

อิทธิพลของปริมาณน้ำมีต่ออัตราส่วนปลอดภัยของหน้าเหมืองยิปซัมชนิดเซเลไนต์

Influence of Water Content on Safety Factor of Gypsum Selenite Slope Mine

สุรชัย เข้มทอง¹ ดนุพล ตันนโยภาส^{2*}
Surachai Kemthong¹ and Danupon Tonnayopas^{2*}

บทคัดย่อ

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำมีต่ออัตราส่วนปลอดภัยของหน้าเหมืองยิปซัมชนิดเซเลไนต์ ตัวอย่างนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้งไม่แช่น้ำและแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน ทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังแรงกดจุด และการเฉือนโดยตรงในระนาบพื้นฐาน [001] ผลการทดลองพบว่ายิปซัมมีความหนาแน่น 2170 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 0.27 กำลังแรงกดจุดยิปซัมไม่แช่น้ำและแช่น้ำ 1.44 และ 0.80 เมกะพาสคัล ตามลำดับ มุมเสียดทานที่จุดยอดและคงค้างเฉลี่ยของยิปซัมไม่แช่น้ำมีค่า 22 และ 12 องศา ส่วนแช่น้ำได้ 17 และ 8 องศา ตามลำดับ อัตราส่วนปลอดภัยของหน้าเหมืองยิปซัมไม่แช่น้ำขึ้นได้ถึง 85 องศา และหน้าเหมืองยิปซัมแช่น้ำควรมีความชันไม่เกิน 35 องศา

คำสำคัญ: ยิปซัมเซเลไนต์ ปริมาณน้ำ การเฉือนโดยตรง อัตราส่วนปลอดภัย

Abstract

Influence of water content on safety factor of gypsum selenite slope mine was investigated. Selenite specimens were prepared cutting into square and were unsoaked and soaked for 7 days. The tests included the determination of density, water absorption, point load strength and direct shear along cleavage [001]. Test results bulk density 2170 kg/m³, water absorption 0.27%, point load strength unsoaking and soaking of 1.44 and 0.80 MPa, respectively. Average peak and residual internal friction angles of sample unsoaking of 22 and 12°. Beside, the soaking was given 17 and 8°, respectively. Slope face angle of mining calculated under unsoaking provided safety factor led to 85° and soaking slope face angle should not exceed 35°.

Keywords: Gypsum Selenite, Water Content, Direct Shear, Safety Factor

¹ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

² รศ.ดร., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

* Corresponding author: e-mail: danupon.t@psu.ac.th Tel. 074-558834 ext. 7318

บทนำ

แร่ยิปซัมมีประโยชน์ในการใช้ทำปูนปลาสเตอร์ เป็นส่วนผสมทำปูนซีเมนต์เพื่อให้ปูนแข็งตัวเร็ว ใช้ทำปุ๋ยและปรับสภาพดิน ทำซอล์กเขียนกระดาน ยิปซัมชนิดซาตินสปาร์ (satin spar) และอะลาบาสเตอร์ (alabaster) นำมาแกะสลักหรือใช้ทำเครื่องประดับเพราะมีเนื้ออ่อนง่ายต่อการแกะสลัก [1] ปัจจุบันประเทศไทยมีการทำเหมืองยิปซัมหลายแห่ง เช่น แหล่งแร่บริเวณวังจี้ อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร บริเวณอำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณใกล้บ้านซ้อง อำเภอนาสาร และที่อำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี พ.ศ. 2552 การผลิตแร่ยิปซัมของภาคใต้ส่วนใหญ่ผลิตในท้องที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช มีผลผลิตรวมกัน 6,336,414 เมตริกตัน มูลค่า 3,504 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2551 ผลิตและมูลค่าเพิ่มขึ้น 313,127 เมตริกตันและ 835 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 และ 31 ตามลำดับ มีปริมาณแร่ยิปซัมส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ 5,220,035 เมตริกตัน มูลค่า 2,876 ล้านบาท [2]

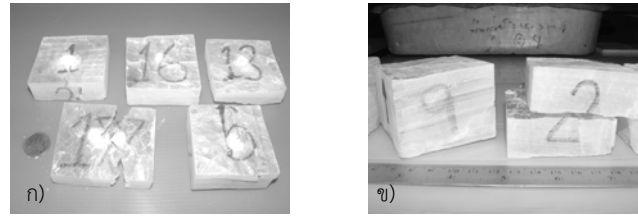
Williams [3] ทดสอบเฉือนยิปซัมบนแนวแตกเรียบพื้นฐาน [010] ซึ่งตัดกันที่แกน b ใน 7 ทิศทางและพบทั้งพฤติกรรมยืดหยุ่นและเหนียวก่อนพิบัติ ค่ากำลังเฉือนเฉลี่ยในช่วง 0.58 ถึง 1.36 เมกะพาสคัล ในขณะที่กำลังเฉือนของผลึกยิปซัมในระนาบแนวแตกเรียบ [100] และ [001] ซึ่งระนาบตัดกันที่แกน a และ c ค่าสูงกว่าคือ 18.5 และ 14.3 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ยิปซัมเกิดในสมัยไมโอซีน (Miocene Epoch) จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศตุรกี พบว่าความแข็งแรงแบบค้อนขมิด้ โมดูลัสของยังค์และกำลังอัด ค่าทั้งสามมีความสัมพันธ์กันมาก [4] Auvray et al. [5] สังเกตสะเก็ดยิปซัมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในผนังของเสาถ้ำยักษ์จากเหมืองใต้ดินในเขตจูรา (Jura) ประเทศฝรั่งเศส พบว่าเป็นผลมาจากความชื้นสัมพัทธ์ตามฤดูกาลที่แปรปรวน Bell [6] ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของยิปซัมพบว่ามีความต้านทานการกัดกร่อนสูง ความทนต่อการกลั่นน้ำสูงถึงสูงมาก (slake durability) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก-ยืดหยุ่น-พลาสติก สภาพเปลี่ยนรูปแปรผันจากน้อยถึงมาก การคืบตัวด้วยแรงกดคงที่เห็นได้ชัดเจน Rao et al. [7] ได้ศึกษาผลของขนาดตัวอย่างทดสอบ เช่น ความหนา ความกว้าง มุมเอียงระยะเฉือน ภายใต้สภาวะแรงกดต่อกล่องเฉือน แรงดึงรอบบนระยะเฉือน ให้ผลความเครียดออกจากแรงกด ที่แรงยึดความเค้นตั้งฉากสูงสุดมีค่าน้อยกว่ากำลังดึงของหิน ขณะเดียวกันความเค้นเฉือนสูงสุดมากกว่าความเค้นเฉือนที่มีอยู่ในความเค้นอัด อันยังผลให้เกิดพิบัติเฉือน ผลศึกษาพฤติกรรมแนวแตกของตัวอย่างให้เคลื่อนในแนวเฉือนต่างกัน พบว่ากำลังเฉือนของแนวแตกสัมพันธ์กับอัตราการเคลื่อนที่ จำนวนรอบของแรงกระทำและขนาดความเค้น [8]

การทำเหมืองยิปซัมในประเทศไทยใช้วิธีการเปิดหน้าดินเป็นส่วนใหญ่ ลึกลงไปประมาณ 8-10 เมตร ถึงหน้ายิปซัม ภายหลังเปิดหน้าเหมืองแต่ละแหล่งมีเสถียรภาพแตกต่างกันไปตามโครงสร้างธรณีวิทยา และสมบัติด้านกำลังเฉือนของยิปซัม [9-12] อันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการประเมินอัตราส่วนปลอดภัย (factor of safety) ของลาดหน้าบ่อเหมืองยิปซัมและการก่อสร้างในบนพื้นที่มียิปซัมอยู่ [13] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาค่ากำลังเฉือนของเซเลไนต์เป็นหลัก อันช่วยให้การวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพหน้าบ่อเหมืองในขั้นตอนการออกแบบ การพัฒนาบ่อเหมืองและการป้องกัน ในการพัฒนาเหมืองต่อไป

วิธีการวิจัย

วัสดุที่ใช้

ยิปซัมชนิดเซเลไนต์ (selenite) สีขาว โปร่งใส ระนาบแนวแตกเรียบพื้นฐาน [001] ชัดเจน นำมาเลื่อยตัดออกเป็นก้อนสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด 5×5 ซม. ดังในภาพที่ 1 ตัวอย่างยิปซัมส่วนหนึ่งนำไปแช่น้ำให้ท่วมจมมิด มีสภาวะลักษณะชุ่มน้ำ เป็นเวลา 7 วัน เตรียมตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในศึกษาพฤติกรรมยิปซัมเซเลไนต์ของทุกชนิดการทดสอบรวมทั้งสิ้น 114 ก้อน (เฉือนโดยตรง 24 ก้อน)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างทดสอบเซลล์ไนต์ ก) กำลังแรงกดจุด และ ข) กำลังเฉือนโดยตรง

วิธีการทดสอบ

ตัวอย่างยิปซัมชนิดเซลล์ไนต์นำมาเลื่อยตัดออกเป็นก้อนสี่เหลี่ยม ทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อหาตัวแปรกำลังของยิปซัมใช้วิธีการทดสอบเฉือนโดยตรง (direct shear test) โดยทำการทดสอบตัวอย่างยิปซัมเซลล์ไนต์ในสองสถานะ ได้แก่ สถานะปกติคือ ยิปซัมมีลักษณะความชื้นตามธรรมชาติ และสถานะวิกฤตคือ แช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดจึงทดสอบการเฉือนพิจารณาค่ากำลังเฉือนที่ยอด (peak shear strength) และคงค้าง (residual shear strength) ของยิปซัม ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแนววิบัติมาก (large displacement) และสมบัติดัชนี ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังแรงกดจุด ตามวิธี ISRM [14]

การคำนวณอัตราส่วนปลอดภัย

กำหนดระนาบวางตัวของชั้นยิปซัมมีค่า 10 องศา ตามที่พบส่วนมากในหน้าเหมืองภาคใต้ ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (safety factor) คือ อัตราส่วนของแรงต้านทานการไถลต่อแรงเหนี่ยวนำการไถล ในกรณีไม่มีรอยร้าวจากแรงดึง (tension crack) ไม่มีแรงดันน้ำ ค่าอัตราส่วนปลอดภัยหาได้จากสมการ (1) ถึง (3)

$$F = \frac{cA + [W(\cos\psi_p - 2\sin\psi_p)]\tan\phi}{W(\sin\psi_p + \cos\psi_p)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A = \frac{H}{\sin\psi_p} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$W = \frac{\gamma_r H}{2} (\cot\psi_p - \cot\psi_f) \quad \dots\dots\dots (3)$$

กรณีคาน้ำแรงดันน้ำ ค่าอัตราส่วนปลอดภัยได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = \frac{cA + [W(\cos\psi_p - 2\sin\psi_p - U)]\tan\phi}{W(\sin\psi_p + \cos\psi_p)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$U = \frac{\gamma_w H^2}{4\sin\psi_p} \quad \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ H คือ ความสูงของลาดหน้าเหมืองยิปซัม

W คือ น้ำหนักลาดยิปซัมส่วนที่เลื่อนไถลตามระนาบพิบัติ

A คือ พื้นที่ระนาบพิบัติ

U คือ แรงดันน้ำในระนาบพิบัติ

ϕ คือ มุมเสียดทานภายในของยิปซัม

ψ_f คือ มุมลาดหน้าเหมือง

ψ_p คือ มุมระนาบพิบัติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

สมบัติดัชนี

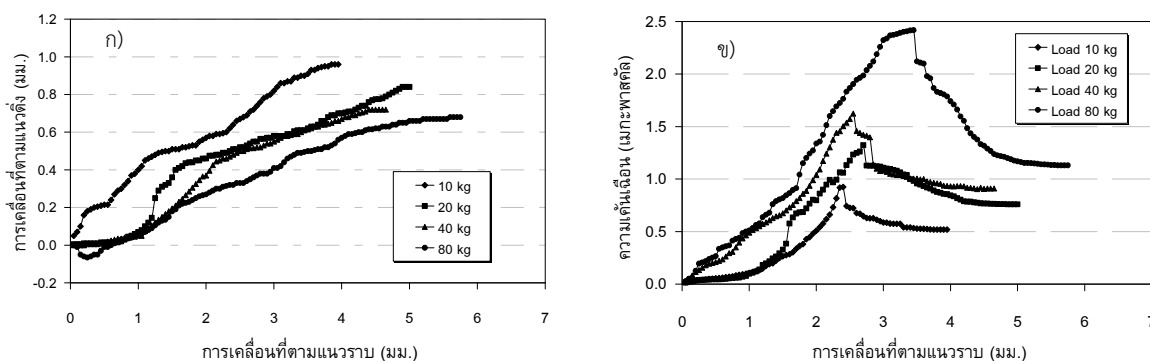
ยิปซัมเซลไนด์มีค่าความหนาแน่น 1959.62-2377.50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือเฉลี่ย 2174.86 ± 97.37 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.21-2.29 หรือเฉลี่ย 2.26 ± 0.02 ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 0.09-0.54 ค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง กำลังแรงกดจุดไม่แช่น้ำ อยู่ในช่วง 0.53-2.49 เมกะพาสคัล หรือเฉลี่ย 1.44 ± 0.67 เมกะพาสคัล จัดเป็นหินที่อ่อน ส่วนกำลังแรงกดจุดแช่น้ำ 7 วัน อยู่ในช่วง 0.11-2.21 เมกะพาสคัล หรือเฉลี่ย 0.80 ± 0.73 เมกะพาสคัล ลดลงจากไม่แช่น้ำประมาณร้อยละ 67 ดังมีรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติดัชนีของยิปซัมเซลไนด์

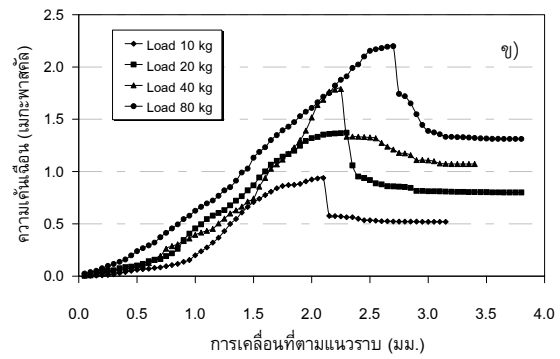
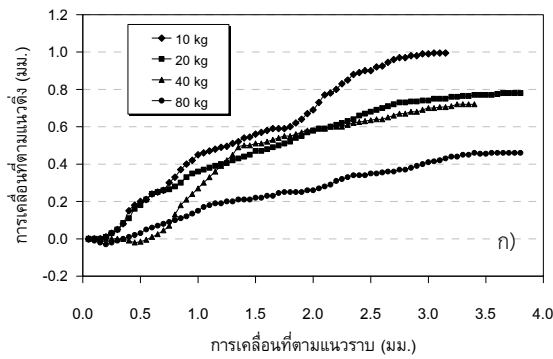
รายการทดสอบ	ตัวอย่าง ก้อน	ต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ยและเบี่ยงเบน
ความหนาแน่น หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	25	1959-2377	2174.86 ± 97.37
ความถ่วงจำเพาะ	20	2.21-2.29	2.26 ± 0.02
ค่าการดูดซึมน้ำ หน่วย ร้อยละ	14	0.09-0.54	0.27 ± 0.13
กำลังแรงกดจุดไม่แช่น้ำ หน่วย เมกะพาสคัล	16	0.53-2.49	1.44 ± 0.67
กำลังแรงกดจุดแช่น้ำ 7 วัน หน่วย เมกะพาสคัล	15	0.11-2.21	0.80 ± 0.73

กำลังเฉือนโดยตรง

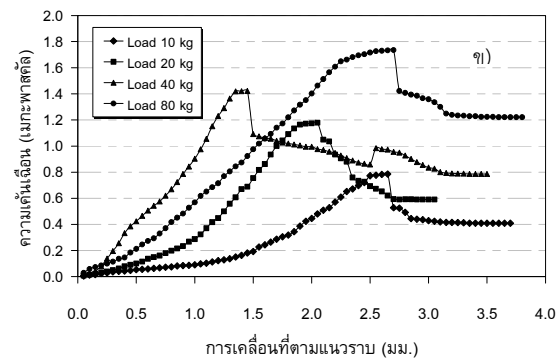
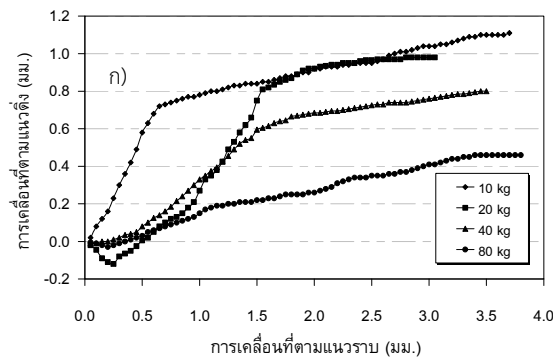
พฤติกรรมของตัวอย่างไม่แช่น้ำเกิดการเคลื่อนในแนวตั้งชันช่วงแรกและค่อยลาดลงช่วงใกล้การเฉือนขาดออกจากกัน (ภาพที่ 2ก - 4ก) การบ่งถึงว่าระนาบแนวแตกเรียบ (cleavage plane) ยังคงมีแรงยึดเกาะกันในระดับหนึ่งแม้ว่าเป็นระนาบอ่อนแอ (weak plane) ที่สุดในบรรดาสารนาบ [3] ซึ่งเป็นลักษณะผลึก (crystal habit) ที่มีตั้งแต่เกิดแรชนิดนี้ ขณะที่การเคลื่อนในแนวราบมีระยะทางยาวและเมื่อพิบัติที่ยอดค่อยลดลง (ภาพที่ 2ข - 4ข) ต่างจากตัวอย่างแช่น้ำพบว่าการเคลื่อนในแนวตั้งค่อนข้างต่ำ (ภาพที่ 5 ก-7ก) และการเคลื่อนในแนวราบมีระยะทางสั้นกว่าก่อนถึงจุดพิบัติและเมื่อเลยพิบัติยอดกราฟมุดชันกว่า (ภาพที่ 5ข-7ข) ซึ่งลักษณะกราฟทำนองเดียวกับทดสอบเฉือนมวลรวมหินตะกอนของ Sanei et al. [15]



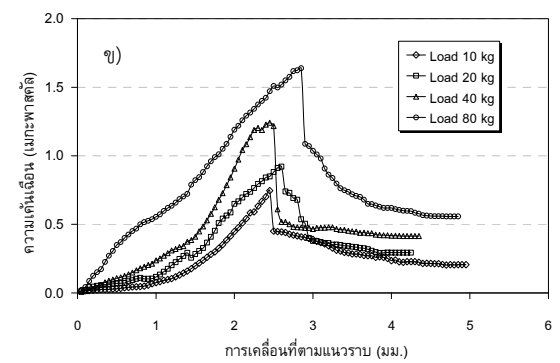
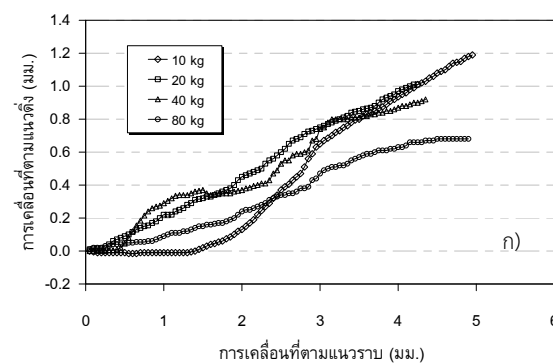
ภาพที่ 2 กำลังเฉือนของยิปซัมเซลไนด์ไม่แช่น้ำ ชุดตัวอย่างที่ 1 ก) เคลื่อนในแนวตั้ง และ ข) เคลื่อนในแนวราบ



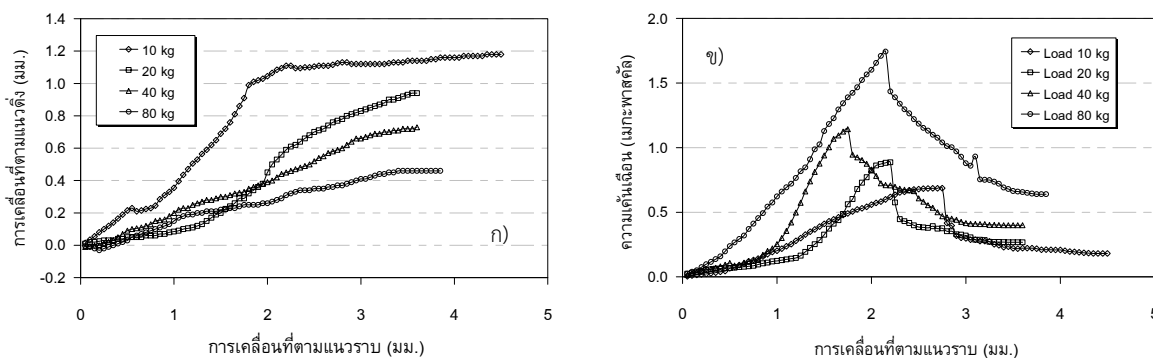
ภาพที่ 3 กำลังเฉือนของยิปซัมเซโนต์ไม่แช่น้ำของตัวอย่างชุดที่ 2 ก) เคลื่อนในแนวดิ่ง และ ข) เคลื่อนในแนวนอน



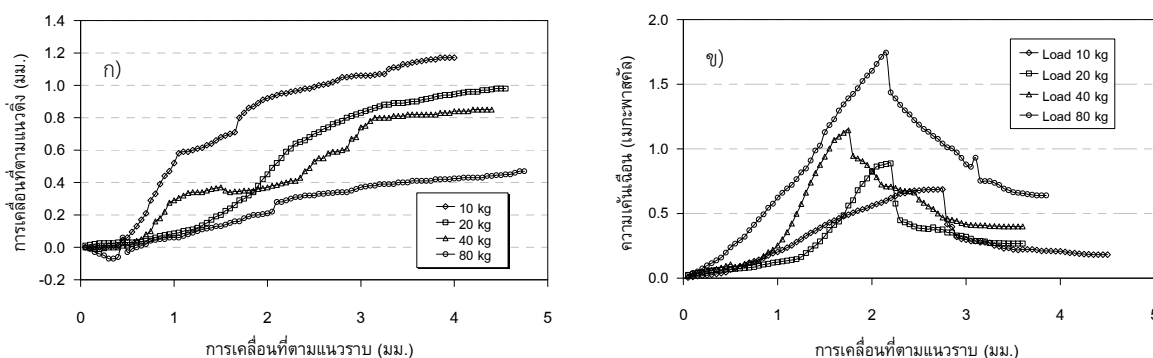
ภาพที่ 4 กำลังเฉือนของยิปซัมเซโนต์ไม่แช่น้ำของตัวอย่างชุดที่ 3 ก) เคลื่อนในแนวดิ่ง และ ข) เคลื่อนในแนวนอน



ภาพที่ 5 กำลังเฉือนของยิปซัมเซโนต์ที่แช่น้ำของตัวอย่างชุดที่ 1 ก) เคลื่อนในแนวดิ่ง และ ข) การเคลื่อนในแนวนอน



ภาพที่ 6 กำลังเฉือนของยิปซัมเซเมนต์ที่แช่น้ำของตัวอย่างชุดที่ 2 ก) เคลื่อนในแนวดิ่ง และ ข) การเคลื่อนในแนวราบ

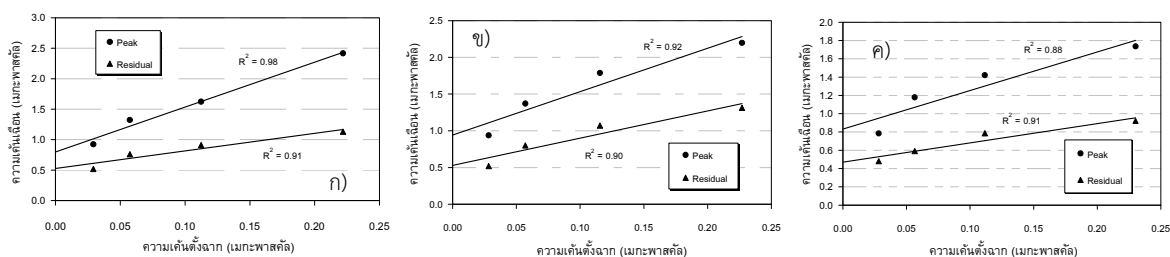


ภาพที่ 7 กำลังเฉือนของยิปซัมเซเมนต์ที่แช่น้ำของตัวอย่างชุดที่ 3 ก) เคลื่อนในแนวดิ่ง และ ข) การเคลื่อนในแนวราบ

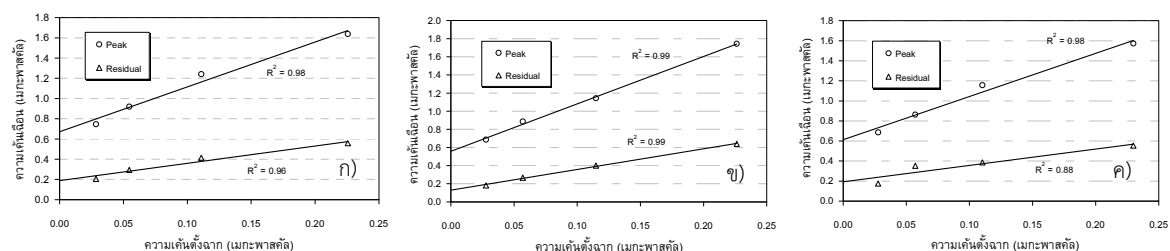
ผลการทดสอบเห็นได้ว่าในสภาวะยิปซัมความชื้นธรรมชาติ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 8) ลดลงจากสภาวะยิปซัมแช่น้ำ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 9) ตัวแปรกำลังเฉือนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนคือ ค่ามุมเสียดทานจุดยอด (ϕ_p) และคงค้าง (ϕ_r) ลดลงร้อยละ 23 และ 33 ตามลำดับ ส่วนแรงยึดเกาะกันจุดยอด (c_p) และคงค้าง (c_r) ลดลงร้อยละ 29 และ 67 ตามลำดับ สาเหตุเพราะปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นได้เข้าไปทำให้เกิดแรงดันตามระนาบพื้นฐานของยิปซัมขึ้น ในช่วงมีความเค้นเฉือน แรงดังกล่าวดันระนาบจึงลดแรงยึดเกาะในเนื้อยิปซัม ขณะเดียวกันก็หล่อลื่นให้ระนาบแนวแตกเรียบไถลเลื่อนได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ค่าแรงยึดเกาะกันในยิปซัมเซเมนต์ที่แช่น้ำลดลง เช่นเดียวกับหินดินเหนียว (clay rock) ที่ค่าแรงยึดเกาะกันมีค่าลดลงแต่มีลักษณะการพังตัวของหินเกิดขึ้นด้วย ซึ่งไปรบกวนแรงยึดเกาะกัน จึงมีพฤติกรรมที่ซับซ้อนมากขึ้น [16]

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยแรงยึดเกาะกันและมุมเสียดทานภายในของยิปซัมชนิดเซไลน์ด

ชนิดตัวอย่าง	เฉลี่ยแรงยึดเกาะกัน (เมกะพาสคัล)		เฉลี่ยมุมเสียดทานภายใน (องศา)	
	c_p	c_r	ϕ_p	ϕ_r
ปริมาณน้ำตามธรรมชาติ	0.86	0.51	22	12
สภาพแช่น้ำ 7 วัน	0.61	0.17	17	8



ภาพที่ 8 มุมเสียดทานและแรงยึดเกาะกันภายในของยิปซัมเซไลน์ดที่ไม่แช่น้ำ ตัวอย่างชุดที่ ก) 1 ข) 2 และ ค) 3



ภาพที่ 9 มุมเสียดทานและแรงยึดเกาะกันภายในของยิปซัมเซไลน์ดที่แช่น้ำ ตัวอย่างชุดที่ ก) 1 ข) 2 และ ค) 3

อัตราส่วนปลดปล่อย

ค่าอัตราส่วนปลดปล่อยได้จากผลการคำนวณสมการ (1) ถึง (5) ของหน้าเหมืองแปรค่าระนาบพิบัติ 10-30 องศา ค่าสูงสุดจากระนาบพิบัติ 10 องศา ซึ่งหน้าเหมืองยิปซัมปริมาณน้ำธรรมชาติสามารถลดชั้นได้ถึง 85 องศา ส่วนหน้าเหมืองชุ่มน้ำลดชั้นน้อยกว่า 35 องศา ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนปลดปล่อยของหน้าเหมือง

มุมหน้าเหมือง, องศา	กรณีตัวอย่างเซไลน์ดธรรมชาติ	กรณีตัวอย่างเซไลน์ดแช่น้ำ 7 วัน
85	1.89	0.66
75	1.95	0.67
65	2.02	0.70
55	2.10	0.72
45	2.23	0.76
35	2.51	0.90

สรุปและการอภิปรายผล

ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นภายในยิปซัมเซลล์โนต์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเชิงกล นอกจากนี้พฤติกรรมกำลังเฉือนของยิปซัมเซลล์โนต์ก็ลดลง ทำให้การคำนวณค่าอัตราส่วนปลดปล่อยของมุมเปิดหน้าเหมืองเข้าใกล้ 1 ลดลงอย่างมาก จากมุม 85 องศา ลดลงป็น้อยกว่า 35 องศา ทำให้เสี่ยงต่อการพิบัติลงมาของความลาดหน้าเหมือง ที่ประกอบการทำงานเหมืองในระยะยาว (long term) และโดยเฉพาะใต้ดิน [5]

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดนุพล ดันโนโยภาส. (2553). **แร่และหิน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [2] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการแร่. (2553). **รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมเหมืองแร่ภาคใต้ พ.ศ. 2552**. 1-5.
- [3] Williams, S.C. (1988). The shear strength of gypsum single crystals on three cleavage planes. **Tectonophysics**. 148(1-2), 163-173.
- [4] Yilmaz, I. and Sendir, H. (2002). Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey). **Engineering Geology**. 66(3-4), 211-219.
- [5] Auvray, C., Homand, F. and Hoxha, D. (2008). The influence of relative humidity on the rate of convergence in an underground gypsum mine. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. 45(8), 1454-1468.
- [6] Bell, F.G. (1994). A survey of the engineering properties of some anhydrite and gypsum from the north and midlands of England. **Engineering Geology**. 38(1-2), 1-23.
- [7] Rao, Q., Sun, Z., Stephansson, O., Li, C. and Stillborg, B. (2003). Shear fracture (Mode II) of brittle rock. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. 40(3), 355-375.
- [8] Jafari, M.K., Amini Hosseini, K., Pellet, F., Boulon, M. and Buzzi, O. 2003. Evaluation of shear strength of rock joints subjected to cyclic loading. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**. 23(7), 619-630.
- [9] Attewell, P.B. and Sandford, M.R. (1974). Intrinsic shear strength of a brittle, anisotropic rock-I: Experimental and mechanical interpretation. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**. 11(11), 423-430.
- [10] Barton N. (2013). Shear strength criteria for rock, rockjoints, rockfill and rockmasses: Problems and some solutions. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**. 5, 249-261.
- [11] Singh, R.N. and Eksi, M. (1987). Rock characterization of gypsum and marl. **Mining Science Technology**. 6(1), 105-112.
- [12] Indraratna, B. and Haque, A. (1997). Experimental study of shear behavior of rock joints under constant normal stiffness conditions. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. 34(3-4), 141e1-141e14.
- [13] Cooper, A.H. and Saunders, J.M. (2002). Road and bridge construction across gypsum karst in England. **Engineering Geology**. 65, 217-223.

- [14] ISRM. (2015). **The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014.** Ulusay, R. (ed.), Springer.
- [15] Sanei, M., Faramarzi, L., Fahimifar, A., Goli, S., Mehinrad, A. and Rahmati, A. (2015). Shear strength of discontinuities in sedimentary rock masses based on direct shear tests. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.** 75, 119-131.
- [16] Pellet, F.L., Keshavarz, M. and Boulon, M. (2013). Influence of humidity conditions on shear strength of clay rock discontinuities. **Engineering Geology.** 157, 33-38.