

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปรวมผลงานวิจัย

ผลสรุปของชุดการวิจัยการพัฒนาแหล่งเกลือหินสำหรับกักเก็บของเสียจากภาคอุตสาหกรรมนี้สามารถนำไปใช้ออกแบบโรงหรือช่องเหมืองสำหรับกักเก็บกากของเสียได้โดยใช้เกณฑ์การแตกที่ถูกพัฒนาขึ้นจากการรวมเกณฑ์การแตกทั้งสี่ระดับอุณหภูมิเข้าด้วยกันเป็นเกณฑ์เดียว ซึ่งอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติความยืดหยุ่นและอุณหภูมิในเชิงตัวเลขและนำมาแทนค่าในความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนและพลังงานความเครียดเฉลี่ย จากนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการคาดคะเนเสถียรภาพและปัจจัยความปลอดภัยของเกลือหินที่อยู่รอบโรงกักเก็บพลังงานอากาศอัดและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเกลือหินในภาคสนามดังกล่าวจะอยู่ภายใต้การผันแปรอุณหภูมิและความดันล้อมรอบในขณะที่มีการอัดและปล่อยอากาศหรือก๊าซออกจากโรงเกลือ (กิตติเทพ เพ็ญขจร, 2555) นอกจากนี้ผลจากงานวิจัยประสิทธิภาพของเกลือหินบดเชิงกลศาสตร์และชลศาสตร์นี้สามารถนำมากำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมของเกลือหินบดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุถมกลับในช่องเหมือง หรือนำไปใช้เป็นกำแพงปิดกั้นช่องทางระหว่างพื้นที่กักเก็บกากของเสียอันตราย โดยผลการทดสอบระบุได้อย่างชัดเจนว่าเกลือหินบดที่มีความเหมาะสม (มีความชื้นผ่านต่ำและมีความแข็งแรงสูง) จะต้องใช้เกลือหินบดที่มีขนาดเล็กและบดอัดเป็นระยะเวลา 300 ชั่วโมง เพื่อให้เกลือหินบดมีค่าความชื้นผ่านต่ำสุดและมีความแข็งแรงสูงสุด (บัณฑิตา ธีระกุลสถิตย์, 2555)

วัสดุอุตสาหกรรมมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันการรั่วซึมของสารพิษที่เป็นอันตราย โดยเฉพาะซีเมนต์ที่ใช้จะต้องเป็นชนิดทนเค็มและวัสดุที่ใช้จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อเกลือหินด้วยหน้าที่หลักของวัสดุอุตสาหกรรมคือป้องกันการรั่วซึมของสารเคมีโดยศึกษาค่ากำลังแรงเฉือนสูงสุดระหว่างซีเมนต์และรอยแตกในเกลือหิน และค่าความชื้นผ่านของวัสดุอุดช่องเหมือง ซึ่งในโครงการวิจัยที่ 3 พบว่าค่าแรงเสียดทานยึดติดระหว่างซีเมนต์และเกลือหินเท่ากับ 69 และ 53 องศา สำหรับรอยแตกแบบตัดเรียบและรอยแตกแบบขรุขระตามลำดับ แรงยึดติดในรอยแตกระหว่างซีเมนต์และเกลือหินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 เมกะปาสคาล การทดสอบ Push-out ให้ค่าผลการทดสอบที่สูงกว่าผลที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง โดยมีค่าแรงเฉือนสูงสุดตามแรงกดในแนวแกนถึง 6-11 เมกะปาสคาล (ปรีชญา เทพณรงค์, 2555) ในกรณีที่ต้องใช้วัสดุถมกลับสำหรับอุดช่องเหมืองซึ่งในโครงการวิจัยที่ 4 ระบุว่าดินเบนโทไนต์บริสุทธิ์ที่ถูกบดอัดจะมีความชื้นผ่านน้อยกว่า 10^{-18} m^2 ค่าความชื้นผ่านของส่วนผสมที่มีเกล็ดเกลือขนาดใหญ่จะสูงกว่าส่วนผสมที่มีเกล็ดเกลือขนาดเล็ก ส่วนผสมทั้งหมดมีความชื้นผ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 10^{-14} ถึง 10^{-12} m^2 ส่วนผสมที่มีดินเบนโทไนต์น้อยจะให้ค่าความชื้น-

ผ่านสูงกว่าส่วนผสมที่มีดินเบนโทไนด์มาก ผลที่ได้จากการทดสอบกำลังเฉือนและการบดอัดดินเบนโทไนด์กับเกล็ดเกลือสามารถกำหนดอัตราส่วนที่ดีที่สุดของดินเบนโทไนด์ต่อเกล็ดเกลือที่ใช้ในการอุดรอยแตกในชั้นเกลือหินได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30:70 โดยน้ำหนัก และมีขนาดของเกล็ดเกลืออยู่ในช่วง 2-4 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุอุดในอุโมงค์ใต้ดินที่ใช้ทั้งของเสียจากภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากส่วนผสมนี้มีค่ากำลังเฉือนสูงสุด (สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 2555)

การศึกษาเสถียรภาพของเกลือหินรวมไปถึงวัสดุอุดยังไม่เพียงพอต่อการประเมินความปลอดภัยและประสิทธิภาพของเกลือหินสำหรับกักเก็บกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากกากของเสียหรือสารพิษที่นำไปทิ้งในโรงกักเก็บอาจมีความเป็นกรดสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบที่เกิดจากกรดเพื่อปกป้องโครงสร้างทางวิศวกรรมในชั้นเกลือหิน โดยผลที่ได้จากโครงการวิจัยที่ 5 ระบุว่าเมื่อทำการทดสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากกรด พบว่าส่วนผสมของเคลือบที่มี ZrO_2 ในปริมาณร้อยละ 13 โดยน้ำหนักจะมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนจากกรดได้ดีที่สุดซึ่งเหมาะสมสำหรับทำกระเบื้องเซรามิกชนิดทนกรดเพื่อปกป้องโครงสร้างทางวิศวกรรมในชั้นเกลือหิน (สุขเกษม กังวานตระกูล, 2555)

4.2 การศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต

จากการศึกษาวิจัยในชุดโครงการนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงประเด็นสำคัญอื่นๆ ที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

- เนื่องจากในชุดโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของเกลือหินภายใต้ความเค้นกดเพียงอย่างเดียวแต่ในสถานะของอุโมงค์หรือโพรงกักเก็บที่แท้จริงนั้นยังมีผลกระทบที่เกิดจากความเค้นดึงอยู่ด้วย เช่น บริเวณหลังคาอุโมงค์ ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมที่สภาวะดังกล่าวในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้รวมถึงความเค้นดึงสูงสุด (tensile strength) และการคืบแบบแรงดึง (tensile creep test)
- สภาวะความเค้นรอบอุโมงค์ที่ได้ศึกษาในชุดโครงการนี้เป็นรูปแบบอย่างง่าย คือมีการให้ความเค้นกดในแกนเดียวในขณะที่ความเค้นแท้จริงในภาคสนามมีความซับซ้อนมากดังนั้นควรมีการศึกษาผลกระทบของความเค้นในหลายทิศทางด้วย