

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 เเท่าที่ผลการทดลองปรากฏปริมาณกากกษเรชินสูงสุดที่สามารถผนึกได้ในผลิตภัณฑ์ กากกษผนึกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำคือ 50 เปอร์เซ็นต์ คือให้ค่าความทนทานต่อแรงกด ประมาณ 219 psi (ค่าต่ำสุดที่มีการหกลบค่าความผิดพลาดโดยวิธี student's t) และความทนทาน ต่อการถูกชะล้างในรูปของค่าดัชนีการถูกชะล้างของ Cs-137 และ Co-60 ที่มีค่า 7.2 และ 7.8 ซึ่ง ต่างก็มีค่าเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดทั้งสองค่าคือ 60 psi สำหรับความทนทานต่อแรงกดและ 6.0 สำหรับค่าดัชนีการถูกชะล้างของไอโซโทปทั้งสอง ทั้งนี้ได้รวมไปถึงค่าความทนทานต่อแรงกดภาย หลังจากแช่ด้วยสารละลาย จะเห็นว่าสามารถผนึกกากกษเรชินได้ในปริมาณถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เทียบ กับการผนึกกากกษเรชินด้วยซีเมนต์ซึ่งผนึกเรชินได้เพียง 13 เปอร์เซ็นต์ [35] และถ้าเทียบกับการ ผนึกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ[15] ซึ่งสามารถผนึกกากกษประเภทเรชินได้ใน ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แนนอนที่สุคค่าจากงานวิจัยครั้งนี้ที่เป็นเพียงค่าจากการทดลองบางส่วน ยัง ต้องพิจารณาถึงสมบัติที่สำคัญด้านอื่นๆ เช่น ความคงทนต่อรังสี และความคงทนทางชีวภาพ ถึง อย่างไรก็ตามโพลีเอทิลีนก็ยังมีคุณสมบัติที่ได้เปรียบกว่าซีเมนต์ในเรื่องของการบวมตัว ความเข้ากัน ได้กับกากกษเรชิน ปริมาณกากกษที่สามารถผนึกในระบบ

5.1.2 พิจารณาผลิตภัณฑ์กากกษผนึกประเภทแก้ว ค่าความทนทานต่อแรงกดต่ำสุดมีค่า ประมาณ 524 psi (ค่าต่ำสุดที่มีการหกลบค่าความผิดพลาดโดยวิธี student's t) ค่าดัชนีการถูกชะล้าง ที่ต่ำที่สุดที่ 7.4 และ 10.8 สำหรับ Cs-137 และ Co-60 และคุณสมบัติความทนทานต่อสารเคมีที่ดี มากของผลิตภัณฑ์กากกษผนึกประเภทแก้ว ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดังกล่าวข้างต้นดีที่สุดคือผลิตภัณฑ์ กากกษผนึกประเภทแก้วที่มีปริมาณกากกษ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณกากกษเพิ่มขึ้นผลการทดลองก็ยังมี ค่าดีขึ้น มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานเพิ่มขึ้น ซึ่งเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์กากกษผนึกอาจจะเกิดการเชื่อมโยง กันภายในระบบ แต่ไม่ได้หมายความว่าสามารถผนึกกากกษได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เพียงแต่การ ทดลองยังดำเนินไปไม่ถึงจุดอิ่มตัวของปริมาณกากกษที่เหมาะสม แม้กระนั้นก็ยังมีความสูงค่าค่า มาตรฐานที่กำหนดโดย NRC มาก พบว่าปริมาณกากกษประเภทแก้วสูงสุดที่สามารถผนึกได้ในโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำคือ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสังเกตจากแนวโน้มของผลการทดลองคาดว่าสามารถ ผนึกกากกษแก้วได้ในปริมาณที่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงแต่ยังต้องทำการวิจัยเพื่อทดสอบสมมุติ

ฐานนั้นๆ ต่อไป จากการวิจัย [25] ที่ผ่านมาพบว่าปริมาณแก้วที่สูงที่สุดที่สามารถฉีกไว้ในซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเทียบกับการฉีกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [15] ซึ่งสามารถฉีกกาซแก้วได้ในปริมาณเท่ากันคือ 40 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 ในทำนองเดียวกันกาซประเภทสลัดจ์ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกาซประเภทแก้วคือเมื่อปริมาณกาซเพิ่มขึ้นค่าที่เป็นผลการทดลองก็ยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์กาซฉีกในกรณีที่มีกาซประเภทสลัดจ์ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความทนทานต่อแรงกดต่ำสุดประมาณเท่ากับ 373 psi (ค่าต่ำสุดที่มีการหักลบค่าความผิดพลาดโดยวิธี student's t) ค่าดัชนีการถูกชะล้างที่ต่ำที่สุดที่ 8.9 และ 8.0 สำหรับ Cs-137 และ Co-60

5.1.4 กาซประเภทโซเดียมซิลเฟตเป็นกาซที่ละลายน้ำได้ดี เป็นผลให้สมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์กาซฉีกไม่ดีเท่าที่ควร เช่น ความทนทานต่อการถูกชะล้าง ความทนทานต่อสารเคมีที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เป็นต้น จากผลการทดลองในส่วนดังกล่าวจะเห็นว่าโซเดียมซิลเฟตเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่สามารถฉีกในโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพราะค่าดัชนีการถูกชะล้างของผลิตภัณฑ์ที่มีกาซ 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคือ 6.0 แม้ว่าค่าความทนทานต่อแรงกดที่มีค่าสูงถึงประมาณ 1183 psi (ค่าต่ำสุดที่มีการหักลบค่าความผิดพลาดโดยวิธี student's t) เทียบกับการใช้วัสดุซีเมนต์ในการฉีกกาซโซเดียมซิลเฟตได้ในปริมาณสูงกว่าการใช้โพลีเอทิลีนคือ 25 เปอร์เซ็นต์ [35] ถ้าเทียบกับการฉีกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [15] ซึ่งสามารถฉีกกาซโซเดียมซิลเฟตได้ในปริมาณถึง 70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในการวิจัยที่อ้างถึงผลิตภัณฑ์ฉีกด้วยกระบวนการแบบต่อเนื่องที่ให้ชิ้นงานที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งมีผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลดีกว่าตัวอย่างที่ผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบครั้งในกรณีที่เป็นชิ้นงานเดียวกัน

5.1.5 กาซประเภทกรดบอริกมีสมบัติในการละลายน้ำได้เช่นกันแม้ว่าจะมีค่าต่ำกว่าถ้าเทียบกับโซเดียมซิลเฟต แต่ก็อาจมีผลในส่วนของการทดสอบความทนทานต่อการถูกชะล้าง ผลิตภัณฑ์กาซฉีกประเภทกรดบอริกที่ปริมาณกาซ 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ต่างมีค่าดัชนีการถูกชะล้างเกินกว่ามาตรฐานคือสูงกว่า 6.0 นอกจากนี้ความทนทานต่อแรงกดของผลิตภัณฑ์ทุกปริมาณของกาซ มีค่าสูงกว่า 60 psi มาก ดังนั้น 50 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นปริมาณกาซประเภทกรดบอริกสูงสุดที่สามารถฉีกไว้ในผลิตภัณฑ์ ถ้าพิจารณาผลการทดลองที่มีอยู่ ซึ่งในความเป็นจริงจะต้องพิจารณาในส่วนอื่นควบคู่กันไป เช่น ความคงทนต่อรังสี ความคงทนทางชีวภาพ และความคงทนต่อความร้อน เป็นต้น และถ้าเปรียบกับการใช้ซีเมนต์ฉีกกาซประเภทกรดบอริกพบว่า 15 เปอร์เซ็นต์ คือปริมาณกาซประเภทกรดบอริกสูงสุดที่สามารถฉีกได้ในซีเมนต์ [37] และถ้าเทียบกับการฉีกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [15] ซึ่งสามารถฉีกกาซประเภทกรดบอริกได้ในปริมาณเท่ากันคือ 50 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณที่ได้เป็นการสรุปจากผลการทดลองที่มียังไม่คำนึงไปถึงสมบัติส่วนที่ยังครอบคลุมไม่ถึง เช่น ความคงทนต่อรังสี ความคงทนทางชีวภาพ ความคงทนต่อความร้อน ความสามารถในการบวมตัวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ้ามีการวิจัยสมบัติด้านอื่นประกอบเพิ่มเติม ปริมาณกาซที่ปรากฏอาจเปลี่ยนแปลงได้ ไม่เฉพาะกาซประเภทกรดบอริกเท่านั้นที่ต้องทำการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่น ผลิตภัณฑ์กาซฉีกทุกประเภทก็เช่นกัน งานวิจัยชิ้นนี้ได้ถูกศึกษาไว้เพื่อเป็นแนวทางในการฉีกกาซ

ประเภทต่างๆ ซึ่งแน่นอนจะต้องมีส่วนที่แตกต่างกันเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมกับวัสดุต่างๆกัน เช่น ภาชนะสามารถถูกผนึกโดยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้เหมาะสมกว่าผนึกด้วยวัสดุซีเมนต์ หรือสามารถผนึกกาซโซเดียมซัลเฟตได้ดีในวัสดุประเภทซีเมนต์ เป็นต้น

5.1.6 กากกัมมันตรังสีที่สามารถทำการผนึกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้ดี จะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม ถ้าเป็นไปได้ลักษณะทางกายภาพของกากควรจะมีลักษณะเป็นเส้นใย เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์คอมโพสิตหรือผลิตภัณฑ์ภาชนะผนึกนั้นๆ หรือถ้ามีลักษณะเป็นทรงกลมควรเป็นทรงกลมที่มีขนาดของอนุภาค (particle size) พอเหมาะซึ่งจะขึ้นกับประเภทของโพลีเมอร์ที่ใช้เป็นสารทำให้แข็งตัวด้วย และนอกจากนี้กากขี้เถ้าประเภทที่สามารถทำการผนึกได้ด้วยโพลีเมอร์ คือกากขี้เถ้าประเภทที่สามารถเสริมแรงให้แก่ระบบ

5.1.7 กากขี้เถ้าที่ประกอบด้วยสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก เมื่อนำมาผนึกด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการถูกชะล้างได้ดี ความสามารถในการถูกชะล้างมีความสัมพันธ์กับปริมาณกากขี้เถ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัดส่วนการหลุดรอดของกากกัมมันตรังสีสะสมจากผลิตภัณฑ์ภาชนะผนึกทุกประเภทจะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ

5.1.8 ค่าความทนทานต่อสารเคมี เป็นสมบัติที่ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณกากขี้เถ้าที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว จำเป็นต้องอาศัยการทดลองอีกมากเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่อธิบายกระบวนการหรือปรากฏการณ์ที่อาจเป็นไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองในขั้นต้นของวิทยานิพนธ์นี้ คุณสมบัติทั้งในเชิงกลและเคมีของโพลีเมอร์ แสดงความเป็นไปได้ว่า โพลีเมอร์อาจนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับผนึกภาชนะประเภทต่างๆ แต่ชนิดที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งคือ กากขี้เถ้าประเภทที่ซึ่งไม่สามารถถูกผนึกได้ดีในวัสดุซีเมนต์ ทั้งนี้ข้อสรุปของการนำโพลีเมอร์มาใช้ยังต้องทำการค้นคว้าวิจัยอยู่อีกมาก ดังจะขอเสนอแนะต่อไปนี้

5.2.1 ควรทำการทดลองผนึกภาชนะด้วยระบบต่อเนื่องแทนการผลิตครั้งละ 1 batch เช่นเดียวกับที่ได้ทำการทดลองมา เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวของกากขี้เถ้าและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในผลิตภัณฑ์ภาชนะผนึก

5.2.2 เพื่อเป็นการเพิ่มค่าความแข็งแรงเชิงกลทางหนึ่ง ควรมีการเติมสารค้ำปลิงลงในระบบที่กากขี้เถ้าและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ไม่สามารถเข้ากันได้ดี

5.2.3 ควรมีการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นของผลิตภัณฑ์ เช่น ความคงทนทางชีวภาพ ความทนทานต่อรังสี ความคงทนต่อความร้อน ความแข็งแรงของโพลีเมอร์ หรือการถ่ายภาพโครงสร้างในระดับจุลภาค เพื่อนำไปยืนยันผลการทดสอบที่ผ่านมา

5.2.4 การพัฒนาจากระดับการทดลอง เป็นระดับที่ใช้ได้ในการผนึกกากกัมมันตรังสีในทางปฏิบัติจริง