

บทที่ 4

สรุปรวมผลงานวิจัย

4.1 สรุปรวมผลงานวิจัย

ผลสรุปของชุดโครงการศึกษาการทิ้งกากนิวเคลียร์ในหลุมเจาะระดับลึกในหินแกรนิต สามารถนำไปใช้ออกแบบโพรงหรือช่องเหมืองสำหรับกักเก็บกากนิวเคลียร์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงในมวลหินแกรนิตที่มีรอยแตกหรือรอยร้าว โดยผลงานวิจัยนี้ระบุว่าค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นและความเค้นกดสูงสุดของหินแกรนิตจะลดลงถ้าอุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับผู้วิจัยหลายท่าน (Vostseen and Schellschmidt, 2003; Shimada, 2000; Okatov et. al, 2003; Araujo et al. 1997; Inada et al. 1997; Xu et al. 2009) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงกดและกำลังรับแรงดึงลดลง ซึ่งเกณฑ์การแตกที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้อาศัยแนวคิดเกี่ยวกับพลังงานความเครียดสูงสุดที่หินแกรนิตจะรับได้ก่อนเกิดการวิบัติ พลังงานความเครียดดังกล่าวจะรวมพลังงานกลและพลังงานความร้อนเข้าด้วยกัน เมื่อนำพลังงานทั้งสองรูปแบบมาลงจุดในแผนภูมิพบว่าในแต่ละระดับอุณหภูมิค่าพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตรงกับค่าพลังงานความเครียดเฉลี่ย โดยอัตราการเพิ่มขึ้นนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันสำหรับชุดการทดสอบในอุณหภูมิที่ต่างกัน เพื่อที่จะรวมเกณฑ์การแตกของระดับอุณหภูมิเข้าด้วยกันเป็นเกณฑ์เดียว ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติความยืดหยุ่นและอุณหภูมิได้ถูกพัฒนาขึ้นในเชิงตัวเลขและนำมาแทนค่าในความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนและพลังงานความเครียดเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ได้คือเกณฑ์การแตกของหินแกรนิตเพียงชุดเดียวที่สามารถใช้คาดคะเนความเค้นสูงสุดภายใต้การผันแปรอุณหภูมิและความเค้นล้อมรอบ เกณฑ์การแตกนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคาดคะเนเสถียรภาพและปัจจัยความปลอดภัยของหินแกรนิตที่อยู่รอบหลุมเจาะกักเก็บกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรมซึ่งหินแกรนิตในภาคสนามดังกล่าวจะอยู่ภายใต้การผันแปรอุณหภูมิและความเค้นล้อมรอบ (กิตติเทพ เฟื่องขจร, 2556)

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนบนรอยแตกผิวขรุขระระบุว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้พฤติกรรมของหินแกรนิตมีความเหนียวมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนลดลงและระยะการเคลื่อนตัวที่จุดกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดมีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Stesky et al. (1974) ที่ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของแรงเฉือนของหินซิลิกา 7 ชนิด ผลการทดสอบระบุว่ากำลังรับแรงเฉือนมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับการลดลงของค่ากำลังรับแรงเฉือนภายใต้อุณหภูมิสูงในการศึกษานี้ยังขึ้นกับความเค้นล้อมรอบด้วย โดยอุณหภูมิจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับแรงเฉือนเมื่อความเค้นล้อมรอบต่ำ แต่เมื่อความเค้นล้อมรอบสูงขึ้น อุณหภูมิจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับแรงเฉือนโดยทำให้ค่ากำลังรับ

แรงเฉือนมีค่าลดลง จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวของรอยแตกในแนวตั้งฉากกับค่าการเคลื่อนตัวในแนวเฉือน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไม่ได้ส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของรอยแตกในแนวตั้งฉาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 12–16 ส่วน ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนบนรอยแตกผิวเรียบระบุว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนบนรอยแตกผิวเรียบจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Lockner et al. (1986) และ Mitchell et al. (2013) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากการอ่อนตัวของผิวหินเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยรอยแตกมีการเชื่อมประสานกันทำให้เกิดกระบวนการ Stick-slip ซึ่งจะพบในช่วงอุณหภูมิ 300–500°C ที่ความเค้นล้อมรอบ 12 และ 18 MPa และในทางตรงกันข้ามจากผลการทดสอบของ Stesky (1978) ระบุว่า กระบวนการ Stick-slip จะเกิดในช่วงอุณหภูมิต่ำและมีความเค้นล้อมรอบมากๆ ทั้งนี้ Kawamoto and Shimamoto (1998) ได้อธิบายว่าองค์ประกอบแร่ในตัวอย่างหินเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การเกิด Stick-slip ที่อุณหภูมิและความเค้นต่างๆ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนกับความเค้นตั้งฉากภายใต้การผันแปรอุณหภูมิของรอยแตกผิวเรียบและผิวขรุขระ ได้นำมาเปรียบเทียบกับกราฟวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ผลระบุว่าข้อมูลจากการทดสอบและข้อมูลจากการคาดคะเนย้อนกลับของสมการที่ได้จากโปรแกรม SPSS มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้คาดคะเนค่ากำลังรับแรงเฉือนสูงสุดบนรอยแตกของหินแกรนิตในระดับลึกได้ โดยอุณหภูมิจะต้องอยู่ในช่วงของการศึกษาเท่านั้น (เดโช เพือกภูมิ, 2556)

อนึ่ง อุณหภูมิสูงสุดที่ทำการศึกษา (500°C) มีค่าต่ำกว่าจุดหลอมละลายของแร่ Quartz อย่างมาก ดังนั้น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการทิ้งกากนิวเคลียร์จึงไม่มีผลต่อการหลอมละลายของแร่ใดๆ ในหินแกรนิต

4.2 การศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

จากการศึกษาวิจัยในชุดโครงการนี้ยังมีประเด็นที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

- 1) ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่ากำลังกดและกำลังเฉือนบนรอยแตกของตัวอย่างหินแกรนิต โดยทำการทดสอบภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเกินกว่า 1000°C และความเค้นล้อมรอบที่สูงขึ้นเกินกว่า 20 MPa เพื่อศึกษาพฤติกรรมการณ์ของตัวอย่างหินให้ครอบคลุมมากกว่านี้
- 2) ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่ากำลังกดและกำลังเฉือนบนรอยแตกของตัวอย่างหินแกรนิต โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อจำลองพฤติกรรมการณ์ของโครงสร้างหินภายใต้สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำในระดับลึก
- 3) ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่ากำลังกดและกำลังเฉือนบนรอยแตกของตัวอย่างหินชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาความหลากหลายของชนิดหินที่แพร่กระจายในประเทศไทย และเป็นการต่อยอดองค์ความรู้ด้านนี้ต่อไป