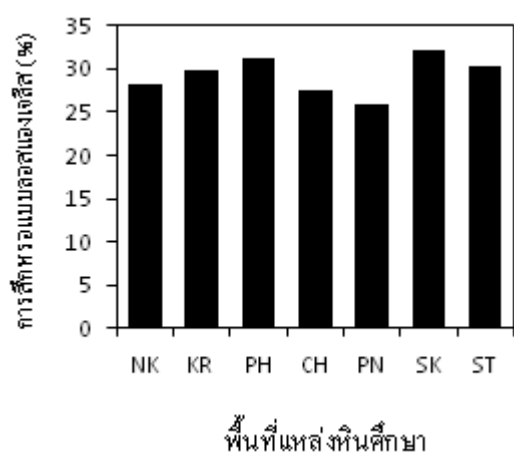
การกระแทก (IV) แสดงผลไว้ในตารางที่ 3.4 ค่าการกระแทกอยู่ในช่วงร้อยละ 7.12-12.24 ค่าเฉลี่ยการกระแทกสูงสุดพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง ร้อยละ 10.76 และค่าเฉลี่ยการกระแทกต่ำสุดพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา ร้อยละ 8.57 (รูปที่ 3.2 ข) ค่าทดสอบการกระแทกมวลรวมมีความเหมาะสมในการนำไปใช้สำหรับวัสดุงานทางทั้ง 7 แหล่งหินศึกษา สำหรับประเภทหินปูน มีค่าการกระแทกอยู่ในช่วงร้อยละ 7-20 (สุรพล และคณะ, 2547) วัสดุผิวทางค่าการกระแทกมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 และน้อยกว่าร้อยละ 40 สำหรับวัสดุรองพื้นทาง (Singh, 1978)

ตารางที่ 3.3 การศึกษาหรือแบบทดสอบเองเจลีสของมวลรวมคาร์บอนต (หน่วย ร้อยละ)

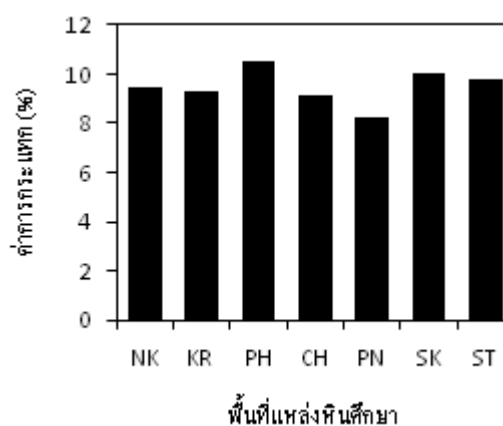
พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	23.44	32.67	28.22	3.30
ชุมพร	26.49	30.06	27.59	1.41
กระบี่	26.31	33.00	29.75	3.11
พังงา	24.73	27.01	25.80	0.85
พัทลุง	24.30	36.89	31.34	5.88
สตูล	26.48	32.95	30.34	2.77
สงขลา	29.36	35.48	32.14	2.70

ตารางที่ 3.4 ค่าการกระแทกของมวลรวมคาร์บอนต (หน่วย ร้อยละ)

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	7.12	10.06	8.81	1.31
ชุมพร	8.38	9.88	9.05	0.61
กระบี่	8.23	10.22	9.50	0.83
พังงา	7.72	10.06	8.57	0.96
พัทลุง	9.78	12.24	10.76	1.11
สตูล	8.32	10.17	9.62	0.75
สงขลา	9.46	10.50	10.03	0.46



ก)



ข)

รูปที่ 3.2 กราฟแท่งของ ก) การศึกษาหรือแบบทดสอบเองเจลีส และ ข) ค่าการกระแทก

3.1.5 ความแข็งแรงกระดองค้อนชนิดต์

ค่าทดสอบความแข็งแรงกระดองค้อนชนิดต์ (SH) ของหินคาร์บอนตแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 ค่าความแข็งแรงกระดองค้อนชนิดต์อยู่ในช่วง 36.20-56.07 ค่าความแข็งแรงกระดองค้อนชนิดต์เฉลี่ยสูงสุด 49.14 ของพื้นที่แหล่งหินศึกษานครศรีธรรมราช และค่าเฉลี่ยต่ำสุดเป็น 42.94 ของพื้นที่แหล่งหินศึกษาสงขลา (รูปที่ 3.3 ก)

ตารางที่ 3.5 ความแข็งแรงกระดองค้อนชนิดต์ของหินคาร์บอนต

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	42.20	56.07	49.14	5.57
ชุมพร	45.00	49.60	47.98	1.81
กระบี่	41.00	54.94	47.42	5.84
พังงา	42.20	53.38	49.32	4.27
พัทลุง	36.20	54.94	43.22	7.50
สตูล	41.40	50.02	44.76	3.48
สงขลา	39.00	47.15	42.94	3.57

3.1.6 ดัชนีกำลังแรงกดจุด

ดัชนีกำลังแรงกดจุด (I_{s50}) แสดงผลตารางที่ 3.6 มีค่าอยู่ในช่วง 2.18-3.81 เมกะพาสคัล ค่าเฉลี่ยดัชนีกำลังแรงกดจุดมีค่าสูงสุดพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา 3.50 เมกะพาสคัล และมี

ตารางที่ 3.6 ดัชนีกำลังแรงกดจุดของหินคาร์บอนต (หน่วย เมกะพาสคัล)

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	3.18	3.81	3.47	0.29
ชุมพร	3.21	3.48	3.38	0.10
กระบี่	3.03	3.51	3.26	0.20
พังงา	3.18	3.76	3.50	0.22
พัทลุง	2.62	3.23	2.95	0.29

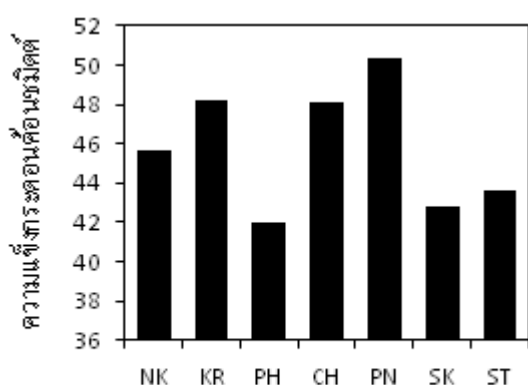
ตารางที่ 3.6 ดัชนีกำลังแรงกดจุดของหินคาร์บอนेट (หน่วย เมกะพาสคัล) (ต่อ)

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
สตูล	3.06	3.48	3.25	0.16
สงขลา	2.81	3.31	3.11	0.20

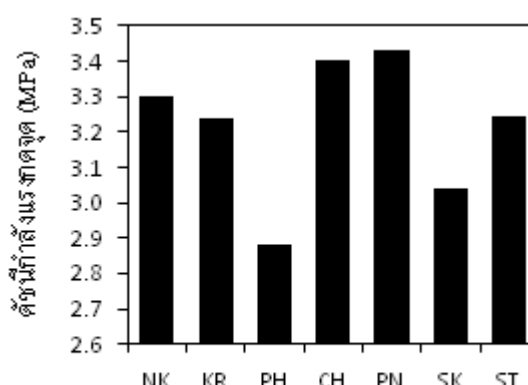
ค่าเฉลี่ย ต่ำสุดพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง 2.95 เมกะพาสคัล (รูปที่ 3.3 ข) อยู่ในประเภทกลุ่มหินที่มีกำลังปานกลาง (ISRM, 1985) ค่าทดสอบดัชนีกำลังแรงกดจุดสามารถประเมินกำลังอัดของมวลรวม (ตารางที่ 3.7) พบว่ากำลังอัดของมวลรวมอยู่ในช่วง 57.64-83.82 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยกำลังอัดอยู่ในช่วง 64.90-76.34 เมกะพาสคัล

ตารางที่ 3.7 กำลังอัดพื้นที่แหล่งหินศึกษา (หน่วย เมกะพาสคัล)

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	69.96	83.82	76.34	6.46
ชุมพร	70.62	76.56	74.36	2.27
กระบี่	66.66	77.22	71.67	4.50
พังงา	69.96	82.72	77.00	4.81
พัทลุง	57.64	71.06	64.94	6.38
สตูล	67.32	76.56	71.42	3.44
สงขลา	61.82	72.82	68.51	4.47



ก)



ข)

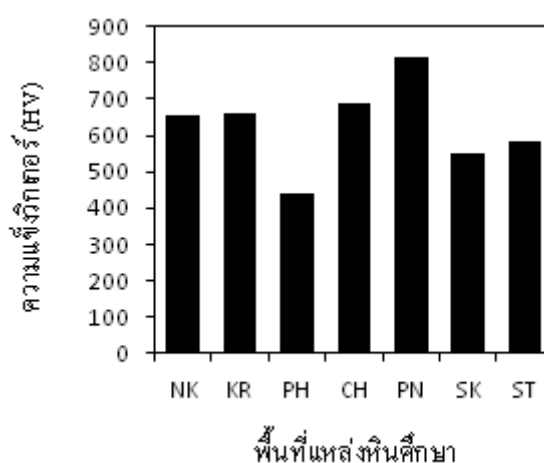
รูปที่ 3.3 กราฟแท่งของ ก) ความแข็งกระดองหินคาร์บอนีต และ ข) ดัชนีกำลังแรงกดจุด

3.1.7 ความแข็งวิกเกอร์

ความแข็งวิกเกอร์แสดงผลตารางที่ 3.8 ค่าความแข็งวิกเกอร์อยู่ในช่วง 292.06-1147.40 HV ค่าเฉลี่ยความแข็งวิกเกอร์สูงสุดของพื้นที่แหล่งหินศึกษา นครศรีธรรมราช 795.66 HV และค่าเฉลี่ยต่ำสุดพื้นที่แหล่งหินพัทลุง 454.56 HV (รูปที่ 3.4)

ตารางที่ 3.8 ผลความแข็งวิกเกอร์พื้นที่แหล่งหินศึกษา (หน่วย HV)

พื้นที่แหล่งหินศึกษา	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่า S.D.
นครศรีธรรมราช	511.20	1147.40	795.66	273.39
ชุมพร	612.30	808.20	711.43	90.11
กระบี่	454.48	846.40	619.69	165.24
พังงา	511.20	911.60	715.66	174.23
พัทลุง	292.06	630.30	454.56	165.25
สตูล	462.54	840.30	615.53	141.35
สงขลา	373.10	643.92	523.82	136.32



รูปที่ 3.4 กราฟแท่งของความแข็งวิกเกอร์

ตารางที่ 3.9 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษาชุมพรและกระบี่

รายงานการศึกษา	CH					KR				
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5
การดูดซึมน้ำ (%)	0.26	0.38	0.36	0.33	0.30	0.74	0.36	0.40	0.61	0.31
ความถ่วงจำเพาะ	2.68	2.64	2.63	2.66	2.65	2.64	2.66	2.65	2.65	2.71
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.48	3.38	3.21	3.44	3.39	3.51	3.10	3.23	3.03	3.42
ค่ากระแทก (%)	8.38	9.32	9.88	8.52	9.15	8.23	10.13	9.78	10.22	9.14
การสึกหรอบนแบบลอสแอนเจลีส (%)	26.49	27.23	30.06	26.95	27.22	26.31	32.76	29.60	33.00	27.06
ความแข็งกระดองก้อนชนิดต์	49.60	47.91	45.00	49.20	48.20	50.06	42.02	54.94	41.00	49.07
ความแข็งวิกเกอร์ (HV)	808.20	665.10	612.30	806.34	665.20	846.40	465.7	630.30	454.48	701.58
กำลังอัด (MPa) (จาก Point load test)	76.56	74.36	70.62	75.68	74.58	77.22	68.20	71.06	66.66	75.24

ตารางที่ 3.10 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษาพังงาและสตูล

รายการ	หน้างานศึกษา	PN					ST				
		PN1	PN2	PN3	PN4	PN5	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5
การดูดซึมน้ำ (%)		0.33	0.39	0.37	0.32	0.42	0.32	0.62	0.54	0.43	0.18
ความถ่วงจำเพาะ		0.67	2.68	2.68	2.67	2.66	2.68	2.66	2.68	2.66	2.67
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)		3.52	3.42	3.76	3.18	3.62	3.48	3.2	3.06	3.3	3.19
ค่ากระแทก (%)		8.18	8.97	7.72	10.06	7.90	8.32	9.90	10.17	9.70	10.02
การสึกหรอบแบบลอสเองเจลีส์ (%)		26.08	27.01	24.73	25.37	25.81	26.48	31.84	32.95	28.40	32.04
ความแข็งกระดองก้อนชนิดต์		50.53	49.15	53.38	42.2	51.35	50.02	43.60	41.40	46.40	42.40
ความแข็งวิกเกอร์ (HV)		866.90	708.20	580.40	511.20	911.60	840.30	585.00	462.54	640.80	549.00
กำลังอัด (MPa) (จาก Point load test)		77.44	75.24	82.72	69.96	79.64	76.56	70.40	67.32	72.60	70.18

ตารางที่ 3.11 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชและพัทลุง

รายการ	หน้างานศึกษา	NK					PH				
		NK1	NK2	NK3	NK4	NK5	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5
การดูดซึมน้ำ (%)		0.50	0.18	0.61	0.37	0.48	0.64	0.71	0.68	0.37	0.76
ความถ่วงจำเพาะ		2.65	2.68	2.66	2.66	2.66	2.58	2.64	2.66	2.64	2.58
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)		3.81	3.76	3.34	3.26	3.18	2.62	3.23	3.22	2.68	3.01
ค่ากระแทก (%)		7.72	7.12	9.43	9.72	10.06	12.24	9.78	9.84	11.63	10.3
การสึกหรอลอสเองเฉลี่ย (%)		23.44	28.35	27.65	29.00	32.67	36.89	24.3	26	36.48	33.03
ความแข็งกระดองคอนกรีต		56.07	53.38	47.71	46.34	42.2	36.20	54.94	45.94	38.2	40.8
ความแข็งวิกเกอร์ (HV)		1147.4	1021.8	657.3	640.60	511.2	292.06	630.3	619.7	300.16	425.6
กำลังอัด (MPa) (จาก Point load test)		83.82	82.72	73.48	71.72	69.96	75.64	71.06	70.84	58.96	66.22

ตารางที่ 3.12 ผลทดสอบสมบัติของหินคาร์บอนेटพื้นที่หน้างานศึกษาสงขลา

รายการ \ หน้าที่งานศึกษา	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5
การดูดซึมน้ำ (%)	0.32	0.38	0.74	0.40	0.56
ความถ่วงจำเพาะ	2.66	2.68	2.64	2.64	2.66
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.31	3.01	3.24	2.81	3.20
ค่ากระแทก (%)	9.46	10.49	9.74	10.50	9.97
การสึกหรอลอสเองเฉลี่ย (%)	29.68	34.18	29.36	35.48	32.00
ความแข็งกระดองคอนกรีต	47.15	40.00	45.94	39.00	42.60
ความแข็งวิกเกอร์ (HV)	643.92	381.14	640.56	373.10	580.40
กำลังอัด (MPa) (จาก Point load test)	72.82	66.22	71.28	61.82	70.4

3.2 การจำแนกมวลหิน

3.2.1 การจำแนกมวลหินระบบ RMR

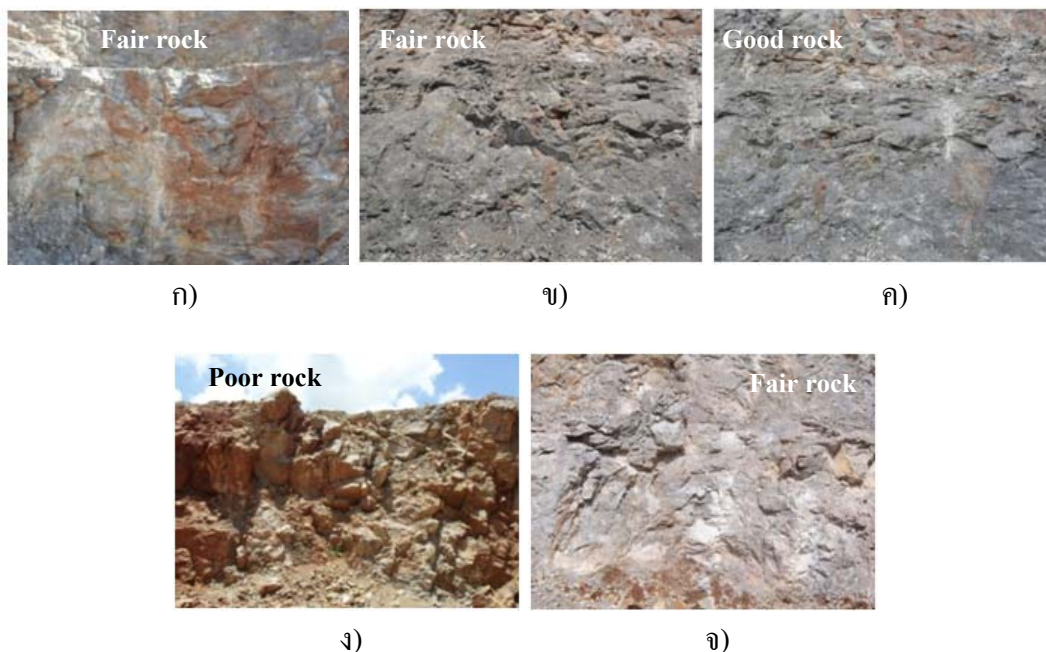
ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR ได้แบ่งเป็นแต่ละพื้นที่ที่หน้างานศึกษา แยกย่อยเป็นพื้นที่ศึกษาละ 5 พื้นที่หน้างานศึกษา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.13 ถึง ตารางที่ 3.15 ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR และการปรับแก้ค่าความลาด SMR ของแต่ละพื้นที่ที่หน้างานศึกษา แสดงผลของปัจจัยการประเมินและคะแนนที่ให้แกปัจจัยในการการจำแนกมวลหิน (สภาพความไม่ต่อเนื่อง ข้อ 4 หมวด ก สามารถดูเสริมได้ที่หมวด จ แนะนำสำหรับการจำแนกสภาพความไม่ต่อเนื่อง ตารางที่ 1.5 รวมถึงการเสนอเสถียรภาพและรูปแบบการพิบัติสำหรับหน้าความลาดของพื้นที่ที่หน้างานศึกษา จากผลการประเมินด้วยค่าปรับแก้ความลาด SMR ของ Romana (1985) จากนั้นประเมินอัตราการเจาะของ Hoseinie et al. (2008) ที่ชื่อว่า การจำแนกดัชนีสภาพการเจาะในมวลหิน (Rock Mass Drillability Index Classification- RD_i) ดังในตารางที่ 1.3-1.5 ซึ่งรายละเอียดการประเมินแต่ละหน้างานศึกษามีดังนี้

3.2.1.1 พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร

ผลการประเมินการจำแนกมวลหินระบบ RMR ของพื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร (CH1-CH5) รวมถึงผลการปรับแก้ค่าความลาด SMR การบรรยายสภาพมวลหิน เสถียรภาพของหน้าความลาด การเสนอระบบการค้ำยัน และปัจจัยด้านมวลหินจากผลของการจำแนกมวลหินระบบ RMR สามารถสรุปผลได้ดังนี้

พื้นที่หน้างานศึกษาย่อย CH1 ซึ่งมีความสูง 6 เมตรและกว้าง 8 เมตร (รูปที่ 3.5 ก) ผลจากการระเบิดเป็นระเบียบ ผงหินไม่ฟู แนวแตกยาวไม่ต่อเนื่อง ไม่มีผงอุด ผลประเมินมวลหินอยู่ในชั้นพอใช้ พื้นที่หน้างานศึกษา CH2 ซึ่งมีความสูง 8 เมตรและกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.5 ข) มวลหินมีลักษณะเนื้อแน่น (Massive) ผงหินไม่ฟู แนวแตกยาวไม่ต่อเนื่อง ผลจากการระเบิดเรียบ ผลประเมินมวลหินอยู่ในชั้นพอใช้ พื้นที่หน้างานศึกษาย่อย CH3 ซึ่งมีความสูง 6 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.5 ค) สภาพมวลหินเนื้อสมานแน่น ผงหินไม่ฟู ผลการระเบิดเรียบ ผลประเมินมวลหิน CH3 อยู่ในชั้นหินดี พื้นที่หน้างานศึกษา CH4 ซึ่งมีความสูง 8 เมตรและกว้าง 8 เมตร (รูปที่ 3.5 ง) สภาพมวลหินมีการผุพังสูง หินมีการแตกเป็นบล็อก ผลเนื่องมาจากการระเบิดด้วยประสิทธิภาพ ผงหินฟูสูง แนวแตกแยกอ้า มากกว่า 10 มิลลิเมตร ผลประเมินมวลหิน CH4 อยู่ในชั้นเลว พื้นที่

หน้างานศึกษาย่อย CH5 ซึ่งสูง 8 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.5 จ) พบว่าผนังหินไม่ผุ ช่วงห่างแนวแตก 10-60 เซนติเมตร ในร่องแนวแตกไม่มีผงอุด ผลการระเบิดเป็นระเบียบ ผลการประเมินมวลหิน CH5 จัดอยู่ในชั้นพอใช้

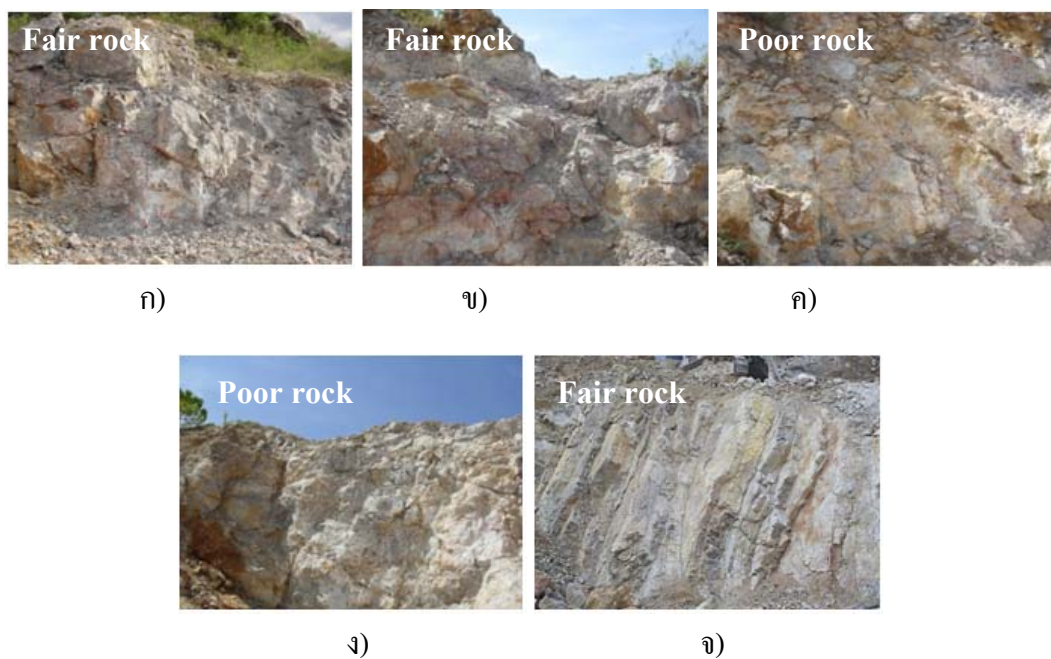


รูปที่ 3.5 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร ก) CH1 ข) CH2 ค) CH3 ง) CH4 และ
จ) CH5

3.2.1.2 พื้นที่หน้างานศึกษากระบี่

การเก็บข้อมูลภาคสนามในส่วนพื้นที่หน้างานศึกษาย่อย KR1 ซึ่งมีความสูง 6 เมตร และกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.6 ก) ผลการระเบิดด้อยประสิทธิภาพ หินมีการแตกเป็นบล็อก แยกอ้ามากกว่า 10 มิลลิเมตร ผงอุดเป็นดินหนานุ่ม สภาพผิวหน้าขรุขระ และพื้นที่หน้างานศึกษา KR2 ซึ่งมีความสูง 8 เมตร และกว้าง 8 เมตร (รูปที่ 3.6 ข) สภาพผิวหน้าขรุขระ หินแตกเป็นบล็อก ผนังหินผุสูง ผลการระเบิดด้อยประสิทธิภาพ ผลการประเมินมวลหิน KR1 และ KR2 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ ลักษณะมวลหินของพื้นที่หน้างานศึกษา KR3 ซึ่งมีความสูง 6 เมตรและกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.6 ค) ผนังหินค่อนข้างผุ ผิวขรุขระ แยกอ้า 5-10 มิลลิเมตร ผงอุดแข็งแทรกตามรอยแตก ประเมินมวลหิน KR3 จัดอยู่ในชั้นเลว ส่วนหน้างานศึกษา KR4 ซึ่งมีความสูง 10 เมตร และกว้าง 15 เมตร (รูปที่ 3.6 ง) สภาพผิวหน้าขรุขระ คราบหินปูนเคลือบ ผนังหินค่อนข้างผุ แนวแตกแยกอ้า 5-10 มิลลิเมตร ผล

การประเมินมวลหิน จัดอยู่ในชั้นเลว พื้นที่หน้างานศึกษา KR5 ซึ่งมีความสูง 6 เมตรและกว้าง 8 เมตร (รูปที่ 3.6 จ) ผนังหินค่อนข้างผุ แนวแตกยาวต่อเนื่อง 1-3 เมตร แยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร ผงูดเป็นดินแทรกตามรอยแตก ประเมินมวลหิน KR5 จัดอยู่ในชั้นพอใช้

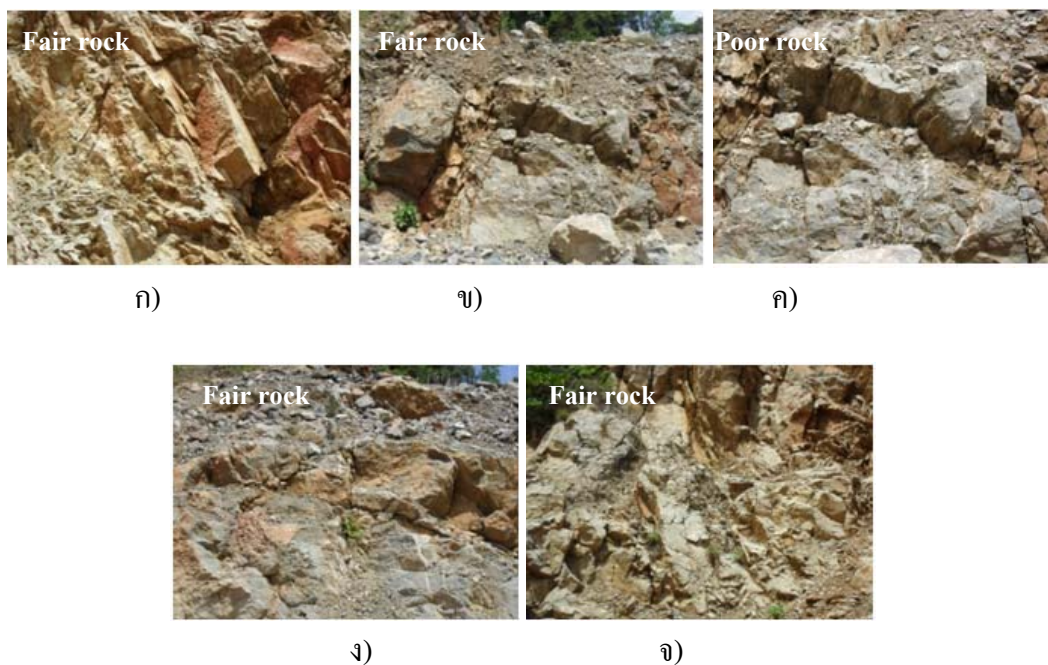


รูปที่ 3.6 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่ ก) KR1 ข) 2 ค) KR3 ง) KR4 และ
จ) KR5

3.2.1.3 พื้นที่หน้างานศึกษาพังงา

พื้นที่หน้างานศึกษา PN1 ซึ่งมีความสูง 15 เมตรและกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.7 ก) ผลการระเบิดค้อยประสิทธิภาพ หินแตกเป็นบล็อก ผิวขรุขระ แนวแตกแยกอ้า 5-10 มิลลิเมตร ประเมินมวลหินจัดอยู่ในชั้นพอใช้ ในขณะที่พื้นที่หน้างานศึกษา PN2 ซึ่งมีความสูง 5 เมตร และกว้าง 8 เมตร (รูปที่ 3.7 ข) ผนังหินค่อนข้างผุ แยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร แนวแตกทอดยาวไม่ต่อเนื่อง ผลการประเมินมวลหิน จัดอยู่ในชั้นพอใช้ พื้นที่หน้างานศึกษา PN3 จัดอยู่ในชั้นเลว ซึ่งมีความสูง 4 เมตร และกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.7 ค) ผลการระเบิดค้อยประสิทธิภาพ ทำให้หินมีการแตกเป็นบล็อก แนวแตกชุดใหญ่ยาวต่อเนื่อง ประมาณ 5 เมตร แยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร พื้นที่หน้างานศึกษา PN4 ซึ่งมีความสูง 6 เมตรและกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.7 ง) ผนังหินไม่ผุ เป็นเนื้อแน่น (Massive) ชุดแนวแตกยาวต่อเนื่อง 1-3 เมตร ประเมินมวลหิน จัดอยู่ในชั้นพอใช้ พื้นที่หน้างานศึกษา PN5 ซึ่งมีความสูง 10 เมตรและ

กว้าง 10 เมตร ผลการระเบิดด้วยประสิทธิภาพ แนวแตกแยกอ้า 5-10 มิลลิเมตร ผงอุกดินหนา 5-10 มิลลิเมตร ผิวหน้าขรุขระ (รูปที่ 3.7 จ) ผลการประเมินจัดอยู่ในชั้นพอใช้

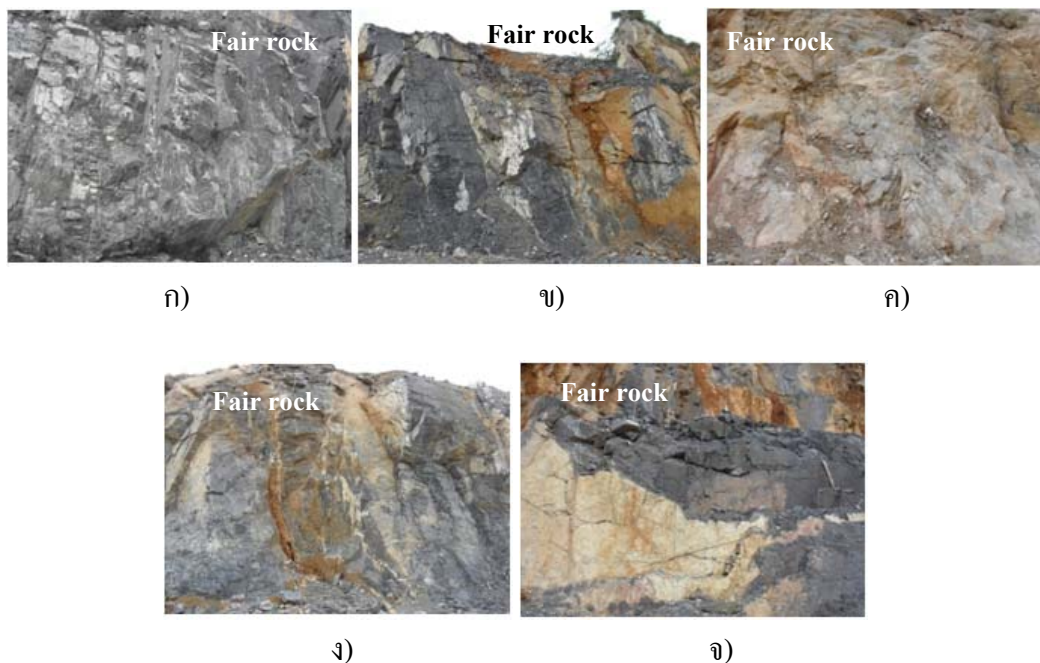


รูปที่ 3.7 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาพังงา ก) PN1 ข) PN2 ค) PN3 ง) PN4 และ จ) PN

3.2.1.4 พื้นที่หน้างานศึกษาสตูล

พื้นที่หน้างานศึกษา ST1 มีความสูง 10 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.8 ก) ผลการระเบิดด้วยประสิทธิภาพ ชุดแนวแตกยาวต่อเนื่อง 1-4 เมตร ผงหินไม่ผุ แยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร ไม่มีผงอุกประเมินมวลหิน ST1 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษา ST2 มีความสูง 10 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.8 ข) ผลการระเบิดออกเป็นระเบียบ ชุดแนวแตกยาวต่อเนื่อง แตกด้วยผงอุกหนา 5-10 เซนติเมตร ผงหินไม่ผุ ผิวขรุขระ ประเมินมวลหิน ST2 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ พื้นที่หน้างานศึกษา ST3 ซึ่งมีความสูง 10 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.8 ค) โครงสร้างมวลหินเป็นหินเนื้อสमानแน่น (Massive) ผงหินไม่ผุถึงผุเล็กน้อย แนวแตกแยกอ้ากว้าง 1-5 มิลลิเมตร ผงอุกดินแทรกตามรอยแยก ชุดแนวแตกยาวไม่ต่อเนื่อง ประเมินมวลหิน ST3 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษา ST4 ซึ่งมีความสูง 10 เมตร และกว้าง 12 เมตร (รูปที่ 3.8 ง) ผลการระเบิดเป็นระเบียบเรียบร้อย ชุดแนวแตกยาวต่อเนื่อง 3-5 เมตร โครงสร้างมวลหินเป็นหินเนื้อสमान

แน่นผนังหิน ไม่ผุถึงผุเล็กน้อย ประเมินมวลหิน ST4 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ และในพื้นที่หน้างานศึกษา ST5 ซึ่งมีความสูง 14 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.8 จ) ผลการระเบิดเรียบ ผนังหินไม่ผุ ผิวหน้าเรียบ แยกเปิดอ้า 1-5 มิลลิเมตร ชุดแนวแตกยาวต่อเนื่อง ประเมินมวลหิน ST5 จัดอยู่ในชั้นพอใช้

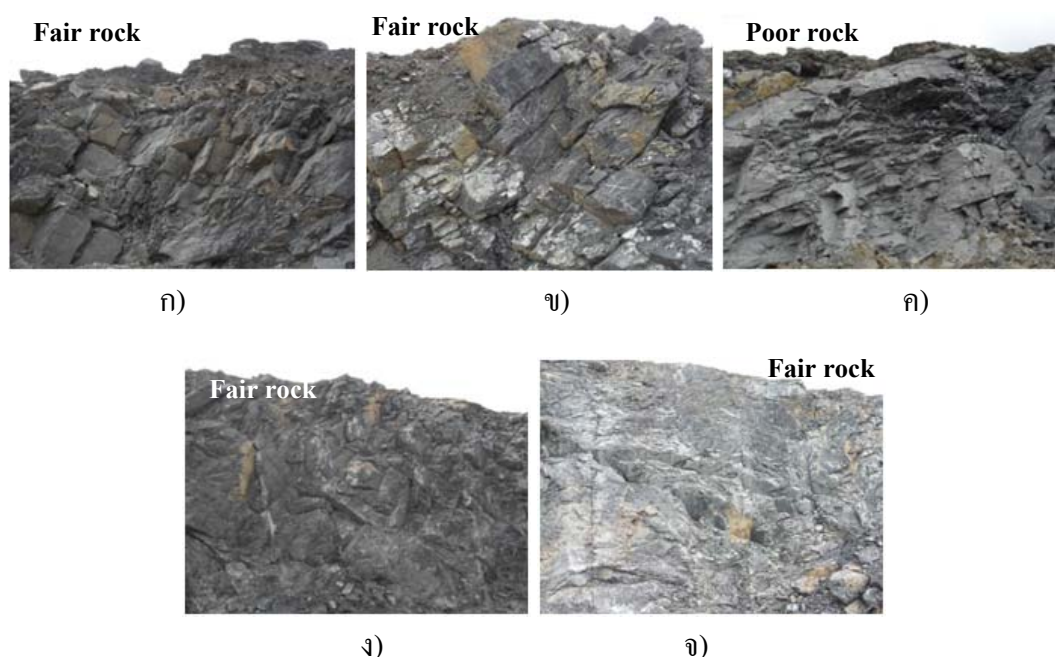


รูปที่ 3.8 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาสตูด ก) ST1 ข) ST2 ค) ST3 ง) ST4 และ จ) ST5

3.2.1.5 พื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช

รูปที่ 3.9 ก) แสดงพื้นที่หน้างานศึกษา NK1 ซึ่งมีความสูง 10 เมตร และกว้าง 10 เมตร สภาพมวลหินแตกเป็นก้อนบล็อกรวมมาก เป็นผลจากการระเบิดด้วยประสิทธิภาพและโครงสร้างของมวลหินที่มีชุดของแนวแตกมาก แนวแตกแยกอ้ากว้างมากกว่า 10 มิลลิเมตร และยาวไม่ต่อเนื่องช่วง 20-80 เซนติเมตร เช่นเดียวกับในพื้นที่หน้างานศึกษา NK2 ซึ่งมีความสูง 10 เมตร และกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.9 ข) ชุดแนวแตกทอดยาวต่อเนื่อง ผลการระเบิดด้วยประสิทธิภาพและโครงสร้างมวลหินที่มีชุดแนวแตกมาก แยกอ้า 5-10 มิลลิเมตร ประเมินมวลหิน NK1 และ NK2 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษา NK3 ซึ่งมีความสูง 14 เมตรและกว้าง 10 เมตร (รูปที่ 3.9 ค) ชุดแนวแตกยาวต่อเนื่อง ช่วงห่างแนวแตก 10-40 เซนติเมตร แยกอ้ากว้าง 1-5 มิลลิเมตร ไม่มีผองผุ ผนังหินค่อนข้างผุ ผลการระเบิดด้วยประสิทธิภาพ ประเมินมวลหิน NK3 จัดอยู่ในชั้นเลว สำหรับพื้นที่หน้างานศึกษา NK4 ซึ่งมีความสูง 10 เมตร และกว้าง 12 เมตร (รูปที่ 3.9 ง) ผลการระเบิดเป็นระเบียบ

เรียบร้อย ผนังหินไม่ผุ ชุดแนวแตกยาวไม่ต่อเนื่อง แยกเปิดอ้า 1-5 มิลลิเมตร ไม่มีผองผุประเมินมวล หิน NK4 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ ในขณะที่พื้นที่หน้างานศึกษา NK5 ซึ่งมีความสูง 14 เมตร และกว้าง 10 (รูปที่ 3.9 ก) เมตร ผลการระเบิดได้เรียบ ผนังหินไม่ผุ ผิวหน้าขรุขระ แนวแตกขนาดใหญ่ 2 แนวตัด ผ่านหน้าความลาดของมวลหินยาวต่อเนื่องอยู่ในช่วง 5-7 เมตร ประเมินมวลหิน NK5 จัดอยู่ในชั้นพอใช้

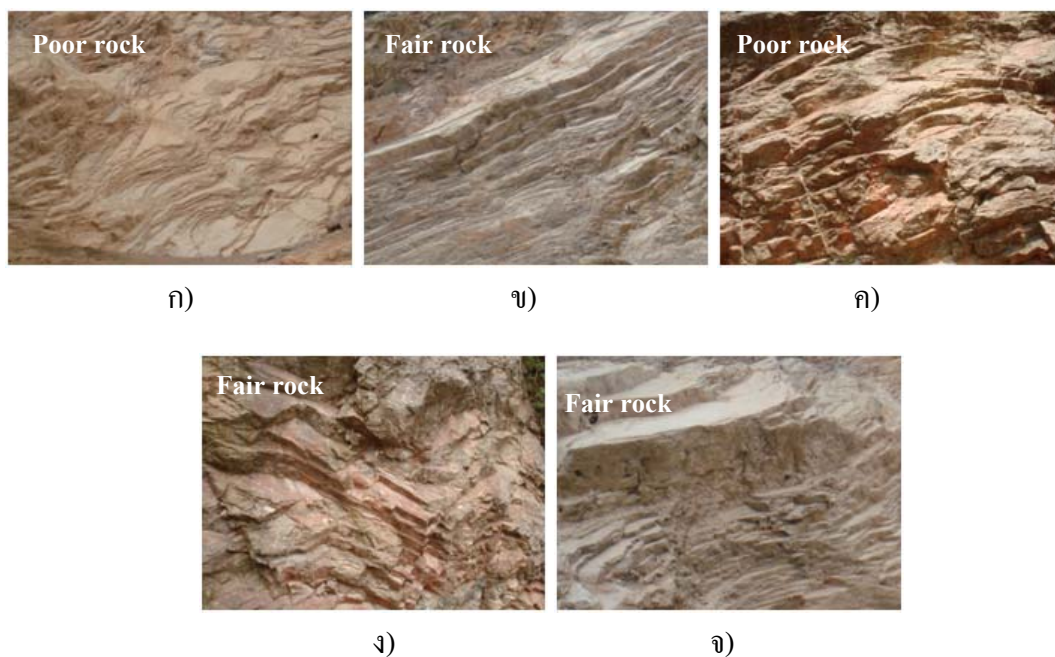


รูปที่ 3.9 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช ก) NK1 ข) NK2 ค) NK3 ง) NK4 และ จ) NK5

3.2.1.6 พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง

พื้นที่หน้างานศึกษา PH1 มีความสูง 12 เมตรและกว้าง 8 เมตร (รูปที่ 3.10 ก) ชุดแนวแตกวางตัวลักษณะชั้นหินอย่างชัดเจน ยาวไม่ต่อเนื่อง ช่วงห่าง 10-20 เซนติเมตร ผิวเรียบ ผนังหินไม่ผุ ประเมินมวลหิน PH1 จัดอยู่ในชั้นเลว พื้นที่หน้างานศึกษา PH2 ซึ่งมีความสูง 8 เมตรและกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.10 ข) ชุดแนวแตกวางตัวเป็นริ้วขนาน ยาวต่อเนื่องช่วง 3-7 เมตร ผนังหินไม่ผุ ไม่มีผองผุ ประเมินมวลหิน PH2 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ สภาพผิวพื้นที่หน้างานศึกษา PH3 ซึ่งมีความสูง 8 เมตรและกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.10 ค) ชุดแนวแตกวางตัวในแนวระดับ ยาวต่อเนื่องช่วง 1-3 เมตร ผนังหินค่อนข้างผุ ไม่มีผองผุ สภาพผิวขรุขระ ช่วงห่างแนวแตก 10-60 เซนติเมตร ประเมินมวลหิน

PH3 จัดอยู่ในชั้นเลว ที่หน้างานศึกษา PH4 ซึ่งมีความสูง 10 เมตรและกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.10 ง) ผลการระเบิดเป็นระเบียบ ชุกแนวแตกวางตัวในแนวระดับ ยาวต่อเนื่อง 3-5 เมตร ตลอดหน้าความลาดผนังหินไม่ผุ แยกอ้าน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ไม่มีผงอุด ประเมินมวลหิน PH4 จัดอยู่ในชั้นพอใช้ ผลประเมินระดับชั้น พื้นที่หน้างานศึกษา PH5 ซึ่งมีความสูง 8 เมตรและกว้าง 6 เมตร (รูปที่ 3.10 จ) ผลการระเบิดคือยประสิทธิภาพ และโครงสร้างของมวลหินแสดงลักษณะชั้นการวางตัวของชุกแนวแตกชัดเจน ชุกแนวแตกยาวต่อเนื่อง 1-3 เมตร ผนังหินค่อนข้างผุ ประเมินมวลหิน PH5 จัดอยู่ในชั้นพอใช้



รูปที่ 3.10 ลักษณะมวลหินในพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง ก) PH1 ข) PH2 ค) PH3 ง) PH4 และ จ) PH5

ตารางที่ 3.13 ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR การประเมินความลาด SMR และประเมินอัตราเจาะของพื้นที่ศึกษาหุมพร (CH) และกระบี่ (KR)

	รายการ	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	
RMR	I_{s50} (MPa)	3.48 (7)	3.38 (7)	3.21 (7)	3.44 (7)	3.39(7)	3.51 (7)	3.10 (7)	3.23 (7)	3.03 (7)	3.42(7)	
	RQD (%)	92.319 (20)	70.45 (13)	80.90 (17)	65 (13)	69.60 (13)	89.59 (17)	66 (13)	82.66 (17)	83.10 (17)	88.60(17)	
	ช่วงแนวแตก	0.2-0.6 ม. (10)	0.6-2.0 ม. (15)	0.2-0.6 ม. (10)	0.6-2.0 ม. (15)	0.2-0.6 ม. (10)	0.2-1.5 ม. (10)	0.1-0.6 ม. (8)	0.2-1.0 ม. (12)	0.3-1.2 ม. (8)	0.1-0.6 ม. (8)	
	สภาพความไม่ต่อเนื่อง	(21)	(16)	(25)	(10)	(23)	(12)	(10)	(12)	(15)	(12)	
	น้ำใต้ดิน	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง(15)	
	RMR	73	66	69	60	68	61	63	63	62	59	
SMR	F1	0.72	0.72	0.15	0.72	0.72	0.15	0.72	1.0	1.0	1.0	
	F2	0.72	0.72	0.72	0.72	0.66	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	
	F3	-45	-38.67	-24	-56.67	-48.33	-60	-60	-60	-53.33	-6	
	F4	+8	0	+8	-8	0	+10	+10	+8	+10	0	
	$SMS = RMR - (F1 \times F2 \times F3) + F4$	57.67	45.95	74.41	22.62	42.95	64.52	42.00	29.80	23.60	54.68	
	ประเภทหิน	หินพอใช้	หินพอใช้	หินดี	หินเลว	หินพอใช้	หินพอใช้	หินพอใช้	หินพอใช้	หินเลว	หินเลว	หินพอใช้
	เสถียรภาพ	บางส่วน	บางส่วน	มั่นคง	ไม่มั่นคง	บางส่วน	บางส่วน	บางส่วน	ไม่มั่นคง	ไม่มั่นคง	บางส่วน	
	รูปแบบการพิบัติ	บางบล็อก	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	บางบล็อก	ระนาบหรือลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่มขนาดใหญ่	ระนาบหรือลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	
RDi	การคะแนนอัตราเจาะ	ปานกลาง	ช้าปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	ปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	

ตารางที่ 3.15 ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR การประเมินความลาด SMR และประเมินอัตราเจาะของพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช (NK) และพัทลุง (PH)

	รายการ	NK1	NK2	NK3	NK4	NK5	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5
RMR	I_{s50} (MPa)	3.81(7)	3.76 (7)	3.44 (7)	3.26 (7)	3.18 (7)	2.62 (7)	3.32 (7)	3.22 (7)	2.68 (7)	3.01 (7)
	RQD (%)	77.87(17)	82.00 (17)	72.50 (13)	75.40 (17)	76.64 (17)	90.91(20)	78.70(17)	64.40(13)	72.10(13)	71.00(13)
	ช่วงแนวแตก	0.2-0.6 ม. (15)	0.1-1.0 ม. (12)	0.1-0.6 ม. (8)	0.1-0.6 ม. (8)	0.2-0.8 ม. (10)	0.1-0.6ม. (8)	0.05-0.3ม. (5)	0.1-0.3 ม. (5)	0.1-0.6 ม. (8)	0.1-0.4 ม. (5)
	สภาพความไม่ต่อเนื่อง	(12)	(19)	(21)	(24)	(21)	(15)	(25)	(15)	(24)	(20)
	น้ำใต้ดิน	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)	แห้ง(15)	แห้ง (15)	แห้ง (15)
	RMR	66	70	64	71	70	65	69	55	67	60
SMR	F1	0.15	1.00	0.43	0.43	0.72	0.72	0.43	0.43	0.15	0.35
	F2	1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.67
	F3	-60	-18.67	-60	-60	-56.67	-30.33	-60	-53.33	-60	-45
	F4	-8	-8	-8	0	0	0	-8	0	-8	-8
	$SMS = RMR - (F1 \times F2 \times F3) - F4$	49.00	48.56	37.43	52.43	48.62	38.28	53.28	38.49	52.52	41.45
	ประเภทหิน	หินพอใช้	หินพอใช้	หินเลว	หินพอใช้	หินพอใช้	หินเลว	หินพอใช้	หินเลว	หินพอใช้	หินพอใช้
	เสถียรภาพ	บางส่วน	บางส่วน	ไม่มั่นคง	บางส่วน	บางส่วน	ไม่มั่นคง	บางส่วน	ไม่มั่นคง	บางส่วน	บางส่วน
	รูปแบบการพิบัติ	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม	บางแนวแตกหรือหลายลิ่ม
RDi	การคะแนนอัตราเจาะ	ปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	ปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง	ช้าปานกลาง

3.2.2 การจำแนกมวลหินระบบ GSI

ใช้ปัจจัยด้านโครงสร้างและเงื่อนไขผิวหน้าของมวลหินในการประเมินการจำแนกผลจากการประเมินการจำแนกมวลหินระบบ GSI สามารถนำมาคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านกำลังและการเสีรูปของมวลหิน ได้แก่ ปัจจัย Hoek-Brown Criterion (m_b , s , a) สมการที่ 2.13-1.15 ปัจจัย Mohr-Coulomb (c และ ϕ) สมการที่ 2.16-2.19 และ ปัจจัยกำลังของมวลหินและการเสีรูป (σ_c , σ_c , σ_{cm} , E_M) สมการที่ 2.20-2.23 ผลจากการจำแนกแสดงได้แต่ละพื้นที่หน้างานศึกษาของแต่ละพื้นที่แหล่งหินศึกษา

3.2.2.1 พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร

พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร (CH1-CH5) ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI อยู่ในช่วง 20-46 (ตารางที่ 3.16) พิจารณาโครงสร้างของมวลหินมีลักษณะ Intact or Massive ถึง Very Blocky และสภาพผิวหน้า Very Poor ถึง Fair (รูปที่ 3.5) สภาพผิวหน้าขรุขระ ผันงหินสุปานกลาง แนวแตกแยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร ยกเว้นพื้นที่หน้างานย่อย CH4 (รูปที่ 3.5 ง) ผลจากการระเบิดค้อยประสิทธิภาพ แนวแตกแยกอ้า 5-10 มิลลิเมตรจำแนกแบ่งกลุ่มของหินพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่อยู่ในกลุ่มหินเนื้อหยาบ ($m_i = 10$) ปัจจัยด้านกำลังและการเสีรูปของมวลหิน m_b อยู่ในช่วง 0.0296-0.463 เฉลี่ย 0.315, a อยู่ในช่วง 0.0000016-0.00039 เฉลี่ย 0.000208, s อยู่ในช่วง 0.507-0.543 เฉลี่ย 0.516, c อยู่ในช่วง 0.027-0.202 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.140 เมกะพาสคัล, ϕ อยู่ในช่วง 31° - 55° เฉลี่ย 49° , σ_c อยู่ในช่วง (-0.0648)-(-0.0045) เมกะพาสคัล เฉลี่ย -0.0397 เมกะพาสคัล, σ_c อยู่ในช่วง 0.059-1.417 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.888 เมกะพาสคัล, σ_{cm} อยู่ในช่วง 1.337-6.643 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 4.987 เมกะพาสคัล และ E_M อยู่ในช่วง 0.808-4.478 จิกะพาสคัล เฉลี่ย 3.118 จิกะพาสคัล

3.2.2.2 พื้นที่หน้างานศึกษากระบี่

ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่ (KR1-KR5) อยู่ในช่วง 24-38 (ตารางที่ 3.16) โครงสร้างมวลหินมีลักษณะ Very blocky ถึง Blocky/Disturbed และสภาพผิวหน้า Poor สภาพผิวหน้าขรุขระ ผันงหินค่อนข้างฝู แนวแตกแยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร ผงอุดหนานิ่มแทรกตามผันงรอยแตก ผลจากการระเบิดค้อยประสิทธิภาพ (รูปที่ 3.6) จำแนกแบ่งกลุ่มของหินพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่อยู่ในกลุ่มหินเนื้อหยาบ ($m_i = 10$) ปัจจัยด้านกำลังและการเสีรูปของ

มวลหิน m_b อยู่ในช่วง 0.0438-0.1193 เฉลี่ย 0.066, a อยู่ในช่วง 0.0000032-0.0000325 เฉลี่ย 0.0000105, s อยู่ในช่วง 0.513-0.533 เฉลี่ย 0.525, c อยู่ในช่วง 0.037-0.0792 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.050 เมกะพาสคัล, ϕ อยู่ในช่วง 31° - 46° เฉลี่ย 37.8° , σ_1 อยู่ในช่วง (-0.0210)-(-0.0048) เมกะพาสคัล เฉลี่ย -0.0094 เมกะพาสคัล, σ_c อยู่ในช่วง 0.077-0.385 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.165 เมกะพาสคัล, σ_{cm} อยู่ในช่วง 1.444-3.276 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 2.054 เมกะพาสคัล และ E_M อยู่ในช่วง 0.913-2.20 จิกะพาสคัล เฉลี่ย 1.31 จิกะพาสคัล

3.2.2.3 พื้นที่หน้างานศึกษาพังงา

พื้นที่หน้างานศึกษาพังงา (PN1-PN5) ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI อยู่ในช่วง 22-36 (ตารางที่ 3.17) โครงสร้างมวลหินพื้นที่หน้างานศึกษามีลักษณะ Blocky และ Very Blocky เนื่องจากผลการระเบิดค้อยประสิทธิภาพ และโครงสร้างมวลหินที่มีการแตกมาก ทำให้หินมีการแตกเป็นบล็อก สภาพผิวหน้าของหน้างานศึกษาอยู่ในช่วงพอใช้ (Fair) ผิวค่อนข้างขรุขระ ผงหินค่อนข้างฝู ถึงเลว (Poor) และเลวมาก (Very Poor) ผิวขรุขระ ผงอุดแทรกตามรอยแตก ผงหินผุ แยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.7) จำแนกกลุ่มของหินพื้นที่หน้างานศึกษาพังงาอยู่ในกลุ่มหิน เนื้อละเอียด ($m_i = 9$)

ปัจจัยด้านกำลังและการเสีรูปร่างของมวลหิน m_b อยู่ในช่วง 0.034-0.093 เฉลี่ย 0.056, a อยู่ในช่วง 0.0000023-0.0000233 เฉลี่ย 0.0000090, s อยู่ในช่วง 0.5149-0.538 เฉลี่ย 0.526, c อยู่ในช่วง 0.033-0.07 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.051 เมกะพาสคัล, ϕ อยู่ในช่วง 27° - 42° เฉลี่ย 36.4° , σ_1 อยู่ในช่วง (-0.0188)-(-0.0051) เมกะพาสคัล เฉลี่ย -0.0100 เมกะพาสคัล, σ_c อยู่ในช่วง 0.070-0.309 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.157 เมกะพาสคัล, σ_{cm} อยู่ในช่วง 1.414-2.774 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 1.972 เมกะพาสคัล และ E_M อยู่ในช่วง 0.877-1.94 จิกะพาสคัล เฉลี่ย 1.287 จิกะพาสคัล

3.2.2.4 พื้นที่หน้างานศึกษาสตูล

ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษาสตูล (ST1-ST5) อยู่ในช่วง 30-48 (ตารางที่ 3.17) โครงสร้างมวลหินพื้นที่หน้างานศึกษามีลักษณะ Blocky ยกเว้น ST2 โครงสร้างมวลหิน Ver Blocky (รูปที่ 3.8) เงื่อนไขผิวหน้าอยู่ในช่วงพอใช้ (Fair) จำแนกกลุ่มของหินพื้นที่หน้างานศึกษาภูเก็ตอยู่ในกลุ่มหิน เนื้อหยาบ ($m_i = 10$)

ปัจจัยด้านกำลังและการเสียรูปของมวลหิน m_b อยู่ในช่วง 0.214-0.574 เฉลี่ย 0.412, a อยู่ในช่วง 0.000039-0.00053 เฉลี่ย 0.00027, s อยู่ในช่วง 0.506-0.522 เฉลี่ย 0.512, c อยู่ในช่วง 0.095-0.263 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.178 เมกะพาสคัล, ϕ อยู่ในช่วง 46° - 54° เฉลี่ย 50.8° , σ_t อยู่ในช่วง (-0.0651)-(-0.0129) เมกะพาสคัล เฉลี่ย -0.0410 เมกะพาสคัล, σ_c อยู่ในช่วง 0.353-1.542 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 1.012 เมกะพาสคัล, σ_{cm} อยู่ในช่วง 3.813-6.952 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 5.744 เมกะพาสคัล และ E_M อยู่ในช่วง 1.727-4.85 จิกะพาสคัล เฉลี่ย 3.477 จิกะพาสคัล

3.2.2.5 พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง

ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI และปัจจัยด้านมวลหินพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง อยู่ในช่วง 20-26 (ตารางที่ 3.18) โครงสร้างมวลหินพื้นที่หน้างานศึกษามีลักษณะ Blocky/Disturbed จะมีการวางตัวเป็นชั้น (Bedding) ยกเว้น PH1 และ PH5 โครงสร้างมวลหิน Foliated/Laminated ความยาวแนวแตกยาวต่อเนื่อง ผลจากการระเบิดทำให้หินหน้าความลาดมีการแตกเป็นบล็อกขนาด เล็ก ($D=1.0$) สภาพผนังหินค่อนข้างผุ ผิวหน้าเรียบ แนวแตกแยกอ้า 1-5 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.10) จำแนกกลุ่มของหินพื้นที่หน้างานศึกษาพังงาอยู่ในกลุ่มหิน เนื้อหยาบ ($m_i=10$)

ปัจจัยด้านกำลังและการเสียรูปของมวลหิน m_b อยู่ในช่วง 0.0342-0.1543 เฉลี่ย 0.075, a อยู่ในช่วง 0.000022-0.0000219 เฉลี่ย 0.0000077, s อยู่ในช่วง 0.529-0.544 เฉลี่ย 0.536, c อยู่ในช่วง 0.041-0.0785 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.052 เมกะพาสคัล, ϕ อยู่ในช่วง 30° - 43° เฉลี่ย 34.4° , σ_t อยู่ในช่วง (-0.0102)-(-0.0054) เมกะพาสคัล เฉลี่ย -0.0066 เมกะพาสคัล, σ_c อยู่ในช่วง 0.075-0.246 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.122 เมกะพาสคัล, σ_{cm} อยู่ในช่วง 1.504-3.124 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 1.997 เมกะพาสคัล และ E_M อยู่ในช่วง 0.907-1.385 จิกะพาสคัล เฉลี่ย 1.025 จิกะพาสคัล

3.2.2.6 พื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช

ผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชอยู่ในช่วง 18-36 (ตารางที่ 3.18) โครงสร้างมวลหินพื้นที่หน้างานศึกษามีลักษณะ Very Blocky ซึ่งเป็นผลจากการระเบิดค้อยประสิทธิภาพ ($D=1.0$) และโครงสร้างของมวลหิน Fair-Very Poor (รูปที่ 3.9) ที่มีการแตกมาก ยกเว้นพื้นที่หน้างานศึกษา NK5 โครงสร้างมวลหินแตกเป็นบล็อกและมีรอยแตกขนาดใหญ่ตัดผ่านหน้าความลาด ผนังหินไม่ผุ ผลการระเบิดเป็นระเบียบ ($D = 0.7$) จำแนกกลุ่มของหินพื้นที่หน้างานศึกษาพังงาอยู่ในกลุ่มหินเนื้อละเอียด ($m_i = 9$)

ปัจจัยด้านกำลังและการเสียรูปของมวลหิน m_b อยู่ในช่วง 0.0438-0.153 เฉลี่ย 0.109, a อยู่ในช่วง 0.0000031-0.0000233 เฉลี่ย 0.0000124, s อยู่ในช่วง 0.515-0.550 เฉลี่ย 0.534, c อยู่ในช่วง 0.038-0.0671 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.057 เมกะพาสคัล, ϕ อยู่ในช่วง 33° - 44° เฉลี่ย 39° , σ_1 อยู่ในช่วง (-0.0132)-(-0.0044) เมกะพาสคัล เฉลี่ย -0.0069 เมกะพาสคัล, σ_c อยู่ในช่วง 0.077-0.199 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 0.140 เมกะพาสคัล, σ_{cm} อยู่ในช่วง 0.242-3.004 เมกะพาสคัล เฉลี่ย 1.833 เมกะพาสคัล และ E_M อยู่ในช่วง 0.867-1.71 จิกะพาสคัล เฉลี่ย 1.141 จิกะพาสคัล

ตารางที่ 3.16 ปัจจัยด้านมวลหินและผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษาหุบพระและกระบี่

รายการ	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5
โครงสร้าง	Blocky	Blocky	Intact or Massive	Very Blocky	Very Blocky	Very Blocky	Very Blocky	Blocky/ Disturbed	Blocky/ Disturbed	Very Blocky
เงื่อนไขผิวหน้า	Fair	Fair	Fair	Very Poor	Fair	Poor	Poor	Poor	Poor	Poor
กำลังอัด (MPa)	74.58	77.44	75.24	82.72	69.96	77.22	68.20	71.06	66.66	75.24
Factor (D)	0.7	0.7	0.7	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
GSI	44	42	46	20	38	38	28	26	24	28
m_b	0.4149	0.3717	0.463	0.0296	0.298	0.1193	0.0584	0.0506	0.0438	0.0584
s	0.0002987	0.0002235	0.00039	0.000001619	0.000125	0.00003253	0.00000614	0.0000044	0.00000315	0.00000614
a	0.508	0.509	0.507	0.543	0.513	0.513	0.525	0.529	0.533	0.525
c (MPa)	0.175	0.1699	0.202	0.027	0.1263	0.0792	0.048	0.037	0.043	0.043
ϕ (Deg)	55	53	55	31	51	46	36	37	31	39
σ_t (MPa)	-0.0536	-0.0465	-0.0648	-0.0045	-0.0293	-0.0210	-0.0072	-0.00617	-0.00479	-0.00791
σ_c (MPa)	1.201	1.065	1.417	0.0587	0.696	0.385	0.1244	0.1039	0.077	0.137
σ_{cm} (MPa)	6.179	6.015	6.643	1.337	4.761	3.276	1.824	1.715	1.444	2.013
E_M (GPa)	3.973	3.609	4.478	0.808	2.724	2.20	1.163	1.058	0.913	1.222

ตารางที่ 3.17 ปัจจัยด้านมวลหินและผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษาพังงาและสตูล

รายการ	PN1	PN2	PN3	PN4	PN5	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5
โครงสร้าง	Very Blocky	Blocky	Disintegrated	Blocky	Very Blocky	Blocky	Very Blocky	Blocky	Blocky	Blocky
เงื่อนไขผิวหน้า	Very Poor	Poor	Fair	Poor	Poor	Fair	Good	Poor	Fair	Fair
กำลังอัด (MPa)	77.44	75.24	82.72	69.96	79.64	76.56	70.62	67.32	72.60	70.18
Factor (D)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
GSI	22	36	26	32	24	44	30	36	46	48
m_b	0.034	0.093	0.045	0.0699	0.0395	0.461	0.2136	0.297	0.514	0.574
S	0.00000226	0.0000233	0.0000044	0.0000119	0.00000315	0.000298	0.0000392	0.0000937	0.000399	0.000533
A	0.538	0.5149	0.529	0.519	0.533	0.5086	0.522	0.514	0.507	0.506
c (MPa)	0.049	0.077	0.033	0.052	0.045	0.198	0.095	0.122	0.214	0.263
ϕ (Deg)	27	42	40	41	32	53	46	49	54	52
σ_t (MPa)	-0.00511	-0.0188	-0.0079	-0.01196	-0.0063	-0.0496	-0.0129	-0.0212	-0.0563	-0.0651
σ_c (MPa)	0.070	0.309	0.121	0.193	0.093	1.233	0.353	0.567	1.367	1.542
σ_{cm} (MPa)	1.414	2.774	1.888	2.151	1.631	6.685	3.813	4.515	6.754	6.952
E_M (GPa)	0.877	1.937	1.142	1.483	0.998	4.026	1.727	2.382	4.399	4.853

ตารางที่ 3.18 ปัจจัยด้านมวลหินและผลการจำแนกมวลหินระบบ GSI ของพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชและพัทลุง

รายการ	NK1	NK2	NK3	NK4	NK5	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5
โครงสร้าง	Very Blocky	Very Blocky	Blocky or Disturbed	Very Blocky	Blocky/ Disturbed	Foliated/ Laminated	Blocky / Disturbed	Blocky / Disturbed	Blocky/ Disturbed	Foliated/ Laminated
เงื่อนไขผิวหน้า	Very Poor	Very Poor	Very Poor	Fair	Poor	Fair	Fair	Poor	Poor	Poor
กำลังอัด (MPa)	57.64	71.06	70.84	58.96	66.92	83.82	82.72	73.48	71.72	69.96
Factor (D)	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7
GSI	22	24	18	36	24	22	22	24	26	20
m_b	0.137	0.153	0.110	0.103	0.0438	0.0342	0.0342	0.0395	0.1543	0.1109
s	0.0000123	0.00001646	0.0000068	0.0000233	0.0000031	0.0000022	0.0000022	0.0000031	0.0000219	0.0000092
a	0.538	0.533	0.5499	0.5149	0.533	0.538	0.538	0.533	0.5292	0.5437
c (MPa)	0.0671	0.064	0.0469	0.067	0.038	0.0412	0.041	0.0438	0.0785	0.0575
ϕ (Deg)	38	44	39	41	33	30	30	31	43	38
σ_1 (MPa)	-0.0051	-0.007	-0.0044	-0.0132	-0.0048	-0.0055	-0.0054	-0.00586	-0.0102	-0.0058
σ_c (MPa)	0.131	0.199	0.102	0.189	0.077	0.076	0.075	0.0854	0.2458	0.1279
σ_{cm} (MPa)	2.226	3.004	2.242	0.242	1.449	1.530	1.510	1.504	3.124	2.318
E_M (GPa)	0.984	1.226	0.867	1.714	0.915	0.913	0.907	0.959	1.382	0.966

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและถดถอยเชิงเส้น

3.3.1 การแจกแจงข้อมูลผลของสมบัติมวลรวมเชิงสถิติ

ผลการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูลค่าทดสอบสมบัติมวลรวมสามารถอธิบายได้แต่ละผลการทดสอบ ได้ดังนี้

3.3.1.1 การแจกแจงข้อมูลการดูดซึมน้ำ

ความถี่ของค่าการดูดซึมน้ำใน มวลรวมหินคาร์บอนจากทุกแหล่งการศึกษา (รูปที่ 3.11 ก) มากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.30-0.40 คิดเป็นร้อยละ 45.70 รองลงมาอยู่ในช่วงร้อยละ 0.40-0.50 คิดเป็นร้อยละ 11.50 ช่วงร้อยละ 0.60-0.70 คิดเป็นร้อยละ 8.60 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอยู่ที่ร้อยละ 0.45 ค่ามัธยฐานร้อยละ 0.39 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.16 แสดงลักษณะของโค้งความถี่ปกติเบ้ขวา ข้อมูลมีการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยโดยผลการดูดซึมน้ำส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.40-0.50

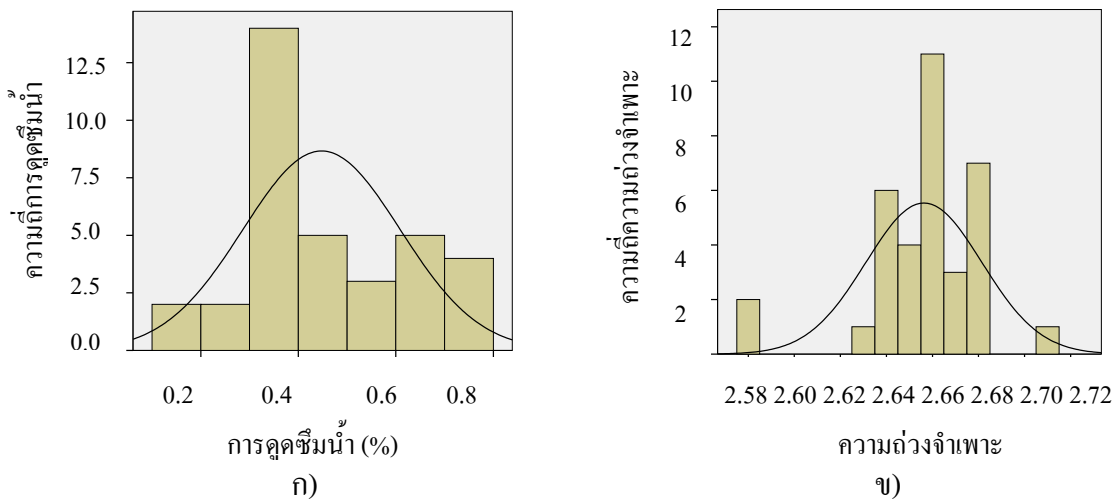
3.3.1.2 การแจกแจงข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะ

ความถี่ของมวลรวมหินคาร์บอนสำหรับค่าความถ่วงจำเพาะ (รูปที่ 3.11 ข) มากที่สุดที่ 2.66 คิดเป็นร้อยละ 28.9 รองลงมา 2.68 คิดเป็นร้อยละ 18.4 และ 2.64 คิดเป็นร้อยละ 15.8 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ 2.66 ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 2.66 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.25 แสดงลักษณะของโค้งความถี่แบบปกติ ผลความถ่วงจำเพาะไม่มีการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2.66-2.68

3.3.1.3 การแจกแจงข้อมูลการสึกหรอแบบลอสเองเจดิส

ความถี่ของมวลรวมหินคาร์บอนสำหรับการสึกหรอแบบลอสเองเจดิส มากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 26.00-27.00 คิดเป็นร้อยละ 31.43 รองลงมาอยู่ในช่วงร้อยละ 28-30 คิดเป็นร้อยละ 20 และอยู่ในช่วงร้อยละ 32.00-33.00 คิดเป็นร้อยละ 17 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 29.31

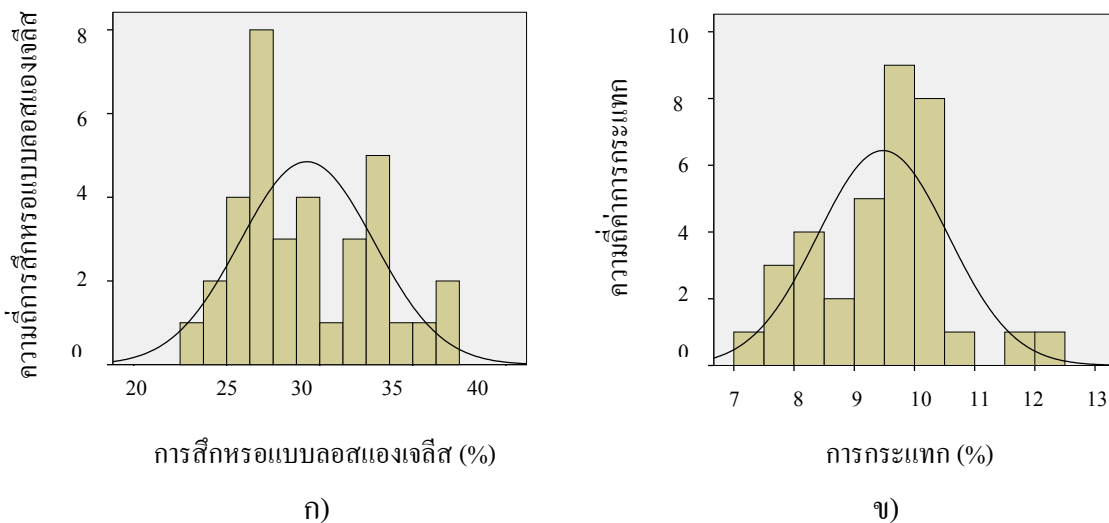
ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 28.40 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 3.59 ค่าการสึกหรอแบบลอสเองเจดิสมีการแสดงลักษณะของโค้งความถี่แบบปกติเบ้ขวา (รูปที่ 3.12 ก) ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 27-33



รูปที่ 3.11 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวม ก) การดูดซึมน้ำ และ ข) ความถี่จำเพาะ

3.3.1.4 การแจกแจงข้อมูลการกระแทก

ความถี่ของมวลรวมหินคาร์บอนेटสำหรับค่าการกระแทก (รูปที่ 3.12 ข) มากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 9.50-10.00 คิดเป็นร้อยละ 25.71 รองลงมาอยู่ในช่วงร้อยละ 10.00-10.50 คิดเป็นร้อยละ 22.86 และช่วงร้อยละ 9.00-9.50 คิดเป็นร้อยละ 14.26 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.48



รูปที่ 3.12 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวม ก) การสึกหรอแบบลอสเองเจดิส และ ข) การกระแทก

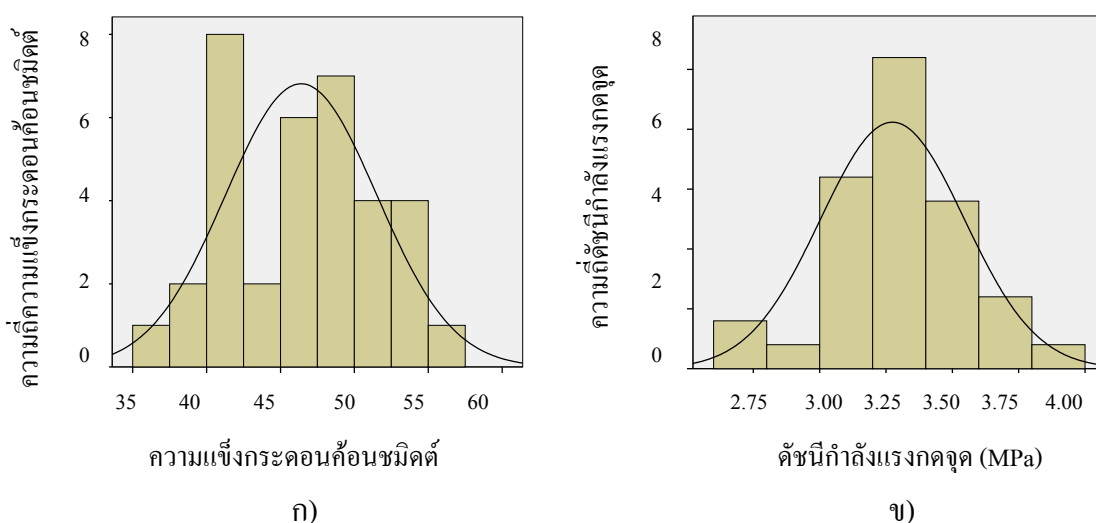
ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 9.74 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.08 ค่าการกระแทกแสดงลักษณะของโค้งความถี่แบบปกติเบ้ซ้าย ค่าการกระแทกส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 9.0-10.0

3.3.1.5 การแจกแจงข้อมูลความแข็งกระดองค้อนชนิดค้อน

ความถี่ของมวลรวมหินคาร์บอนेटสำหรับค่าความแข็งกระดองค้อนชนิดค้อน (รูปที่ 3.13 ก) มากที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 40.00-42.25 คิดเป็นร้อยละ 22.86 รองลงมาอยู่ในช่วงร้อยละ 47.50-50.00 คิดเป็นร้อยละ 20.00 และช่วงร้อยละ 45.00-47.75 คิดเป็นร้อยละ 17.14 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 46.40 ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 46.40 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 5.12 ความแข็งกระดองค้อนชนิดค้อนแสดงลักษณะของ โค้งความถี่แบบปกติ ข้อมูลไม่มีการเบี่ยงเบน ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 42.0-50.0

3.3.1.6 การแจกแจงข้อมูลดัชนีกำลังแรงกดจุด

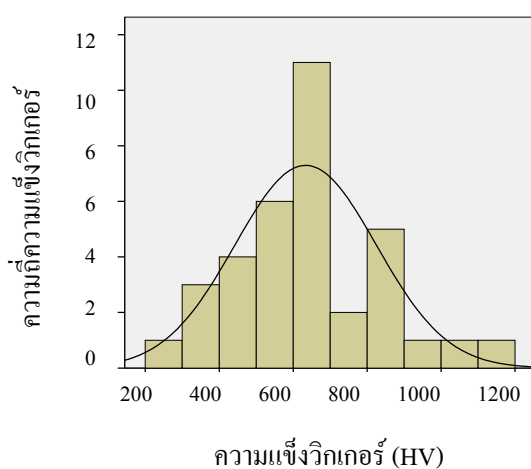
ความถี่ของมวลรวมหินคาร์บอนेटสำหรับค่าดัชนีกำลังแรงกดจุด (รูปที่ 3.13 ข) มากที่สุดอยู่ในช่วง 3.20-3.40 เมกะพาสคัล คิดเป็นร้อยละ 37.14 รองลงมาอยู่ในช่วง 3.0-3.20 คิดเป็นร้อยละ 22.86 เมกะพาสคัล และช่วง 3.40-3.60 คิดเป็นร้อยละ 17.14 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.27 เมกะพาสคัล ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 3.24 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.27 ดัชนีกำลังแรงกดจุดมีการกระจายตัวต่ำ แสดงลักษณะของ โค้งความถี่แบบปกติ ข้อมูลไม่มีการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ดัชนีกำลังแรงกดจุดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 3.0-3.6 เมกะพาสคัล



รูปที่ 3.13 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวม ก) ความแข็งค้อนชนิดค้อน และ ข) ดัชนีกำลังแรงกดจุด

3.3.1.7 การแจกแจงข้อมูลความแข็งวิกเกอร์

ความถี่ของมวลรวมหินคาร์บอนสำหรับค่าความแข็งวิกเกอร์ (รูปที่ 3.14) มากที่สุดในช่วง 600-700 HV คิดเป็นร้อยละ 31.43 รองลงมาอยู่ในช่วง 500-600 คิดเป็นร้อยละ 17.14 และช่วง 800-900 คิดเป็นร้อยละ 14.26 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 633.62 HV ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 630.30 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 191.41 ความแข็งวิกเกอร์ แสดงลักษณะของโค้งความถี่แบบปกติ ข้อมูลไม่มีการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ความแข็งวิกเกอร์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 500-900 HV



ก)

รูปที่ 3.14 กราฟแท่งของสมบัติมวลรวมความแข็งวิกเกอร์

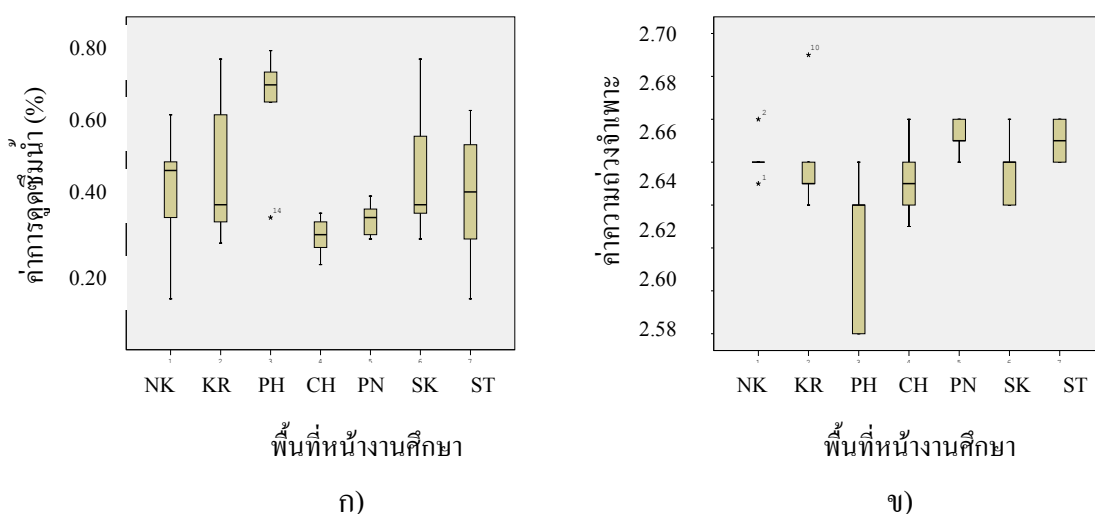
3.3.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล

3.3.2.1 การกระจายตัวข้อมูลการดูดซึมน้ำ

ข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลการดูดซึมน้ำโดย Box plot เปรียบเทียบแต่ละพื้นที่แหล่งหินศึกษา (รูปที่ 3.15 ก) พื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช, กระบี่, สตูล และ สงขลา ข้อมูลมีการกระจาย โดยพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่มีการกระจายของข้อมูลสูงสุด และพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยสุด พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ข้อมูลโดยรวมไม่แสดงลักษณะของการกระจายตัวเช่นเดียวกับแหล่งพื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร และพังงา ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน จากผลการทดสอบ

3.3.2.2 การกระจายตัวข้อมูลความถ่วงจำเพาะ

(รูปที่ 3.15 ข) พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชข้อมูลไม่มีการกระจาย โดยมีข้อมูล 2 ค่าที่ออกจากกลุ่มการทดลอง ข้อมูลของพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุงแสดงค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลมากที่สุด พื้นที่หน้างานศึกษากระบี่แสดงค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด ส่วนพื้นที่แหล่งหินศึกษาอื่นๆข้อมูลมีการกระจายตัวต่ำ



รูปที่ 3.15 การกระจายตัวข้อมูลของแต่ละพื้นที่หน้างานศึกษา

ก) การดูดซึมน้ำ และ ข) ความถ่วงจำเพาะ

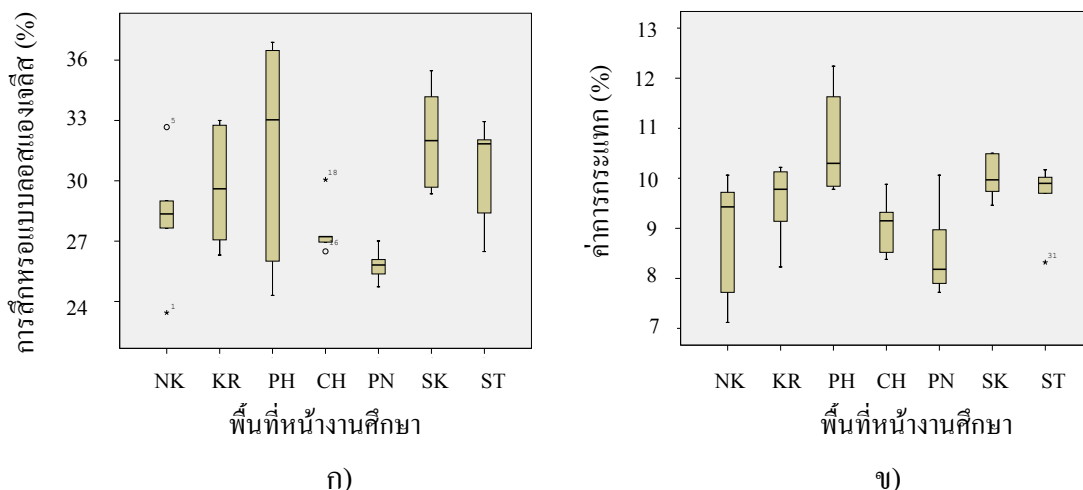
3.3.2.3 การกระจายตัวข้อมูลการสึกหรอบนเบสแองเจลิส

(รูปที่ 3.16 ก) การวิเคราะห์การกระจายตัวข้อมูลการสึกหรอบนเบสแองเจลิสโดยข้อมูลมีการกระจายตัวมากที่สุดของพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง กระบี่ สงขลา และสตูล ตามลำดับ พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร พังงา และนครศรีธรรมราช มีการกระจายตัวของข้อมูลต่ำ โดยบางพื้นที่ข้อมูลบางค่ามีค่าออกจากกลุ่มการทดลองของพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชและชุมพร

3.3.2.4 การกระจายตัวข้อมูลการกระแทก

รูปที่ 3.16 ข) การกระจายตัวข้อมูลค่าการกระแทก ของแต่ละพื้นที่หน้างานศึกษา พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชและพัทลุงมีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด โดย พื้นที่

หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชมีค่าการกระแทกต่ำสุด และพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุงมีค่าการกระแทกสูงสุด พื้นที่แหล่งหินศึกษาอื่นๆ ข้อมูลไม่แสดงการกระจายตัว โดยพื้นที่แหล่งหินศึกษาสตูลข้อมูลแสดงการกระจายน้อยที่สุด



รูปที่ 3.16 การกระจายตัวข้อมูลของแต่ละพื้นที่หน้างานศึกษา

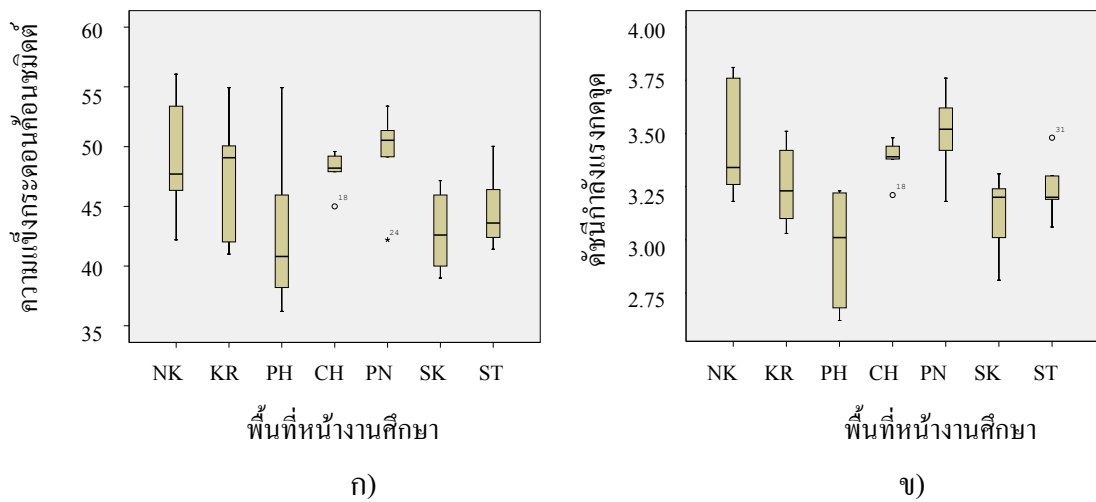
ก) การศึกษารอบแบบลอสเองเฉลี่ย และ ข) ค่าการกระแทก

3.3.2.5 การกระจายตัวข้อมูลความแข็งกระดองค้อนชนิด

รูปที่ 3.17 ก) การกระจายตัวข้อมูลความแข็งกระดองค้อนชนิด พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุงแสดงค่าความแข็งกระดองต่ำสุด และพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชแสดงค่าความแข็งกระดองสูงสุด โดยพื้นที่หน้างานศึกษากระบี่และพัทลุงมีการกระจายข้อมูลสูงสุด รองลงมาพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช และสงขลาพื้นที่ชุมพรมีการกระจายข้อมูลต่ำสุด

3.3.2.6 การกระจายตัวข้อมูลดัชนีกำลังแรงกดจุด

รูปที่ 3.17 ข) การกระจายตัวข้อมูลดัชนีกำลังแรงกดจุดของแต่ละพื้นที่หน้างานศึกษา พื้นที่หน้างานศึกษา PH ข้อมูลมีการแจกแจงมากที่สุดและแสดงค่าต่ำสุดของดัชนีกำลังแรงกดจุด เช่นเดียวกับพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชที่มีการกระจายของข้อมูลและแสดงค่าสูงสุดของดัชนีกำลังแรงกดจุด พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพรและสตูลข้อมูลมีการแจกแจงน้อย ผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน และมีบางค่าของผลการทดลองที่ออกจากกลุ่ม

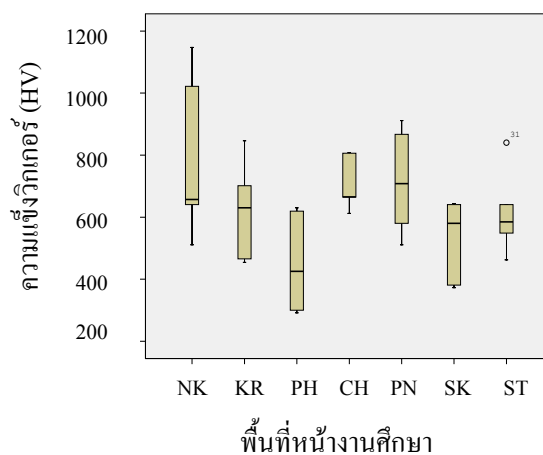


รูปที่ 3.17 การกระจายตัวของข้อมูลของแต่ละพื้นที่หน้างานศึกษา

ก) ความแข็งแรงคอนกรีตชนิดอัด และ ข) ดัชนีกำลังแรงกดจุด

3.3.2.7 การกระจายตัวของข้อมูลความแข็งแรงวิกเกอร์

รูปที่ 3.18) การกระจายตัวของค่าความแข็งแรงวิกเกอร์ พื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชมีการกระจายของข้อมูลมากที่สุดรวมถึงแสดงผลความแข็งแรงวิกเกอร์สูงสุด ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุงข้อมูลมีการกระจายรองจากพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราชและแสดงค่าต่ำสุดของความแข็งแรงวิกเกอร์ พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุงและสงขลาไม่มีการกระจายของข้อมูล ข้อมูลในส่วนพื้นที่สตูลมีบางข้อมูลที่ผลการทดสอบออกนอกกลุ่ม



รูปที่ 3.18 การกระจายตัวของข้อมูลของแต่ละแหล่งพื้นที่การศึกษาความแข็งแรงวิกเกอร์

3.3.3 สหสัมพันธ์ของของสมบัติมวลรวม

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมวลรวมทดสอบหินคาร์บอนเตวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของมวลรวมทดสอบหินคาร์บอนเตเสนอในรูปแบบสมการความสัมพันธ์อย่างง่าย เชิงเส้น ยกกำลัง และ เอ็กโพเนนเชียล (ตารางที่ 3.20) ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสมบัติมวลรวมทดสอบแบบเพียร์สัน พิจารณาความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.5-1.0 ระดับดี-ดีมาก และค่าความสำคัญ (significant) ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05) ทั้งรูปแบบความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงและแปรผกผัน ความสัมพันธ์สามารถแสดงได้ดังรูปกราฟที่ 3.19-3.28 ประกอบด้วย

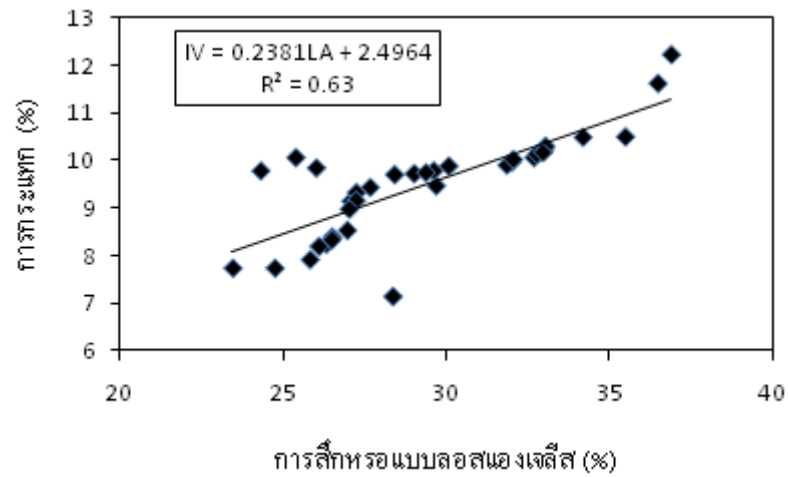
การสึกหรอแบบลอสเองเจลิสแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นแบบแปรผันตรงกับ การกระแทก และแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันระหว่างความแข็งกระดองก้อนชนิด ค้อนชนิด ความแข็งวิกเกอร์ และดัชนีกำลังแรงกดจุด (รูปที่ 3.19-3.22) ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น $R^2 = 0.63, 0.76, 0.69$ และ 0.72 ตามลำดับ ความสัมพันธ์อยู่ในขั้นดีถึงดีมาก การกระแทกแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความแข็งกระดองก้อนชนิด ค้อนชนิด ความแข็งวิกเกอร์ และดัชนีกำลังแรงกดจุด (รูปที่ 3.23-3.25) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น $R^2 = 0.72, 0.81$ และ 0.94 ตามลำดับ ความสัมพันธ์อยู่ในขั้นดีถึงดีมาก ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและการกระแทกกับสมบัติมวลรวมให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Ugur et al., 2010 ถึงความสัมพันธ์ของการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและการกระแทกที่แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความแข็งกระดองก้อนชนิด และดัชนีกำลังแรงกดจุด

ดัชนีกำลังแรงกดจุดแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความแข็งกระดองก้อนชนิดและความแข็งวิกเกอร์ (รูปที่ 3.26-3.28) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น $R^2 = 0.75$ และ 0.86 ตามลำดับ และความแข็งวิกเกอร์แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความแข็งกระดองก้อนชนิด (รูปที่ 3.27) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น $R^2 = 0.74$

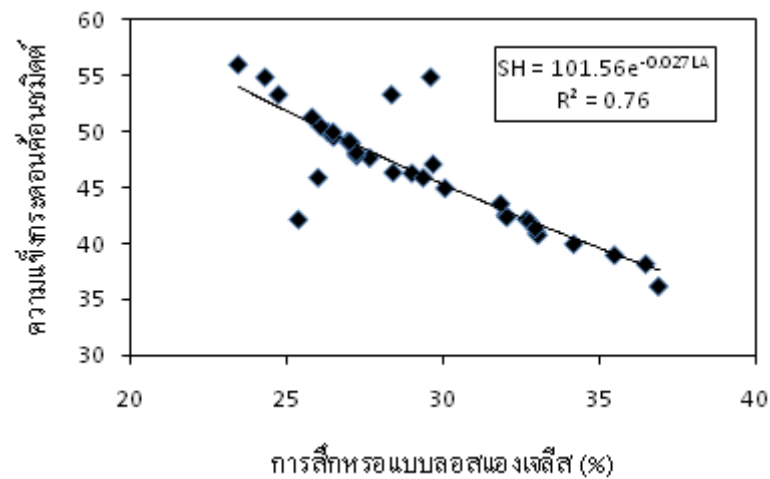
ตารางที่ 3.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างค่าตัวแปรต่างๆ ของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอน

		WB	SG	LA	IV	SH	Is ₅₀	HV
WB	Correlation	1	-.557(**)	.113	.308	-.163	-.283	-.238
	Sig. (2-tailed)		.001	.517	.072	.348	.100	.168
SG	Correlation	-.557(**)	1	-.392(*)	-.492(**)	.351(*)	.502(**)	.400(*)
	Sig. (2-tailed)	.001		.020	.003	.039	.002	.017
LA	Correlation	.113	-.392(*)	1	.791(**)	-.856(**)	-.849(**)	-.823(**)
	Sig. (2-tailed)	.517	.020		.000	.000	.000	.000
IV	Correlation	.308	-.492(**)	.791(**)	1	-.835(**)	-.970(**)	-.959(**)
	Sig. (2-tailed)	.072	.003	.000		.000	.000	.000
SHV	Correlation	-.163	.351(*)	-.856(**)	-.835(**)	1	.867(**)	.880(**)
	Sig. (2-tailed)	.348	.039	.000	.000		.000	.000
Is ₅₀	Correlation	-.283	.502(**)	-.849(**)	-.970(**)	.867(**)	1	.970(**)
	Sig. (2-tailed)	.100	.002	.000	.000	.000		.000
HV	Correlation	-.238	.400(*)	-.823(**)	-.959(**)	.880(**)	.970(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.168	.017	.000	.000	.000	.000	

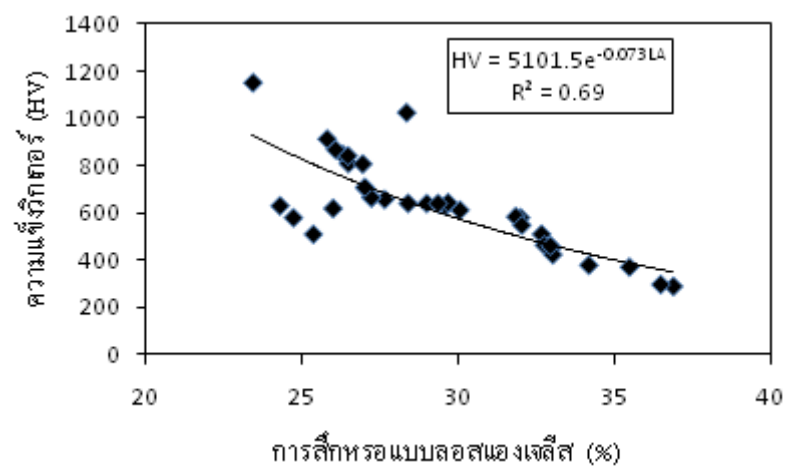
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)



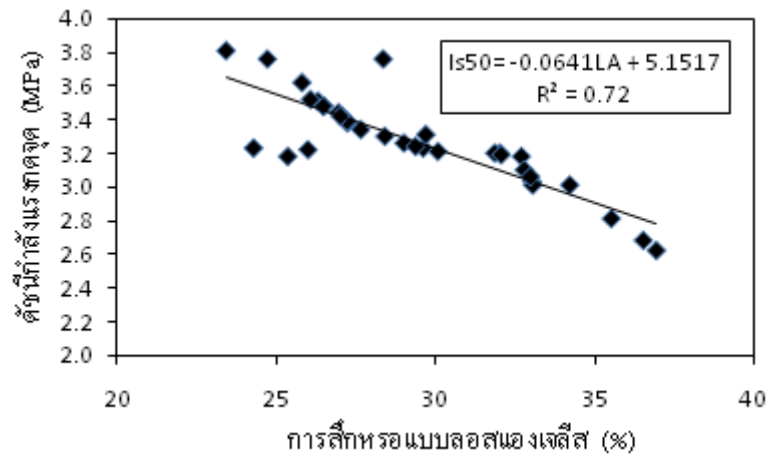
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระแทกและการสีกหรือแบบลอสเองเจลีส



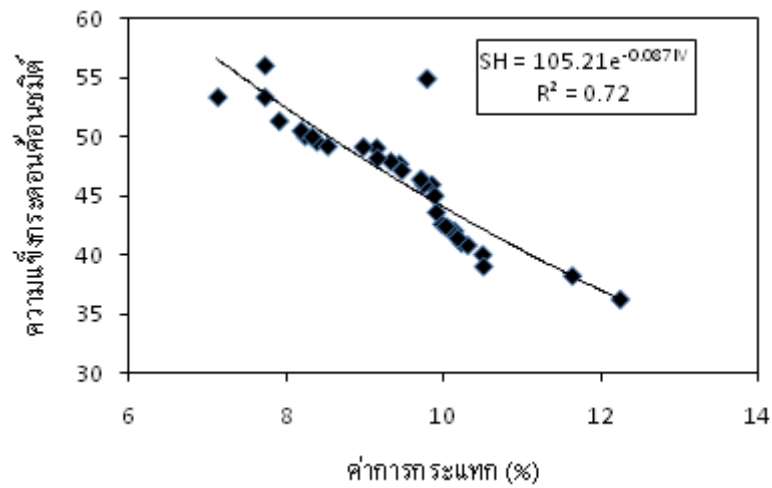
รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกระดองค้อนขมิคตและการสีกหรือแบบลอสเองเจลีส



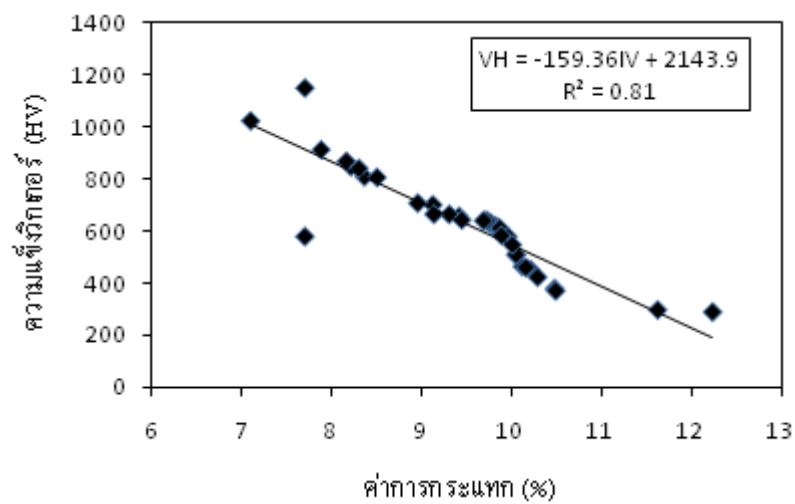
รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และการสีกหรือแบบลอสเองเจลีส



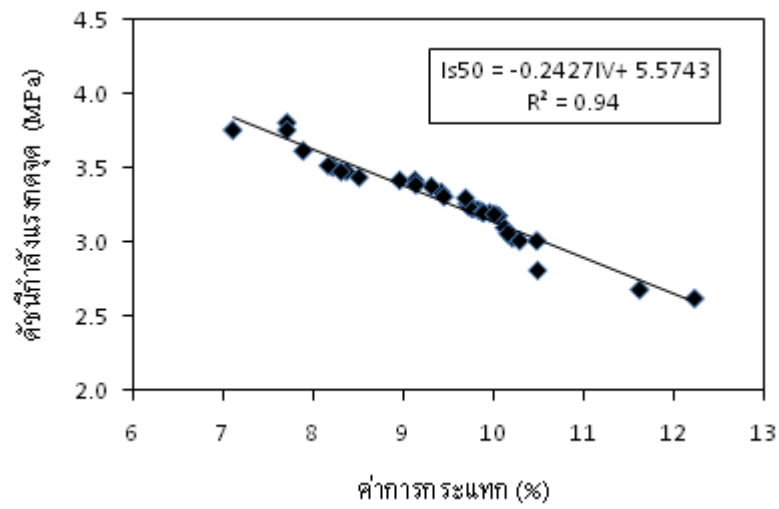
รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและการสีกหรือแบบลอสเองเจลีส



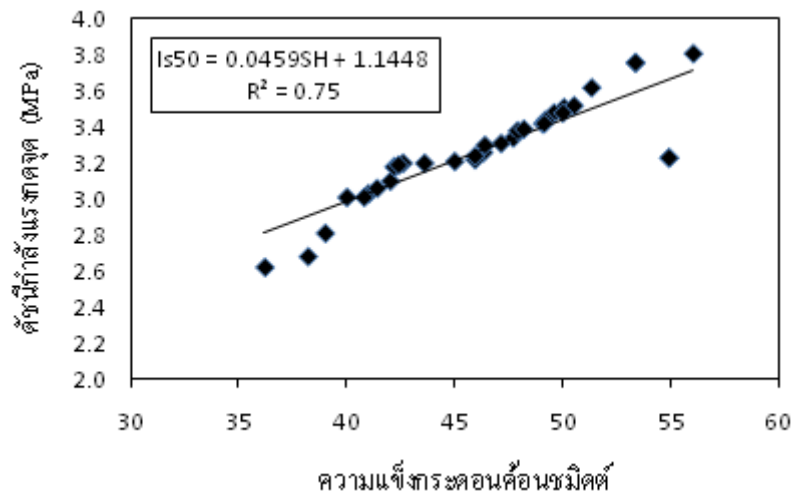
รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกระดองค้อนชนิดดีและค่าการระแหก



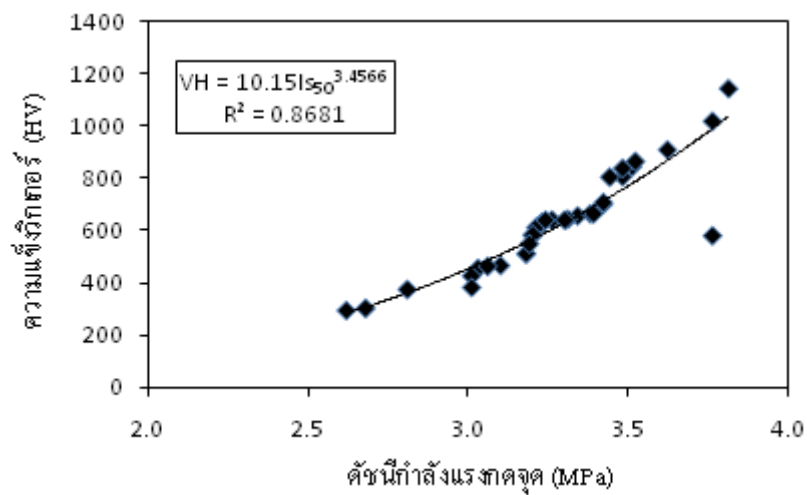
รูปที่ 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และค่าการระแหก



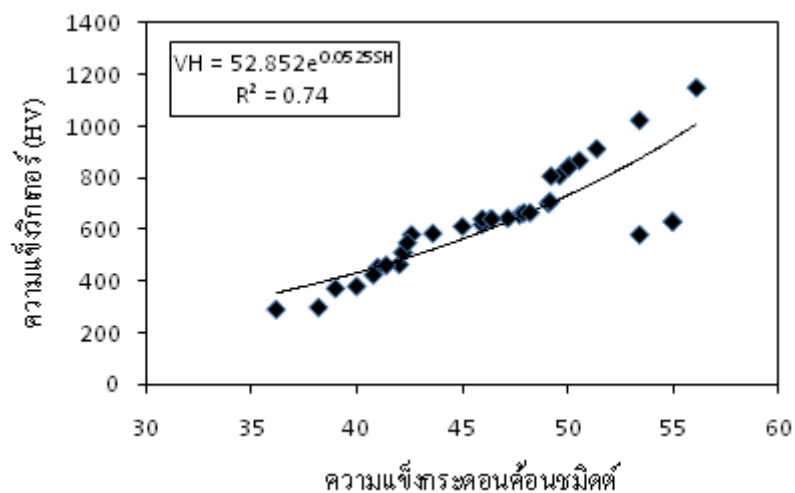
รูปที่ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและค่าการระเหย



รูปที่ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและความแข็งกระดองค้อนชนิดต



รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และดัชนีกำลังแรงกดจุด



รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และความแข็งกระดองค้อนชนิด

ตารางที่ 3.20 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่ายของสมบัติมวลรวม

สมการเชิงเส้น	R^2	รูปแบบสมการ
$IV = 0.2381LA + 2.4964$	0.63	เส้นตรง
$SH = 101.56e^{-0.027LA}$	0.76	เอ็กโพเนนเชียล
$SH = 105.21e^{-0.037IV}$	0.72	เอ็กโพเนนเชียล
$HV = 5101.5e^{-0.073LA}$	0.69	เอ็กโพเนนเชียล
$HV = 10.15I_{s50}^{3.4566}$	0.86	ยกกำลัง
$HV = 52.852e^{0.0525SH}$	0.74	เอ็กโพเนนเชียล
$HV = -159.36IV + 2143.9$	0.81	เส้นตรง
$I_{s50} = -0.0641LA + 5.1517$	0.72	เส้นตรง
$I_{s50} = -0.2427IV + 5.5743$	0.94	เส้นตรง
$I_{s50} = 0.0459SH + 1.1448$	0.75	เส้นตรง

3.3.4 สหสัมพันธ์เชิงพหุคูณของสมบัติมวลรวม

วิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Variable Regression) ของผลการทดสอบสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนจากพื้นที่หน้างานศึกษาของเหมืองหิน ได้แก่ การดูดซึมน้ำ (WB) ความถ่วงจำเพาะ (SG) ดัชนีกำลังแรงกดจุด (I_{s50}) การสึกหรอแบบลอสมองเจลีส (LA) ค่าการ

กระแทก (IV) ความแข็งกระดองค้อนชนิดดี (SH) และความแข็งวิกเกอร์ (HV) มา เพื่อสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ กับค่าต่างๆ ของสมบัติมวลรวม และความสัมพันธ์กับอัตราการเจาะแบบกระแทก กับสมบัติมวลรวม จากการทดสอบได้สร้างสมการความสัมพันธ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติมวลรวมกับสมบัติมวลรวม และสมบัติมวลรวมกับอัตราการเจาะแบบกระแทก

จากตารางที่ 3.21 เป็นตารางแสดงสมการถดถอยของการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าสมบัติต่างของมวลรวม เป็นสมการที่ได้รับการพิจารณาแล้วว่ามีความเหมาะสมมากที่สุดในการคาดคะเนสมบัติมวลรวมทดสอบ จากสมการถดถอยข้างต้นนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น R^2 อยู่ระหว่าง 0.79-0.96 ความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี-ดีมาก ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ T-test อยู่ในช่วง 1.93-92.50 และค่าความสำคัญ (sig.) อยู่ในช่วง 0.00-0.041 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 และค่า F-test อยู่ในช่วง 44.79-368.04 ค่าความสำคัญ (sig.) มีค่า 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามในสมการถดถอย โดยความสัมพันธ์ระดับดีถึงดีมาก ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ของสมบัติมวลรวม ทำให้สามารถคาดคะเนค่าปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านการทดสอบเพื่อหาค่าโดยตรง เช่น การสึกหรอแบบลอสเองเจลิส ดัชนีกำลังแรงกดจุด เป็นต้น

ตารางที่ 3.21 สมการถดถอยเชิงพหุคูณของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอน

สมการถดถอย	R^2	รูปแบบสมการ	T-test	F-test
$LA = 63.309 - 0.31SH - 6.007 I_{s50}$	0.88	เส้นตรง	92.50	44.79
$IV = 24.926 - 4.331 I_{s50} - 0.044LA$	0.95	เส้นตรง	13.69	256.23
$SH = 30.983 + 9.837 I_{s50} - 0.569LA$	0.79	เส้นตรง	3.21	51.82
$HV = 1271.491 + 10.291SH - 117.97IV$	0.83	เส้นตรง	1.93	66.08
$I_{s50} = 5.684 - 0.202IV - 0.017LA$	0.96	เส้นตรง	3.78	368.04

1) สหสัมพันธ์เชิงพหุคูณของสมบัติมวลรวมและอัตราการเจาะแบบกระแทก

ตารางที่ 3.24 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างค่าตัวแปรต่างๆ ของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนและอัตราการเจาะแบบกระแทก เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ที่ r มากกว่า 0.5 และค่าความสำคัญ (Sig. น้อยกว่า 0.05) พบว่าอัตราการ

เจาะแบบกระแทกแสดงความสัมพันธ์ในระดับพอใช้ ระหว่างการสึกหรอแบบลอสตนเองเจลิส การกระแทก คัดนี้กำลังแรงกดจุดและความแข็งวิกเกอร์ และความแข็งกระดองก้อนขมิคต์ เสนอสมการความสัมพันธ์อย่างง่ายในรูปสมการเชิงเส้น (ตารางที่ 3.22) ตรงระหว่างอัตราการเจาะแบบกระแทกและสมบัติมวลรวม (รูปที่ 3.29-3.33) ความสัมพันธ์ที่พบมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น R^2 อยู่ในช่วง 0.34-0.43 ค่าการดูดซึมน้ำและความถ่วงจำเพาะแสดงความสัมพันธ์ระดับน้อยกับอัตราการเจาะ (รูปที่ 3.34-3.35)

ตารางที่ 3.22 สมการความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างอัตราการเจาะแบบกระแทกและสมบัติมวลรวม

สมการเชิงเส้น	R^2	รูปแบบสมการ
$DR = 0.041LA - 0.1557$	0.37	เส้นตรง
$DR = 0.133IV - 0.2218$	0.39	เส้นตรง
$DR = -0.5739I_{s50} + 2.9206$	0.43	เส้นตรง
$DR = -0.0007HV + 1.5248$	0.41	เส้นตรง
$DR = -0.0264SH + 2.2741$	0.34	เส้นตรง

และได้เสนอความสัมพันธ์ในรูปสมการความสัมพันธ์เชิงพหุคูณระหว่างสมบัติมวลรวมและอัตราการเจาะแบบกระแทก (ตารางที่ 3.23) เป็นสมการที่มีความเหมาะสมที่สุดในการคาดคะเนอัตราการเจาะแบบกระแทกจากสมบัติมวลรวม โดยการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น R^2 อยู่ในช่วง 0.46-0.52 ระดับความสัมพันธ์อยู่ในขั้นพอใช้ และจากผลของการทดสอบ T-test มีค่าเท่ากับ 14.50 ที่ค่าความเชื่อมั่น 0.01 และ F-test มีค่า 7.22 ที่ค่าความเชื่อมั่น 0.03

ตารางที่ 3.23 สมการถดถอยเชิงพหุคูณของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนดและอัตราการเจาะแบบกระแทก

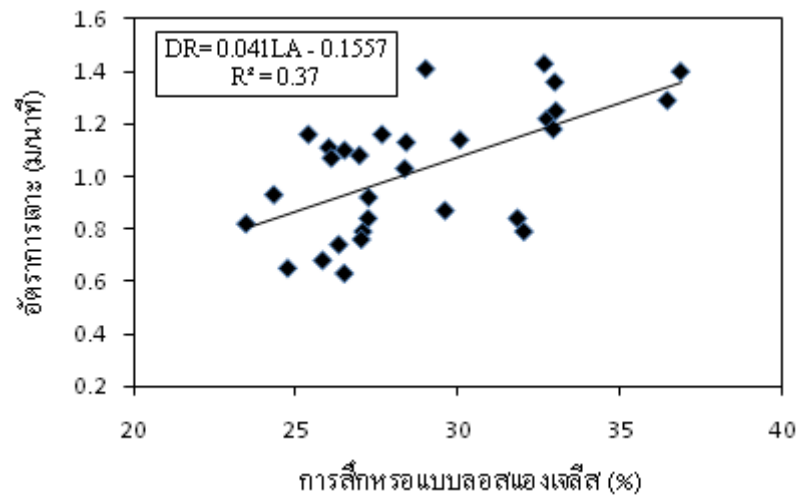
สมการถดถอย	R^2	รูปแบบสมการ	T-test	F-test
$DR = -0.212 - 0.021LA + 0.194IV$	0.52	เส้นตรง	14.50	0.01
$DR = -2.156 - 0.015LA + 0.236IV + 0.342I_{s50}$	0.46	เส้นตรง	7.22	0.03

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเส้นตรงอย่างง่าย และสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างสมบัติมวลรวมและอัตราการเจาะแบบกระแทก สรุปได้ว่าปัจจัยของสมบัติมวลที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะ ได้แก่ ดัชนีกำลังแรงกดจุด การสึกหรอแบบลอสมองเจ็ลีส การกระแทก ความแข็งวิกเกอร์และความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี ตามลำดับ ที่ระดับความสัมพันธ์พอใช้ ผลจากการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kahraman (1999) และ Kahraman et al. (2003) พบความสัมพันธ์ระดับดี ระหว่างกำลังอัด ดัชนีกำลังแรงกดจุด ความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี กับอัตราการเจาะระเบิด กำลังกระแทกแสดงความสัมพันธ์ดีปานกลางกับอัตราการเจาะ ความสัมพันธ์ที่พบแบบแปรผกผัน และจะแปรผันตรงกับสำหรับมวลรวมที่มีค่าการสึกหรอมากและค่าการกระแทกมาก อัตราการเจาะหรือเวลาที่ใช้ในการเจาะจะน้อยลง ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาสรุปได้ว่า ดัชนีกำลังแรงกดจุด และค้อนชนิดดี เป็นสมบัติเด่นที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะ และนอกจากนี้การทดสอบแรงกดจุดและค้อนชนิดดีสามารถนำไปปฏิบัติในภาคสนามเป็นเครื่องมือการคาดการณ์สำหรับการประมาณอัตราการแทรกทะลวง Hoseinie et al. 2007 กล่าวว่ากำลังอัดและสมบัติด้านความแข็งของหินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะเช่นกัน

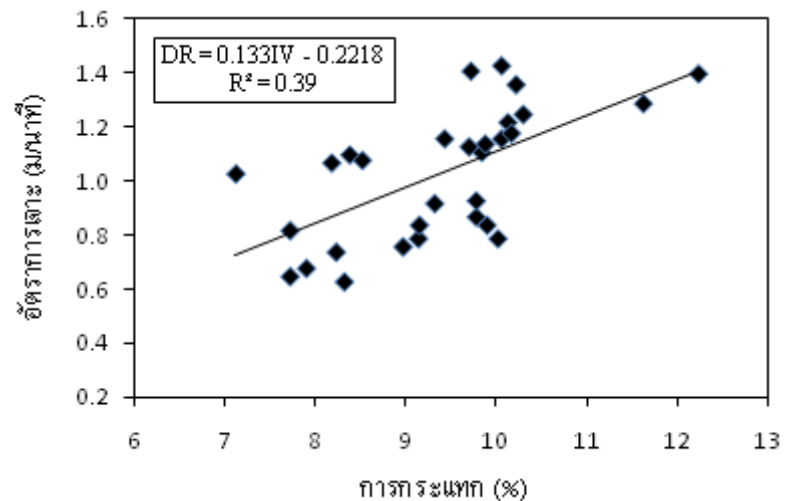
ตารางที่ 3.24 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างค่าตัวแปรต่างๆ ของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนेटและอัตราการเจาะแบบกระแทก

		WB	SG	LA	IV	SH	Is ₅₀	HV	DR
WB	Correlation	1	-.589(**)	.105	.318	-.172	-.287	-.215	-.215
	Sig. (2-tailed)		.001	.580	.086	.365	.124	.254	.309
SG	Correlation	-.589(**)	1	-.450(*)	-.526(**)	.406(*)	.540(**)	.389(*)	-.410(*)
	Sig. (2-tailed)	.001		.012	.003	.026	.002	.033	.025
LA	Correlation	.105	-.450(*)	1	.784(**)	-.845(**)	-.848(**)	-.773(**)	.519(**)
	Sig. (2-tailed)	.580	.012		.000	.000	.000	.000	.003
IV	Correlation	.318	-.526(**)	.784(**)	1	-.830(**)	-.973(**)	-.898(**)	.561(**)
	Sig. (2-tailed)	.086	.003	.000		.000	.000	.000	.001
SHV	Correlation	-.172	.406(*)	-.845(**)	-.830(**)	1	.865(**)	.831(**)	-.594(**)
	Sig. (2-tailed)	.365	.026	.000	.000		.000	.000	.001
Is ₅₀	Correlation	-.287	.540(**)	-.848(**)	-.973(**)	.865(**)	1	.899(**)	-.589(**)
	Sig. (2-tailed)	.124	.002	.000	.000	.000		.000	.001
HV	Correlation	-.215	.389(*)	-.773(**)	-.898(**)	.831(**)	.899(**)	1	-.462(*)
	Sig. (2-tailed)	.254	.033	.000	.000	.000	.000		.010
DR	Correlation	.192	-.410(*)	.519(**)	.561(**)	-.594(**)	-.589(**)	-.462(*)	1
	Sig. (2-tailed)	.309	.025	.003	.001	.001	.001	.010	

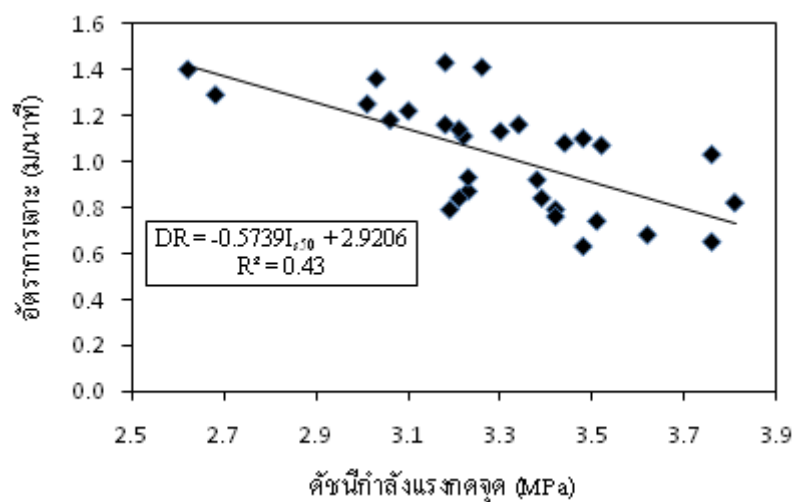
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)



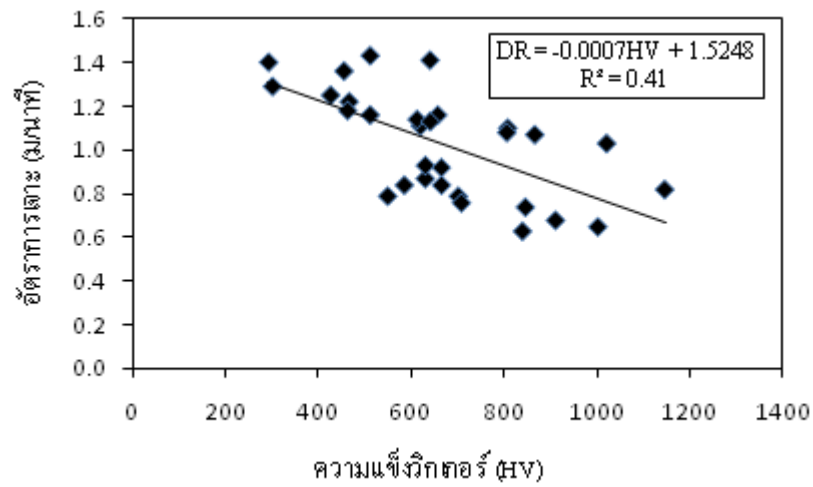
รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการสีหรือแบบลอสเองเจลีสและอัตราการเกาะ



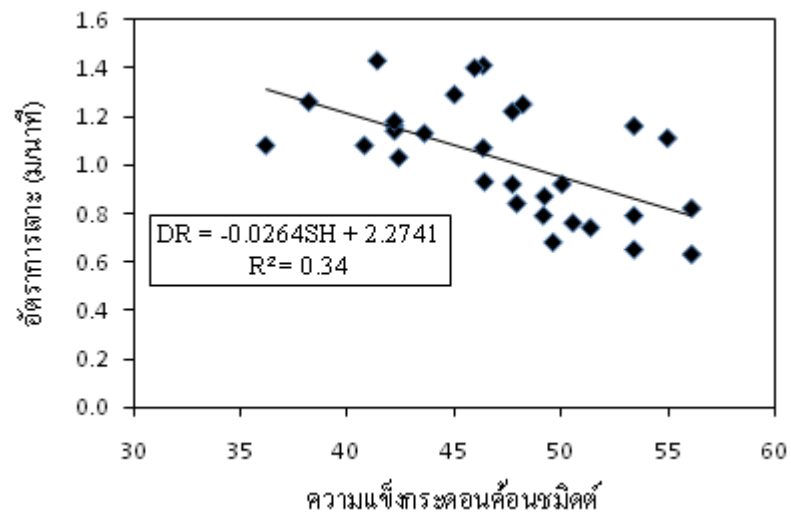
รูปที่ 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระแทกและอัตราการเกาะ



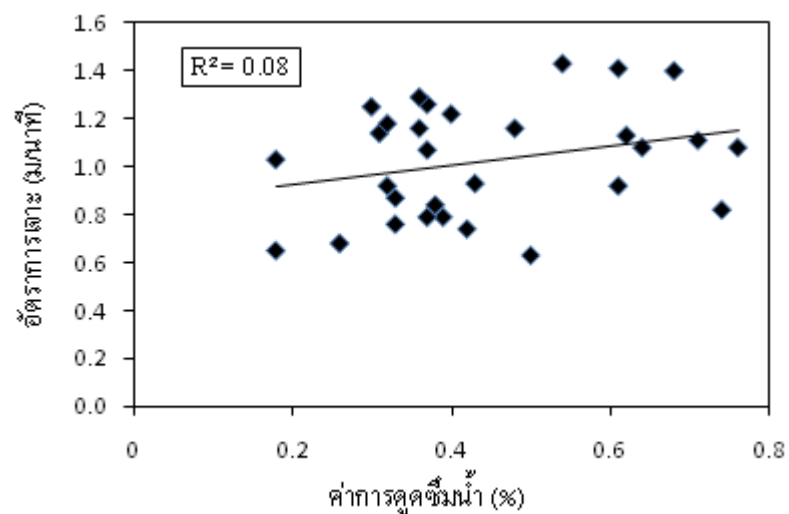
รูปที่ 3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและอัตราการเกาะ



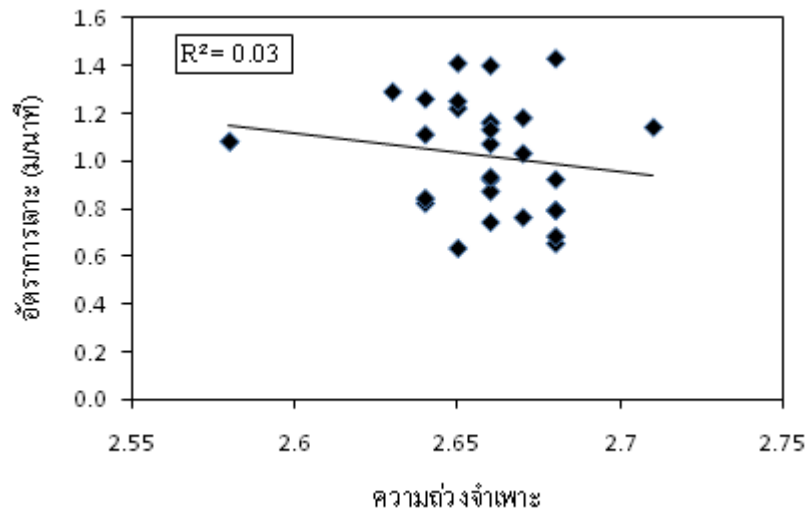
รูปที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอกซ์และอัตราการใช้รังสี



รูปที่ 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกระดอนค้อนชนิดดีและอัตราการใช้รังสี



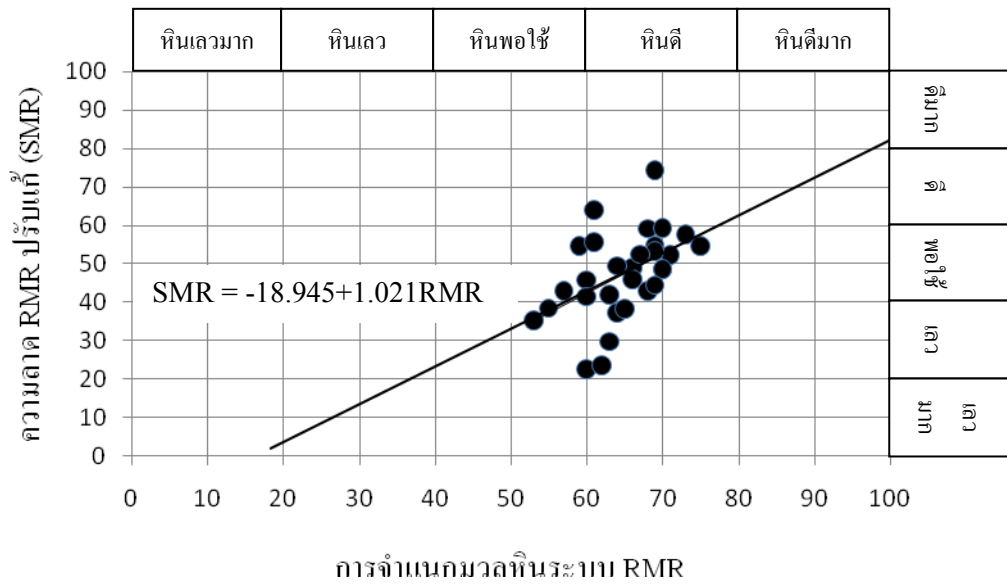
รูปที่ 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำและอัตราการใช้รังสี



รูปที่ 3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอัตราการเจาะ

3.3.4 ความสัมพันธ์การจำแนกมวลหิน

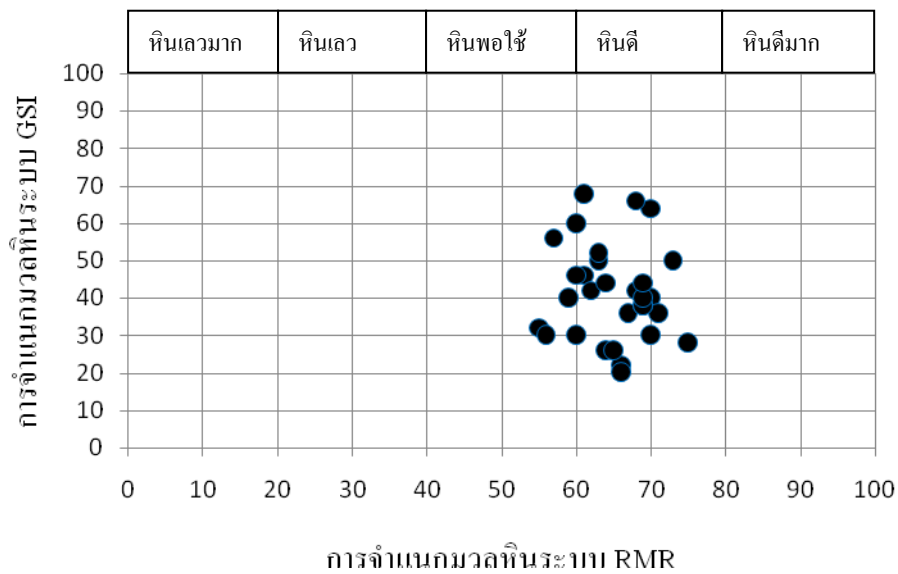
ผลการจำแนกมวลหินระบบ RMR และความลาด RMR ปรับแก้ (SMR) ของทุกพื้นที่ที่หน้างานศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงสมการเส้นตรง (รูปที่ 3.36) พบความสัมพันธ์ที่น่าพอใจโดยมีค่าความเชื่อมั่น $R^2 = 0.48$ การจำแนกมวลหินระบบ RMR ใช้ปัจจัยของสภาพความไม่ต่อเนื่องของมวลหินข้อมูลที่ได้จากการภาคสนามอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ขึ้นอยู่กับการเก็บข้อมูลจึงต้องอาศัยความระมัดระวังในการเก็บข้อมูลของมวลหินเพื่อความถูกต้องในการจำแนกมวลหินดังกล่าว ผลจากการจำแนกได้ค่า RMR พื้นฐาน เมื่อนำมาปรับแก้ค่าสำหรับความลาดหิน โดยใช้ปัจจัยด้านทิศทางการวางตัวของสภาพความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน (Romana, 1985) ของชุดแนวแตกและหน้าความลาด ซึ่งความสัมพันธ์ที่พบจำแนกมวลหินออกเป็นกลุ่มได้ว่า เมื่อค่า RMR พื้นฐานมีค่าอยู่ในช่วงกลุ่มหินพอใช้ ถึงหินดี ค่าความลาด RMR ปรับแก้ (SMR) จะอยู่ในช่วงกลุ่มหินเลวถึงหินพอใช้ ความสัมพันธ์ที่พบแสดงได้ดังสมการในรูปที่ 3.38 สมการสามารถใช้ในการประเมินการจำแนกมวลหินระบบ SMR ได้ จากผลของการจำแนกมวลหินระบบ RMR สำหรับกรณีของหน้าความลาดหิน



รูปที่ 3.36 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ SMR

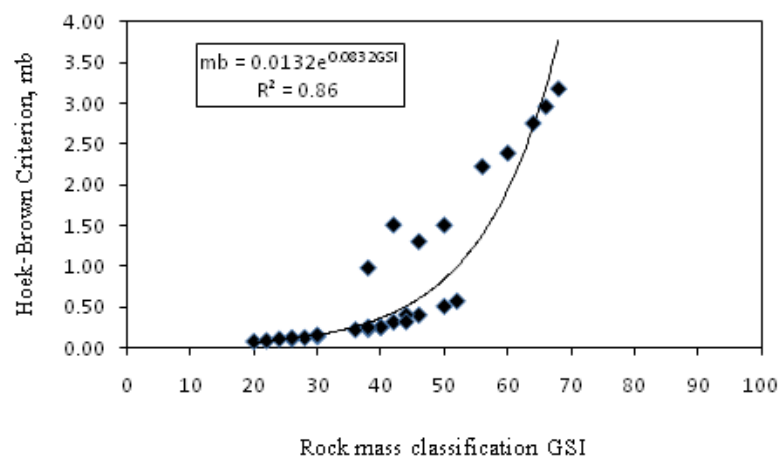
3.3.5 ความสัมพันธ์การจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI

รูปที่ 3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI ผลของการจำแนกมวลหินทั้งสองระบบไม่พบความสัมพันธ์ ข้อมูลมีการเกาะกลุ่ม ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น $R^2 = 0.01$

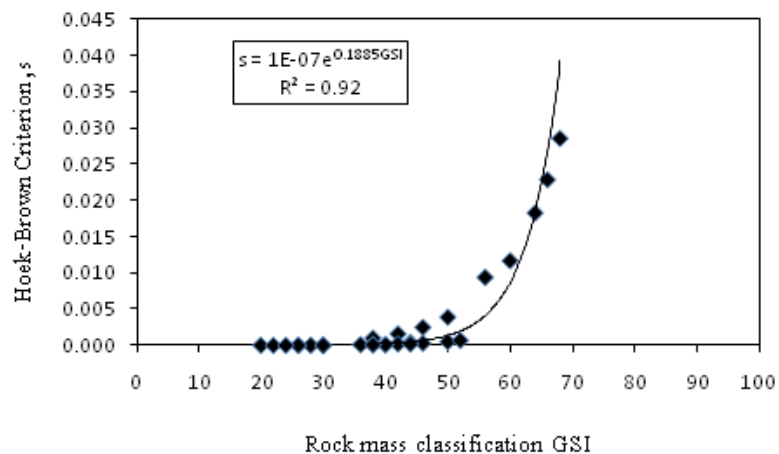


รูปที่ 3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI

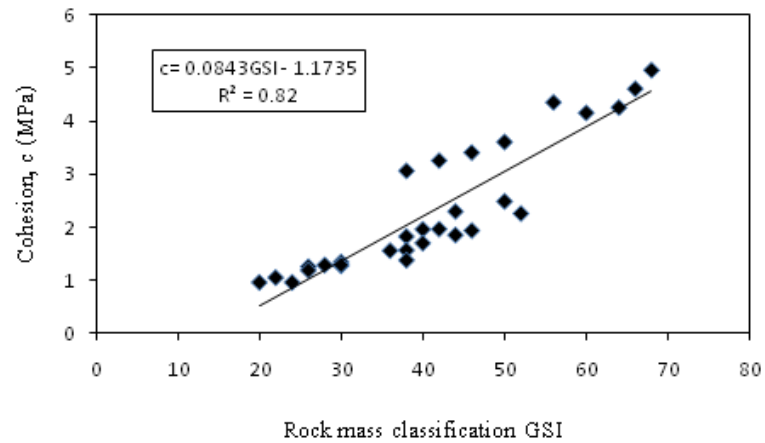
ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI กับปัจจัยของมวลหิน (รูปที่ 3.38-3.45) ได้แก่ Hoek-Brown Criterion (m_b , s and a), Mohr-Coulomb Fit (c และ ϕ) and Rock mass parameter (σ_p , σ_c , σ_{cm} and E_m) จากความสัมพันธ์ข้างต้นนี้มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.82-0.95 แสดงว่าสมการมีความสัมพันธ์ระดับดีถึงดีมาก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของ Hoek-Brown Criterion, a ไม่ปรากฏความสัมพันธ์กับการจำแนกมวลหินระบบ GSI ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ของมวลหินข้างต้นจากผลของการประเมินการจำแนกมวลหินระบบ GSI สามารถคาดคะเนผลของปัจจัยด้านกำลังและโมดูลัสการเสียดรูปของมวลหิน



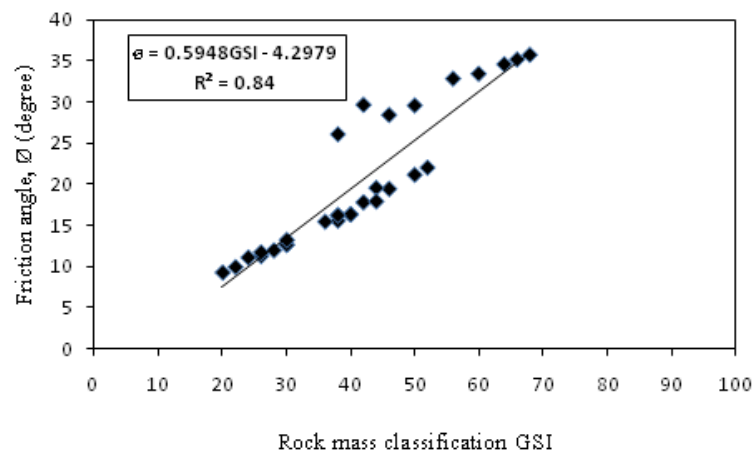
รูปที่ 3.38 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และค่าคงที่ m_b



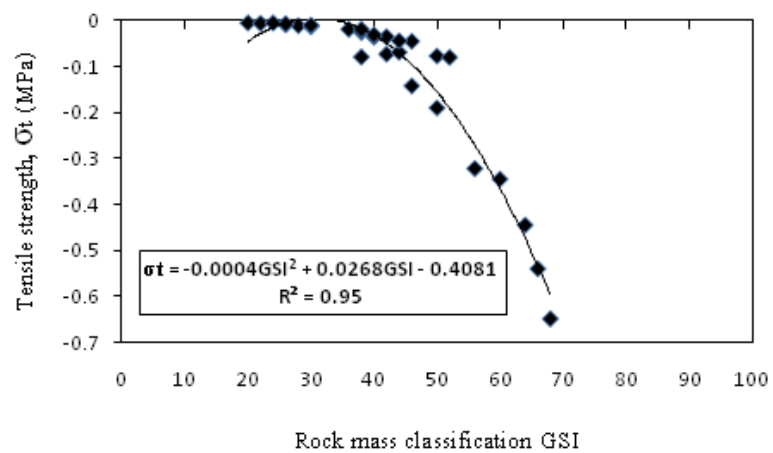
รูปที่ 3.39 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และค่าคงที่ s



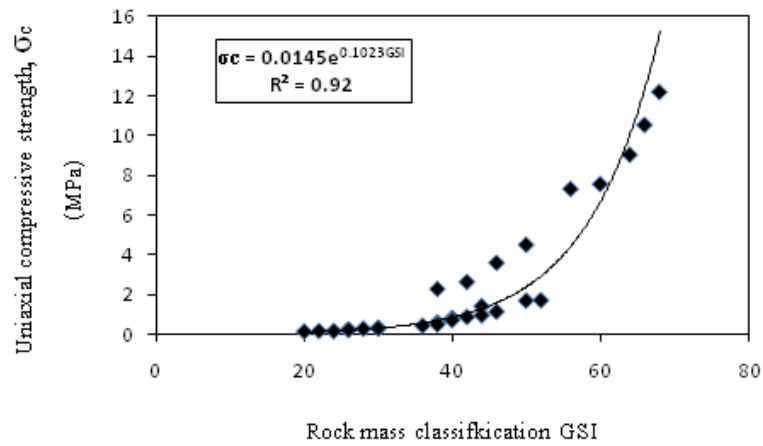
รูปที่ 3.40 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และค่าคงที่ c



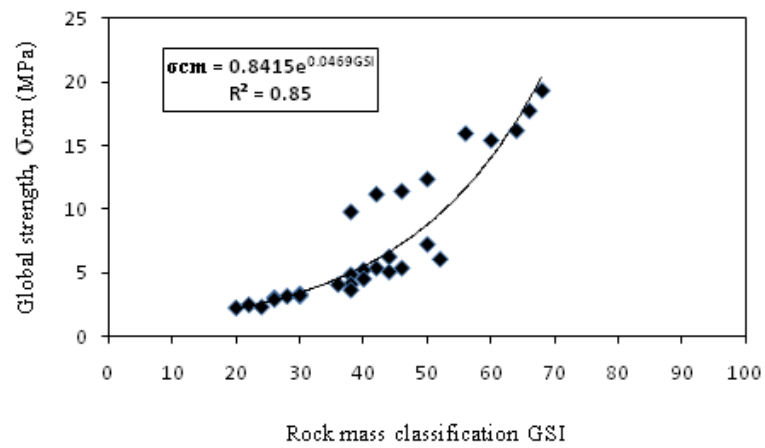
รูปที่ 3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และมุมเสียดทาน (ϕ)



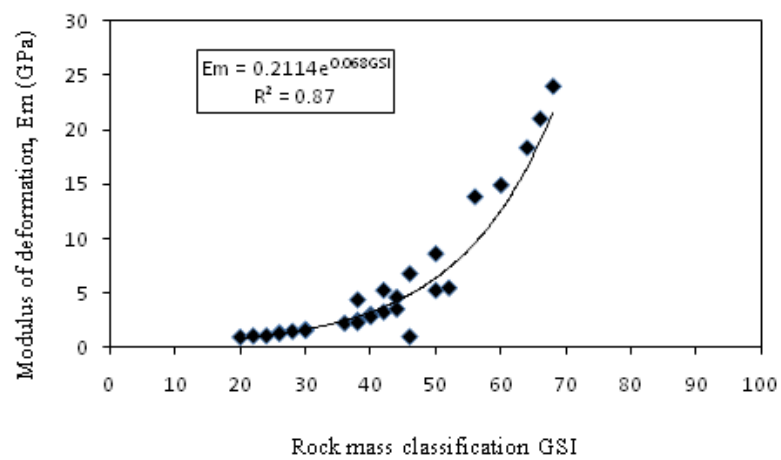
รูปที่ 3.42 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และกำลังดึงของมวลหิน (σ_t)



รูปที่ 3.43 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และกำลังอัดของวัสดุหิน (σ_c)



รูปที่ 3.44 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และ กำลังอัดของมวลหิน (σ_{cm})



รูปที่ 3.45 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ GSI และ โมดูลัสการเสียดรูป (E_m)

3.3.6 สหสัมพันธ์เชิงพหุคูณของการจำแนกมวลหินและอัตราการเจาะแบบกระแทก

สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างการจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI กับอัตราการเจาะแบบกระแทก มีค่าความสัมพันธ์ขั้นระดับน้อย ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น $R^2 = 0.11$ พิจารณา ค่า T-test มีค่า 1.82 ที่ค่าความสำคัญ 0.79 และ F-test มีค่า 3.31 ที่ค่าความสำคัญ 0.79 ซึ่งตัวแปรอิสระในที่นี้คือ การจำแนกมวลหินระบบ RMR และ GSI ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอย่างอัตราการเจาะแบบกระแทก

3.4 การวิเคราะห์ความลาดหน้าเหมืองด้วยวิธีการถ่ายโอนต่าข่ายมิติ

ผลการวิเคราะห์แสดงแต่ละพื้นที่ศึกษาแยกออกเป็นแต่ละหน้าความลาดหินศึกษาสามารถคาดคะเนโอกาสการพิบัติได้ อันช่วยในการวางแผนการเลือกเปิดหน้างานที่เหมาะสมสำหรับการทำเหมืองหิน และการลดความเสี่ยงภัยที่อาจเกิดจากการพิบัติของหน้าความลาดในระหว่างการทำงานของเครื่องจักรและพนักงาน

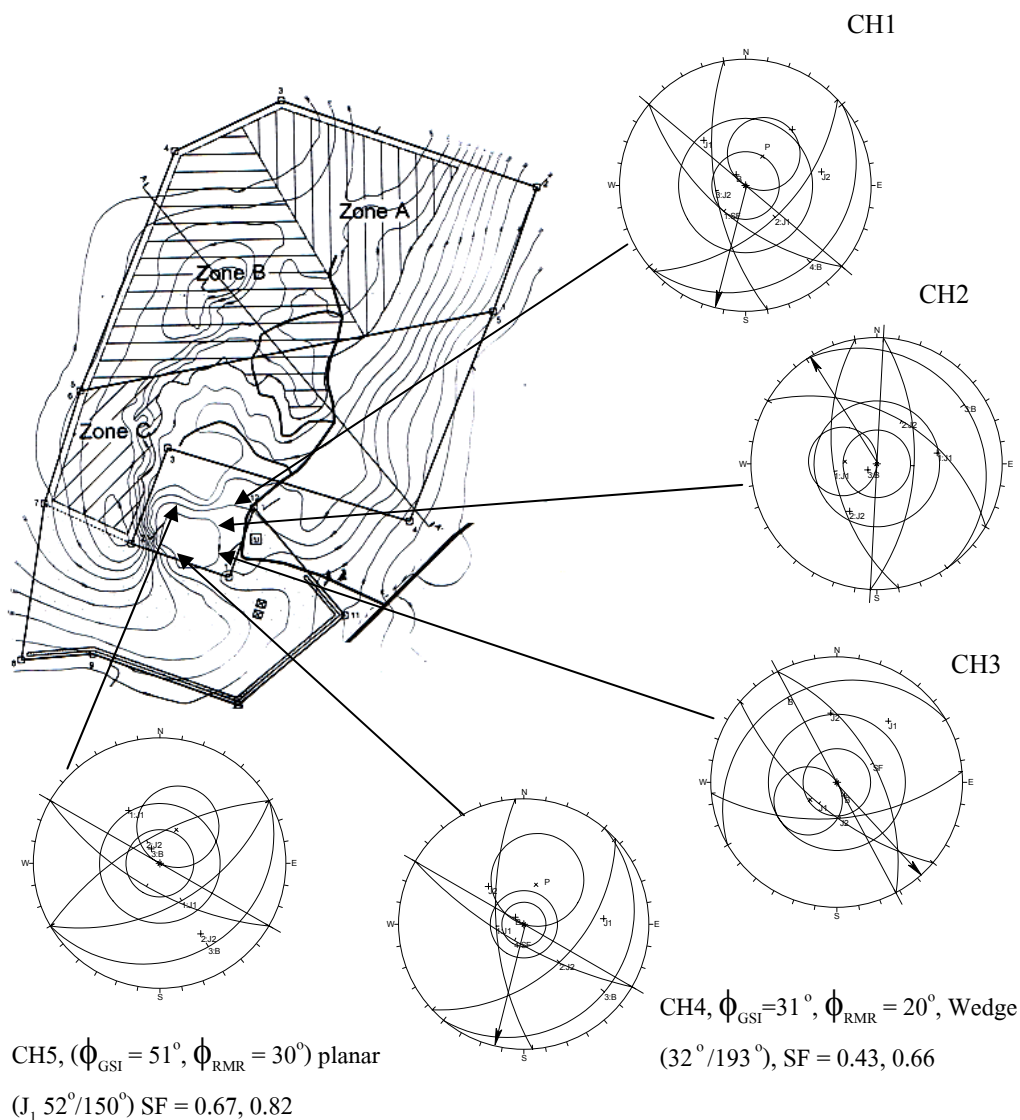
3.4.1 พื้นที่หน้างานศึกษาชุมพร

ผลการวิเคราะห์ความลาดหน้างานพื้นที่ศึกษาชุมพรประกอบด้วยหน้าความลาด CH1-CH5 (รูปที่ 3.46) ซึ่งความลาดหน้างานศึกษา CH1, CH2 และ CH3 ไม่มีโอกาสพิบัติ ในขณะที่พื้นที่หน้างานศึกษา CH4 มีโอกาสพิบัติแบบล้ม มีทิศทางการพิบัติ $32^\circ/193^\circ$ คำนวณได้ค่าอัตราส่วนปลอดภัย โดยอาศัยค่ามุมเสียดทานที่ได้จากการจำแนกแบบ RMR และ GSI เป็น 0.43 และ 0.66 ตามลำดับ และพื้นที่หน้างานศึกษา CH5 มีคุณภาพหินพอใช้ มีโอกาสพิบัติแบบระนาบมาจากชุดความไม่ต่อเนื่อง $J_1 (52^\circ/150^\circ)$ คำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้เท่ากับ 0.67 (RMR) และ 0.82 (GSI)

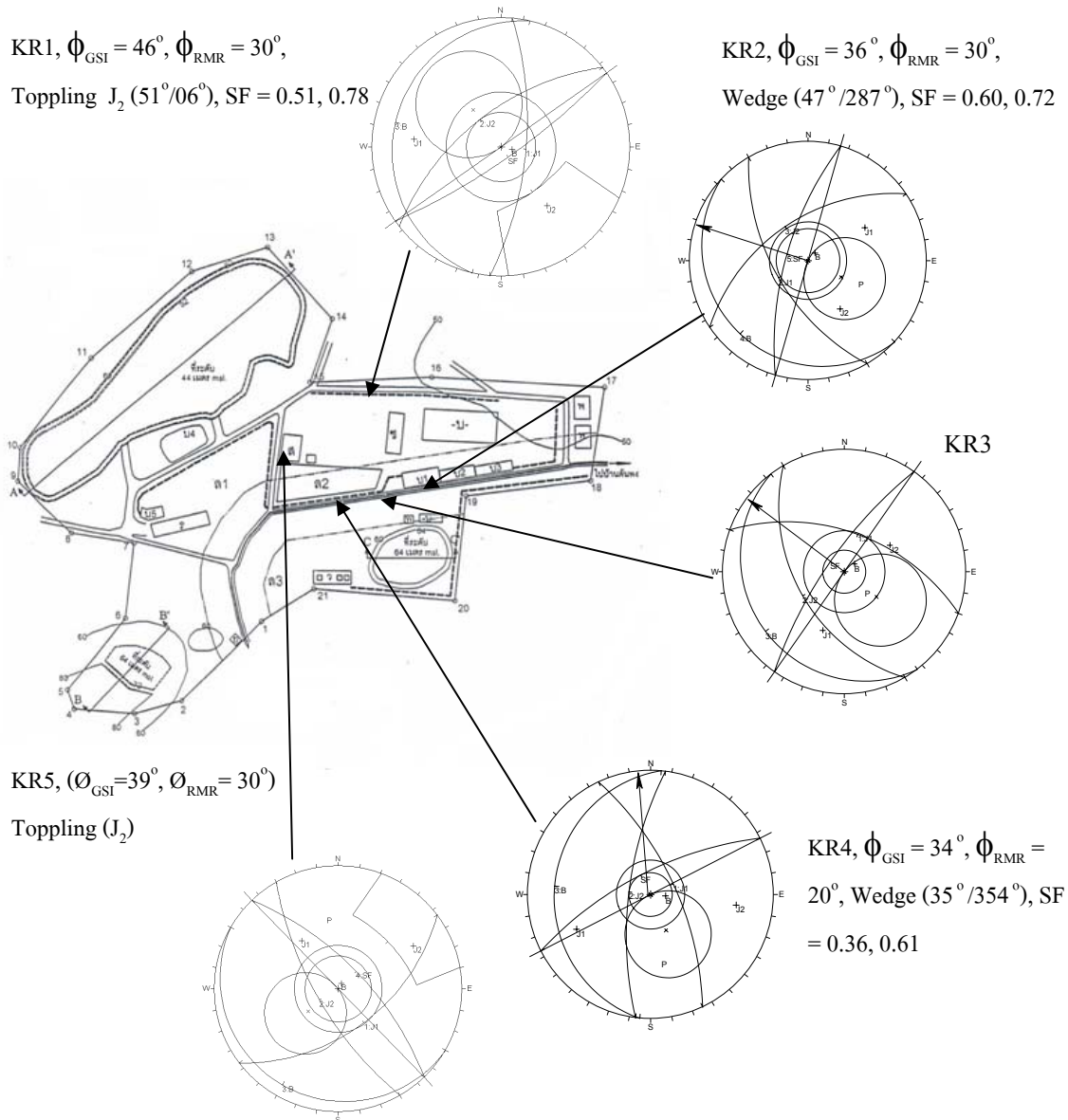
3.4.2 พื้นที่หน้างานศึกษากระบี่

ผลการวิเคราะห์ความลาดหน้างานพื้นที่ศึกษากระบี่ ประกอบด้วยหน้างานพื้นที่ศึกษา KR1-KR5 (รูปที่ 3.47) พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษา KR1 มีโอกาสการพิบัติแบบคมาของชุดความไม่ต่อเนื่อง $J_2 (51^\circ/060^\circ)$ คำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้ 0.51 (RMR) และ 0.78 (GSI) ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษา KR2 มีโอกาสพิบัติแบบล้มที่ทิศทางการพิบัติ $47^\circ/287^\circ$ ได้ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.60 (RMR) และ

0.72 (GSI) พื้นที่หน้าความลาด KR3 ไม่มีโอกาสพิบัติ พื้นที่หน้างานศึกษา KR4 มีโอกาสเกิดพิบัติแบบลิ้มในทิศทาง $35^\circ/354^\circ$ ค่าอัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 0.36 (RMR) และ 0.61 (GSI) และพื้นที่หน้างานศึกษา KR5 มีโอกาสพิบัติแบบคมาจากสาเหตุของชุดความไม่ต่อเนื่อง $J_2 (70^\circ/277^\circ)$



รูปที่ 3.46 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาชุมพร

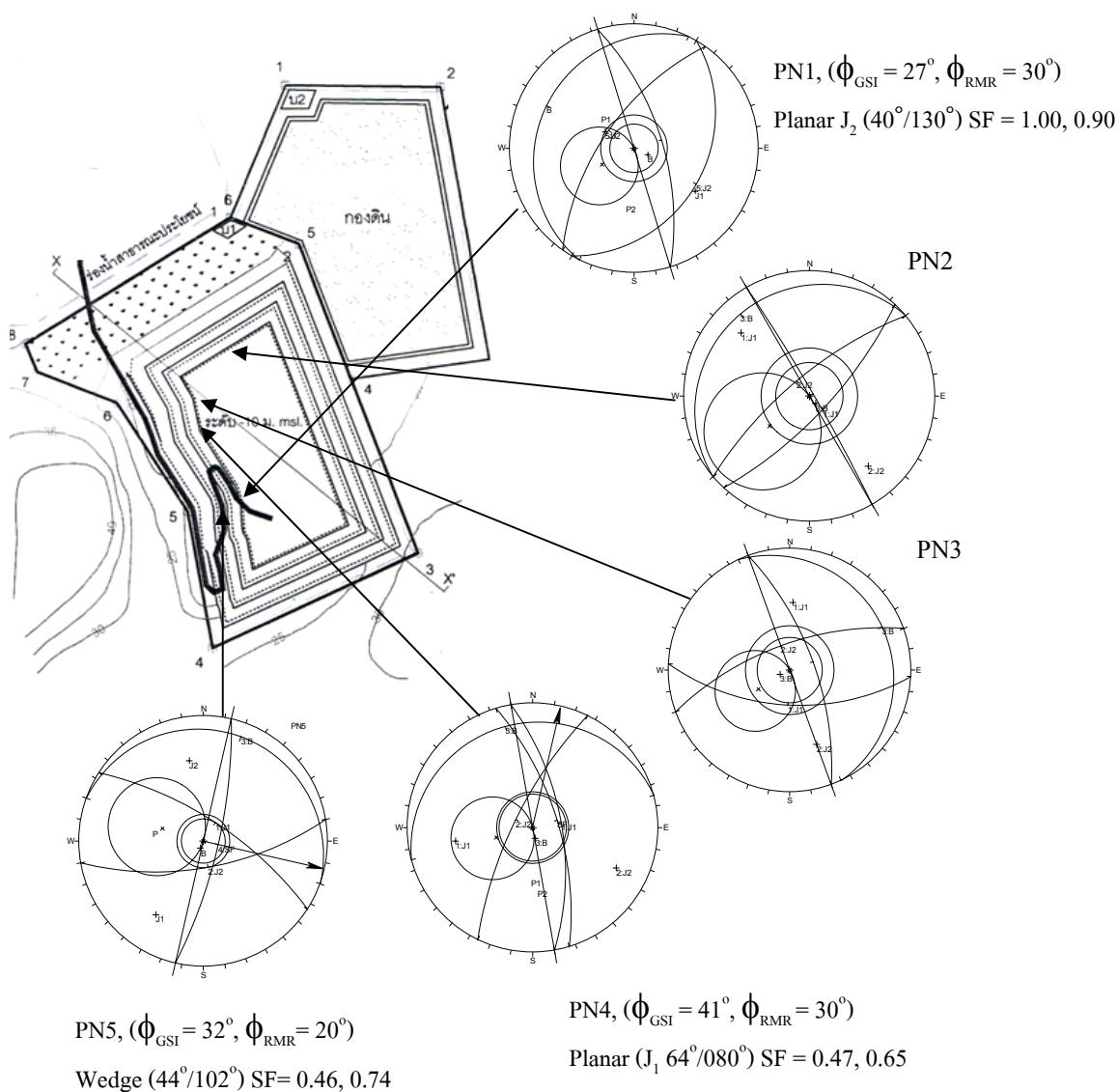


รูปที่ 3.47 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษากระบี่

3.4.3 พื้นที่หน้างานศึกษาพังงา

ผลการวิเคราะห์ความลาดพื้นที่หน้างานศึกษาพังงา อันประกอบด้วยความลาดหน้างานศึกษา PN1-PN5 (รูปที่ 3.48) พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษา PN1 มีโอกาสการพิบัติแบบระนาบของ

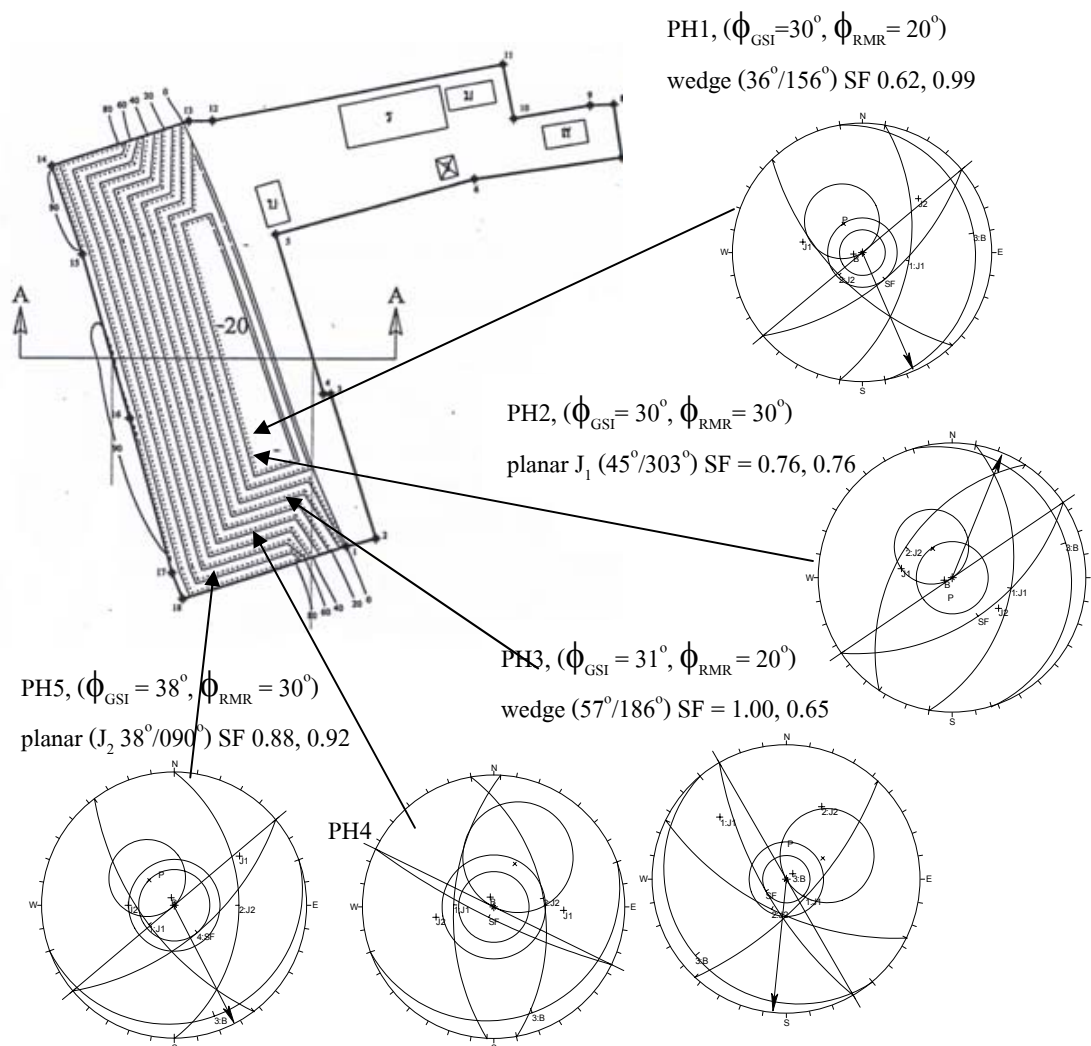
ชุดความไม่ต่อเนื่อง J_2 ($40^\circ/130^\circ$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 1.00 (GSI) และ 0.90 (RMR) พื้นที่หน้างานศึกษา PN2 และ PN3 ไม่มีโอกาสพิบัติ พื้นที่ PN4 มีโอกาสพิบัติแบบระนาบ ของชุดความไม่ต่อเนื่อง J_1 ($64^\circ/080^\circ$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.47 (RMR) และ 0.65 (GSI) พื้นที่หน้างานศึกษา PN5 มีโอกาสพิบัติแบบรูปลิ้ม ทิศทางการพิบัติ $44^\circ/102^\circ$ ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.46 (RMR) และ 0.74 (GSI)



รูปที่ 3.48 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาพังงา

3.4.4 พื้นที่หน้างานศึกษาพัทลุง

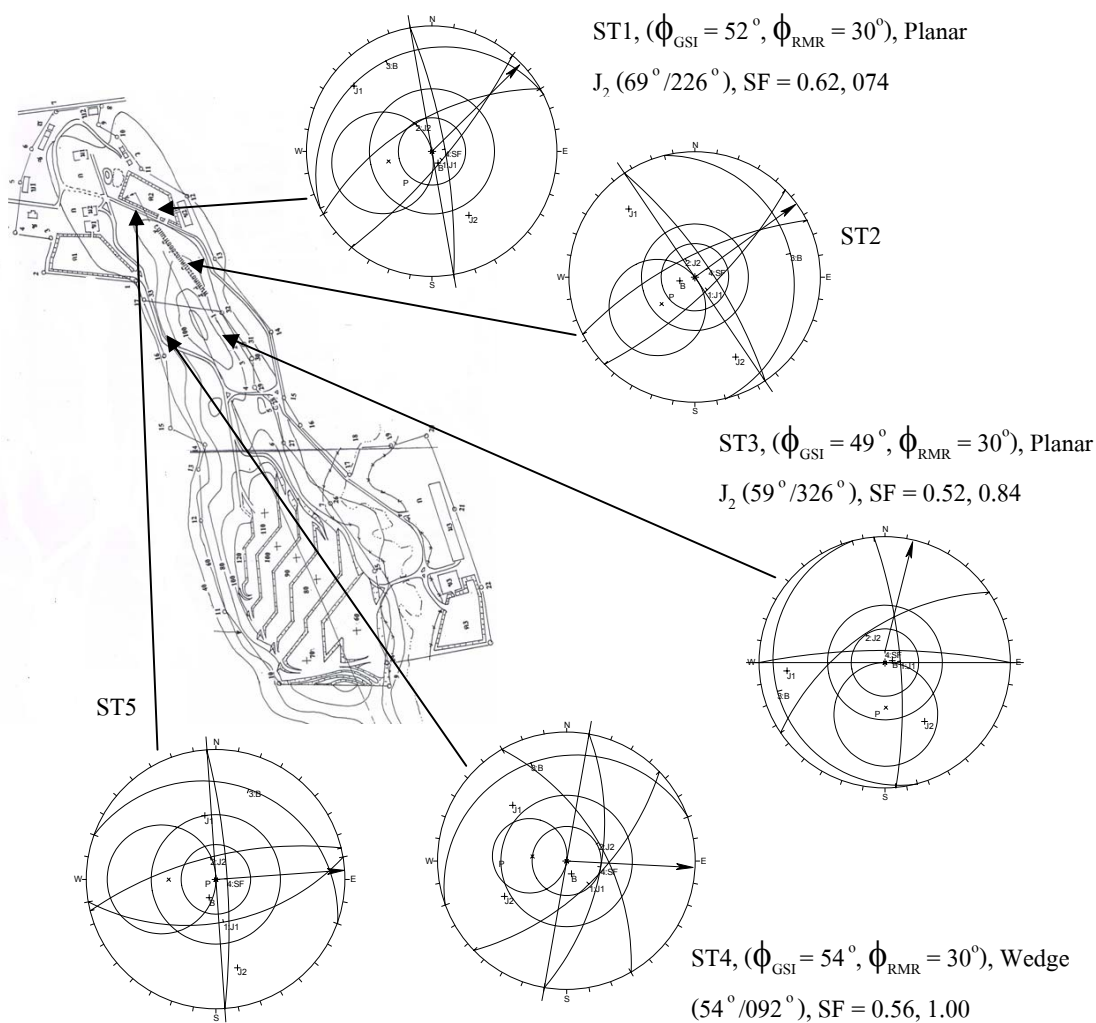
ผลการวิเคราะห์ความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาพัทลุง ประกอบด้วยหน้าความลาดหิน PH1-PH5 (รูปที่ 3.49) พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษา PH1 มีโอกาสการพิบัติแบบรูปลิ้ม ทิศทางการพิบัติ $36^{\circ}/156^{\circ}$ ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.62 (RMR) และ 0.99 (GSI) พื้นที่หน้างานศึกษา PH2 มีโอกาสพิบัติแบบระนาบของชุดความไม่ต่อเนื่อง J_2 ($45^{\circ}/303^{\circ}$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.76 (RMR) และ 0.76 (GSI) พื้นที่หน้างานศึกษา PH3 มีโอกาสพิบัติแบบลิ้มและทิศทางการพิบัติ $57^{\circ}/186^{\circ}$ มีค่าอัตราส่วนปลอดภัย 1.00 (GSI) และ 0.65 (RMR) พื้นที่หน้างานศึกษา PH4 ไม่มีโอกาสพิบัติ ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษา PH5 มีโอกาสพิบัติแบบระนาบ มาจากชุดความไม่ต่อเนื่อง J_1 ($38^{\circ}/090^{\circ}$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.88 (RMR) และ 0.92 (GSI)



รูปที่ 3.49 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาพัทลุง

3.4.5 พื้นที่หน้างานศึกษาสตูล

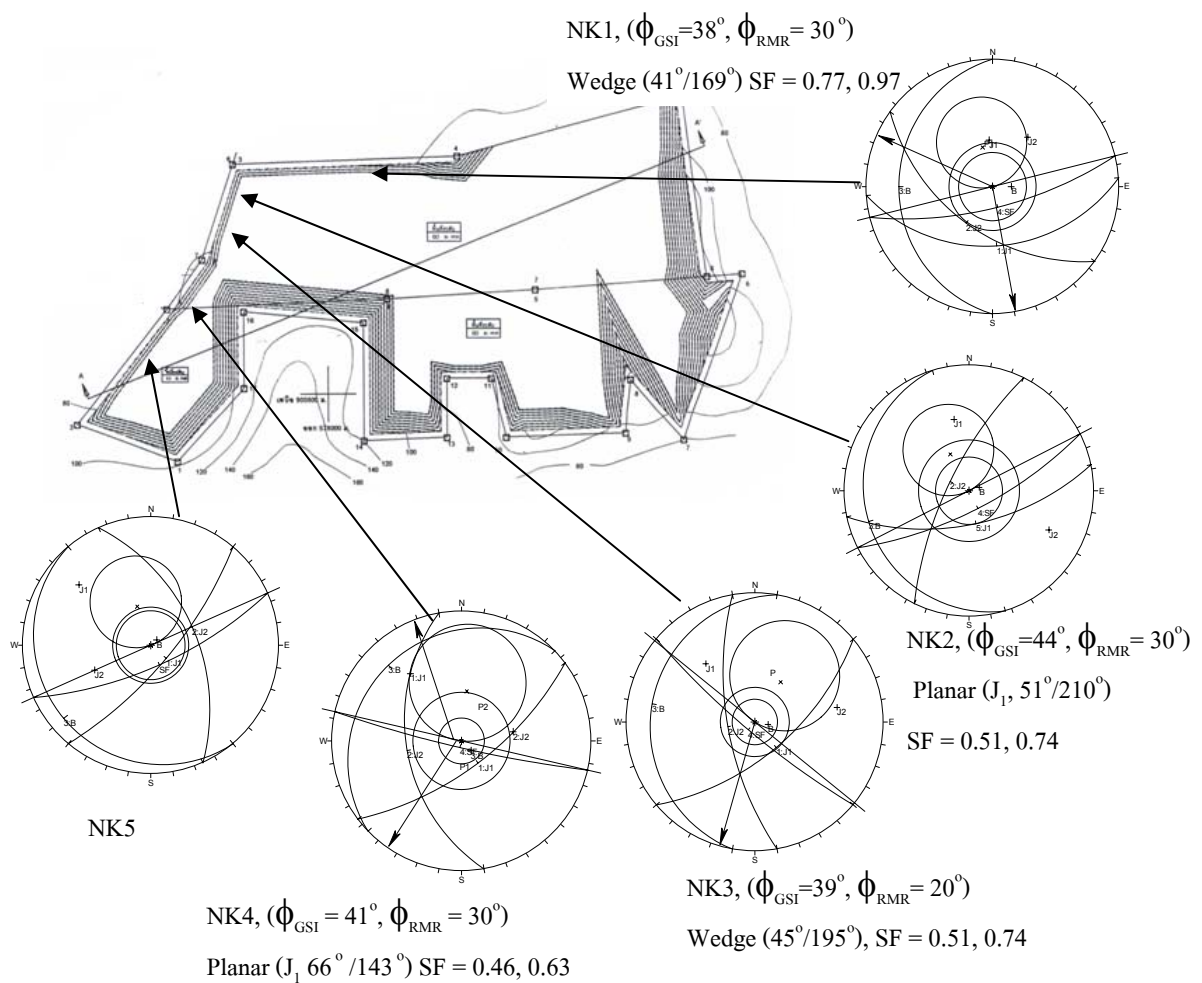
ผลการวิเคราะห์ความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาสตูล ประกอบด้วยหน้างานศึกษา ST1-ST5 (รูปที่ 3.50) พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษา ST2 และ ST5 ไม่มีโอกาสพิบัติ ขณะที่พื้นที่หน้างานศึกษา ST1 และ ST3 มีโอกาสพิบัติแบบระนาบของชุดความไม่ต่อเนื่อง J_2 ($69^\circ/226^\circ$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้ 0.62 (RMR) และ 0.74 (GSI), J_2 ($59^\circ/326^\circ$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้ 0.52 (RMR) และ 0.84 (GSI) และพื้นที่หน้างานศึกษา ST4 มีโอกาสพิบัติแบบลิ้ม ทิศทางการพิบัติ $54^\circ/092^\circ$ ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.56 (RMR) และ 1.00 (GSI)



รูปที่ 3.50 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษาสตูล

3.4.6 พื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช

ผลการวิเคราะห์การถ่ายโอนตาข่ายมิติพื้นที่หน้างานศึกษานครศรีธรรมราช ประกอบด้วยหน้างานศึกษา NK1-NK5 (รูปที่ 3.51) พบว่าพื้นที่หน้างานศึกษา NK1 มีโอกาสการพิบัติแบบลิ่ม โดยมีทิศทางการพิบัติ $41^{\circ}/169^{\circ}$ ซึ่งค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.77 (RMR) และ 0.97 (GSI) ส่วนพื้นที่หน้างานศึกษา NK2 มีโอกาสการพิบัติแบบระนาบสาเหตุจากชุดความไม่ต่อเนื่อง J_2 ($51^{\circ}/210^{\circ}$) คำนวนค่าอัตราส่วนปลอดภัยมีค่า 0.51 (RMR) และ 0.74 (GSI) พื้นที่หน้างานศึกษา NK3 มีโอกาสการพิบัติแบบลิ่มและทิศทางการพิบัติ $45^{\circ}/195^{\circ}$ ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.51 (GSI) และ 0.74 (RMR) พื้นที่หน้างานศึกษา NK4 มีโอกาสการพิบัติแบบระนาบของชุดความไม่ต่อเนื่อง J_1 ($66^{\circ}/143^{\circ}$) ค่าอัตราส่วนปลอดภัย 0.46 (RMR) และ 0.63 (GSI) พื้นที่หน้างานศึกษา NK5 ไม่มีโอกาสการพิบัติ



รูปที่ 3.51 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหน้าเหมืองพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช

ตารางที่ 3.25 ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษาพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช

รายการ	NK1		NK2		NK3		NK4		NK5	
	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย
J_1	40°	176°	51°	210°	61°	140°	66°	143°	72°	130°
J_2	51°	216°	71°	296°	66°	260°	44°	260°	51°	066°
B	17°	270°	10°	253°	12°	280°	12°	316°	07°	230°
SF	71°	166°	72°	153°	81°	220°	84°	193°	71°	156°
รูปแบบการพิบัติ	ระนาบและรูปปลีม		กะม่า		ระนาบและรูปปลีม		ระนาบและรูปปลีม		รูปปลีม	
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		ปรับแก้อย่างมาก		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ	

ตารางที่ 3.26 ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษาพื้นที่ศึกษากระบี่

รายการ	KR1		KR2		KR3		KR4		KR5	
	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย
J_1	52°	143°	58°	240°	54°	020°	67°	065°	67°	065°
J_2	70°	240°	52°	326°	47°	240°	70°	277°	70°	277°
B	06°	210°	10°	223°	12°	233°	14°	275°	14°	275°
SF	67°	046°	69°	286°	74°	305°	70°	333°	70°	333°
รูปแบบการพิบัติ	รูปปลีมและแบบกะม่า		ระนาบและรูปปลีม		ระนาบและรูปปลีม		ระนาบและรูปปลีม		รูปปลีมและแบบกะม่า	
ระบบการค้ำยัน	บางโอกาส		อย่างเป็นระบบ		ปรับแก้อย่างมาก		ปรับแก้อย่างมาก		อย่างเป็นระบบ	

ตารางที่ 3.27 ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษาพื้นที่ศึกษาชุมพร

รายการ	CH1		CH2		CH3		CH4		CH5	
	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย
J_1	52°	137°	52°	260°	59°	095°	65°	266°	52°	150°
J_2	63°	260°	47°	030°	56°	230°	45°	137°	66°	330°
B	13°	140°	10°	056°	14°	330°	10°	130°	15°	150°
SF	60°	220°	57°	093°	54°	063°	73°	210°	66°	210°
รูปแบบการวิบัติ	ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบ		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม	
ระบบการค้ำยัน	บางโอกาส		อย่างเป็นระบบ		ปรับแก้อย่างมาก		ปรับแก้อย่างมาก		อย่างเป็นระบบ	

ตารางที่ 3.28 ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษาพื้นที่ศึกษาพังงา

ปัจจัย	PN1		PN2		PN3		PN4		PN5	
	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย
J_1	62°	305°	73°	133°	58°	183°	64°	080°	70°	033°
J_2	40°	130°	72°	320°	66°	340°	73°	296°	66°	170°
B	14°	296°	09°	320°	10°	065°	10°	345°	07°	020°
SF	64°	073°	86°	060°	67°	070°	76°	103°	76°	103°
รูปแบบการพิบัติ	ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม	
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ	

ตารางที่ 3.29 ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษาพื้นที่ศึกษาพัทลุง

ปัจจัย	PH1		PH2		PH3		PH4		PH5	
	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย
J_1	50°	100°	42°	100°	68°	133°	56°	273°	63°	233°
J_2	62°	226°	45°	303°	62°	206°	48°	080°	38°	090°
B	08°	080°	07°	073°	07°	230°	09°	160°	07°	160°
SF	60°	140°	58°	146°	70°	240°	80°	206°	60°	140°
รูปแบบการพิบัติ	ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม	
ระบบการค้ำยัน	ปรับแก้อย่างมาก		อย่างเป็นระบบ		ปรับแก้อย่างมาก		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ	

ตารางที่ 3.30 ค่าปัจจัยความไม่ต่อเนื่องและการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติหน้าความลาดศึกษาพื้นที่ศึกษาสตูล

ปัจจัย	ST1		ST2		ST3		ST4		ST5	
	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย	มุมเทเจลิย	แนวเทเจลิย
J_1	78°	130°	74°	136°	76°	085°	62°	136°	53°	170°
J_2	61°	330°	71°	333°	59°	326°	58°	060°	70°	346°
B	12°	333°	14°	043°	07°	255°	12°	340°	17°	020°
SF	78°	080°	75°	056°	79°	360°	60°	100°	80°	086°
รูปแบบการวิบัติ	ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม		ระนาบและรูปปลี้ม	
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ		อย่างเป็นระบบ	

บทที่ 4

สรุป

4.1 สรุปผล

การประเมินอัตราการเจาะหินคาร์บอนेटด้วยวิธีการจำแนกมวลหินและสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนेट เก็บรวบรวมจากพื้นที่หน้างานเหมืองหินคาร์บอนेटพื้นที่ภาคใต้ประเทศไทย สามารถมีแนวทางสรุปได้ดังนี้

4.1.1 สมบัติมวลรวม

สมบัติมวลรวมประกอบด้วยสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.76 จัดอยู่ในกลุ่มมวลรวมที่มีการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูง ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.58-2.71 จำแนกกลุ่มหินจัดอยู่ในประเภทหินปูน การกระแทกอยู่ในช่วงร้อยละ 7.12-12.24 การสึกหรอลอสเองเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 23.44-36.89 ความแข็งกระดองค่อนข้างมีค้ำอยู่ในช่วง 36.20-56.07 ดัชนีกำลังแรงกดจุดอยู่ในช่วง 2.62-3.81 เมกะพาสคัล จัดอยู่ในกลุ่มหินที่มีกำลังแข็งปานกลาง และความแข็งวิกเกอร์อยู่ในช่วง 292.06-1147.40 HV

4.1.2 การจำแนกมวลหิน

การจำแนกมวลหินระบบ RMR และการปรับแก้ค่าความลาด SMR (Romana, 1985) โดยการให้คะแนนแก่ปัจจัยด้านโครงสร้างทางธรณีวิทยาของมวลหิน เพื่อบรรยายสภาพของมวลหินพบว่า พื้นที่หน้าความลาดศึกษาของพื้นที่แหล่งหินศึกษา จำแนกกลุ่มหินอยู่ในช่วงหินเลว (Poor rock) ถึง หินดี (Good rock) เสถียรภาพของหน้าความลาดมีความมั่นคงสำหรับหินดี (CH3) มีความมั่นคงบางส่วนสำหรับหินพอใช้ (CH1, CH2, CH5, KR1, KR2, KR5, PN1, PN2, PN4, PN5, ST1, ST2, ST3, ST4, ST5, NK1, NK2, NK4, NK5, PH3, PH4, และ PH5) และไม่มีมีความมั่นคงสำหรับหินเลว (CH4, KR3, KR4, PN3, NK3, PH1, และ PH3) ซึ่งมีโอกาสการพิบัติของหน้าความลาดได้ และได้มีการเสนอระบบการค้ำยันของแต่ละหน้าความลาดจากผลของการจำแนกมวลหิน

ส่วนการจำแนกมวลหินระบบ GSI จากปัจจัยด้านโครงสร้างของมวลหินและเงื่อนไขด้านผิวหน้าของมวลหิน ได้ค่าคงที่ของวัสดุหิน ปัจจัยด้านการเสีรูปร่างของมวลหินและปัจจัยด้านกำลังของมวลหิน m_b มีค่าอยู่ในช่วง 0.0296-1.723, s มีค่าอยู่ในช่วง 0.0000016-0.0097, a มีค่าอยู่ในช่วง 0.501-0.543, c มีค่าอยู่ในช่วง 0.032-0.103 MPa, σ_c มีค่าอยู่ในช่วง -0.407-0.0045 MPa, σ_c มีค่าอยู่ในช่วง 0.058-7.564 MPa, σ_{cm} มีค่าอยู่ในช่วง 1.333-13.889 MPa และ E_M 0.907-16.12 GPa

4.1.3 ความสัมพันธ์เชิงสถิติ

ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างสมบัติมวลรวม การจำแนกมวลหิน กับอัตราการเจาะแบบกระแทกสามารถสรุปเป็นแนวทางได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติมวลรวมทั้งหมด เสนอในรูปแบบสมการความสัมพันธ์อย่างง่ายเชิงเส้นตรง (ตารางที่ 3.20) และสมการถดถอดเชิงเส้นหลายตัวแปร (ตารางที่ 3.21) พบว่ามีความสัมพันธ์ระดับดี-ดีมาก สมการความสัมพันธ์ที่ได้แสดงสามารถใช้ในการคาดคะเนสมบัติมวลรวมได้ โดยไม่ต้องทำการทดสอบโดยตรงอาศัยความสัมพันธ์ของตัวแปรการทดสอบ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจาะแบบกระแทกกับสมบัติมวลรวม พบว่าปัจจัยด้านสมบัติทางกายภาพการดูดซึมน้ำและความถ่วงจำเพาะมีความสัมพันธ์ขั้นระดับน้อย (ตารางที่ 3.22) และความสัมพันธ์ขั้นระดับพอใช้กับสมบัติเชิงกล ได้แก่ ดัชนีกำลังแรงกดจุด ความแข็งวิกเกอร์ การกระแทก การสึกหรอแบบลอสเองเจลิส และความแข็งกระดองก้อนชนิด ตามลำดับ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะแบบกระแทก โดยความสัมพันธ์ที่พบระดับพอใช้ (ตารางที่ 3.23)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจาะแบบกระแทกกับการจำแนกมวลหิน (RMR, GSI) พบว่ามีความสัมพันธ์ระดับน้อย โดยผลการตรวจสอบโดยวิธีทางสถิติ t-test และ F-test พบว่ามีความแปรปรวนสูง ดังนั้นผลการจำแนกมวลหินทั้งระบบ RMR และ GSI เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะแบบกระแทก

4.1.4 การวิเคราะห์การถ่วงไอออนต่ายมิติ

การวิเคราะห์การถ่วงไอออนต่ายมิติ ผลของทิศทางการวางตัวของสภาพความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน แนวเทและมุมเท สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์โอกาสพิบัติของหน้าความลาดได้

โดยเทคนิคการวิเคราะห์การถ่ายโอนตาข่ายมิติ โดยหน้าความลาดศึกษามีโอกาสพิบัติได้ 3 รูปแบบ คือ การพิบัติแบบระนาบมากที่สุด (CH5, ST1, ST3, PN1, PN4, PH2, PH5, NK2, และ NK4) แบบ รูปปลีมรองลงมา (NK1, NK3, ST4, PH1, PH3, PN4, KR2, และ KR4) และบางหน้างานศึกษาที่มีการ พิบัติแบบคดมา (KR1 และ KR5) และการคำนวณอัตราส่วนความปลอดภัยจากการพิบัติแบบระนาบ และแบบรูปปลีม เพื่อช่วยยืนยันสนับสนุนผลการวิเคราะห์ถึงโอกาสการพิบัติมากยิ่งขึ้น (รูปที่ 3.46-3.51) ช่วยในการเฝ้าระวังและติดตามถึงโอกาสการพิบัติของหน้าความลาดเพื่อลดอุบัติเหตุใน ระหว่างขั้นตอนการทำงาน

4.2 ข้อเสนอแนะ

การเก็บข้อมูลภาคสนามในด้าน โครงสร้างทางธรณีวิทยาของมวลหิน พื้นที่หน้า งานศึกษา มีความแตกต่างกันทางด้าน โครงสร้างทางธรณีวิทยา ในการเข้าถึงข้อมูลต้องใช้ความ ระมัดระวังในการเก็บข้อมูล เพื่อความถูกต้องมากที่สุด รวมถึงการศึกษาอัตราการเจาะแบบกระแทก ในการเจาะรูระเบิดสำหรับขึ้นการระเบิดของเหมืองหิน แต่ละพื้นที่แหล่งหินศึกษาจะใช้รถเจาะที่ แตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากรถเจาะจึงเป็นข้อมูลที่ต้องใช้ความระมัดระวังในการนำมา วิเคราะห์ ควรใช้รถเจาะที่เป็นรุ่นเดียวกันในการศึกษาอัตราการเจาะของแต่ละพื้นที่แหล่งหินศึกษา เพื่อความถูกต้องของข้อมูลมากยิ่งขึ้น อัตราส่วนปลอดภัยที่ได้จากการถ่ายโอนตาข่ายมิติควร เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยสมการคำนวณแบบทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

- คณฺพล ตันนโยภาส. (2551). คู่มือปฏิบัติการธรณีวิศวกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. พิมพ์ครั้งที่ 2.
- คณฺพล ตันนโยภาส. (2542). หลักการธรณีวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- คณฺพล ตันนโยภาส และ กัลยาณี คุปตานนท์. (2539). รายงานวิจัยคุณภาพหินคาร์บอนเนตในภาคใต้ ล่างของประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- คณฺพล ตันนโยภาส และ กัลยาณี คุปตานนท์. (2540). รายงานวิจัยคุณภาพหินคาร์บอนเนตในภาคใต้ ตอนบนของประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- คณฺพล ตันนโยภาส, กัลยาณี คุปตานนท์, เสริมวิทย์ ชวนนทกิจ และ ชีรพงษ์ จริตงาม. (2537). คุณภาพหินคาร์บอนเนตในอุตสาหกรรมแร่จังหวัดสงขลาและยะลา. การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5 อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจ, โรงแรมบีพี แกรนด์ทาวเวอร์ หาดใหญ่ สงขลา. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. 24-25 พฤศจิกายน
- รัชชชัย งามสันติวงศ์. (2542). เอส พี เอส เอส ฟอ์วินโดวส์ หลักการและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ 21 เซ็นจูรี่ จำกัด
- สุรพล สงวนแก้ว, ปรีชา จีรวรรณวาสนา และ ลลิต สวัสดิมมงคล. (2547). การทดสอบและค่ากลสมบัติหินที่เหมาะสม. ส่วนธรณีวิศวกรรมสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
- ASTM C 127 Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate.
- ASTM C 131-01 Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine.
- ASTM C 805 (1997) Standard test method for rebound number of hardness concrete.
- ASTM E29 Standard method for vickers hardness of metallic materials.
- ISRM (1981). Rock characterization testing and monitoring. E.T. Brown (ed.)

- Abad, J.B., Celada, E., Chacon, V., Gutierrez and Hidalgo, E. (1983). Application of geomechanical classification to predict the convergence of coal mine galleries and to design their supports. Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech., ISRM, Melbourne. vol. 2, pp. E15-E19.
- Amadei, B. (1988). Strength of a regularly jointed rock mass under biaxial and axisymmetric loading. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 25, Issue 1, pp. 3-13.
- Aydin, A. and Basu, A. (2005). The Schmidt hammer in rock material characterization. Engineering Geology, Vol. 81, Issue.1, pp.1 –14.
- Baird, A. and Bosence, D. (1993). The sedimentological and diagenetic evolution of the Rat Buri Limestone. Peninsular Thailand, J Southeast Asian Earth Sciences, Vol. 8, No. 1-4, pp. 173-180.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6, Issue 4, pp.198-236.
- Bieniawski, Z.T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. Transaction of the South African Institution of Civil Engineering, Vol. 15, No. 12, pp. 335-344.
- Bieniawski, Z.T. and Orr, C. M. (1976). Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification. Proc. 12th Congr. Large. Dams, ICOLD, Mexico City, pp. 483-501.
- Bieniawski, Z.T. (1978). Determining rock mass deformability: experience from case histories. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 15, Issue 5, pp. 237-247.
- Bieniawski, Z.T. (1979). The geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4th Int. Congr. Rock Mechanics., ISRM, Montreux, Vol. 2, pp. 41-48.
- Bunopas, S. and Valla, P. (1983). Opening of the gulf of Thailand-Rifting of continental Southeast Asian and late Conozoic tectonic. J. Geol. Soc. Thailand, Vol. 6, pp. 1-12.
- Cai, M., Kaiser, P.K., Tasaka, Y. and Minima, M. (2007). Determination of residual strength parameter of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Issue 44, No. 2, pp. 247-265.

- Cai, M. and Kasase, P.K. (2006). Visualizations of rock mass classification system. Geotech Geology Eng., Vol. 24, No. 4, pp. 1089-1102.
- Cai, M. and Horii, H. (1992). Constitutive model of highly jointed rock masses. Mechanics of Materials, Vol. 13, Issue 3, pp. 217-246.
- Cai, M., Kaiser, P.K., Uno, H., Tasaka, Y. and Minima, M. (2004). Estimation of rock mass strength and deformation modulus of jointed hard rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 41, Issue. 1, pp. 3-19.
- Chinoroje, O. (1993). Petrographic studies of Permian carbonates in southern Thailand. J. SE Asian Earth Sciences, Vol. 8, No. 1-4, pp. 161-171.
- Davis G. H. (1987). Structural geology of rock and regions. Journal of Structural Geology, Vol.9, Issue. 4, pp. 517.
- Deere, D.U. (1968). Geological considerations, rock mechanics in engineering practiced. R.G. Stage and D.C. Zienkiewicz, Wiley, New York, pp. 26-33.
- Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, Philadelphia. pp. 91-101.
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. and Cording, E.J. (1967). Design of surface and near surface construction in rock. In Failure and breakage of rock, Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech., (ed. C. Fairhurst), Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs. New York. pp. 237-302.
- Dehghan, S., Sattari, Gh., Chehreh, Chelgani, S. and Aliabadi, M.A. (2010). Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks. Mining Science and Technology (China), Vol. 20, Issue 1, pp. 41-46.
- Faisal, L., Shalabi, Edward, S., Cording, Oman, H. and Al-Hattamleh. (2006). Estimation of rock engineering properties using hardness tests. Engineering Geology, Vol. 90, No. 3-4, pp. 138-147.
- Fontaine, H., Chonglakmani, C., Piyasin, D., Ibrabim, B. A. and Khoo, H.P. (1993). Triassic limestones within and around the Gulf of Thailand. J. Southeast Asian Earth Sciences, Vol. 8, No. 1-4, pp. 83-95.

- Franklin, J.A. (1976). An observational approach to the selection and control of rock tunnel linings. Proc. Conf. Shotcrete Ground Control, ASCE, Easton, MA, pp. 556-596.
- Ghose, A.K. and Raju, N.M. (1981). Characterization of rock mass vis-à-vis application of rock bolting in Indian coal measures. Proc. 22nd U.S. Symp. Rock Mech., MIT, Cambridge, MA, pp. 422-227.
- Gonzalez de Vallejo, L.I. (1983). A new rock classification system for underground assessment using surface data. Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr. LNEC. Lisbon. Vol. 1, pp. II.85-II.94.
- Goodman, R.E. (1989). Introduction to rock mechanics. John-Wiley and Sons, New York, pp. 293-339.
- Goodman, R.E. and Bray J. W. (1976). Toppling of rock slopes. Proc. Specialiy Conf. Rock Engineering. For Foundation and Slopes, ASCE (Boulder Colorado), Vol. 2, pp. 201-234.
- Hocking, G. (1976). A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 13, Issue. 7, pp. 225-226.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam, Balkema.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 34, Issue. 8, pp. 1165-1186.
- Hoseinie, S.H., Aghababaei, H. and Pourrahimian, Y. (2007). Development of a new classification system for assessing of rock mass drillability index (RD_i). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 45, Issue 1, pp. 1-10.
- Ingavat-Helmcke, R. (1993). Contribution to the Permian fusulinacean of Peninsular Thailand. J. Southeast Asian Earth Sciences, Vol. 8, No. 1-4, pp. 67-75.
- Kahraman, S., Bilgin, N. and Feridunoglu, C. (2003). Dominant rock properties effecting the penetration rate of percussive drills. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 40, Issue 5, pp. 711-723.

- Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 38, Issue 7, pp. 981-994.
- Kahraman, S. (2002). Correlation of TBM and drilling machine performances with rock brittleness. Engineering Geology, Vol. 65, Issue 4, pp. 269–283.
- Kendorski, F. Cummings, R., Bieniawski, Z.T. and Skinner, E. (1983). Rock mass classification for block caving mine drift support. Proc.5th Int. Congr. Rock Mech., ISRM Melbourne, pp. B51-B63.
- Laubscher, D.H. (1977). Geomechanics classification of jointed rock masses – mining applications. Trans. Instn Min. Metall. 86, pp. A1-A7.
- Laubscher, D.H. (1984). Design aspects and effectiveness of support systems in different mining conditions. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 21, Issue.6 7, pp. 236.
- Lim, S.S. and Yang, H.S. (2004). An analysis of plane failure of rock slopes by quantified stereographic projection. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 41, Issue. 3, pp. 744-749.
- Liu Ya-Ching and Chen Chao-Shi. (2007). A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment. Engineering Geology, Vol. 89, Issues 1-2, pp. 129-143.
- Markland, J.T. (1972). A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge type of failure is expected. Imperial Collage Rock Mechanics Research Report. 19: Imperial College. 10 p.
- Merriam, R., Rick, H.H. and Kim, Y.C. (1970). Tensile strength related to mineralogy and texture of some granite rocks. Engineering Geology, Vol. 4, Issue. 2, pp. 155-160.
- NAASRA Part 3 Crushed Rock, (1976). Pavement Materials, Sydney, Australia.
- NAASRA Part 4 Aggregates, (1982). Pavement Materials, Sydney, Australia
- Newman, D.A. and Bieniawski, Z.T. (1986). Modified version of the geomechanics classification for entry design in underground coal mines. Trans. Soc. Min. Eng. AIME 280, pp. 2134-2138.
- Oda, M.A. (1983). A method for evaluating the effect of crack geometry on the mechanical behavior of cracked rock masses. Mechanics of Materials, Vol. 2, Issue. 2, pp. 163-171.

- Onodera, T.F. and Asoka Kumara, H.M. (1980). Relation between texture and mechanical properties of crystalline rock. Assoc. Engineering Geology, Vol. 12, pp. 173-177.
- Palmstrom, A. (1996). Characterizing rock masses by the RMI for use in practical rock engineering. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 11, Issue. 2, pp. 175-188.
- Palmstrom A. (2000). Recent developments in rock support estimates by the RMI, J. Rock Mech. Tunnel. Technol. Vol. 6, pp. 1-9.
- Palmström, A. 1982. The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of rock jointing. Proc. 4th Congr. Int. Assn Engng Geol., Delhi 5, pp. 221-228.
- Priest, S.D. and Hudson, J.A. (1976). Discontinuity spacings in rock. International Journal of Rock Mechanics Mining Science, Vol. 13, Issue. 5, pp. 135-148.
- Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slope. In: Proceeding of the International Symposium on Role of Rock Mechanics, Zacatecas, Mexico. pp. 45-53.
- Russo, G. (2007). A new rational method for calculating the GSI. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 24, Issue 1, pp. 103-111.
- Serafim, J.L. and Pereira, J.P. (1983). Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski. Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr., LNEC, Lisbon, Vol. 1, pp. II.33-II.42.
- Singh, G. (1978). Highway Engineering. P.B.H., Delhi, pp. 323
- Sonmez, H. and Ulusay, R. (1999). Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability of slope. International Journal of Rock Mechanics Mining Science, Vol. 36, Issue. 6, pp. 743-760.
- Sopacı, E. and Akgün, H. (2008). Engineering geological investigations and the preliminary support design for the proposed Ordu Peripheral Highway Tunnel. Ordu, Turkey. Engineering Geology, Vol. 96, Issue 1-2, pp. 43-61.
- Sonmez, H. and Ulusay, R. (1999). Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36, Issue 6, pp. 743-760.

- Tonnayopas, D., Kooptarnond, K. and Theechawiwatthanakarn, P. (1995). Geotechnical characterization of carbonate rocks in Trang province. Int. Conf. Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina, Kosa Hotel, Khon Kaen, Thailand, 22-25 Nov 1995, pp. 426-432.
- Tonnayopas, D. and Kooptarnond, K. (1996). Geotechnical quality of construction rocks in Phatthalung province. Int. Symp. Geology and Environment, Chiang Mai Phucome Hotel, Chiang Mai, Thailand, 31 Jan-2 Feb 1996, pp. 426-432.
- Tonnayopas, D. and Kooptarnond, K. (1997). Quality assurance of carbonate construction materials in Lower Southern Thailand. Proc. 3rd National Convention on Civil Engineering, J.B. Hotel, Hat Yai, Thailand, 16-18 Jan 1997, pp. MAT 8-1 - MAT-13.
- Toraman, O.Y., Kahraman, S. and Cayirli, S. (2010). Predicting the crushability of rocks from the impact strength index. Minerals Engineering, Vol. 23, Issue 9, pp. 752-754.
- Ugur, I., Demirdag S. and Yavuz H. (2010). Effect of rock properties on the Los Angeles abrasion and impact test characteristics of the aggregates, Materials Characterization, Vol. 61, Issue 1, pp. 90-96.
- Unal, E. (1983). Design guidelines and roof control standards for coal mine roofs. Ph.D. thesis, Pennsylvania State University, University Park, pp. 355.
- Venkateswarlu, V. (1986). Geomechanics classification of coal measure rocks vis-à-vis roof supports. Ph.D. thesis, Indian School of Mines, Dhanbad, pp. 251.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H.R. and Skinner, E.H. (1972). Support determination based on geologic predictions. In: Proceedings of the Rapid Excavation and Tunneling Conference, AIEM, New York, pp. 43-64.
- Willard, R.J. and McWilliams, J.R. (1969). Microstructural techniques in the study of physical properties of rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 6, Issue. 1, pp. 1-12.
- Yu, B.O., Hwang, Y.C., Chun, K.S. and Kim, T.S. (2000). Distribution and failure characteristics of cut slope on highway. Proceedings of KGS Annual Meeting. Seoul. Korea, pp. 199-209.
- <http://csmres.jmu.edu/geollab/Fichter/IgnRx/SolidSol.html>,retrieved 16 October 07
- <http://rubber.co.th/menu6.html>,retrieved 19 Jun 2006

<http://www.eppo.go.th>, retrieved 12 July 06

<http://www.environnet.in.th>, retrieved 20 May 2006

<http://www.geoclassrom.com>, retrieved 16 October 07

<http://www.ismed.or.th/knowledge/showcontent.>, retrieved 12 April 2006

<http://www.oae.go.th/statistic/yearbook47/>, retrieved 19 Jun 2006

<http://www.drr.go.th>, retrieved 9 March 2011

<http://www.mai.doh.go.th>, retrieved 9 March 201

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
สมบัติมวลรวมหินคาร์บอน

ตารางที่ ก-1 ดัชนีกำลังแรงกดจุดพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช (NK1)

No.	P(KN)	D(mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	6.00	25.00	75.00	70.80	2.60
2	6.00	27.50	59.90	40.00	3.76
3	6.00	26.00	59.20	59.20	2.90
4	6.00	27.60	42.00	43.50	3.51
5	4.00	16.80	58.10	60.00	2.68
6	6.00	30.00	65.10	47.80	3.06
7	8.00	26.80	67.80	55.00	4.00
8	8.00	29.20	60.00	60.50	3.47
9	4.00	16.40	92.00	67.00	2.51
10	6.00	30.50	68.00	56.00	2.67
11	6.00	23.00	51.50	44.00	4.01
12	8.00	23.70	82.00	48.00	4.89
13	6.00	32.30	77.50	53.50	2.65
14	4.00	25.80	73.20	54.60	2.07
15	6.00	32.80	53.60	44.00	3.05
16	8.00	27.30	69.00	44.10	4.68
17	6.00	32.00	64.90	41.50	3.25
18	8.00	24.00	68.80	60.50	4.04
19	8.00	27.70	86.00	50.20	4.18
20	6.00	31.10	63.50	57.40	2.58

ตารางที่ ก-2 ดัชนีกำลังแรงกดจุดพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช (NK2)

No.	P(KN)	D(mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	10.00	40.50	92.60	75.50	2.84
2	10.00	29.50	94.20	86.30	3.27
3	12.00	29.30	100.70	89.70	3.83
4	10.00	38.50	95.30	89.60	2.59
5	5.00	8.00	26.30	122.50	1.04
6	6.00	10.00	31.80	117.50	1.06
7	7.00	8.00	30.00	84.50	1.00
8	8.00	8.00	29.60	90.20	1.05
9	9.00	10.00	27.00	112.40	0.98
10	10.00	10.00	32.50	96.70	1.08
11	11.00	14.00	30.70	74.30	1.00
12	12.00	12.00	34.40	119.50	1.05
13	13.00	10.00	30.30	91.00	1.04
14	14.00	12.00	28.40	133.00	1.04
15	8.00	31.30	97.00	64.00	3.15

ตารางที่ ก-3 ดัชนีกำลังแรงกดจุดพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช (NK3)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{s50}
1	6.00	25.00	75.00	70.80	2.60
2	6.00	27.50	59.90	40.00	3.76
3	6.00	26.00	59.20	59.20	2.90
4	6.00	27.60	42.00	43.50	3.51
5	4.00	16.80	58.10	60.00	2.68
6	6.00	30.00	65.10	47.80	3.06
7	8.00	26.80	67.80	55.00	4.00
8	8.00	29.20	60.00	60.50	3.47
9	4.00	16.40	92.00	67.00	2.51
10	6.00	30.50	68.00	56.00	2.67
11	6.00	23.00	51.50	44.00	4.01
12	8.00	23.70	82.00	48.00	4.89
13	6.00	32.30	77.50	53.50	2.65
14	4.00	25.80	73.20	54.60	2.07
15	6.00	32.80	53.60	44.00	3.05
16	8.00	27.30	69.00	44.10	4.68
17	6.00	32.00	64.90	41.50	3.25
18	8.00	24.00	68.80	60.50	4.04
19	8.00	27.70	86.00	50.20	4.18
20	6.00	31.10	63.50	57.40	2.58

ตารางที่ ก-4 ดัชนีกำลังแรงกดจุดพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช (NK4)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{s50}
1	8.00	24.80	64.28	45.50	4.25
2	6.00	23.00	57.30	47.00	3.52
3	8.00	28.50	83.40	60.00	3.10
4	4.00	18.00	69.70	62.40	2.36
5	6.00	25.70	66.00	50.00	2.97
6	8.00	18.40	73.20	77.30	4.20
7	6.00	22.00	65.70	54.00	3.27
8	8.00	23.40	62.10	47.00	4.47
9	6.00	27.00	79.40	60.30	2.48
10	10.00	29.80	71.00	40.60	4.55
11	6.00	26.00	57.00	51.70	3.10
12	4.00	14.60	58.20	52.30	3.19
13	6.00	24.70	91.60	57.40	2.52
14	8.00	27.50	62.30	56.20	3.70
15	6.00	19.20	66.80	38.00	4.03
16	6.00	31.20	84.90	41.00	2.40
17	4.00	37.00	58.21	33.70	1.79
18	6.00	25.60	69.80	57.00	2.78

ตารางที่ ก-5 ดัชนีกำลังแรงกดจุดพื้นที่ศึกษานครศรีธรรมราช (NK5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	30.30	63.20	68.00	3.17
2	8.00	28.10	75.60	59.60	3.28
3	6.00	24.60	86.30	53.00	2.86
4	4.00	36.70	74.50	64.80	2.42
5	8.00	34.60	90.30	84.10	2.29
6	6.00	22.50	63.30	61.90	3.42
7	4.00	27.40	68.00	71.20	2.28
8	6.00	23.40	83.80	52.20	2.83
9	6.00	27.70	83.30	50.70	2.51
10	12.00	33.40	76.20	54.00	4.58
11	8.00	29.50	63.50	56.60	3.47
12	4.00	18.60	74.90	54.60	2.64
13	6.00	27.70	69.60	38.90	3.06
14	12.00	27.30	83.20	77.00	4.42
15	10.00	35.50	85.10	67.70	3.21
16	4.00	21.40	51.00	55.00	2.45
17	10.00	27.00	72.00	64.00	4.21
18	4.00	22.50	92.40	49.30	2.76
19	8.00	27.80	72.50	53.00	3.51
20	10.00	31.30	65.70	72.40	3.71
21	8.00	24.30	64.30	64.00	3.83
22	10.00	25.40	82.40	65.00	4.15

ตารางที่ ก-6 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษากระบี่ (KR1)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	31.60	89.00	48.00	3.91
2	8.00	33.00	97.70	51.00	3.61
3	4.00	31.00	95.20	44.60	2.10
4	6.00	30.50	95.40	50.70	2.89
5	6.00	36.00	94.40	53.60	2.43
6	6.00	31.70	108.00	56.80	2.57
7	10.00	34.70	87.90	56.30	4.02
8	8.00	28.20	108.00	45.40	4.46
9	8.00	29.00	89.70	65.60	3.28
10	10.00	25.00	103.00	54.80	5.29
11	6.00	34.00	106.40	49.00	2.73
12	8.00	33.00	88.50	53.60	3.47
13	12.00	33.00	93.00	65.00	4.48
14	8.00	31.00	80.00	55.00	3.57
15	8.00	27.00	74.00	58.00	3.81

ตารางที่ ก-7 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษากระบี่ (KR2)

No	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	6.00	25.6	58.20	49.00	3.17
2	4.00	23.00	60.23	36.80	2.48
3	6.00	25.60	96.20	45.00	2.76
4	8.00	21.20	69.00	61.20	4.21
5	8.00	25.60	79.50	76.20	3.16
6	6.00	31.50	64.80	61.40	2.38
7	4.00	15.70	76.80	74.50	2.36
8	4.00	17.00	85.00	45.00	2.96
9	8.00	26.20	65.00	72.00	3.43
10	8.00	22.80	85.00	50.00	3.87
11	6.00	25.00	79.00	78.00	2.56
12	8.00	29.30	77.70	48.00	3.36
13	6.00	27.40	59.00	64.40	2.89
14	4.00	22.00	79.50	66.30	2.58
15	8.00	27.40	59.00	64.40	3.59
16	4.00	22.00	79.50	66.30	2.32
17	10.00	31.70	94.80	49.30	3.56
18	8.00	28.60	72.00	67.50	3.28

ตารางที่ ก-8 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษากระบี่ (KR3)

No	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	10.00	24.60	69.50	70.00	4.22
2	6.00	23.50	66.00	49.50	3.2
3	10.00	21.80	83.70	78.00	4.15
4	8.00	25.80	97.10	50.00	3.29
5	10.00	32.70	85.10	39.90	3.66
6	8.00	34.00	64.10	60.00	3.03
7	6.00	24.50	52.30	60.30	2.64
8	6.00	24.50	60.32	46.60	3.29
9	10.00	33.00	77.00	61.60	3.26
10	6.00	21.10	60.80	53.70	2.03
11	8.00	19.90	53.00	52.00	4.62
12	6.00	26.00	68.00	44.50	3.02
13	8.00	29.40	56.10	47.70	2.85
14	6.00	29.40	92.50	50.60	2.28
15	8.00	23.60	59.00	54.60	4.12
16	6.00	20.80	54.20	48.60	2.36
17	6.00	25.00	48.50	54.20	2.38
18	4.00	22.00	58.00	54.00	2.36
19	8.00	19.40	83.80	60.50	4.16
20	6.00	26.50	47.43	36.00	2.35
21	8.00	27.50	80.80	71.20	3.05
22	6.00	24.70	46.30	24.70	3.46

ตารางที่ ก-9 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษากระบี่ (KR4)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	6.00	28.70	89.00	72.70	2.29
2	8.00	33.80	69.60	62.80	3.01
3	6.00	35.50	74.60	68.50	2.03
4	4.00	26.70	74.80	54.80	2.01
5	6.00	22.70	78.00	84.90	2.44
6	6.00	26.80	81.40	68.20	2.54
7	10.00	29.00	73.00	57.30	4.55
8	12.00	34.70	90.70	66.80	4.22
9	6.00	28.70	76.80	81.40	2.10
10	4.00	25.00	65.00	53.30	2.16
11	6.00	31.70	86.30	64.00	2.34
12	6.00	31.40	65.00	65.40	2.32
13	8.00	32.90	50.50	59.40	3.21
14	6.00	20.40	72.60	55.30	3.69
15	8.00	31.00	73.00	61.60	3.27
16	8.00	20.00	67.00	56.70	4.90
17	12.00	33.60	80.20	68.00	4.27
18	10.00	31.00	82.20	73.00	3.58
19	6.00	29.80	82.20	57.00	2.69

ตารางที่ ก-10 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษากระบี่ (KR5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	28.70	75.50	52.40	3.94
2	6.00	27.80	64.00	59.50	2.74
3	6.00	24.50	44.80	40.50	4.07
4	6.00	31.00	75.50	68.00	2.27
5	6.00	28.50	77.00	49.40	3.11
6	6.00	30.00	66.10	38.00	3.66
7	8.00	25.90	61.20	61.00	3.79
8	6.00	25.00	68.50	55.00	3.16
9	4.00	27.00	51.20	41.20	2.49
10	8.00	30.00	80.00	61.20	3.37
11	10.00	39.00	88.00	72.40	3.02
12	8.00	29.00	81.00	62.10	3.42
13	4.00	22.00	64.00	55.00	2.33
14	10.00	32.80	70.20	57.00	4.16
15	6.00	24.60	98.50	52.80	3.31
16	8.00	30.40	71.50	46.00	4.16
17	8.00	23.80	66.50	47.00	4.68
18	6.00	36.20	54.00	64.00	2.11
19	10.00	31.70	62.00	52.30	4.56
20	8.00	33.00	63.10	35.40	4.67
21	8.00	30.00	96.00	52.40	3.8
22	6.00	32.30	69.00	58.00	2.49

ตารางที่ ก-11 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาชุมพร (CH1)

No	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	4.00	18.90	50.50	50.00	2.81
2	8.00	24.50	67.00	44.40	4.24
3	4.00	19.90	63.70	51.60	2.43
4	6.00	24.60	65.30	41.20	3.29
5	6.00	25.00	50.10	48.20	3.45
6	4.00	19.00	60.80	53.80	2.53
7	4.00	25.70	85.00	52.00	1.74
8	8.00	23.20	52.30	38.90	5.17
9	6.00	19.30	63.80	62.90	3.47
10	6.00	28.00	55.50	43.00	3.16
11	8.00	21.00	61.90	50.80	4.74
12	8.00	24.00	59.90	46.80	4.46
13	6.00	18.20	64.30	52.00	3.88
14	4.00	22.70	66.00	44.20	2.27
15	8.00	30.10	75.20	52.80	3.25
16	6.00	18.00	65.23	38.00	4.29
17	12.00	37.40	66.40	71.00	3.90
18	4.00	17.80	54.18	35.00	3.23
19	6.00	27.00	55.40	60.00	2.87
20	4.00	20.80	59.30	47.00	2.50
21	6.00	24.00	52.60	44.00	3.61
22	8.00	23.00	55.00	61.20	4.31
23	6.00	19.20	53.20	40.00	4.41

ตารางที่ ก-12 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาชุมพร (CH2)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	6.00	28.00	68.20	48.20	3.21
2	4.00	24.00	62.00	55.30	2.17
3	6.00	20.30	71.80	53.00	3.83
4	4.00	22.40	88.90	56.50	2.25
5	4.00	15.40	89.70	68.60	2.59
6	4.00	18.00	74.50	67.50	2.32
7	8.00	26.00	57.00	53.00	4.21
8	6.00	26.00	57.80	39.50	3.97
9	4.00	24.00	55.30	42.00	2.68
10	6.00	23.10	66.70	69.80	2.80
11	4.00	14.80	58.80	48.60	3.49
12	6.00	24.00	55.00	51.20	3.45
13	6.00	20.60	46.50	49.60	3.98
14	8.00	28.00	98.50	45.40	4.48
15	4.00	21.00	66.00	54.00	2.45
16	6.00	24.80	57.30	57.20	3.09
17	8.00	28.00	70.40	51.80	4.05
18	6.00	30.30	59.50	60.10	2.55
19	10.00	28.10	76.00	59.00	4.56
20	8.00	21.00	69.50	59.70	4.53
21	8.00	30.70	65.70	57.00	3.50
22	8.00	27.00	68.00	55.50	3.95

ตารางที่ ก-13 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาชุมพร (CH3)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{s50}
1	6.00	26.00	73.30	66.00	2.66
2	6.00	25.60	75.50	71.30	2.54
3	8.00	21.30	91.30	71.20	3.91
4	8.00	27.70	99.60	81.80	2.86
5	8.00	28.00	76.00	62.50	3.50
6	6.00	21.30	99.70	63.50	3.20
7	10.00	34.00	87.00	73.00	3.34
8	4.00	20.20	96.00	58.50	2.37
9	8.00	31.00	87.80	59.00	3.38
10	6.00	30.30	79.80	46.80	3.09
11	8.00	38.00	86.00	67.00	2.62
12	8.00	35.90	79.70	51.80	3.34
13	6.00	25.60	80.50	58.40	2.97
14	12.00	34.90	87.40	72.00	3.97
15	6.00	28.70	65.30	56.70	2.78
16	6.00	26.40	68.30	55.00	3.03
17	6.00	27.70	75.70	49.70	3.16
18	6.00	25.00	81.00	65.00	2.78
19	8.00	31.50	96.00	56.50	3.45
20	12.00	29.70	79.80	58.90	5.25

ตารางที่ ก-14 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาชุมพร (CH4)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{s50}
1	4.00	18.90	50.50	50.00	2.82
2	6.00	24.50	67.00	44.40	3.44
3	4.00	19.90	63.70	51.60	2.65
4	4.00	24.60	78.60	41.20	2.67
5	6.00	25.00	50.10	48.20	3.5
6	4.00	19.00	60.80	53.80	2.65
7	4.00	25.70	85.00	52.80	2.13
8	6.00	23.20	52.30	38.90	4.08
9	6.00	19.30	63.80	62.90	3.38
10	6.00	28.00	55.50	43.00	3.51
11	8.00	21.00	61.90	50.80	4.26
12	8.00	24.20	59.90	46.80	4.82
13	6.00	18.20	64.30	52.00	4.23
14	4.00	22.70	66.00	44.20	2.69
15	6.00	30.10	75.20	52.80	2.83
16	4.00	18.00	71.00	38.00	3.42
17	12.00	37.40	66.40	71.00	3.65
18	4.00	17.80	64.50	35.00	3.35
19	6.00	27.00	55.40	60.00	2.79
20	4.00	20.80	59.30	47.00	2.75
21	6.00	24.00	52.60	44.00	3.64
22	6.00	23.00	55.00	61.20	3.11

ตารางที่ ก-15 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาชุมพร (CH5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{ss0}
1	6.00	26.50	65.90	57.00	2.94
2	4.00	23.00	75.60	53.00	2.32
3	4.00	19.80	75.00	46.70	2.87
4	8.00	33.00	58.40	58.20	3.26
5	6.00	24.00	76.00	62.00	2.98
6	6.00	24.00	74.00	50.20	3.51
7	8.00	30.40	80.70	59.00	3.43
8	4.00	21.60	57.30	52.30	2.46
9	6.00	17.00	61.00	42.00	5.26
10	4.00	18.50	69.20	51.20	2.82
11	6.00	22.80	70.80	42.20	4.17
12	6.00	20.00	81.10	70.70	3.10
13	6.00	19.70	64.90	57.00	3.70
14	8.00	25.10	63.40	51.50	4.43
15	8.00	24.70	63.00	56.90	4.15
16	6.00	26.10	80.20	64.00	2.72
17	6.00	30.20	76.00	55.40	2.72
18	8.00	26.00	67.50	54.10	4.15
19	6.00	29.60	73.40	65.00	2.44
20	6.00	28.40	74.40	55.00	2.87
21	10.00	30.90	88.70	88.00	3.11
22	8.00	24.50	65.20	48.00	4.76

ตารางที่ ก-16 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาชุมพร (PN1)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{ss0}
1	6.00	25.20	63.70	48.60	3.46
2	6.00	26.00	54.20	48.20	3.40
3	6.00	20.00	62.20	42.10	4.63
4	6.00	18.40	56.20	48.30	4.44
5	8.00	29.60	98.00	62.50	3.35
6	6.00	25.60	72.00	79.10	2.34
7	6.00	27.70	58.70	40.00	3.74
8	4.00	21.00	64.80	39.50	3.12
9	4.00	25.10	48.40	37.70	2.82
10	6.00	28.30	74.70	46.50	3.27
11	6.00	27.00	57.00	44.90	3.49
12	6.00	36.20	69.40	68.80	2.00
13	6.00	25.00	57.00	40.20	4.03
14	6.00	22.30	78.80	47.00	3.91
15	6.00	23.50	26.30	36.00	4.61
16	6.00	29.80	69.00	37.00	3.75
17	2.00	12.50	81.00	35.40	2.54
18	6.00	22.50	55.10	42.00	4.23
19	6.00	26.50	81.80	58.00	2.90
20	6.00	22.00	62.00	58.40	3.34

ตารางที่ ก-17 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพังงา (PN2)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	10.00	28.60	70.00	50.00	4.44
2	8.00	30.00	80.60	59.70	3.03
3	6.00	23.50	91.24	59.70	2.60
4	8.00	23.70	86.00	57.50	3.58
5	8.00	32.00	83.30	58.70	2.86
6	10.00	32.00	72.35	50.00	4.01
7	8.00	27.00	62.08	48.60	3.96
8	8.00	23.70	65.42	57.00	4.05
9	8.00	32.00	75.30	53.00	3.09
10	10.00	27.00	73.12	48.00	4.61
11	8.00	25.00	68.41	55.00	3.86
12	6.00	30.00	64.20	41.00	2.84
13	8.00	33.00	78.42	45.00	3.11
14	6.00	27.30	66.28	42.00	2.99
15	10.00	30.80	76.38	52.00	3.98
16	6.00	33.10	74.25	43.00	2.42
17	6.00	26.00	80.50	53.00	2.64

ตารางที่ ก-18 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพังงา (PN3)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	33.20	87.50	58.80	3.22
2	12.00	24.20	96.20	68.40	5.48
3	16.00	30.00	102.30	69.00	6.15
4	8.00	44.00	106.00	60.70	2.68
5	6.00	31.40	78.30	49.40	2.88
6	8.00	26.50	101.30	80.20	3.54
7	8.00	33.00	91.60	66.40	3.40
8	10.00	29.70	85.90	60.50	4.29
9	9.00	29.40	122.00	57.40	4.05
10	10.00	24.50	106.70	69.60	4.46
11	8.00	31.60	98.80	60.00	3.29
12	8.00	33.70	74.90	63.00	3.26
13	12.00	31.30	103.80	91.00	3.78
14	10.00	27.80	104.90	74.50	3.84
15	8.00	30.00	79.30	60.00	3.52
16	8.00	33.30	108.80	61.20	3.11
17	8.00	36.30	109.20	80.70	2.56
18	8.00	27.90	121.30	54.70	3.89
19	8.00	30.80	114.50	57.60	3.46
20	10.00	27.00	123.00	65.20	4.35

ตารางที่ ก-19 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพังงา (PN4)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{ss0}
1	6.00	25.60	58.20	49.00	3.17
2	4.00	23.00	60.23	36.80	2.48
3	6.00	25.60	96.20	45.00	2.76
4	8.00	21.20	69.00	61.20	4.21
5	8.00	25.60	79.50	76.20	3.36
6	6.00	31.50	64.80	61.40	2.38
7	4.00	15.70	76.80	74.50	2.36
8	6.00	17.00	85.00	45.00	3.18
9	8.00	26.20	65.00	72.00	3.18
10	8.00	22.80	85.00	50.00	3.87
11	6.00	25.00	79.00	78.00	2.56
12	8.00	29.30	77.70	48.00	3.36
13	6.00	27.40	59.00	64.40	2.89
14	4.00	22.00	79.50	66.30	2.58
15	8.00	27.40	59.00	64.40	3.59
16	4.00	22.00	79.50	66.30	2.32
17	10.00	31.70	94.80	49.30	4.12
18	8.00	28.60	72.00	67.50	3.28
19	8.00	26.10	50.20	45.60	4.54
20	6.00	30.00	65.70	48.00	3.24
21	6.00	20.80	60.00	56.80	3.54
22	6.00	17.60	72.00	44.54	3.97

ตารางที่ ก-20 ดัชนีกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพังงา (PN5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{ss0}
1	6	18.4	118.8	62	3.66
2	10	36.5	95.4	50.9	4.18
3	10	25.8	95.2	64.3	4.42
4	8	30.5	99.6	55.3	3.60
5	6	22.3	82.1	64.9	3.04
6	6	34.6	118.1	45.2	2.86
7	8	30.5	91.2	77.2	2.78
8	7	26.8	85.7	52	3.65
9	3	20.1	86.6	48.1	2.08
10	6	29.4	84.5	59.8	2.62
11	4	26.6	116.7	55.5	2.00
12	6	24.8	79.5	63.4	2.85
13	8	33.4	128.5	71	2.77
14	8	20.5	145	58.8	3.80
15	12	31.5	87.7	67.2	4.53

ตารางที่ ก-21 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพัทลุง (PH1)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{ss0}
1	8.00	26.80	82.70	60.60	3.26
2	8.00	27.70	67.30	66.50	3.35
3	6.00	30.00	70.30	43.00	2.69
4	4.00	26.40	69.90	56.60	1.81
5	6.00	26.40	78.50	62.00	2.51
6	6.00	29.00	75.30	63.40	2.36
7	8.00	30.00	67.20	61.70	3.24
8	6.00	27.30	81.00	50.30	2.58
9	6.00	24.30	67.50	62.00	2.85
10	8.00	28.70	82.00	78.00	2.84
11	6.00	25.40	72.30	71.30	2.54
12	6.00	23.60	75.40	63.50	2.76
13	4.00	21.00	62.00	53.50	2.33
14	4.00	23.60	68.70	55.30	2.01
15	4.00	27.00	59.00	54.00	1.95
16	6.00	32.00	78.80	44.60	2.39
17	8.00	36.00	75.30	55.00	2.79
18	10.00	29.20	103.00	80.30	3.15
19	6.00	39.00	80.20	44.80	2.03
20	10.00	32.00	107.70	89.60	2.77
21	8.00	33.00	78.50	47.60	3.06
22	6.00	21.50	94.00	88.80	2.40

ตารางที่ ก-22 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพัทลุง (PH2)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{ss0}
1	8	33.20	87.50	58.80	3.22
2	8	24.20	96.20	68.40	3.44
3	12	30.00	102.30	69.00	4.86
4	8	44.00	106.00	60.70	2.68
5	6	31.40	78.30	49.40	2.88
6	6	26.50	101.30	80.20	2.65
7	8	33.00	91.60	66.40	3.02
8	10	29.70	85.90	60.50	4.29
9	8	29.40	122.00	57.40	3.32
10	8	24.50	106.70	69.60	3.46
11	6	31.60	98.80	60.00	2.00
12	8	33.70	74.90	63.00	3.26
13	12	31.30	103.80	91.00	3.78
14	8	27.80	104.90	74.50	3.40
15	6	30.00	79.30	60.00	2.56
16	4	33.30	108.80	61.20	2.28
17	6	36.30	109.20	80.70	2.56
18	8	27.90	121.30	54.70	3.06
19	6	30.80	114.50	57.60	3.12
20	10	27.00	123.00	65.20	4.35

ตารางที่ ก-23 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพัทลุง (PH3)

No.	P(KN)	D(mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	23.40	72.70	51.50	4.67
2	6.00	28.00	60.80	51.40	3.05
3	6.00	33.80	72.80	64.60	2.21
4	10.00	36.40	86.70	64.40	3.49
5	6.00	33.70	59.40	59.00	2.38
6	6.00	20.40	71.50	63.80	3.30
7	8.00	25.30	68.50	57.60	4.03
8	6.00	23.40	67.00	54.90	3.34
9	6.00	25.80	73.30	63.00	2.78
10	6.00	37.80	69.00	48.80	2.52
11	4.00	22.00	64.20	49.80	2.52
12	6.00	22.40	57.50	53.40	3.52
13	10.00	31.30	74.40	52.10	4.62
14	6.00	26.90	84.00	55.00	2.99
15	4.00	18.50	61.00	46.30	3.04
16	10.00	36.00	61.00	62.20	3.61
17	6.00	37.60	64.00	49.00	2.52
18	8.00	34.80	68.30	42.30	4.00
19	4.00	30.50	72.20	62.30	1.64
20	6.00	28.20	66.20	51.40	3.04
21	6.00	29.00	62.80	39.00	3.68
22	8.00	34.90	67.40	47.60	3.64

ตารางที่ ก-24 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพัทลุง (PH4)

No	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	10	24.60	69.50	70.00	4.44
2	6	23.50	66.00	49.50	3.20
3	10	21.80	83.70	78.00	4.35
4	8	25.80	97.10	50.00	3.29
5	10	32.70	85.10	39.90	3.88
6	8	34.00	64.10	60.00	3.03
7	6	24.50	52.30	60.30	3.16
8	6	24.50	60.32	46.60	3.29
9	10	33.00	77.00	61.60	3.56
10	6	21.10	60.80	53.70	3.50
11	8	19.90	53.00	52.00	5.22
12	6	26.00	68.00	44.50	3.02
13	8	29.40	56.10	47.70	3.89
14	6	29.40	92.50	50.60	2.28
15	8	23.60	59.00	54.60	4.30
16	6	20.80	54.20	48.60	3.85
17	6	25.00	48.50	54.20	3.34
18	4	22.00	58.00	54.00	2.30
19	8	19.40	83.80	60.50	4.16
20	6	26.50	47.43	36.00	3.75
21	8	27.50	80.80	71.20	3.05
22	6	24.70	46.30	24.70	4.48

ตารางที่ ก-25 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาพัทลุง (PH5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{s50}
1	4.00	23.80	80.00	59.80	2.05
2	10.00	30.50	84.40	69.00	3.79
3	4.00	28.50	77.40	51.70	2.00
4	10.00	33.50	82.30	69.00	3.53
5	4.00	22.70	84.70	55.70	2.25
6	8.00	33.80	100.70	64.00	2.97
7	12.00	33.80	73.80	75.60	3.91
8	8.00	30.00	80.80	63.90	3.26
9	6.00	37.60	77.00	66.40	1.99
10	6.00	26.40	87.70	74.00	2.41
11	6.00	24.70	85.20	47.00	3.61
12	14.00	37.00	85.00	67.30	4.66
13	8.00	36.80	81.70	70.80	2.57
14	10.00	33.00	79.50	74.20	3.37
15	6.00	33.60	92.00	70.00	2.09
16	8.00	34.60	80.20	68.00	2.78
17	8.00	34.00	72.60	56.50	3.26
18	10.00	34.50	89.00	61.70	3.76

ตารางที่ ก-26 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสตูล (ST1)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I _{s50}
1	8.00	25.20	59.40	47.00	4.74
2	8.00	31.20	59.60	59.90	3.33
3	6.00	26.80	78.50	53.00	3.09
4	6.00	27.60	65.30	54.00	2.97
5	8.00	26.40	62.70	57.80	3.89
6	4.00	26.60	65.90	47.40	2.26
7	10.00	32.40	70.80	60.00	4.03
8	10.00	24.00	81.00	52.70	5.63
9	4.00	25.40	80.20	40.90	2.62
10	10.00	30.60	77.50	58.80	4.28
11	8.00	26.20	67.00	62.40	3.69
12	6.00	23.00	66.00	48.20	3.74
13	8.00	26.50	59.10	56.50	3.95
14	6.00	26.50	80.80	37.00	4.11
15	4.00	21.30	58.40	54.00	2.42
16	6.00	22.80	76.00	65.50	2.97
17	4.00	28.60	67.00	52.00	1.99
18	8.00	21.70	57.00	56.00	4.64
19	6.00	32.00	66.40	62.00	2.38
20	4.00	27.00	76.40	61.00	1.83
21	8.00	30.50	26.00	45.50	4.19
22	6.00	25.40	74.00	41.80	3.87

ตารางที่ ก-27 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสตูล (ST2)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	32.60	87.90	63.00	3.09
2	8.00	28.50	76.90	74.60	3.01
3	6.00	27.40	79.40	73.10	2.36
4	6.00	32.50	90.00	66.20	2.24
5	8.00	38.70	92.50	51.20	3.18
6	10.00	33.80	78.40	53.30	4.28
7	8.00	32.90	84.90	57.30	3.30
8	8.00	33.00	73.50	73.00	2.73
9	8.00	31.56	91.80	86.50	2.48
10	8.00	31.40	93.50	67.80	3.01
11	6.00	32.70	65.50	67.50	2.19
12	8.00	31.90	88.00	74.00	2.78
13	6.00	25.50	90.40	83.20	2.26
14	10.00	27.30	92.00	58.00	4.73
15	6.00	31.00	77.50	69.30	2.24
16	10.00	26.70	96.00	69.00	4.20
17	10.00	34.40	92.30	74.00	3.27
18	8.00	32.56	60.12	68.45	2.90
19	8.00	32.56	50.80	56.89	3.35
20	8.00	31.67	48.23	50.28	3.77
21	10.00	37.21	64.59	68.76	3.26
22	8.00	26.50	40.60	45.72	4.65

ตารางที่ ก-28 ชั้นนี้กำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสตูล (ST3)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	4.00	21.70	78.60	63.00	2.12
2	6.00	37.00	69.80	45.00	2.73
3	6.00	21.00	68.70	46.00	4.16
4	10.00	37.00	85.30	67.00	3.34
5	6.00	27.00	81.00	58.70	2.83
6	6.00	26.50	62.30	37.60	4.06
7	8.00	39.00	76.60	46.00	3.43
8	6.00	32.10	63.00	48.30	2.88
9	8.00	30.10	105.70	63.40	3.27
10	4.00	25.50	74.20	48.10	2.30
11	6.00	26.80	79.70	54.00	3.04
12	6.00	24.20	69.40	64.40	2.87
13	8.00	29.10	92.50	76.20	2.91
14	4.00	18.60	53.00	49.80	2.87
15	10.00	39.20	73.60	63.20	3.34
16	8.00	34.20	71.40	54.10	3.35
17	10.00	26.60	57.40	45.00	5.87
18	6.00	38.30	52.70	40.00	2.91
19	6.00	34.00	66.10	41.80	3.08
20	4.00	21.00	59.80	43.40	2.90
21	6.00	28.00	79.00	62.10	2.64
22	8.00	31.50	62.40	44.50	4.16

ตารางที่ ก-29 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสตุล (ST5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₅₀
1	8.00	32.00	65.00	51.50	3.67
2	6.00	19.90	63.00	50.00	4.07
3	4.00	21.20	64.60	53.00	2.47
4	2.00	12.50	57.00	47.70	2.02
5	6.00	28.40	90.20	62.00	2.61
6	8.00	29.60	63.90	54.20	3.74
7	6.00	33.90	65.40	58.00	2.40
8	6.00	28.80	61.00	62.20	2.58
9	4.00	23.80	61.80	52.20	2.28
10	6.00	20.00	69.40	52.10	3.92
11	6.00	19.70	74.20	56.30	3.74
12	6.00	26.20	82.00	63.80	2.72
13	6.00	20.50	54.40	46.00	4.24
14	4.00	31.40	68.80	47.20	1.99
15	4.00	23.50	109.30	65.00	1.94
16	6.00	27.20	71.00	71.20	2.43
17	6.00	32.00	99.40	69.00	2.19
18	6.00	29.00	80.70	40.90	3.55
19	8.00	27.10	82.70	52.10	4.13
20	8.00	33.50	82.50	46.00	3.86
21	6.00	24.40	58.10	43.00	3.90
22	6.00	15.80	64.30	38.80	5.92

ตารางที่ ก-30 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสงขลา (SK1)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₅₀
1	6.00	22.20	79.60	48.80	3.81
2	6.00	22.80	70.70	76.70	2.63
3	6.00	24.00	60.70	61.80	2.98
4	8.00	33.10	64.00	54.50	3.42
5	10.00	25.00	54.00	51.00	5.59
6	6.00	27.00	73.00	58.60	2.84
7	4.00	21.30	83.00	29.00	3.92
8	4.00	30.00	80.00	46.70	2.08
9	2.00	18.50	68.60	32.80	1.99
10	6.00	28.80	85.30	43.80	3.38
11	6.00	29.00	88.60	65.00	2.48
12	6.00	19.80	64.50	58.70	3.60
13	4.00	21.70	71.00	32.10	3.57
14	6.00	27.00	80.50	65.50	2.60
15	6.00	23.00	57.80	43.00	4.08
16	6.00	22.00	80.20	70.00	2.90
17	6.00	25.20	83.40	67.00	2.70
18	4.00	22.00	71.00	60.00	2.18
19	6.00	27.50	83.00	48.00	3.27
20	6.00	20.40	75.00	57.80	3.56
21	8.00	27.10	99.20	58.40	3.78
22	6.00	30.00	75.40	34.00	3.99

ตารางที่ ก-31 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสงขลา (SK2)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	6.00	22.40	55.70	49.30	3.75
2	6.00	20.30	52.30	51.00	3.94
3	8.00	27.50	71.00	59.50	3.69
4	8.00	31.50	84.50	69.00	2.96
5	6.00	26.00	51.50	52.70	3.17
6	8.00	31.70	71.00	66.40	3.03
7	4.00	20.20	67.00	43.60	2.98
8	8.00	34.50	73.20	57.00	3.20
9	6.00	26.20	72.00	54.00	3.09
10	6.00	20.50	70.30	51.20	3.90
11	6.00	28.20	73.00	61.50	2.64
12	4.00	21.60	62.60	43.30	2.84
13	6.00	19.20	65.00	52.40	4.03
14	4.00	16.00	62.00	60.70	2.76
15	4.00	22.20	85.60	43.00	2.80
16	4.00	25.50	61.80	47.80	2.32
17	6.00	25.00	84.10	79.50	2.38
18	4.00	19.30	78.00	59.00	2.44
19	6.00	30.00	76.70	61.20	2.53
20	6.00	24.00	64.60	60.00	3.05
21	4.00	26.00	54.80	45.00	2.39

ตารางที่ ก-32 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสงขลา (SK3)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	6.00	27.00	95.30	58.50	2.84
2	8.00	28.00	84.70	58.00	3.71
3	10.00	26.50	106.30	56.00	4.97
4	8.00	26.00	94.90	66.00	3.55
5	10.00	35.00	136.00	62.80	3.67
6	10.00	26.00	94.60	64.20	4.54
7	8.00	28.00	92.20	65.40	3.38
8	8.00	26.00	102.40	67.20	3.50
9	6.00	30.00	106.40	60.70	2.55
10	8.00	35.80	73.80	60.00	2.99
11	10.00	40.70	99.30	63.50	3.23
12	6.00	32.60	99.50	65.40	2.25
13	6.00	27.00	98.60	60.00	2.79
14	8.00	31.40	104.50	59.00	3.35
15	10.00	34.00	117.80	66.50	3.59
16	6.00	36.00	72.60	59.50	2.24
17	10.00	34.00	116.60	70.00	3.45
18	6.00	29.40	115.00	67.70	2.38
19	6.00	28.00	89.60	69.50	2.42
20	8.00	32.40	93.00	61.80	3.15
21	10.00	36.00	100.70	68.00	3.37
22	6.00	28.70	107.70	56.00	2.80

ตารางที่ ก-33 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสงขลา (SK4)

No.	P(KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	8.00	35.00	96.70	69.80	2.70
2	8.00	46.00	84.00	68.20	2.23
3	6.00	34.50	85.80	50.00	2.65
4	10.00	37.00	86.80	68.80	3.27
5	8.00	29.00	65.50	50.60	4.01
6	10.00	35.40	77.00	61.00	3.72
7	10.00	43.10	83.40	83.10	2.51
8	8.00	29.00	92.00	70.50	3.10
9	6.00	28.00	100.00	64.00	2.58
10	4.00	28.00	77.00	45.60	2.23
11	8.00	37.00	67.00	67.00	2.67
12	4.00	20.00	78.40	40.60	3.17
13	6.00	32.50	88.20	76.40	2.00
14	8.00	42.70	81.00	80.50	2.07
15	10.00	33.00	92.80	58.00	4.08
16	6.00	32.60	74.00	75.50	2.02
17	10.00	39.00	92.50	81.00	2.77

ตารางที่ ก-34 คำนวณกำลังแรงกดจุดแหล่งหินศึกษาสงขลา (SK5)

No.	P (KN)	D (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	I ₅₀
1	10.00	36.30	114.50	67.60	3.37
2	8.00	36.80	98.20	57.20	3.4
3	10.00	33.80	110.00	83.00	3.03
4	6.00	33.80	118.60	67.00	2.68
5	10.00	26.90	83.70	57.50	4.78
6	8.00	27.00	154.20	78.00	3.03
7	10.00	32.40	109.10	64.80	3.8
8	8.00	27.80	84.00	71.00	3.19
9	6.00	22.30	97.20	78.50	2.62
10	8.00	38.80	106.50	65.30	2.63
11	6.00	19.50	105.20	60.50	2.67
12	6.00	36.60	100.30	67.80	2.67
13	8.00	23.00	84.40	64.30	2.87
14	12.00	34.40	106.60	67.50	4.22
15	8.00	45.30	113.80	68.80	2.8
16	10.00	34.00	94.00	67.70	3.54
17	8.00	36.00	137.40	49.40	2.89
18	10.00	24.20	93.20	71.90	4.17
19	6.00	25.40	89.70	63.50	2.8
20	8.00	29.20	107.80	78.00	2.85

ภาคผนวก ข.

ปัจจัยการจำแนกมลพิษและทิศทางการวางตัวของความไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ ข-1 ปัจจัยการจำแนกมวลหินระบบ RMR พื้นที่แหล่งหินศึกษา นครศรีธรรมราช

รายการ	ความลาด NK1	ความลาด NK2	ความลาด NK3	ความลาด NK4	ความลาด NK5
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.81	3.76	3.44	3.26	3.18
คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD (%)	77.87	82.00	72.50	75.40	76.64
ช่วงแนวแตก	0.2-0.6 ม.	0.1-1.0 ม.	0.1-0.6 ม.	0.1-0.6 ม.	0.2-0.8 ม.
สภาพความ ไม่ต่อเนื่อง	แยกอ้า 5-10 มม. ผิวลื่น ไถล ผนังหิน ค่อนข้างผุ แนวแตกยาว ต่อเนื่อง 1-3 ม. ผิวไม่มีผง ออก	แยกอ้า 5-10 มม. ผิวเรียบ ผนังหินค่อนข้าง แนวแตกยาว ต่อเนื่อง >3 ม. หินค่อนข้างผุ	แนวแตกยาว ต่อเนื่อง >3 ม. ผิวเรียบ ผนัง หินผุ ไม่มีผงออก แยกอ้า 1-5 มม	แนวแตกยาว ไม่ต่อเนื่อง <1 ม. ผิวค่อนข้าง ขรุขระ ผนัง หินไม่ผุ ไม่มี ผงออก แยกอ้า 1-5 มม.	แนวแตกยาว ต่อเนื่อง 1-3 ม. แยกอ้า 1-5 มม. ผิวขรุขระ ผงออก ไม่มี ผนังหิน ค่อนข้างผุ
น้ำใต้ดิน	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง
RMR	66	70	64	71	70
ประเภทหิน	หินพอใช้	หินพอใช้	หินเลว	หินพอใช้	หินพอใช้
Cohesion (MPa)	0.2-0.3	0.2-0.3	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3
มุมเสียดทานภายใน (°)	25-35	25-35	15-25	25-35	25-35
SMR ปรับแก้	49.00	48.56	37.43	52.43	48.62
สถานะเสถียรภาพ ได้จาก Romana	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน	ไม่มั่นคง	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน
รูปแบบการพิบัติ	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่ม ขนาดใหญ่	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็นระบบ	ปรับแก้อย่าง มาก	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็น ระบบ
การคะแนนอัตราเจาะ (RD _i)	41	36	33	36	33

ตารางที่ ข-2 ปัจจัยการจำแนกมวลหินระบบ RMR พื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพร

รายการ	ความลาด CH1	ความลาด CH2	ความลาด CH3	ความลาด CH4	ความลาด CH5
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.48(7)	3.38	3.21	3.44	3.39
คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD (%)	92.31	70.45	80.90	65	69.60
ช่วงแนวแตก	0.2-0.6 ม.	0.6-2.0 ม.	0.2-0.6 ม.	0.6-2.0 ม.	0.2-0.6 ม.
สภาพความ ไม่ต่อเนื่อง	แยกอ้า 1-5 มม. ผันหิน ค่อนข้างค แนวแตกยาว ไม่ต่อเนื่อง 1- 3 ม ไม่มีผ งออด ผิวหน้า ลื่นไถล	แนวแตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 1-3 ม แยกอ้า 1-5 มม ผิวค่อนข้าง ขรุขระ ผงออดไม่ มีผันหินค ปาน กลาง	แนวแตกยาวไม่ ต่อเนื่อง < 1 ม แยกอ้า 1-5 มม ผิวค่อนข้าง ขรุขระ ผงออด ไม่มี ผันหิน ค่อนข้าง	แนวแตกยาว ไม่ต่อเนื่อง 1- 3 ม แยกอ้า > 5 มม ผิว ขรุขระ ผงออด นูน > 5 มม ผันหินค สูง	แนวแตกยาว ไม่ต่อเนื่อง < 1 ม แยกอ้า 1- 5 มม ผิวลื่น ไถล ผงออดไม่ มี ผันหิน ค่อนข้าง
น้ำใต้ดิน	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง
RMR	73	66	69	60	68
ประเภทหิน	หินพอใช้	หินพอใช้	หินดี	หินเลว	หินพอใช้
Cohesion (MPa)	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3-0.4	0.1-0.2	0.2-0.3
มุมเสียดทานภายใน (°)	25-35	25-35	35-45	15-25	25-35
SMR ปรับแก้	57.67	45.95	74.41	22.62	42.95
สถานะเสถียรภาพ ได้จาก Romana	บางส่วน	บางส่วน	มั่นคง	ไม่มั่นคง	บางส่วน
รูปแบบการพิบัติ	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางบล็อก	ระนาบหรือ ลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็นระบบ	บางโอกาส	ปรับแก้ อย่าง มาก	อย่างเป็น ระบบ
การคะแนนอัตราเจาะ (RDi)	36	41	36	33	33

ตารางที่ ข-3 ปัจจัยการจำแนกมวลหินระบบ RMR พื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่

รายการ	ความลาด KR1	ความลาด KR2	ความลาด KR3	ความลาด KR4	ความลาด KR5
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.51	3.10	3.23	3.03	3.42
คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD (%)	89.59	66.00	82.66	83.10	88.60
ช่วงแนวแตก	0.2-1.5 ม.	0.1-0.6 ม.	0.2-1.0 ม.	0.3-1.2 ม.	0.1-0.6 ม.
สภาพความ ไม่ต่อเนื่อง	แยกอ้า >5 มม. ผิวขรุขระ เคลือบคราบ สนิมเหล็กดิน แทรกรอยแตก หนา 10 มม ผนังหินฟูปาน กลาง แนวแตก ยาวไม่ต่อเนื่อง 1-3 ม.	ผิวหน้าขรุขระมี คราบสนิมเหล็ก เคลือบ แยกอ้า 5-10 มม ผงอุด น้มน < 5 มม แนว แตก ยาว ไม่ ต่อเนื่อง 1-3 ม	ผิวหน้าขรุขระ แยกอ้า > 5 มม ผงอุดน้มน 1-5 มม แนว แตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 0.3- 1.6 ม ผนังหิน ค่อนข้างฟู	ผนังหิน ขรุขระมี คราบหินปูน เคลือบ แยก อ้า 1-5 มม แนวแตกยาว ต่อเนื่อง 1-3 ม ผนังหินไม่ ฟู	แนวแตกยาว ต่อเนื่อง 1-3 ม ผนังหินฟู ผิว ลื่นไถล ผงอุด หนาน้มน 1-5 มม แยกอ้า 1-5 มม
น้ำใต้ดิน	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง
RMR	61	63	63	62	59
ประเภทหิน	พอใช้	หินพอใช้	หินเลว	หินเลว	หินพอใช้
Cohesion (MPa)	0.2-0.3	0.2-0.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.2-0.3
มุมเสียดทานภายใน (°)	25-35	25-35	15-25	15-25	25-35
SMR ปรับแก้	62.52	42.00	29.80	23.60	54.68
สถานะเสถียรภาพ ได้จาก Romana	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน	ไม่มั่นคง	ไม่มั่นคง	เสถียรภาพ บางส่วน
รูปแบบการพิบัติ	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือ ลิ่มขนาดใหญ่	ระนาบหรือ ลิ่มขนาด ใหญ่	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็นระบบ	อย่างเป็นระบบ	ปรับแก้อย่าง มาก	ปรับแก้อย่าง มาก	อย่างเป็น ระบบ
การคะแนนอัตราเจาะ (RDi)	38	38	41	33	33

ตารางที่ ข-4 ปัจจัยการจำแนกมวลหินระบบ RMR พื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา

รายการ	ความลาด PN1	ความลาด PN2	ความลาด PN3	ความลาด PN4	ความลาด PN5
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.52	3.42	3.76	3.18	3.62
คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD (%)	69.46	83.10	77.60	95.20	42.07
ช่วงแนวแตก	0.1-0.8 ม.	0.1-0.8 ม.	0.1-0.6 ม.	0.2-1.2 ม.	0.1-0.6 ม.
สภาพความ ไม่ต่อเนื่อง	แยกอ้า 1-5 มม ไม่มีผองอูด ผิวขรุขระ คราบสนิม เหล็กเคลือบ ผิวหน้าแนว แตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 0.1- 0.8 ม ผนังหิน ค่อนข้างผุ	แยกอ้า 5-10 มม ไม่มีผองอูด แนว แตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 0.2-1.5 ม ผิวหน้าลื่น ไถล ผนังหิน ค่อนข้างผุ	แยกอ้า 5-10 มม ไม่มีผองอูด แนว แตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 0.1-2.3 ม ผิวลื่น ไถล ผ นัง หิน ค่อนข้างผุ	แยกอ้า 1-5 มม ไม่มี ผง อูด แนวแตกยาว ไม่ต่อเนื่อง 0.4-3.0 ม ผิว ขรุขระ ผนัง หินไม่ผุ	แยกอ้า 5-10 มม ผิวลื่นไถล ผองอูดดินหนา 5-10 มม แนว แตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 0.3- 1.5 ม ผนังหิน ค่อนข้างผุ
น้ำใต้ดิน	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง
RMR	69	64	69	75	53
ประเภทหิน	หินพอใช้	หินพอใช้	หินเลว	หินพอใช้	หินเลว
Cohesion (MPa)	0.2-0.3	0.2-0.3	0.1-0.2	0.2-0.3	0.1-0.2
มุมเสียดทานภายใน (°)	25-35	25-35	25-35	25-35	25-35
SMR ปรับแก้	48.87	49.52	29.46	54.69	35.35
สถานะเสถียรภาพ ได้จาก Romana	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน	ไม่มั่นคง	เสถียรภาพ บางส่วน	ไม่มั่นคง
รูปแบบการพิบัติ	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่ม ขนาดใหญ่	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือ ลิ่มขนาดใหญ่
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็นระบบ	ปรับแก้อย่าง มาก	อย่างเป็น ระบบ	ปรับแก้อย่าง มาก
การคะแนนอัตราเจาะ (RDi)	36	33	36	41	33

ตารางที่ ข-5 ปัจจัยการจำแนกมวลหินระบบ RMR และพื้นที่แหล่งหินศึกษาสตูล

รายการ	ความลาด ST1	ความลาด ST2	ความลาด ST3	ความลาด ST4	ความลาด ST5
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	3.48	3.20	3.06	3.30	3.19
คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD (%)	61.21	67.70	66.16	80.07	94.96
ช่วงแนวแตก	0.2-0.6 ม.	0.2-2.0 ม.	0.1-1.4 ม.	0.1-0.6 ม.	0.2-0.8 ม.
สภาพความ ไม่ต่อเนื่อง	แนวแตกยาว 1-3 ม ผิว ขรุขระ ผัน หินไม่ผุ แยก อ้า 1-5 มม ไม่มี ผองผุ	แนวแตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 0.4-0.8 ม แยกอ้า 5-10 มม ผองผุดิน แทรกตามรอย แตกหนา 10-20 มม ผิวขรุขระ ผันหินผุปาน กลาง	แนวแตกยาว 1.4-3.0 ม ผัน หินค่อนข้างผุ ผิวขรุขระ แยก อ้า 1-5 มม ผอง ผุดแข็งหนา < 5 มม	แนวแตกยาว ต่อเนื่อง 1-3 ม แยกอ้า 1-5 มม ผิวขรุขระ ผันหิน ค่อนข้างผุ ผอง ผุดแข็ง < 5 มม	แนวแตกยาว 1-5 ม แยกอ้า 1-5 มม ผัน หินไม่ผุ ผิว เรียบไม่มีผอง ผุด
น้ำใต้ดิน	เปียก	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง
RMR	60	61	57	68	70
ประเภทหิน	หินพอใช้	หินพอใช้	หินพอใช้	หินพอใช้	หินพอใช้
Cohesion (MPa)	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3
มุมเสียดทานภายใน (°)	25-35	25-35	25-35	25-35	25-35
SMR ปรับแก้	45.88	55.78	43.07	59.17	59.42
สถานะเสถียรภาพ ได้จาก Romana	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน
รูปแบบการพิบัติ	บางแนวแตก หรือหลายลิ้ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ้ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ้ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ้ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ้ม
ระบบการค้ำยัน	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็นระบบ	อย่างเป็นระบบ	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็น ระบบ
การคะแนนอัตราเจาะ (RDi)	38	38	38	33	36

ตารางที่ ข-6 ปัจจัยการจำแนกมวลหินระบบ RMR พื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง

รายการ	ความลาด PH1	ความลาด PH2	ความลาด PH3	ความลาด PH4	ความลาด PH5
ดัชนีกำลังแรงกดจุด (MPa)	2.62	3.32	3.22	2.68	3.01
คุณภาพแท่งหินเจาะ RQD (%)	90.91	78.70	64.40	72.10	71.00
ช่วงแนวแตก	0.1-0.6 ม.	0.05-0.3 ม.	0.1-0.3 ม.	0.1-0.6 ม.	0.1-0.4 ม.
สภาพความ ไม่ต่อเนื่อง	แนวแตกยาว 1-3 ม แยกอ้า 1-5 มม ผิว เรียบ ผันหิน ไม่ผุ ไม่มีผง อูด	แนวแตกยาวไม่ ต่อเนื่อง 1-3 ม ผิวเรียบ ผัน หินไม่ผุ ไม่มีผง อูด แยกอ้า < 5 มม	แนวแตกยาว น้อย < 3 ม ผิว ลื่น ไถล ผัน หินไม่ผุ ไม่มีผง อูด แยกอ้า 1-5 มม	แนวแตกยาว 1-3 ม ผิว ขรุขระ ผัน หินไม่ผุ ไม่มี ผงอูด แยกอ้า 1-5 มม	แนวแตกยาว ไม่ต่อเนื่อง 1- 3 ม ผิวเรียบ ผัน หิน ค่อนข้างผุ ไม่ มีผงอูด แยก อ้า < 5 มม
น้ำใต้ดิน	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง	แห้ง
RMR	65	69	55	67	60
ประเภทหิน	หินลาว	หินพอใช้	หินลาว	หินพอใช้	หินพอใช้
Cohesion (MPa)	0.1-0.2	0.2-0.3	0.1-0.2	0.2-0.3	0.2-0.3
มุมเสียดทานภายใน (°)	15-25	25-35	15-25	25-35	25-35
SMR ปรับแก้	38.28	53.28	38.49	52.52	41.45
สถานะเสถียรภาพ ได้จาก Romana	ไม่มั่นคง	เสถียรภาพ บางส่วน	ไม่มั่นคง	เสถียรภาพ บางส่วน	เสถียรภาพ บางส่วน
รูปแบบการพิบัติ	ระนาบหรือ ลิ่มขนาดใหญ่	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	ระนาบหรือลิ่ม ขนาดใหญ่	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม	บางแนวแตก หรือหลายลิ่ม
ระบบการค้ำยัน	ปรับแก้อย่าง มาก	อย่างเป็นระบบ	ปรับแก้อย่าง มาก	อย่างเป็น ระบบ	อย่างเป็น ระบบ
การคะแนนอัตราเจาะ (RDi)	36	33	36	36	36

ตารางที่ ข-7 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาานครศรีธรรมราช NK1

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	45	190	40	176
	36	210		
	38	130		
J2	50	220	51	216
	54	190		
	50	240		
B	18	280	17	270
	16	260		
SF	72	190	71	166
	76	180		
	65	130		

ตารางที่ ข-8 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาานครศรีธรรมราช NK2

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	60	210	51	210
	42	220		
	52	200		
J2	80	330	71	296
	82	300		
	52	260		
B	12	260	10	253
	08	240		
SF	72	160	72	153
	76	150		
	70	160		

ตารางที่ ข-9 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาานครศรีธรรมราช NK3

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	80	130	61	140
	42	170		
	62	120		
J2	72	240	66	260
	60	280		
	66	260		
B	16	260	12	280
	12	300		
	10	280		
SF	80	200	81	220
	84	220		
	80	240		

ตารางที่ ข-10 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษานครศรีธรรมราช NK4

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	78	130	66	143
	45	160		
	76	140		
J2	36	280	44	260
	45	240		
	52	260		
B	14	280	12	316
	12	330		
	8	340		
SF	86	200	84	193
	90	180		
	76	190		

ตารางที่ ข-11 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษานครศรีธรรมราช NK5

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	78	140	72	130
	70	120		
	70	130		
J2	46	080	51	066
	48	060		
	58	060		
B	8	260	07	230
	8	230		
	6	200		
SF	70	150	71	156
	76	180		
	68	140		

ตารางที่ ข-12 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ KR1

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	54	130	52	143
	56	160		
	46	140		
J2	70	240	70	240
	68	260		
	74	220		
B	6	190	06	210
	8	200		
	6	240		
SF	52	060	67	046
	88	030		
	62	050		

ตารางที่ ข-13 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ KR2

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	52	240	58	240
	74	210		
	50	270		
J2	64	330	52	326
	36	300		
	56	350		
B	10	210	10	223
	08	200		
	14	260		
SF	62	270	69	286
	72	290		
	74	300		

ตารางที่ ข-14 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ KR3

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	62	010	54	020
	64	030		
J2	30	280	47	240
	64	200		
	58	240		
	36	240		
B	16	330	12	233
	08	200		
	12	180		
	10	200		
SF	80	330	74	305
	62	340		
	80	290		
	74	290		

ตารางที่ ข-15 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ KR4

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	74	060	67	065
	60	070		
J2	70	290	70	277
	68	290		
	72	300		
	72	230		
B	10	280	14	275
	18	270		

ตารางที่ ข-16 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ KR4 (ต่อ)

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
SF	80	330	70	333
	82	340		
	50	330		

ตารางที่ ข-17 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษากระบี่ KR5

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	74	060	67	065
	60	070		
J2	70	290	70	277
	68	290		
	72	300		
	72	230		
B	10	280	14	275
	18	270		
SF	80	330	70	333

ตารางที่ ข-18 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพร CH1

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	36	150	52	137
	24	140		
	64	120		
	86	140		
J2	62	240	63	260
	74	270		
	54	270		
B	10	160	13	140
	18	150		
	12	110		
SF	62	210	60	220
	52	230		
	56	230		
	72	210		

ตารางที่ ข-19 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพร CH2

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	60	240	52	260
	64	260		
	62	280		
J2	64	010	47	030
	68	040		
	74	040		
B	08	050	10	056
	14	080		
	08	040		
SF	64	090	57	093
	54	090		
	56	100		

ตารางที่ ข-20 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพร CH3

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	56	100	59	095
	62	090		
J2	78	130	56	230
	34	300		
	62	260		
B	06	330	14	330
	22	330		
SF	62	070	54	063
	50	060		
	46	060		
	58	060		

ตารางที่ ข-21 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพร CH4

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	60	240	65	266
	50	300		
	86	260		
J2	32	150	45	137
	52	120		
	50	140		
B	16	130	10	130
	8	120		
	6	140		
SF	84	220	73	210
	56	200		
	80	210		

ตารางที่ ข-22 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาชุมพร CH5

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	40	150	52	150
	54	130		
	62	140		
J2	66	330	66	330
	58	300		
	64	330		
B	18	170	15	150
	16	140		
	10	150		
SF	66	220	66	210
	78	200		
	58	210		

ตารางที่ ข-23 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา PN1

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	38	290	62	305
	86	320		
J2	40	120	40	130
	50	120		
	30	150		
B	14	280	14	296
	22	280		
	08	330		
SF	60	060	64	073
	58	080		
	74	080		

ตารางที่ ข-24 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา PN2

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	80	140	73	133
	76	130		
	64	130		
J2	74	330	72	320
	82	310		
	60	350		
B	08	340	09	320
	10	300		
SF	64	060	86	060
	56	070		
	84	050		

ตารางที่ ข-25 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา PN3

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	60	170	58	183
	60	210		
J2	64	330	66	340
	68	350		
B	08	050	10	065
	12	060		
SF	70	070	67	070
	45	060		
	86	080		

ตารางที่ ข-26 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา PN4

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	72	080	64	080
	68	060		
	54	100		
J2	80	280	73	296
	72	300		
	68	310		
B	8	340	10	345
	12	350		
SF	64	080	76	103
	68	060		
	70	080		

ตารางที่ ข-27 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพังงา PN5

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	80	010	70	033
	54	030		
	76	060		
J2	66	160	66	170
	70	180		
B	06	020	07	020
	10	030		
	06	010		
SF	74	110	76	103
	70	080		
	86	120		

ตารางที่ ข-28 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง PH1

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	46	100	50	100
	52	120		
	50	080		
J2	62	240	62	226
	70	180		
	62	260		
B	6	060	8	080
	8	080		
	12	100		
SF	68	140	60	140
	58	160		
	56	120		

ตารางที่ ข-29 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง PH2

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	46	080	42	100
	42	100		
	38	120		
J2	46	330	45	303
	38	300		
	52	280		
B	6	060	7	073
	6	060		
	8	080		
SF	58	140	58	146
	60	160		
	56	140		

ตารางที่ ข-30 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง PH3

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	70	120	68	133
	68	140		
	66	140		
J2	68	240	62	206
	58	180		
B	70	200	7	230
	6	220		
	8	240		
SF	72	220	70	240
	74	260		
	64	240		

ตารางที่ ข-31 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง PH4

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	48	240	56	273
	62	280		
	58	300		
J2	52	060	48	080
	45	080		
	48	100		
B	6	180	9	160
	8	160		
	14	140		
SF	80	200	80	206
	76	240		
	82	180		

ตารางที่ ข-32 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาพัทลุง PH5

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	72	240	63	233
	60	200		
	58	260		
J2	38	100	38	090
	36	090		
	40	080		
B	8	140	7	160
	8	160		
	6	180		
SF	60	120	60	140
	58	160		
	64	140		

ตารางที่ ข-33 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาสตูล ST1

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	80	140	78	130
	80	130		
	74	120		
J2	45	340	61	330
	80	350		
	58	300		
B	12	340	12	333
	8	330		
	16	330		
SF	68	060	78	080
	82	080		
	84	100		

ตารางที่ ข-34 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาสตูล ST2

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	76	160	74	136
	78	120		
	68	130		
J2	56	340	71	333
	80	340		
	78	320		
B	12	050	14	43
	20	040		
	10	040		
SF	76	060	75	056
	78	060		
	72	050		

ตารางที่ ข-35 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาสตูล ST3

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	76	090	76	085
	78	080		
	74	086		
J2	40	330	59	326
	50	330		
	88	320		
B	08	260	07	255
	06	250		
SF	78	360	79	360
	80	360		

ตารางที่ ข-36 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาสตูล ST4

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	76	150	62	136
	45	140		
	72	120		
J2	62	040	58	060
	42	060		
	70	080		
B	12	360	12	340
	14	340		
	08	320		
SF	50	120	60	100
	68	090		
	62	090		

ตารางที่ ข-37 ทิศทางการวางตัวความไม่ต่อเนื่องพื้นที่แหล่งหินศึกษาสด ST5

ความไม่ต่อเนื่อง	มุมเท	แนวเท	มุมเทเฉลี่ย	แนวเทเฉลี่ย
J1	60	170	53	170
	60	160		
	40	180		
J2	76	340	70	346
	60	340		
	74	360		
B	18	030	17	020
	14	010		
	20	020		
SF	82	090	80	086
	78	090		
	80	080		

ภาคผนวกการเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ก.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 22-23 เมษายน 2553

อิทธิพลของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอเนตภาคใต้ประเทศไทยต่อการสึกหรอแบบ ลอสแอนเจลีสและการกระแทก

Influence of the Carbonate Rock Aggregate Properties in Southern Thailand on Los Angeles Abrasion and Impact Value

วิชัย นกแก้ว^{1*} ดนุพล ตันนโยภาส² วิษณุ ราชเพชร³

^{1,2} หน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
³ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
E-mail: subaru_041@hotmail.com

Wichai Nogkeaw^{1*} Danupon Tonnayopas² Vishnu Rachpech³

^{1,2} Geotechnical and Innovative Construction Materials Research Unit, Department of Mining and Materials Engineering,
³ Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat-Yai, Songkhla 90112
E-mail: subaru_041@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ใช้มวลรวมหินคาร์บอเนตในพื้นที่เหมืองหินภาคใต้ประเทศไทย 4 จังหวัดได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (NK) จังหวัดกระบี่ (KR) จังหวัดพัทลุง (PH) และจังหวัดชุมพร (CH) ตัวอย่างรวบรวมทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ การดูดซึมน้ำ, ความถ่วงจำเพาะ, ความแข็งกระดอนค้อนชนิดต, ความแข็งวิกเกอร์, ดัชนีกำลังแรงกดจุด, ค่ากระแทก และการสึกหรอแบบลอสแอนเจลีส ผลการทดสอบสมบัติดังกล่าวหาความสัมพันธ์กับการสึกหรอแบบลอสแอนเจลีสและค่ากระแทก ในเชิงสมการแสดงความสัมพันธ์ พบความสัมพันธ์ที่ตรงระหว่างการดูดซึมน้ำต่อการสึกหรอแบบลอสแอนเจลีสและค่ากระแทกรองลงมาคือความแข็งวิกเกอร์, ดัชนีกำลังแรงกดจุด และความแข็งกระดอนค้อนชนิดตตามลำดับ ส่วนความถ่วงจำเพาะไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอแบบลอสแอนเจลีสและค่ากระแทก

คำหลัก: สมบัติของหิน, มวลรวมหินคาร์บอเนต

Abstract

In this study used carbonate rock aggregates in Southern Thailand 4 province, Nakhonsithamarat (NK), Krabi (KR), Phatalung (PH) and Chumphon (CH). The rocks sample were collected from quarries mine were test physical and mechanical properties, water absorption, specific gravity, Schmidt hammer, Vickers hardness, point load strength index, impact value and Los Angeles abrasion. The physical

and mechanical values were correlated with the Los Angeles abrasion and impact value using regression analysis. A good correlation between Los Angeles abrasion and impact value with the water absorption, Vickers hardness, point load strength index and Schmidt hammer. The specific gravity was not correlated between L.A. abrasion loss and impact value.

Keywords: Rock properties, Carbonate rock aggregates.

1. บทนำ

มวลรวมหินคาร์บอเนตได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างไม่น้อยกว่า 80% ได้แก่ หินปูน และหินโดโลไมต์ หินคาร์บอเนตในงานวิจัยนี้ มีความหมายทางธรณีวิทยา ได้แก่ หินปูนและหินโดโลไมต์ ซึ่งอยู่ในประเภทหินตะกอน และหินอ่อน (หินแปร) เท่านั้น การจำแนกหินคาร์บอเนตนั้น ได้ยึดหลักว่าหินปูนที่บริสุทธิ์จะมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) 100 % ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงถึง 56 % และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สูงถึง 44 % เท่าที่พบมักตกผลึกเป็นแคลไซต์ หินปูนที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่า 95 % เรียกว่าหินปูนชั้นดี สำหรับหินปูนไม่บริสุทธิ์มักจะมีธาตุมลทินต่อไปนี้ ซิลิกา อลูมินา แมกนีเซียม เหล็กออกไซด์ แมงกานีส คาร์บอน ฟอสเฟต และกำมะถัน เป็นต้น สำหรับหินปูนค่อนข้างบริสุทธิ์มักจะถูกแปรสภาพเป็นหินปูนเกิดผลึกใหม่ (recrystallized limestone) หินคาร์บอเนตที่มีปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนตสูงถึง 45.65% ให้จัดเป็นหินโดโลไมต์ (dolomite) หรือโดโลสโตน (dolostone) หากมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 45.65% จัดเป็นประเภทหินปูนเนื้อโดโลไมต์

(dolomitic limestone) [3] การนำหินคาร์บอนเนตดังกล่าวมาใช้งานโครงสร้าง งานถนน งานปูรองพื้น และการผสมคอนกรีต ที่มากขึ้นตามการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมก่อสร้างดังกล่าว ที่รองรับการขยายตัวของชุมชนและอุตสาหกรรมดังกล่าว ทำให้ความต้องการใช้หินคาร์บอนเนตมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับศักยภาพแหล่งหินคาร์บอนเนตมีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งภาคใต้ประเทศศักยภาพของแหล่งหินคาร์บอนเนตมีเกือบทุกจังหวัด การศึกษามวลรวมหินคาร์บอนเนตในพื้นที่ภาคใต้ในด้านกำลังของมวลรวมที่สัมพันธ์กับลักษณะการสึกหรอและการกระแทก โดยการเลือกพื้นที่ศึกษา 4 พื้นที่ของภาคใต้ประเทศไทย ตัวอย่างทดสอบได้จากเหมืองหินหรือโรงโม่หิน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัด นครศรีธรรมราช (NK) จังหวัดกระบี่ (KR) จังหวัดชุมพร (CH) และจังหวัดพัทลุง (PH) ซึ่งเป็นพื้นที่เหมืองหินคาร์บอนเนต โดยทั่วไป การศึกษาลักษณะการสึกหรอของมวลรวมหินได้จากการทดสอบการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส และการศึกษาค่าการกระแทกของมวลรวมหินในห้องปฏิบัติการทดสอบ

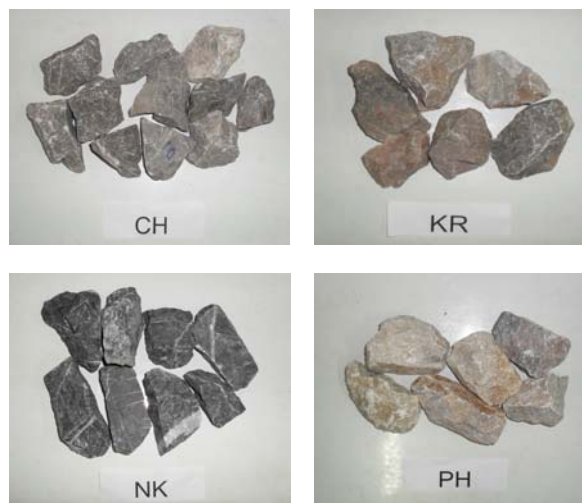
การศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเชิงกลกับการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิสและค่าการกระแทกของมวลรวมหินคาร์บอนเนตในพื้นที่ภาคใต้ประเทศไทย เลือกพื้นที่เหมืองหิน 4 เหมืองหินจาก 4 จังหวัดเป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้ ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ความถ่วงจำเพาะ ดัชนีกำลังแรงกดจุด ความแข็งกระดอนค้อนกระดอนชนิดดี ค่าการกระแทก การสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส และความแข็งแบบวิกเกอร์ การศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของหินและสมบัติทางกายภาพที่สัมพันธ์กับการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิสและค่าการกระแทกของมวลรวม เพื่อช่วยในการประเมินสมบัติของมวลรวมในการนำไปใช้งานให้เหมาะสมต่อไป

2. การดำเนินการวิจัย

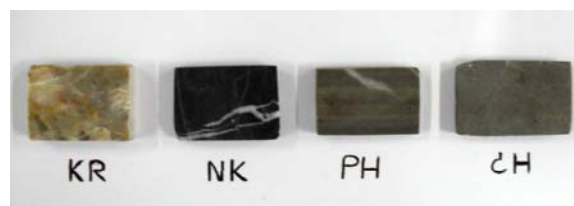
2.1 ลักษณะหินตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบมวลรวมหินคาร์บอนเนตนำมาจากพื้นที่เหมืองหินของภาคใต้ประเทศไทย ได้แก่ จังหวัด พัทลุง (PH) กระบี่ (KR) นครศรีธรรมราช (NK) และจังหวัดชุมพร (CH) (รูปที่ 1) ซึ่งพื้นที่เก็บตัวอย่างทดสอบเป็นหิน 3 ยุค คือ หินยุคไทรแอสสิก (Triassic) ได้แก่พื้นที่จังหวัด พัทลุง (PH) อยู่ในกลุ่มหมวดหิน ชัยบุรี (Chaiburi Formation) ตั้งแต่ยุคไทรแอสสิกตอนต้นตอนตลอดจนถึงไทรแอสสิกตอนปลาย หินมีสีเทา เทาขาว เทาแกมน้ำตาล เนื้อละเอียด (Cryptocrystalline) เนื้อแน่น แข็ง บางบริเวณมีเนื้อดินแทรกสลับชั้นหิน ตะกอนดินมีสีคล้ายดินลูกรัง (Lateritic soil) สีน้ำตาลแดง [1] หินยุคเพอร์เมียน ได้แก่พื้นที่จังหวัด (PH) กระบี่ (KR) และจังหวัดชุมพร (CH) จัดอยู่ในชุดหินราชบุรี (Ratburi group) ประกอบด้วยหินปูนสีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม สีเทาแกมน้ำตาล และแกมแดง มีสายแร่แคลไซต์แทรกสลับกับชั้นหิน บางบริเวณพบหินโดโลไมต์เนื้อปนแคลไซต์ (Calcitic dolomite) และหินโดโลไมต์ สีเทา เทาแกมน้ำตาล และน้ำตาลแกมเหลือง [1,2] หินปูนยุค

ออร์โดวิเซียน(Ordovician)หินคาร์บอนเนตที่พบในยุคนี้ประกอบด้วยหินปูนส่วนใหญ่ เรียกว่า หินปูนยุคทุ่งสง (Thung Song Group) สีเทาเข้มถึงเทาดำ มีขนาดเม็ดตะกอนละเอียดแทรกอยู่ในเนื้อหิน พบในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (NK) หินมีสีเทาเข้ม ถึงเทาดำ ชั้นหินวางตัวหนา เนื้อแน่น แข็ง บางบริเวณมีดินแทรกสลับกับชั้นหินสีน้ำตาลแดงถึงน้ำตาลดำ [2]



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างหินคาร์บอนเนตทดสอบทั้ง 4 จังหวัด



รูปที่ 2 ก่อนตัวอย่างทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ทั้ง 4 จังหวัด

2.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของมวลรวมหินทดสอบตามมาตรฐาน ASTM, ISRM ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างมวลรวมหินทดสอบ ได้แก่ ดัชนีกำลังแรงกดจุด ค่าการกระแทก การสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส ความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และความแข็งวิกเกอร์ สมบัติทางกายภาพทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C127 [4] สมบัติ เชิงกล ดัชนีกำลังแรงกดจุด ASTM D 5731-95 ตัวอย่างทดสอบใช้ก้อนตัวอย่างขนาดไม่สม่ำเสมอ อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวอยู่ระหว่าง 0.3-1.0 [10] ขนาดก้อนตัวอย่างทดสอบ 50±35 มม. ก้อนตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 500 จาก 4 พื้นที่ศึกษา แบ่งเป็นพื้นที่ละ 125 ก้อน ตัวอย่างทดสอบหาค่าเฉลี่ย 25 ก้อนตัวอย่างต่อค่าเฉลี่ยดัชนีกำลังแรงกดจุด 1 ค่า การทดสอบการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส ตามมาตรฐาน ASTM C131 [5] บดย่อยด้วยเครื่องบด Jaw crusher และคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน ตามขนาดคละของมวลรวมทดสอบแบบ A จำนวนครั้งทดสอบทั้งหมด 20 ครั้ง แบ่งเป็นพื้นที่

ละ 5 ครั้งทดสอบ การทดสอบทดสอบแบบ A ใช้มวลรวมหยาบ 4 ขนาด (37.5-25, 25-19, 19-12.5 และ 12.5-9.5 มม.) แต่ละขนาดของมวลรวมน้ำหนัก 1,250 กรัม น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างมวลรวมทดสอบ 5000 กรัม ทำการอบทดสอบด้วยเครื่องขัดสีแบบลอสแอนเจลิส จำนวนรอบหมุน 500 รอบ ความเร็วรอบหมุน 30-33 รอบต่อนาที ตัวอย่างทดสอบผ่านตะแกรงเบอร์ 12 จำนวนเปอร์เซ็นต์การสึกหรอ การทดสอบค่าการกระแทกใช้มวลรวมที่ได้จากการบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานค้ำงตะแกรง 9.5 มม. ทดสอบตามมาตรฐาน [7] ทั้งหมด 20 ครั้งทดสอบเช่นกัน ความแข็งกระดอนก่อนขมิดต์ตามมาตรฐานในการทดสอบก่อนขมิดต์ [6] ชนิด L มีกำลังกระแทก 0.735 Nm ตัวอย่างทดสอบมีผิวหน้าที่เรียบ ทดสอบ 10 ครั้ง ต่อตัวอย่างหิน หาค่าเฉลี่ยของการกระดอน ตัวอย่างหินทำการตัดให้มีขนาดประมาณ 3×2 เซนติเมตร และขัดผิวหน้าให้เรียบทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ ตาม ASTM E29 โดยการให้ภาระ 1 กิโลกรัมแรง ทดสอบความแข็ง โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness test) โดยการกดตัวอย่างหินด้วยหัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม และมุม 136 องศา ระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม เป็นระยะเวลา 10-15 วินาที เส้นทแยงมุมที่หลงเหลืออยู่ที่ผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบหลังจากนำภาระแรงออก ถูกวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุม ค่าความแข็งคำนวณจากการหารภาระต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกดชิ้นงาน สมการคำนวณความแข็ง (สมการที่ 1)

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

F = แรงกด หน่วยกิโลกรัมแรง

d = ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมทั้งสอง

HV = ความแข็งวิกเกอร์

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 การดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำแสดงผลทดสอบตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำทั้ง 4 พื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.76 โดยค่าเฉลี่ยรวมการดูดซึมน้ำมีค่าร้อยละ 0.47 โดยพื้นที่ NK มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด และพื้นที่ PH มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส (รูปที่ 3) แสดงความสัมพันธ์ที่ดีแบบแปรผันตรงโดยหินที่มีค่าการดูดซึมน้ำมากเปอร์เซ็นต์การสึกหรอจะมีค่ามากตาม สมการแสดงความสัมพันธ์ที่ 2 รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระแทกและการดูดซึมน้ำ แนวโน้มของกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกันกับค่าการดูดซึมน้ำ เมื่อการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นค่าการกระแทกของหินก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำของมวลรวมหินคาร์บอนेटมีผลโดยตรงต่อค่าการกระแทกและการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส แสดงสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3

ตารางที่ 1 ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพของหินคาร์บอนेटศึกษา

ตัวอย่าง	การดูดซึมน้ำ (%)	ความถ่วงจำเพาะ
1	0.74	2.64
2	0.37	2.66
3	0.40	2.65
4	0.61	2.65
5	0.31	2.71
6	0.64	2.58
7	0.71	2.64
8	0.68	2.66
9	0.37	2.64
10	0.76	2.58
11	0.26	2.68
12	0.38	2.64
13	0.36	2.63
14	0.33	2.66
15	0.30	2.65
16	0.50	2.65
17	0.18	2.68
18	0.61	2.66
19	0.37	2.66
20	0.48	2.66

3.2 ความถ่วงจำเพาะ

ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะทั้ง 4 พื้นที่ของหินคาร์บอนेटแสดงตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.58-2.71 และค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 4 พื้นที่มีค่า 2.65 โดยพื้นที่ KR มีค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะสูงสุด และพื้นที่ PH มีค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะต่ำสุด ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบที่ใช้ในงานคอนกรีตต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.40 ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม มท.(ท) 101.2-2550 ซึ่งผลทดสอบทั้ง 4 พื้นที่มีค่ามากกว่า 2.40 สามารถใช้ในงานคอนกรีตได้ เมื่อนำผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะมาหาความสัมพันธ์กับการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส (รูปที่ 11) และค่าการกระแทก (รูปที่ 12) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับการสึกหรอแบบลอสแอนเจลิสและค่าการกระแทก

3.3 ค่าการกระแทก

ผลทดสอบค่าการกระแทกแสดงในตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยค่าการกระแทกอยู่ในช่วงร้อยละ 7.72-12.24 และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าร้อยละ 10.04 โดยพื้นที่ NK มีค่าการกระแทกต่ำสุด และพื้นที่ PH มีค่าการกระแทกสูงสุด ก่อนตัวอย่างทดสอบจัดอยู่ในกลุ่มหินแข็ง โดยที่พื้นที่ CH มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.80 และ NK มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.49 จัดอยู่ในกลุ่มหินแข็งมาก [12]

3.4 การสึกหรอแบบลอสเองเจลิส

การสึกหรอแบบลอสเองเจลิสแสดงผลในตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยก่อนตัวอย่างหินทั้ง 4 พื้นที่อยู่ในช่วงร้อยละ 33.44-36.89 และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าร้อยละ 29.08 พื้นที่ NK มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด และพื้นที่ PH มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ก่อนตัวอย่างทดสอบที่มีร้อยละการสึกหรอต่ำจะมีค่าความแข็งของหินที่มากกว่าก่อนตัวอย่างที่มีการสึกหรอสูง จากผลทดสอบการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสของทั้ง 4 พื้นที่ค่าร้อยละการสึกหรอของมวลรวมสามารถนำมาใช้ในการผสมคอนกรีตและงานถนน [8, 9]

3.5 ความแข็งกระดอนค้อนชนิดต

การทดสอบความแข็งของก้อนตัวอย่างโดยใช้ค้อนกระดอนชนิดตแสดงผลทดสอบในตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความแข็งกระดอนค้อนชนิดตทั้ง 4 พื้นที่อยู่ในช่วง 36.20-56.07 และค่าเฉลี่ยมีค่า 46.96 พื้นที่ NK มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และพื้นที่ PH มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าหินในพื้นที่ NK มีความแข็งมากกว่าพื้นที่อื่นเช่นเดียวกันพื้นที่ PH หินจะมีความแข็งน้อยสุด ความแข็งกระดอนค้อนชนิดตแสดงความสัมพันธ์โดยตรงกับการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและค่ากระแทก เมื่อค่าความแข็งกระดอนค้อนชนิดตมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละการสึกหรอและค่าการกระแทกมีค่าลดลง (รูปที่ 5 และ 6) อธิบายได้ว่าหินที่มีความแข็งมากค่าร้อยละการสึกหรอและค่าการกระแทกก่อนตัวอย่างหินจะมีค่าลดลง แสดงความสัมพันธ์ได้ตั้งสมการที่ 4 และ 5

3.6 ความแข็งแบบวิกเกอร์

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์โดยใช้ก้อนตัวอย่างขัดผิวให้เรียบแสดงผลทดสอบในตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 425.60-1147.40 HV พื้นที่ NK มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และพื้นที่ PH มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด จากการทดสอบแสดงว่าก่อนตัวอย่างพื้นที่ NK มีความแข็งมากกว่าพื้นที่ทดสอบอื่น ความแข็งแบบวิกเกอร์แสดงความสัมพันธ์กับการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและค่าการกระแทกแบบแปรผกผัน (รูปที่ 7 และ 8) โดยค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงเนื้อหินของก้อนตัวอย่างที่มียึดประสานกันดีมีผลทำให้การสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและค่าการกระแทกก่อนตัวอย่างมีค่าลดลง ดังได้แสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 6 และ 7

3.7 ดัชนีกำลังแรงกดจุด

ผลทดสอบดัชนีกำลังแรงกดจุด 4 พื้นที่ของหินคาร์บอนเนตแสดงตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.01-3.81 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 4 พื้นที่มีค่า 3.42 เมกะพาสคัล พื้นที่ NK มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และพื้นที่ PH มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ตามมาตรฐาน ISRM [7] จัดอยู่ในกลุ่มหินที่มีกำลังปานกลาง เมื่อนำผลทดสอบดัชนีกำลังแรงกดจุดหาความสัมพันธ์กับการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส (รูปที่ 9) และค่าการกระแทก (รูปที่ 10) พบความสัมพันธ์ที่ดี โดยดัชนีกำลังแรงกดจุดมีผลโดยตรงต่อการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและค่าการกระแทก เมื่อก่อนตัวอย่างหินมีความแข็งเพิ่มขึ้นการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและค่าการกระแทกมีค่าลดลง ดังได้แสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 8 และ 9

ตารางที่ 2 ผลทดสอบสมบัติเชิงกลของหินคาร์บอนเนตพื้นที่ศึกษา

Specimens	L.A. (%)	IV (%)	I ₅₀ (MPa)	SH	HV (HV)
1	33.00	10.71	3.24	45.94	465.70
2	27.06	10.06	3.51	50.06	741.70
3	29.60	10.13	3.48	49.15	619.70
4	32.00	10.22	3.10	47.91	585.00
5	24.30	9.15	3.62	54.94	1002.90
6	32.95	10.50	3.31	38.20	630.30
7	31.84	10.30	3.34	41.40	580.40
8	34.18	11.63	3.19	39.00	511.20
9	26.00	9.32	3.53	47.71	911.60
10	36.89	12.24	3.01	36.20	425.60
11	24.73	9.70	3.68	49.60	884.00
12	27.22	9.88	3.38	42.40	657.30
13	27.32	9.90	3.26	43.60	708.20
14	26.95	9.78	3.42	49.20	640.80
15	26.49	9.74	3.48	45.00	665.20
16	29.00	9.97	3.20	53.38	840.30
17	23.44	7.72	3.81	56.07	1147.40
18	32.67	10.49	3.27	42.07	612.30
19	27.65	9.43	3.78	54.32	665.10
20	28.35	9.84	3.76	52.97	846.40

3.7 ความสัมพันธ์ของสมบัติหินเชิงสถิติ

ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของก้อนตัวอย่างคาร์บอนเนตเก็บรวบรวมจากพื้นที่เหมืองหินคาร์บอนเนต 4 จังหวัดภาคใต้ประเทศไทยหาความสัมพันธ์กับการสึกหรอแบบลอสเองเจลิสและค่าการกระแทก โดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ลอการิทึม และยกกำลัง ได้แจกแจงความสัมพันธ์ได้ตั้งสมการที่ 2-9

$$LA = 1.351 \ln(WB) - 4.078 \quad R^2 = 0.91 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$IV = 0.000WB^{3.637} \quad R^2 = 0.72 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$L.A. = 99.90e^{-0.02SH} \quad R^2 = 0.56 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$IV = 139.8e^{-0.11SH} \quad R^2 = 0.61 \quad \dots \dots \dots (5)$$

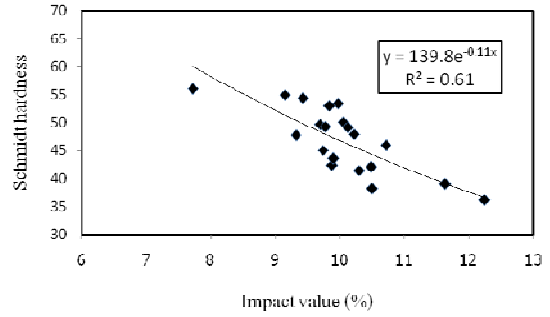
$$L.A. = 26479HV^{-1.77} \quad R^2 = 0.76 \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$IV = 7593e^{-0.24HV} \quad R^2 = 0.75 \quad \dots \dots \dots (7)$$

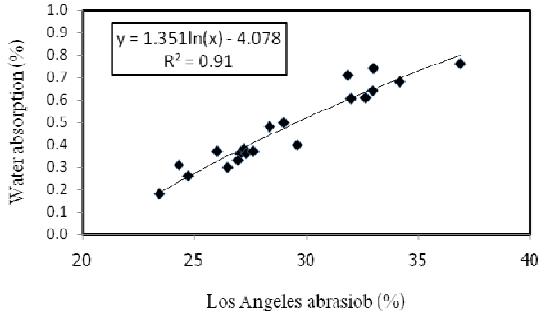
$$L.A. = 14.60I_{s50}^{-0.43} \quad R^2 = 0.63 \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$IV = 6.089e^{-0.05I_{s50}} R^2 = 0.61 \dots\dots\dots (9)$$

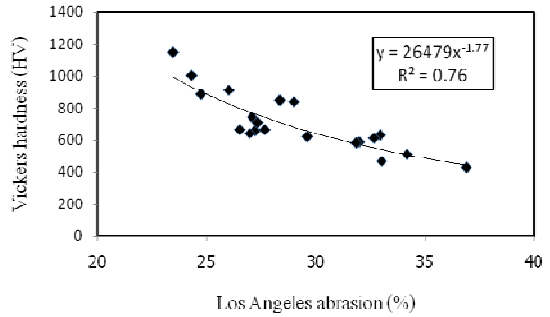
เมื่อ L.A. คือ การสึกกร่อนแบบลอสแอนเจลีส หน่วย ร้อยละ
 IV คือ ค่ากระแทก หน่วย ร้อยละ
 WB คือ การดูดซึมน้ำ หน่วย ร้อยละ
 SH คือ ความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี
 HV คือ ความแข็งแบบวิกเกอร์
 I_{s50} คือ ดัชนีกำลังแรงกดจุด หน่วย เมกะพาสคัล



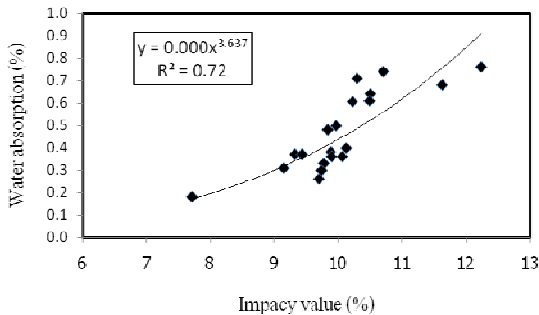
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแทกและความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี



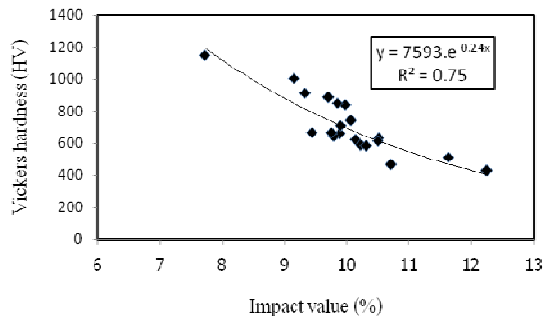
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนแบบลอสแอนเจลีสและการดูดซึมน้ำมวลรวมหินคาร์บอนเนต



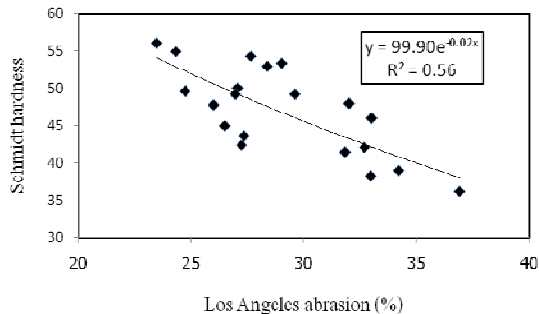
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนแบบลอสแอนเจลีสและความแข็งแบบวิกเกอร์



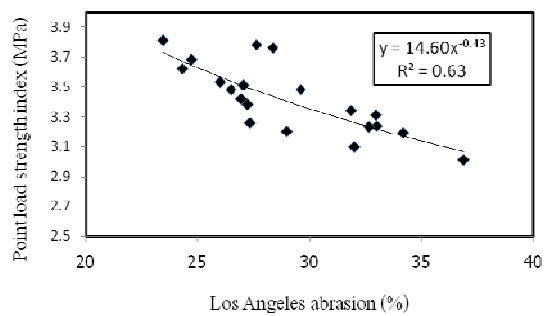
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแทกและการดูดซึมน้ำมวลรวมหินคาร์บอนเนต



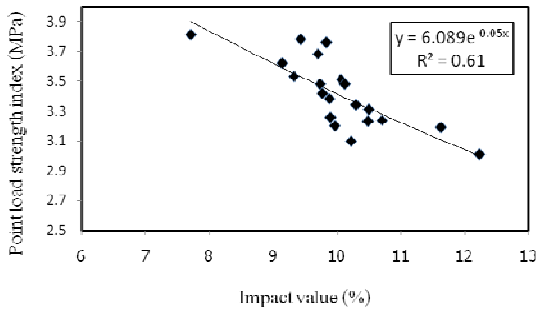
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแทกและความแข็งวิกเกอร์



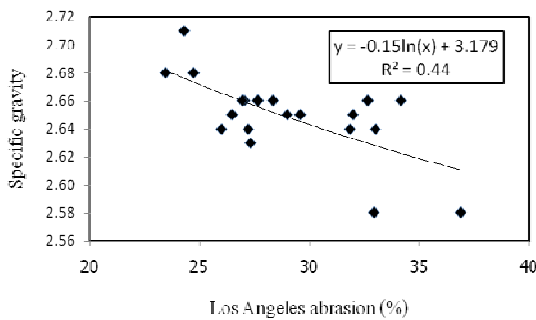
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนแบบลอสแอนเจลีสและความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี



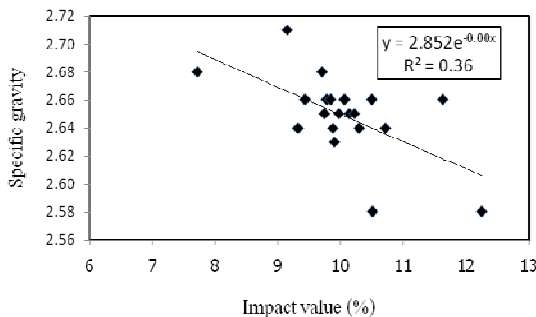
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนแบบลอสแอนเจลีสและดัชนีกำลังแรงกดจุด



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแทกและดัชนีกำลังแรงกดจุด



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอบลอสแอนเจลิสและความถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแทกและความถ่วงจำเพาะ

4. สรุปผล

สมบัติของมวลรวมหินคาร์บอนต่อการสึกหรอบลอสแอนเจลิสแสดงความสัมพันธ์ที่ตรงกันระหว่างการดูดซึมน้ำ ความแข็งวิกเกอร์ ดัชนีกำลังแรงกดจุดและความแข็งกระดอนค้อนชนิดดีตามลำดับ ค่ากระแทกแสดงความสัมพันธ์ที่ตรงกัน ความแข็งวิกเกอร์ การดูดซึมน้ำ ดัชนีกำลังแรงกดจุดและความแข็งกระดอนค้อนชนิดดี ความถ่วงจำเพาะไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอบลอสแอนเจลิสและค่ากระแทก สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของหินมีผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอบลอสแอนเจลิสและค่ากระแทก โดยหินที่มีความแข็งเพิ่มขึ้นอัตราการสึกหรอบและค่ากระแทกจะมีค่าลดลง สามารถพยากรณ์ได้จากสมการที่ 2-9

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่

ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ รวมถึงโรงโม่หินทั้ง 4 จังหวัด ได้เอื้ออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างหินทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

5. บรรณานุกรม

- [1] ดนุพล ตันนโยภาส และ กัลยาณี คุปตานนท์. 2539. รายงานวิจัยคุณภาพหินคาร์บอนเกรดในภาคใต้ต่างของประเทศไทย, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [2] ดนุพล ตันนโยภาส และ กัลยาณี คุปตานนท์. 2540. รายงานวิจัยคุณภาพหินคาร์บอนเกรดในภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [3] ดนุพล ตันนโยภาส กัลยาณี คุปตานนท์ เสริมวิทย์ ชวนนทกิจ และ ชีรพงษ์ จริตงาม. 2537. คุณภาพหินคาร์บอนเกรดในอุตสาหกรรมแร่จังหวัดสงขลาและยะลา, การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5 อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจ, โรงแรมบีพี แกรนด์ทาวเวอร์ หาดใหญ่ สงขลา, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่, 24-25 พฤศจิกายน
- [4] ASTM C 127-01 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- [5] ASTM C 131-01 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- [6] ASTM C 805 Standard Test Method for Rebound Number of Hardness Concrete, 1997.
- [7] ASTM 2006, Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM Designation C-131-01, American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- [8] The American Association of test Highway officials, Standard Specification for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 1, AASHTO Designation : M80-87 (1995)
- [9] Kahraman, S. and Fener, M. 2007. Predicting The Los Angeles Abrasion Loss of Rock Aggregates from the Uniaxial Compressive Strength. Materials Letters, 61: 4861–4865.
- [10] Broch, E. and Franklin, J.A. 1972. The Point Load Strength Test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Geomechanics, 9:669-697.
- [11] Gokhale, K. and Rao, D.M.1981. Experimentals in engineering geology, Tata McGraw-Hill Co. New Delhi, 65-67.

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ ข.

การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20
โรงแรมเจบี หาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 16-18 กันยายน 2553

อิทธิพลของสมบัติหินคาร์บอเนตต่ออัตราการเจาะแบบกระแทก

The Carbonate Rock Properties Affecting the Penetration Rate of Percussion Drill

วิชัย นกแก้ว¹ ดนุพล ตันนโยภาส^{2*} และวิษณุ ราชเพ็ชร³

Wichai Nogkeaw¹ Danupon Tonnayopas^{2*} Vishnu Rachpech³

บทคัดย่อ

การศึกษาอัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะระเบิดเหมืองหินคาร์บอเนตภาคใต้ประเทศไทย อัตราการเจาะสามารถศึกษาได้จากการเจาะจริง ตัวอย่างมวลรวมหินคาร์บอเนตทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล อัตราการเจาะหาความสัมพันธ์กับสมบัติของมวลรวม พบว่า ดัชนีกำลังแรงกดจุด การสึกหรอแบบลอสแอนเจลีส การดูดซึมน้ำ และความแข็งวิกเกอร์แสดงความสัมพันธ์ที่ดีกับอัตราการเจาะ ในขณะที่การกระแทก ความถ่วงจำเพาะ และความแข็งกระดองก้อนชนิดต์แสดงความสัมพันธ์พอใช้กับอัตราการเจาะ ความสัมพันธ์สามารถกระจายออกเป็นหลายสมการ สามารถใช้เป็นเครื่องมือทำงานภาคสนามสำหรับคาดการณ์อัตราการเจาะ การวางแผนและออกแบบรูเจาะระเบิดในการทำเหมืองหินต่อไป

คำสำคัญ : หินคาร์บอเนต สมบัติหิน การเจาะแบบกระแทก อัตราการเจาะ

Abstract

In this study, percussion drills for blasting holes were investigated in carbonate rock quarries in Southern Thailand. The net penetration rates of the drillings were calculated from the performance measurements. The carbonate rock samples were determined physical and mechanical properties. The penetration rates were correlated with the rock properties. The point load strength index, Los Angeles abrasion, water absorption and Vickers hardness value exhibit strong correlations with the penetration rate. Fair correlations between the penetration rates and impact value, specific gravity and Schmidt hammer hardness were obtained.

¹นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90112

MS Student, Dept. of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112

²รองศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ 90112

Assoc.Prof.Dr., Dept. of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112.

* Corresponding author : โทรศัพท์ 0 7421 2897 ต่อ 7318 E-mail: danupon.t@psu.ac.th

³อาจารย์ ดร. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

Dr., Dept. of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112

The relation can be expressed in several equations that can practically be used in the field as a predictive tool for the estimation of the penetration rates, planning and design of the drill hole for blasting in quarrying.

Keywords: Carbonate rock, Rock properties, Percussion drill, Penetration rate

คำนำ

การเจาะแบบกระแทกมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานเหมืองแร่และงานด้านโครงสร้าง การศึกษาอัตราการเจาะแบบกระแทกทำได้โดยตรงจากหน้างานที่ทำการเจาะระเบิดของพื้นที่เหมืองหิน ตัวอย่างมวลรวมทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล รวมถึงการทดสอบในที่ มีงานวิจัยมากมายที่ให้ความสนใจในการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะระเบิด (Kahraman *et al.*, 1999) ได้อธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะ ได้แก่ กำลังอัด กำลังค้ำ ดัชนีแรงกดจุด ความแข็งกระดอนค้อนชนิด ความเร็วคลื่นพี โมดูลัสการยืดหยุ่นและความหนาแน่น เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะระเบิด (Kahraman *et al.*, 2003) ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างหินที่รวบรวมได้จากพื้นที่ทำการเจาะระเบิด เพื่อหาความสัมพันธ์กับอัตราการเจาะระเบิด วิธีการทดสอบประกอบด้วย กำลังอัด ดัชนีกำลังแรงกดจุด ความแข็งกระดอนชนิด ความเร็วคลื่นพี การทดสอบบราซิลเลียน โมดูลัสการยืดหยุ่นและความหนาแน่น พบความสัมพันธ์ที่ไม่ดีจาก ความเร็วคลื่นพี การยืดหยุ่นแบบออสติกและความหนาแน่น กับอัตราการเจาะระเบิด ผลของ กำลังอัด, ดัชนีแรงกดจุด และความแข็งค้อนกระดอนชนิด พบว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะระเบิด (Hoseinie *et al.*, 2007) ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการเจาะ ได้แก่ กำลังอัด ความแข็งแบบโมส์ ระยะห่างแนวแตก เนื้อและขนาดเม็ด สารเติม และมุมเทแนวแตกเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจาะตามลำดับ ในการศึกษาวิจัยครั้งมุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของหินคาร์บอนเนตที่สัมพันธ์กับอัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะระเบิดของเหมืองหินพื้นที่ภาคใต้ประเทศไทย

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งการศึกษาเป็น 2 กลุ่มคือการศึกษาในภาคสนามและการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างหินทดสอบในห้องปฏิบัติการด้านสมบัติทางกายภาพและเชิงกล พื้นที่ทำการศึกษาประกอบด้วยเหมืองหินคาร์บอนเนตจังหวัดนครศรีธรรมราช (รูปที่ 1 ก) และจังหวัดกระบี่ (รูปที่ 1 ข)



ก)



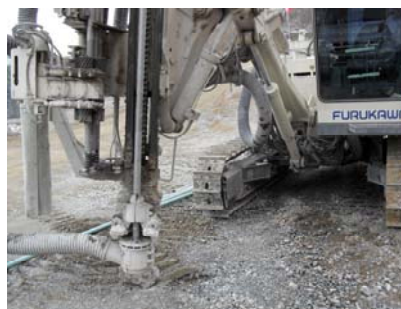
ข)

รูปที่ 1 พื้นที่แหล่งหินทำการศึกษา ก) จังหวัดนครศรีธรรมราช และ ข) จังหวัดกระบี่

พื้นที่แหล่งหินจังหวัดนครศรีธรรมราช (รูปที่ 1 ก) เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขากลุ่มหินคาร์บอนเนตของยุค ออร์โดวิเซียนหรือที่เรียกว่ากลุ่มหินทุ่งสง โผล่เป็นเทือกเขาขนาดใหญ่ตั้งแต่อำเภอชะอวดจนถึงอำเภอทุ่งสง และ พื้นที่ทำการวิจัยแหล่งหินเป็นเขาโดดสูง ชื่อเขาขยสหัสวัง ลักษณะหินสีเทาถึงเทาเข้ม บางแห่งมีลักษณะกร่อนเป็นถ้ำ โปรง มีการตกผลึกไฮดรอกไซด์ สีเหลืองแกมน้ำตาล ปัจจุบันการทำเหมืองได้พัฒนาเป็นขั้นบันไดบริเวณส่วนยอด ของภูเขา

ส่วนพื้นที่แหล่งหินจังหวัดกระบี่ อยู่ในอำเภอเขาพนม (รูปที่ 1 ข) เป็นหินยุคเพอร์เมียน สีเทาและสีเทาขาว ชั้นหินบางและชั้นหินหนามีดินแทรกเป็นชั้นหนาประมาณ 1-1.5 เมตร สลับกับชั้นหิน บางบริเวณแสดงเป็นลักษณะ ของถ้ำโปรง ชั้นหินวางตัวในแนวเกือบเหนือใต้ ปัจจุบันการทำเหมืองได้พัฒนาเป็นขุมเหมืองต่ำกว่าระดับพื้นลงไป

การศึกษาอัตราการเจาะแบบกระแทกของการเจาะรูระเบิดในการทำเหมืองหิน สามารถศึกษาได้โดยตรง จากกรณีทำการเจาะรูระเบิดบริเวณพื้นที่หน้างาน (รูปที่ 2 ก) โดยการจับเวลาที่ทำการเจาะ โดยใช้เวลาที่เจาะจริง ไม่รวมเวลาต่อก้านเจาะ เวลาเปลี่ยนก้านเจาะ เวลาย้ายตำแหน่งรูเจาะ และเวลาที่เสียเปล่าระหว่างทำการเจาะแต่ละ หลุมเจาะ (รูปที่ 2 ข)



ก)

ข)

รูปที่ 2 ก) การเจาะรูระเบิดบริเวณหน้าเหมือง ข) รถเจาะแบบกระแทกในการเจาะรูระเบิด

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงตามมาตรฐาน ASTM และ ISRM ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C127 สมบัติ เชิงกล ดัชนีกำลังแรงกดจุด (Broch *et al.*, 1972) ตัวอย่างทดสอบใช้ก้อนตัวอย่างขนาดไม่สม่ำเสมอ อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวอยู่ระหว่าง 0.3-1.0 ขนาดก้อนตัวอย่างทดสอบ 50 ± 35 มม. (คนุพล ตันโยภาส, 2540) ก้อนตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 250 ก้อน ตัวอย่างจาก 2 พื้นที่ศึกษา แบ่งเป็นพื้นที่ละ 125 ก้อนตัวอย่างทดสอบ หาค่าเฉลี่ย 25 ก้อนตัวอย่างต่อค่าเฉลี่ยดัชนีกำลังแรงกดจุด 1 ค่า การทดสอบการสึกหรอแบบลอสเองเจลิส ตาม มาตรฐาน ASTM C131 ย่อยด้วยเครื่องย่อยปากงับ (jaw crusher) และคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน ตามขนาดละ ของมวลรวมทดสอบแบบ A จำนวนครั้งทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง แบ่งเป็นพื้นที่ละ 5 ครั้งทดสอบ การทดสอบ ทดสอบแบบ A ใช้มวลรวมหยาบ 4 ขนาด (37.5-25, 25-19, 19-12.5 และ 12.5-9.5 มม.) แต่ละขนาดของมวลรวม น้ำหนัก 1,250 กรัม น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างมวลรวมทดสอบ 5,000 กรัม จำนวนรอบหมุน 500 รอบ ความเร็ว รอบหมุน 30-33 รอบต่อนาที ตัวอย่างทดสอบผ่านตะแกรงเบอร์ 12 คำนวณร้อยละการสึกหรอ การทดสอบค่าการ

กระแทกใช้มวลรวมที่ได้จากการบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานข้างตะแกรง 9.5 มม. ความแข็งกระดอนก่อนชนิดด้วยชนิด L ตาม มาตรฐาน ASTM C 805 มีกำลังกระแทก 0.735 Nm ตัวอย่างทดสอบมีผิวหน้าที่เรียบทดสอบ 10 ครั้ง ต่อตัวอย่างหิน หาค่าเฉลี่ยของการกระดอน ตัวอย่างหินทำการตัดให้มีขนาดประมาณ 3×2 เซนติเมตร และขัดผิวหน้าให้เรียบทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness test) ตาม ASTM E29 โดยการใช้น้ำหนักกด 1 กิโลกรัมแรง โดยการกดตัวอย่างหินด้วยหัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม และมุม 136 องศา ระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม เป็นระยะเวลา 10-15 วินาที เส้นทแยงมุมที่หลงเหลืออยู่ที่ผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบหลังจากนำแรงกดออก วัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุม คำนวณความแข็งจากการหารน้ำหนักกดต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกดชิ้นงาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาอัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะรูระเบิดของเหมืองหินคาร์บอนेटพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดกระบี่ แสดงผลไว้ในตารางที่ 1 และผลทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมวลรวมหินคาร์บอนेटพื้นที่ศึกษาไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 อัตราการเจาะรูระเบิดแบบกระแทกพื้นที่แหล่งหินจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดกระบี่

พื้นที่ศึกษา	ตำแหน่งหน้า	จำนวนหลุม	จำนวนก้าน	รวมเวลาเจาะ	อัตราการเจาะเฉลี่ย
	งาน	เจาะ	เจาะรวม	(นาที)	(ม./นาที)
กระบี่	1	7	7	15.98	1.64
	2	6	6	12.07	1.90
	3	8	8	17.26	1.73
	4	10	20	55.69	1.33
	5	12	24	71.15	1.23
นครศรีธรรมราช	6	9	18	49.63	1.31
	7	9	18	33.41	1.96
	8	9	18	49.41	1.32
	9	9	18	38.27	1.72
	10	9	18	39.52	1.64

หมายเหตุ: พื้นที่หน้างานเจาะระเบิดจังหวัดกระบี่และนครศรีธรรมราช ชนิดรอกเจาะ FURUKAWA : อัตรากระแทก 2250-2500 ครั้ง/นาที, จำนวนรอบหมุน 0-250 รอบ/นาที, ความเร็วขับ 0-3.5 km/h, อัตราไหลอากาศ 5.0-71 ลบ.ม./นาที, แรงดันอากาศ 1.03 เมกะพาสคัล, เส้นผ่านศูนย์กลางดอกเจาะ 65-102 มม., ความยาวก้านเจาะ 3050 มม. (10 ฟุต) หรือ 3660 มม. (12 ฟุต)

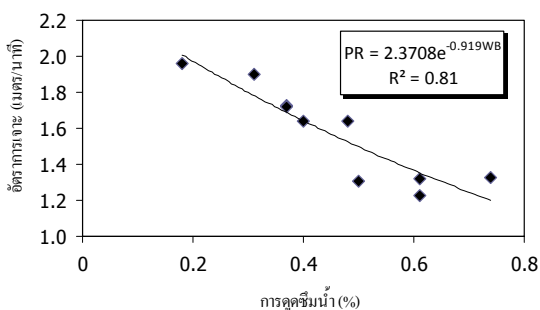
อัตราการเจาะพื้นที่แหล่งหินจังหวัดกระบี่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.23-1.90 เมตรต่อนาที จำนวนรูเจาะ 43 รูเจาะ พื้นที่แหล่งหินจังหวัดนครศรีธรรมราชอัตราการเจาะเฉลี่ยในช่วง 1.31-1.96 เมตรต่อนาที รูเจาะระเบิด 45 รูเจาะ

ตารางที่ 2 ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลหินคาร์บอนในพื้นที่ศึกษา

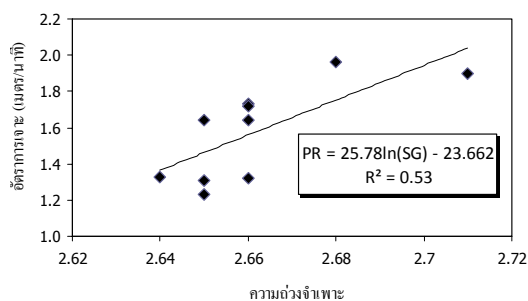
ตัวอย่าง	WB	SG	LA	IV	I _{s50}	SH	VH
ทดสอบ	(%)		(%)	(%)	(MPa)		(HV)
1	0.74	2.64	33.00	10.71	3.24	45.94	645.70
2	0.37	2.66	27.06	10.06	3.51	50.06	741.70
3	0.40	2.65	29.60	10.13	3.48	49.15	619.70
4	0.61	2.65	32.00	10.22	3.10	47.91	585.00
5	0.31	2.71	24.30	9.15	3.62	54.94	1002.90
6	0.50	2.65	29.00	9.97	3.20	53.38	840.30
7	0.18	2.68	23.44	7.72	3.81	56.07	1147.40
8	0.61	2.66	32.67	10.49	3.27	42.07	612.30
9	0.37	2.66	27.65	9.43	3.78	54.32	665.10
10	0.48	2.66	28.35	9.84	3.76	52.97	846.40

ความสัมพันธ์เชิงสถิติ

การดูดซึมน้ำแสดงตารางที่ 2 พื้นที่จังหวัดกระบี่มีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.31-0.74 พื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.61 ค่าการดูดซึมน้ำแสดงความสัมพันธ์ที่ดีกับอัตราการเจาะแบบกระแทกสำหรับรูระเบิด (รูปที่ 3) เมื่อค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการเจาะแบบกระแทกมีค่าลดลง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน สมการแสดงความสัมพันธ์ที่ 1 รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอัตราการเจาะแบบกระแทก หินของพื้นที่จังหวัดกระบี่ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.64-2.71 ส่วนหินพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.65-2.68 ความสัมพันธ์ที่พบพอใช้ โดยเมื่อความถ่วงจำเพาะของมวลรวมทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการเจาะแบบกระแทกมีค่าเพิ่มตาม แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง สมการแสดงความสัมพันธ์ที่ 2



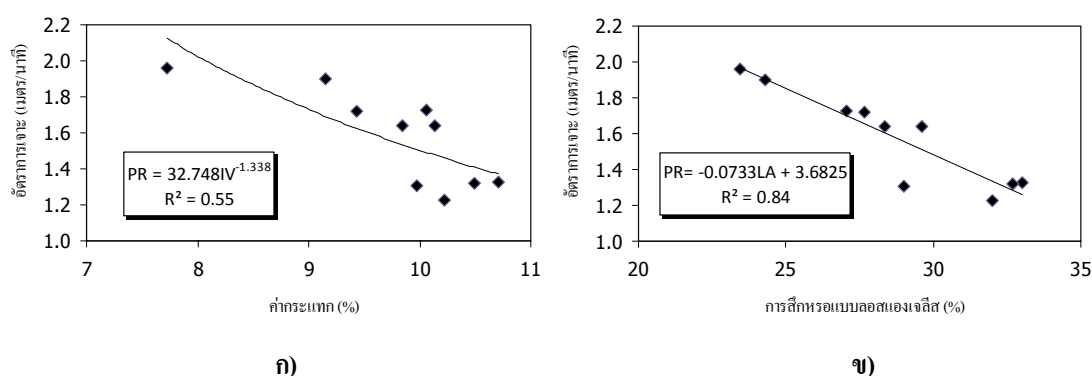
ก)



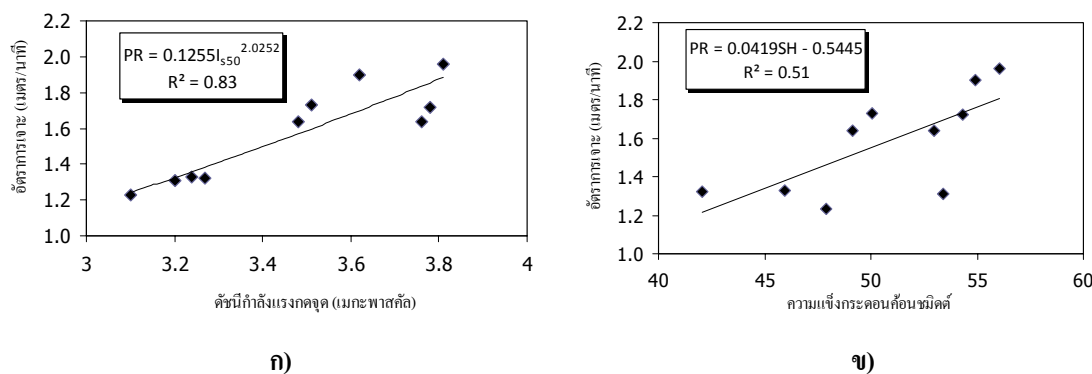
ข)

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเจาะแบบกระแทกกับ ก) การดูดซึมน้ำ และ ข) ความถ่วงจำเพาะ

ค่ากระแทกแสดงในตารางที่ 2 พื้นที่จังหวัดกระบี่ค่ากระแทกอยู่ในช่วงร้อยละ 9.15-10.71 ส่วนพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชค่ากระแทกอยู่ในช่วงร้อยละ 7.72-10.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแทกกับอัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะรูระเบิดแบบแปรผกผัน ในชั้นพอใช้ (รูปที่ 5) พบว่าเมื่อค่ากระแทกของมวลรวมมีค่าเพิ่มขึ้นอัตราการเจาะมีค่าลดลง สำหรับสมการความสัมพันธ์ที่ 3 รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอแบบลอสเองเจ็ลีสกับอัตราการเจาะแบบกระแทก พบความสัมพันธ์ขึ้นดี แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน เมื่อค่าการสึกหรอแบบลอสเองเจ็ลีสเพิ่มขึ้นอัตราการเจาะแบบกระแทกมีค่าลดลง สมการแสดงความสัมพันธ์ที่ 4



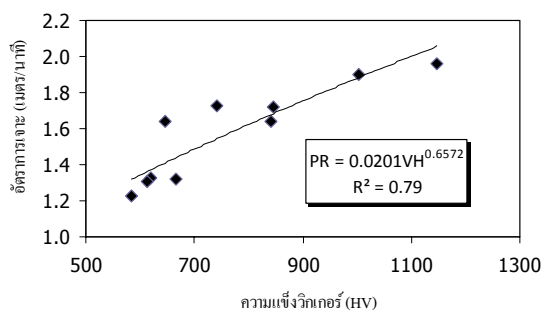
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเจาะแบบกระแทก ก) ค่ากระแทก และ ข) การสึกหรอแบบลอสเองเจ็ลีส



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจาะแบบกระแทกกับ ก) ดัชนีกำลังแรงกดจุด และ ข) ความแข็งกระดองแบบค้อนชนิด

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกำลังแรงกดจุดและอัตราการเจาะแบบกระแทก พบความสัมพันธ์ที่ดี แบบแปรผันตรง เมื่อดัชนีกำลังแรงกดจุดเพิ่มขึ้นแสดงถึงความแข็งของหินมวลรวมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเจาะแบบกระแทกมีค่ามากตาม สมการแสดงความสัมพันธ์ที่ 5 รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกระดองค้อนชนิดและอัตราการเจาะแบบกระแทก ความสัมพันธ์ที่พบพอใช้ เป็นความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง เมื่อความแข็งกระดองมีค่าเพิ่มแสดงให้เห็นถึงความแข็งของหินที่เพิ่มขึ้นอัตราการเจาะที่เจาะได้จึงใช้เวลามากตาม สมการประเมินความสัมพันธ์ที่ 6 รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และอัตราการเจาะแบบกระแทก พบความสัมพันธ์ที่ดี แบบแปรผันตรง เมื่อค่าความแข็งวิกเกอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงถึงความแข็งของหินมี

ค่าเพิ่มขึ้นตาม ทำให้อัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะรูระเบิดใช้เวลาในการเจาะมากขึ้น แปรผันตามความแข็งของหิน สมการแสดงความสัมพันธ์ที่ 7 การประเมินความสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ เอ็กซ์โพเนนเชียล ลอการิทึม เส้นตรงและยกกำลัง



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งวิกเกอร์และอัตราการเจาะแบบกระแทก

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเชิงกลหินคาร์บอนेटกับอัตราการเจาะแบบกระแทก

$$PR = 2.3708e^{-0.919WB} \quad R^2 = 0.81 \quad (1) \quad PR = 0.1255I_{s50}^{2.0252} \quad R^2 = 0.83 \quad (5)$$

$$PR = 25.78 \ln(SG) - 23.662 \quad R^2 = 0.53 \quad (2) \quad PR = 0.0419SH - 0.5445 \quad R^2 = 0.51 \quad (6)$$

$$PR = 32.748IV^{-1.338} \quad R^2 = 0.55 \quad (3) \quad PR = 0.0201VH^{0.6572} \quad R^2 = 0.79 \quad (7)$$

$$PR = -0.0733LA + 3.6825 \quad R^2 = 0.81 \quad (4)$$

เมื่อ PR คือ อัตราการเจาะ (หน่วย เมตรต่อนาที), WB คือ การดูดซึมน้ำ (หน่วย ร้อยละ), SG คือ ความถ่วงจำเพาะ, IV คือ ค่ากระแทก (หน่วย ร้อยละ), LA คือ การสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส (หน่วย ร้อยละ), I_{s50} คือ ดัชนีกำลังแรงกดจุด (หน่วย เมกะพาสคัล), SH คือ ความแข็งกระดองก้อนหินชนิด และ VH คือ ความแข็งวิกเกอร์ (หน่วย ความแข็งวิกเกอร์)

สรุปผลการวิจัย

การทำนายอัตราการเจาะแบบกระแทกในการเจาะรูระเบิดมีความสำคัญมากในกระบวนการเจาะหิน ซึ่งอัตราการเจาะมีผลต่อการประมาณค่าใช้จ่ายและวางแผนของโครงการ หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราการเจาะคือสมบัติของหิน อัตราการเจาะแบบกระแทกมีความสัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของหินคาร์บอนेट จากการศึกษาพบว่า ดัชนีกำลังแรงกดจุด การสึกหรอแบบลอสแอนเจลิส การดูดซึมน้ำและความแข็งวิกเกอร์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจาะในการเจาะรูระเบิดสำหรับเหมืองหินคาร์บอนेट สามารถประเมินความสัมพันธ์ได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ได้เสนอ

คำขอบคุณ

ได้รับทุนสนับสนุนจากหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ รวมถึงโรงโม่หินทั้ง 2 จังหวัด ได้เอื้ออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานและให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างหินทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- دنوفل ตันนโยภาส. (2540). **คู่มือปฏิบัติการธรณีวิศวกรรม**, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่
- ASTM C 127-01 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C 131-01 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C 805 Standard Test Method for Rebound Number of Hardness Concrete, 1997.
- ASTM E29 Standard method for Vickers hardness of metallic materials.
- Broch, E., and Franklin, J.A. (1972). The point load strength test, **International Journal of Rock Mechanic & Mining Sciences**. 9(6), 669-697.
- Hoseinie, S.H., Aghababaei, H. and Pourrahimian, Y. (2007). Development of a new classification system for assessing of rock mass drillability index (RDi), **International Journal of Rock Mechanic & Mining Sciences**. 45(1), 1-10.
- Kahraman, S., Balcid, Yazicii, S. and Bilgin, N. (1999). Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index, **International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences**. 37(5), 729-743.
- Kahraman, S., Bilgin, N. and Feridunoglu, C. (2003). Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills, **International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences**. 40(5), 711-723.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายวิชัย นกแก้ว	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5110120042	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเหมืองแร่)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

โครงการทุนศึกษากันคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และโครงการทุนบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2551

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วิชัย นกแก้ว, ดนุพล ตันนโยภาส และ วิษณุ ราชเพ็ชร. (2553). อิทธิพลของสมบัติมวลรวมหินคาร์บอนเนตภาคใต้ประเทศไทยต่อการสึกกร่อนของแอ่งเจ็ลและและการกระแทก, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8 ระหว่าง 22-23 เมษายน 2553. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน้า 864-869.

วิชัย นกแก้ว, ดนุพล ตันนโยภาส และ วิษณุ ราชเพ็ชร. (2553). อิทธิพลของสมบัติหินคาร์บอนเนตต่ออัตราการเจาะแบบกระแทก, การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20 ประจำปี 2553 ระหว่าง 16-18 กันยายน 2553. โรงแรมเจบี หาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา หน้า 190-197.