

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



190785



รหัสโครงการ SUT7-719-54-12-54

รายงานการวิจัย

ชุดโครงการวิจัย

การพัฒนาแหล่งเกลือหินสำหรับกักเก็บของเสียจากภาคอุตสาหกรรม
(Industrial Wastes Storage in Rock Salt)

โครงการวิจัยย่อย

การทดสอบประสิทธิภาพการอุดของซีเมนต์
เชิงกลศาสตร์ในหลุมเจาะของเกลือหิน
(Mechanical Performance of Cement Borehole Seals in Rock Salt)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



190785



รหัสโครงการ SUT7-719-54-12-54

รายงานการวิจัย



ชุดโครงการวิจัย

การพัฒนาแหล่งเกลือหินสำหรับกักเก็บของเสียจากภาคอุตสาหกรรม
(Industrial Wastes Storage in Rock Salt)

โครงการวิจัยย่อย

การทดสอบประสิทธิภาพการอุดของซีเมนต์
เชิงกลศาสตร์ในหลุมเจาะของเกลือหิน

(Mechanical Performance of Cement Borehole Seals in Rock Salt)

คณะผู้วิจัย

ผู้อำนวยการชุดโครงการวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติเทพ เพ็องขจร
สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

หัวหน้าโครงการวิจัยย่อย

อาจารย์ ดร.ปรัชญา เทพณรงค์
สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม 2554

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2554 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จจุลวงได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากทีมงานหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณีในการทดสอบและ นางสาวกัลญา พับโพธิ์ ในการพิมพ์รายงานการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

ธันวาคม 2554

บทคัดย่อ

190785

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์ของปูนซีเมนต์เพื่อนำมาใช้อุดในชั้นเกลือหินที่ถูกขุดเจาะเป็นโพรงหรืออุโมงค์สำหรับเป็นแหล่งทิ้งกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรม ผลการทดสอบที่ได้สามารถช่วยในการออกแบบซีเมนต์สำหรับการอุดรอยแตกเพื่อให้มีผลกระทบจากการรั่วไหลในชั้นเกลือหินให้น้อยที่สุด การทดสอบกำลังแรงเฉือนสูงสุดระหว่างซีเมนต์อุดและรอยแตกในเกลือหินประกอบด้วย การทดสอบ Push-out และการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct shear test) โดยเตรียมตัวอย่างเกลือหินเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร จากเกลือหินชุดมหาสารคาม ซีเมนต์สำหรับอุดได้ใช้ปูนซีเมนต์ชนิดทนเค็มที่มีขายในท้องตลาด โดยหล่อให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร สำหรับการทดสอบ Push-out และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สำหรับการทดสอบกำลังแรงเฉือนโดยตรง รอยแตกที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็น 2 ชนิด คือรอยแตกแบบตัดเรียบและรอยแตกแบบขรุขระ เพื่อศึกษาผลกระทบด้านความขรุขระของรอยแตกในเกลือหิน ตัวอย่างซีเมนต์ถูกบ่มเป็นเวลา 3 วัน ก่อนการทดสอบ ผลการทดสอบตามเกณฑ์ของคู่มือพบว่าค่าแรงเสียดทานยึดติดระหว่างซีเมนต์และเกลือหินมีค่าเท่ากับ 70 และ 69 องศา สำหรับรอยแตกแบบขรุขระและรอยแตกแบบตัดเรียบตามลำดับ แรงยึดติดในรอยแตกระหว่างซีเมนต์และเกลือหินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 เมกะปาสคาล การทดสอบ Push-out ให้ค่าผลการทดสอบที่สูงกว่าผลที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง โดยมีค่าแรงเฉือนสูงสุดตามแรงกดในแนวแกน 6.74 – 11.23 MPa อันเป็นผลมาจากผลกระทบของค่าอัตราส่วนปัวซองที่จะเพิ่มความเค้นตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของตัวอย่างซีเมนต์และเกลือหินในขณะที่ให้แรงกดตามแนวแกน จึงชี้ให้เห็นว่าผลที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงนั้นให้ค่าที่อยู่ในเชิงอนุรักษ์ที่มากกว่าสำหรับการทดสอบหาค่ากำลังแรงเฉือนสูงสุดระหว่างเกลือหินและซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดหลุมเจาะ โดยซีเมนต์สำหรับอุดหลุมเจาะที่นำมาใช้ในการทดสอบครั้งนี้สามารถให้ประสิทธิภาพเชิงกลศาสตร์เป็นไปตามที่ต้องการ

Abstract

190785

The objective of this study is to experimentally determine the mechanical performance of cement grout for the industrial waste repository in rock salt formation. The results are used to assist in the design of the cement seals in boreholes, fractures and dissolved channels to minimize the brine circulation and potential leakage along the main access (ramp) in the salt formation. Frictional shear strengths between cement grout and rock salt fracture have been experimentally determined by series of borehole push-out testing and direct shear testing. The salt specimens are prepared from the 100 mm diameter cores drilled from the Middle member of the Maha Sarakham formation. The cement grout is prepared from the commercial grade Portland cement mixed with chloride resistant agent. The cement slurry is casted in the 25 mm diameter borehole with a length of 25 mm for the push-out testing and on 100 mm diameter fracture surfaces for the direct shear testing. Two types of fractures have been tested, tension-induced fracture and saw cut surface, primarily to assess the effect of the fracture roughness. For all tests the cement is cured for 3 days prior to testing. According to the Coulomb criterion the friction angles at the cement-salt interface are 70 and 69 degrees for fracture and saw cut surfaces, respectively. The cohesion for the cement-salt fracture is averaged as 0.3 MPa. The push-out test results show significantly higher values of the frictional resistance at the interface than does the direct shear testing. The axial shear strength of the borehole cement seal is as high as 6.74 to 11.23 MPa. This is primarily due to the effect of the Poisson's ratio which increases the normal (radial) stress at the cement-salt interface while the axial load is applied. This implies that the direct shear test results may give an overly conservative estimate of the shearing resistance between the salt and cement seal. In general the tested cement grout has satisfied the mechanical performance requirement.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
 บทที่ 1 บทนำ.....	 1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	5
 บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	 7
2.1 การอุดหลุมเจาะในชั้นหิน.....	7
2.2 ประเภทของการอุดหลุมเจาะ.....	7
2.3 จุดมุ่งหมายของการอุดหลุมเจาะ.....	8
2.3.1 การอุดหลุมเจาะแบบชั่วคราว.....	8
2.3.2 การอุดหลุมเจาะแบบถาวร.....	8
2.4 วัสดุที่ใช้ในการอุดหลุมเจาะในอุตสาหกรรม.....	8
2.4.1 วัสดุที่ใช้ในการอุดหลุมเจาะในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม.....	8
2.4.2 วัสดุที่ใช้ในการอุดหลุมเจาะในอุตสาหกรรมน้ำบาดาล.....	12
2.4.3 วัสดุที่ใช้ในการอุดหลุมเจาะในอุตสาหกรรมการขุดเจาะใต้ดิน.....	13
2.4.4 วัสดุที่ใช้ในการอุดหลุมเจาะในการทิ้งกากนิวเคลียร์.....	13

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 6 การทดสอบแรงเฉือนแบบ Push-out.....	81
6.1 วัตถุประสงค์.....	81
6.2 อุปกรณ์ทดสอบกำลังเฉือนแบบ Push-out.....	81
6.3 ผลการทดสอบกำลังเฉือนแบบ Push-out.....	83
บทที่ 7 บทสรุป.....	103
บรรณานุกรม.....	105
ประวัตินักวิจัย.....	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ความลึกและขนาดของตัวอย่างเกลื่อหินผิวเรียบ (Saw-cut surface) สำหรับ การทดสอบแรงเฉือน.....	31
3.2	ความลึกและขนาดของตัวอย่างเกลื่อหินผิวขรุขระ (Tension induces fracture) สำหรับการทดสอบแรงเฉือน.....	31
3.3	ความลึกและขนาดของตัวอย่างเกลื่อหินสำหรับการทดสอบ push-out.....	33
3.4	ขนาดของตัวอย่างแท่งซีเมนต์สำหรับการทดสอบแรงกดในแกนเดียว.....	39
3.5	ขนาดของตัวอย่างแท่งซีเมนต์สำหรับการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น และค่าอัตราส่วนปัวซอง.....	39
3.6	ขนาดของตัวอย่างแท่งซีเมนต์สำหรับการทดสอบแรงดึงแบบบราซิลเลียน40	
4.1	ผลการทดสอบแรงกดสูงสุดในแกนเดียวของซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อตามมาตรฐาน ASTM D7012.....	48
4.2	ผลการตรวจวัดหาค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปัวซองตาม มาตรฐาน ASTM D7012.....	49
4.3	ผลการทดสอบแรงดึงแบบบราซิลเลียนของซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อตามมาตรฐาน ASTM 3967.....	52
4.4	ผลการทดสอบความหนืด ASTM D2196.....	55
5.1	สรุปผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อและเกลื่อหินผิวเรียบ.....	62
5.2	สรุปผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อและเกลื่อหินผิวขรุขระ.....	66
5.3	ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อและเกลื่อหินผิวเรียบ.....	66
5.4	ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อและเกลื่อหินเรียบ แบบไม่ยึดติด.....	70
5.5	ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อและเกลื่อหินผิวขรุขระ.....	73
6.1	สรุปผลการทดสอบกำลังเฉือนแบบ Push-out.....	86
6.2	ผลการทดสอบกำลังเฉือนแบบ Push-out.....	87

สารบัญรูปรูป

รูปที่		หน้า
3.1	การตัดตัวอย่างเกลื่อหินให้มีขนาดตามต้องการ (ตัดแบบแห้ง).....	30
3.2	ตัวอย่างเกลื่อหินบางชั้นที่สร้างรอยแตกแบบเรียบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 2 นิ้ว.....	30
3.3	ตัวอย่างเกลื่อหินที่สร้างรอยแตกแบบขรุขระขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 2 นิ้ว.....	30
3.4	การเจาะตัวอย่างเกลื่อหินเพื่อสร้างรูขนาด 1 นิ้ว สำหรับการทดสอบ Push-out....	32
3.5	ตัวอย่างเกลื่อหินที่เจาะรูสำหรับการทดสอบ Push-out.....	32
3.6	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ประเภท IP (Type IP) และปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภท 5.....	35
3.7	แบบหล่อตัวอย่างทำด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว.....	38
3.8	การตัดแต่งผิวหน้าให้เรียบตามมาตรฐานสำหรับการทดสอบแต่ละชนิด.....	38
3.9	แบบหล่อทำจากท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว สำหรับตัวอย่างการทดสอบแรงเฉือน โดยตรง.....	41
3.10	ตัวอย่างเกลื่อหินที่หล่อด้วยซีเมนต์สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง.....	41
3.11	ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงระหว่างเกลื่อหินและซีเมนต์ผสม น้ำเกลือบกรอยแตกแบบเรียบ.....	42
3.12	ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงระหว่างเกลื่อหินและซีเมนต์ผสม น้ำเกลือบกรอยแตกแบบขรุขระ.....	42
3.13	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Push-out.....	43
4.1	ตัวอย่างแท่งซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว และ $L/D = 2.5$ หลังจากทดสอบแรงกดสูงสุดในแกนเดียวและวัดค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น.....	46
4.2	ตัวอย่างแท่งซีเมนต์ผสมน้ำเกลื่อ อายุ 7 วัน หลังจากทดสอบแรงกดสูงสุดใน แกนเดียว.....	46
4.3	การตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปัวซ็องของ ด้วยการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้ง 2 แกน.....	49

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.11	ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อแบบขรุขระ โดยความเค้นเฉือนแสดงในฟังก์ชันของการเคลื่อนตัว.....	79
5.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นตั้งฉาก จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อแบบขรุขระ.....	80
6.1	การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ Push-out.....	82
6.2	แสดงการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ Push-out.....	84
6.3	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัว.....	84
6.4	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-02-T.....	94
6.5	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-02-B.....	95
6.6	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-03-T.....	96
6.7	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-03-B.....	97
6.8	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-04-T.....	98
6.9	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะ ของตัวอย่าง KB-09-02-PO-04-B.....	99
6.10	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-05-T.....	100
6.11	ผลการทดสอบ Push-out ระหว่างเกลื้อหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลื้อในการอัดหลุมเจาะของตัวอย่าง KB-09-02-PO-05-B.....	101
6.12	ตัวอย่างเกลื้อหินหลังการทดสอบ Push-out.....	101