

การศึกษาเบื้องต้นของการผนึกกากกัมมันตรังสีระดับรังสีต่ำด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Preliminary Study of Low-Level Radioactive Waste Encapsulation by Low Density Polyethylene)

สุพิชชา จันทโรธา¹ และ บุญฉวี ศรีหมอก²

¹ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

²สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ถนนวิภาวดีรังสิต ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร.02-218-6781 โทรสาร 02-218-6780

E-Mail:supitcha.c@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลของการนำโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีดัชนีการไหล 0.3 กรัม ต่อ 10 นาที มาใช้ในการผนึกกากกัมมันตรังสีระดับรังสีต่ำประเภท สลัดจ์ เถ้า เเรซิน โซเดียมซัลเฟต และ กรดบอริก โดยมีสัดส่วนผสมของกาก เท่ากับ 10 %, 30 % และ 50 % โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กากผนึก พบว่า การทดสอบเชิงกลของผลิตภัณฑ์กากผนึกที่มีอัตราส่วนผสมของกาก 50% มีกำลังรับแรงอัดที่จุดคราก ดังนี้ สลัดจ์ 9.459 เมกะปาสกาล เถ้า 10.135 เมกะปาสกาล เเรซิน 2.062 เมกะปาสกาล โซเดียมซัลเฟต 8.515 เมกะปาสกาล และ กรดบอริก 7.067 เมกะปาสกาล ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ทดสอบต่ำสุดที่กำหนดโดย USNRC คือ 0.41 เมกะปาสกาล การทดสอบคุณสมบัติการชะล้างของนิวไคลด์รังสีซีเซียม-137 และโคบอลต์-60 จากผลิตภัณฑ์กากผนึก พบว่า ดัชนีชะล้างของทุกชิ้นงานมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน 6.0 ยกเว้นผลิตภัณฑ์กากผนึกโซเดียมซัลเฟตที่มีส่วนผสมกาก 30 % และ 50 % การทดสอบความทนทานต่อสารเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์กากผนึกประเภทเรซินมีการบวมตัวของชิ้นงานมากกว่าผลิตภัณฑ์กากผนึกประเภทอื่น

Abstract

This research paper describes the results of an investigation on the use of low density Polyethylene, melt flow index 0.3 g/10 min, to encapsulate the low level radioactive wastes, including sludge, ash, resin, sodium sulfate and boric acid. The waste to binder ratio of 10 wt %, 30 wt % and 50 wt % are performed. The testing of waste form performance are conducted. The results show that, for mechanical property testing, specimens containing 50 wt % sludge, ash, resin, sodium sulfate and resin have the yield point of compressive strength of 9.459, 10.135, 2.062, 8.515 and 7.067 MPa, respectively which all are well above the minimum USNRC strength criteria of 0.41 MPa. The Cs-137 and Co-60 leachability testing shows all specimens tested have the leach indices higher than standard value of 6.0 except waste forms

containing 30 wt % and 50 wt % sodium sulfate. For chemical resistance testing, specimens containing more than 10 wt % resin swell significantly more than other type of waste forms.

1. บทนำ

กากกัมมันตรังสี หมายถึง วัสดุที่เกิดจากการใช้หรือหมดไปของต้นกำเนิดรังสีซึ่งอาจอยู่ในรูปของวัสดุกัมมันตรังสีหรือวัสดุที่ประกอบหรือปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสีที่มีค่ากัมมันตภาพต่อปริมาณ หรือกัมมันตภาพรวมสูงกว่าเกณฑ์ที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ และวัสดุนี้อาจไม่ประสงค์จะใช้งานอีกต่อไป ภายภาพเริ่มต้นของกากกัมมันตรังสี มีทั้งของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมของการจัดเก็บหรือจัดหิ้งกากกัมมันตรังสีอย่างถาวร ภายภาพสุดท้ายของกากกัมมันตรังสีที่เหมาะสมจึงควรอยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่สามารถฟุ้งกระจายหรือเคลื่อนตัวออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ กากกัมมันตรังสีในปัจจุบันจึงถูกผนึกให้ติดแน่นอยู่ในสารผนึก(Binder) เช่น กากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีต่ำและปานกลางจะถูกผนึกด้วย ซีเมนต์ บิโทเมน และโพลีเมอร์ เป็นต้น ส่วนกากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีสูงจะถูกผนึกอยู่ในรูปของแก้วโบโรซิลิเกต และ หินสังเคราะห์

กากกัมมันตรังสีในประเทศเป็นกากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีต่ำและปานกลาง โดยมีภายภาพเบื้องต้นในรูปของ ของเหลว และของแข็งที่มีปริมาตรมาก กากเหล่านี้จึงต้องผ่านกระบวนการบำบัดเพื่อลดปริมาตรให้น้อยลง กากของเหลวส่วนใหญ่จะบำบัดโดยวิธีการตกตะกอนซึ่งจะได้กากในรูปของตะกอนหรือที่เรียกว่า สลัดจ์(sludge) กากของแข็งที่เผาได้จะถูกเผาซึ่งจะได้กากในรูปของเถ้า(ash) กากของแข็งที่เผาไม่ได้จะบรรจุลงถังและถูกอัดให้มีปริมาตรลดลงโดยเครื่องอัดไฮดรอลิก มีกากอีกประเภทหนึ่งที่เกิดเป็นของแข็งเปียก(wet solid) คือ กากประเภทเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้แล้ว(spent resin) ซึ่งสามารถบำบัดได้โดยการเผาและหรือผนึกกับซีเมนต์ กากประเภทเรซินจัดเป็นกากในกลุ่มที่มีปัญหาในการผนึกกับซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจาก เรซินจะทำปฏิกิริยาเคมีภายภาพ(Physicochemical interaction)กับซีเมนต์ [1] ยังผลให้ความแข็งแรงทางเชิงกลของผลิตภัณฑ์กากผนึกเลวลง ดังนั้น ในทางปฏิบัติ สด

RECEIVED 10 SEPTEMBER, 2000

ACCEPTED 23 NOVEMBER, 2001

ส่วนผสมของกากเรซินที่หมักในซีเมนต์จึงต่ำกว่ากากประเภทอื่น ปัญหา
นี้ พบเช่นเดียวกับการหมักกากประเภทเกลือโซเดียมและกากบอริกกับ
ซีเมนต์ ปัจจุบัน กากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีต่ำในประเทศ เมื่อ
ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วจะถูกฝังด้วยซีเมนต์ในถังเหล็ก เนื่องจากการ
หมักด้วยซีเมนต์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นวัสดุที่
หาได้ง่าย ข้อเสียของผลิตภัณฑ์กากหมักที่ได้จากซีเมนต์ คือ มีน้ำหนัก
มากและเป็นวัสดุมีรูพรุน(porous material)ที่เชื่อมต่อกันทำให้น้ำสามารถ
ซึมผ่านได้ [2]

โพลีเอทีลีนได้ถูกนำมาศึกษาในระดับห้องทดลองเพื่อเป็นทาง
เลือกหนึ่งในการหมักกากกัมมันตรังสีกลุ่มที่มีปัญหาครั้งแรกโดย Paul D.
Kalb และ Peter Colombo ที่ Brookhaven National Laboratory, Upton,
New York จากการศึกษาพบว่าโพลีเอทีลีนซึ่งเป็นวัสดุโพลีเมอร์อินทรีย์
จะไม่ทำปฏิกิริยากับกากกลุ่มที่มีปัญหา [3] ซึ่งต่อมาได้ขยายงานวิจัยไป
ถึงระดับนำร่อง [4] โพลีเอทีลีนที่ใช้ในการวิจัยเป็นชนิดความหนาแน่น
ต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำกว่าชนิดความหนาแน่นสูง ทำให้
กากไม่ถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน ปลอดภัยจากสารเคมีอันตราย
และก๊าซกัมมันตรังสี และที่สำคัญ ผลิตภัณฑ์กากหมักที่ได้มีน้ำหนักเบา
สะดวกต่อการขนส่งและจัดเก็บเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก
ด้วยซีเมนต์หรือแอสฟัลท์(asphalt) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการ
ศึกษาเบื้องต้นในการหมักกากกัมมันตรังสีระดับความแรงรังสีต่ำใน
ประเทศด้วยโพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อใช้เป็นทางเลือกทาง
หนึ่งในการหมักกากกัมมันตรังสีในประเทศ เนื่องจากโพลีเอทีลีนเป็น
วัสดุที่มีราคาถูก(~ 27 บาท/กิโลกรัม) และหาได้ง่ายในประเทศ การวิจัยนี้
อาศัยข้อมูลจากการวิจัยของ Brookhaven National Laboratory (BNL)
และเกณฑ์ทดสอบผลิตภัณฑ์กากหมักของ U.S Nuclear Regulatory
Commission งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจาก BNL ในส่วนของการ
ทดสอบความทนทานของผลิตภัณฑ์กากหมักต่อสารเคมี และ มีส่วนที่
ต่างกันคือ กระบวนการผลิตยังเป็นแบบครึ่ง(batch production) ซึ่งมีผล
ให้ผลิตภัณฑ์มีความแปรปรวนของข้อมูลมากกว่าของ BNL ซึ่งใช้การ
ผลิตแบบ screw extruder และ มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ใช้
ต่างกัน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และ เครื่องมือทดลอง

2.1 วัสดุและสารเคมี

- เม็ดโพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรด LD2130F ความ
หนาแน่น 0.0921 กรัม/ลบ.ม Melt Flow Rate 0.3 กรัม/ 10 นาที
- สารละลายมาตรฐาน $^{137}\text{CsCl}_2$ ความแรงรังสี 0.1358 ไมโครคูรี/
กรัม ณ วันที่ 29 มี.ค 2539
- สารละลายมาตรฐาน $^{60}\text{CoNO}_3$ ความแรงรังสี 0.1356 ไมโครคูรี/
กรัม ณ วันที่ 10 พ.ค 2539

- โซเดียมซัลเฟตชนิดผง กรดบอริกชนิดผง เรซิน ชนิด IRA120
สารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายแคลเซียมซัลเฟต สาร
ละลายกรดซัลฟิวริก สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต สารละลาย
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ น้ำดีไอออนชนิด กระดาษ ยาง
สังเคราะห์คลอโรพรีน

2.2 อุปกรณ์

- กระบอกพลาสติก กระบอกควมขนาดต่างๆ แท่งแก้วคนสาร
หลอดแก้วทดลอง ลูกมือยาง เครื่องหลอมเม็ดพลาสติก แบบ
ขึ้นรูปชิ้นงาน เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์

2.3 เครื่องมือ

- เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องชนิดเคลื่อนย้ายได้(Portable
Multichannel Analyzer รุ่น 10 Plus) บริษัท แคนเบอร์รา จำกัด
อุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงช บริษัทออร์ทเทค อุปกรณ์ขยาย
สัญญาณ(Pre-Amplifier) บริษัทออร์ทเทค หัววัดรังสีโซเดียมไอ
โอไดซ์ขนาด 5 นิ้ว X 5 นิ้ว บริษัทออร์ทเทค
- เครื่องทดสอบ(Universal Testing Machine) บริษัทฮาวนพิวล์
รุ่น 100R เครื่องอัดไฮดรอลิก เตาอบสารตัวอย่าง เครื่องชั่งสาร

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมกาก

เนื่องจากเหตุผลทางความปลอดภัยทางรังสี ซึ่งอาจมีการเปื้อน
เนื่องสารรังสีบนเครื่องมือปลอดรังสี กากที่ใช้ทดลองจึงถูกเตรียมเป็น 2
ประเภท คือ กากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste) และ กากกัมมันตรังสี
จำลอง (Simulated Radioactive Waste) โดยกากทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมือนกันทุกประการยกเว้นการมีรังสีเท่านั้น กาก
กัมมันตรังสีถูกเตรียมขึ้นเพื่อใช้ทดสอบหาดัชนีชะล้าง(leachability
Index) ส่วนกากกัมมันตรังสีจำลองถูกเตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ
ทางเชิงกล และทางเคมี

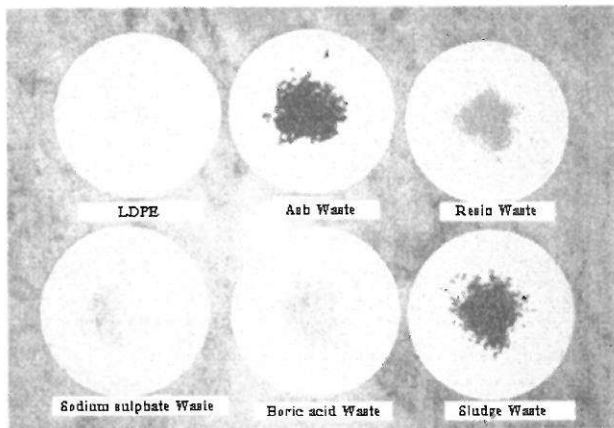
3.1.1 การเตรียมกากกัมมันตรังสีจำลอง

กากกัมมันตรังสีจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- กากประเภทเถ้า(Ash Waste) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผา
องค์ประกอบต่อไปนี้ กระดาษ 50 % ยางสังเคราะห์ 50 % เมื่อ
เผาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เถ้าที่มีความหนาแน่น 0.24305 กรัม/
ลบ.ซม
- กากประเภทเรซินที่ใช้จนแล้ว(Spent Ion-exchange Resin)
ชนิด Dowex IRA 120 มีความหนาแน่น 0.8599 กรัม/ลบ.ซม
- กากประเภทสลัดจ์(Activated Sludge) เป็นตะกอนที่ได้จากการ
ตกตะกอนของน้ำโดยสารส้มของการประปานครหลวง ซึ่งเป็น
กระบวนการบำบัดของเหลวแบบเดียวกันกับกระบวนการบำบัด

กากกัมมันตรังสีของเหลวที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กากตะกอนแห้งมีความหนาแน่น 0.9611 กรัม/ลบ.ซม

- กากประเภทโซเดียมซัลเฟต(Sodium Sulfate Waste) และ กากประเภทกรดบอริก(Boric Acid Waste) เตรียมจากสารโซเดียมซัลเฟตผง และกรดบอริกผง มีความหนาแน่น 1.46 และ 1.44 กรัม/ลบ.ซม ตามลำดับ



รูปที่ 1 ลักษณะกากกัมมันตรังสีจำลองประเภทต่างๆ

3.1.2 การเตรียมกากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานวิจัยทุกประเภทเตรียมขึ้นโดยวิธีเดียวกับกากในหัวข้อที่ 3.1.1 แต่ทำการเติมสารละลายสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน $^{137}\text{CsCl}_2$ และ $^{60}\text{CoNO}_3$ เพิ่มลงไป เพื่อให้ได้กากกัมมันตรังสีตามที่ต้องการ แต่ใช้ภาชนะในการเตรียมเป็นคอนสตรัคท์ที่ใช้เตรียมกากกัมมันตรังสีจำลอง

3.2 การเตรียมแบบเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กาก

- แบบที่ใช้ขึ้นรูปเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดมีลักษณะเป็นแบบรูปทรงกระบอก ทำจากท่อทองแดง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม สูง 30 มม
- แบบทดสอบทางเคมีมีลักษณะเป็นแบบแบนเรียบ ทำด้วยแผ่นเหล็ก หนา 2 มม. ที่เจาะตรงกลางแผ่นเหล็กเพื่อใส่กากผสมที่จะพ่น
- แบบทดสอบการชะล้าง เนื่องจากแบบมาตรฐานที่ใช้ทดสอบการชะล้างสารรังสี ระบุนว่า ถ้าใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นแท่งทรงกระบอกจะต้องมีอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 5 เท่านั้น ดังนั้นแบบที่ใช้ขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อการทดสอบการชะล้างจึงสามารถใช้แบบที่มีขนาดเช่นเดียวกับแบบทดสอบกำลังรับแรงอัดได้

3.3 การเตรียมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กาก(Waste Form Preparation)

3.1 อุณหภูมิ และ เวลา ที่เหมาะสมในการพ่น และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กาก

งานวิจัยนี้ใช้การเตรียมชิ้นงานแบบครั้ง (Batch Production) และมีจำนวน 3-4 ชิ้นในแต่ละตัวอย่าง กากประเภทต่างๆ ที่ได้จากข้อ 3.1.1 ถูกนำมาผสมให้เข้ากันกับเม็ดโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ในสัดส่วน 10 %, 30 % และ 50 % โดยน้ำหนัก เทใส่ลงในแบบที่เตรียมในข้อ 3.2 จากนั้นนำไปทดลองหาภาวะที่เหมาะสมของ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนก่อนทำการขึ้นรูปจริง และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยมีเครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นเครื่องมือที่ให้ความร้อนและความดันแก่ชิ้นตัวอย่างที่เตรียม ผลจากการทดลองพบว่า ชิ้นงานทรงกระบอกสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด มีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการพ่นกาก คือ 180 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนก่อนขึ้นรูปจริง 30-40 นาที ซึ่งขึ้นกับประเภทและสัดส่วนผสมของกาก ส่วนเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 20 นาที ยกเว้น กากประเภทโซเดียมที่ใช้เวลาในการขึ้นรูป 15 นาที สำหรับชิ้นงานเพื่อทดสอบความทนทานต่อสารเคมีซึ่งมีขนาดของชิ้นงานหนา 2 มม. พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการพ่นกาก คือ 130 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนก่อนขึ้นรูปจริง 10 นาที ส่วนเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 25-30 นาที ขึ้นกับประเภทและอัตราส่วนผสมของกาก

สำหรับการพ่นและขึ้นรูปชิ้นงานของกากกัมมันตรังสีทุกประเภทในข้อ 3.1.2 จะเตรียมในภาชนะแยกส่วนต่างหากแล้วจึงเทลงแบบ โดยใช้ภาชนะเดียวกับที่ใช้ในการพ่นและขึ้นรูปของชิ้นงานเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.4 การทดสอบคุณสมบัติ

3.4.1 กำลังรับแรงอัด(Compressive Strength)

นำชิ้นผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีจำลองรูปทรงกระบอกที่เตรียมจากข้อ 3.3 จำนวน 4 ชิ้นต่อตัวอย่าง มาทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ที่อัตราการกดคงที่และภายใต้สภาวะการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดที่กำหนดโดย American Society for Testing and Materials Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics (ASTM D-695M)[5]

3.4.2 ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)

นำชิ้นผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีจำลองที่เตรียมจากข้อ 3.3 ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกเรียบหนา 2 มม มาตัดให้เป็นรูปแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 16 มม วัสดุน้ำหนักและปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นก่อนนำไปแช่ในตัวทำละลาย 5 ชนิด ที่อาจพบได้ได้ผิวดิน[6,7] คือ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายแคลเซียมซัลเฟต สารละลายกรดซัลฟิวริก สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทั้ง 5 ชนิด มีความเข้มข้นเท่ากัน คือ 10

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการแช่นาน 1 สัปดาห์ ตามมาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อสารเคมี ASTM D-543 [8]

3.4.3 ความทนทานต่อการถูกชะล้าง (Leaching Resistance)

นำชิ้นผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีจริงที่เตรียมจากข้อ 3.3 ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ไปแช่ในน้ำดีไอออนซ์ ตามระยะเวลาที่กำหนดในมาตรฐาน ANSI/ANSI 16.1 [9] ซึ่งกำหนดไว้ว่า ต้องทำการเปลี่ยนน้ำที่แช่ขึ้นตัวอย่างทุกครั้งเมื่อถึงเวลาที่กำหนด 10 ชั่วโมง ดังนี้ 2, 5, 7, 24, 24, 24, 24, 336, 672 และ 1032 ชั่วโมง แต่ละครั้งต้องทำการวัดและ คำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในน้ำทุกครั้ง คำนวณหาค่าอัตราการชะล้าง และ คำนวณค่าของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสี

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบพบว่าโพลีโอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะมีการเปลี่ยนรูป(deform)อย่างต่อเนื่องและไม่ปรากฏจุดแตกหักอย่างชัดเจนแต่จะมีลักษณะแบนลงเมื่อได้รับแรงกด ดังนั้น ในการวิเคราะห์ผลจึงใช้ค่าความทนทานสูงสุดที่จุดคราก (yield point) ของความเค้น (strength) และความเครียด(strain) ที่ขึ้นตัวอย่างสามารถทนได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง การทดสอบกำลังรับแรงอัดเป็นการทดสอบถึงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีและความสามารถทนต่อแรงกดอันเนื่องมาจากการรื้อถอนของบรรจุภัณฑ์และแรงกดจากวัสดุฝังกลบในที่ฝังกาก

เนื่องจากยังไม่มีค่ามาตรฐานกำลังรับแรงอัดสำหรับกากกัมมันตรังสีด้วยโพลีโอทีลีน แต่มีเกณฑ์ทดสอบต่ำสุดของกากกัมมันตรังสีทั่วไปที่มีความแข็งแรงระดับต่ำ ที่กำหนดโดย United State Nuclear Regulatory Commission, USNRC[10] ไว้ดังนี้ ผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีต้องทนต่อแรงอัดได้อย่างน้อย 0.41 เมกะปาสกาล (60 ปอนด์ ต่อ ตร.นิ้ว) ซึ่งค่าแรงอัด 0.41 เมกะปาสกาล นี้เป็นค่าที่คำนวณได้จากแรงกดของวัสดุฝังกลบเหนือภาชนะบรรจุกากและแรงกดทับของบรรจุภัณฑ์ที่วางซ้อนกัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นว่า กำลังรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีทุกประเภท มีค่าต่ำสุดสูงกว่า 0.41 เมกะปาสกาล ทั้งสิ้น และ พบว่ากำลังรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีทุกประเภท (ยกเว้นกากประเภทเรซิน)มีแนวโน้มส่วนใหญ่สูงขึ้นลงตามสัดส่วนผสมของกาก แสดงว่า การเพิ่มปริมาณกากในโพลีโอทีลีนเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสี นอกจากนี้ กากประเภทแก้วและสไลซ์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเสริมแรงให้กับโพลีโอทีลีน [11,12] ดังนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณกากในระบบจึงมีแนวโน้มในทางที่ดีต่อระบบ ส่วนผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีประเภทเรซิน มีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดลดลงตามปริมาณกากที่ผสมนั้น เนื่องจาก ตัวกากเรซินมีผิวสัมผัสที่กลมลื่นจึงไม่มีการยึดระหว่างผิวสัมผัสซึ่งผลทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างวัสดุทั้งสองเมื่อทำการผสม สมบัติเชิงกลของระบบจึงลดลง สำหรับกากประเภทกรวดบอริกและโซเดียมซัลเฟต แม้ว่าไม่มีประวัติการนำมาใช้

เป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงเช่นเดียวกับกากประเภทแก้วและสไลซ์ แต่จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากทั้งสองประเภทในระบบจะทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีได้มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

เนื่องจากโพลีโอทีลีนมีคุณสมบัติในการคืนตัวได้ดี ดังนั้น เมื่อปล่อยแรงที่กดลงบนผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสี ผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีสามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ภายในประมาณ 1 ชั่วโมง เปอร์เซนต์ความเครียดที่จุดครากของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 3-6 % และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนผสมของกากมากขึ้น ยกเว้น กากประเภทเรซินและ แก้ว

ตารางที่ 1 ความทนทานสูงสุดที่จุดครากของความเค้น และความเครียดของผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีประเภทต่าง ๆ

ประเภทกาก		Yield Strength, MPa	Yield Strain %
เรซิน	10%	7.405 ± 2.172	8.55 ± 2.9
	30%	2.972 ± 0.599	5.93 ± 0.4
	50%	2.062 ± 0.552	6.97 ± 0.8
แก้ว	10%	5.046 ± 1.503	4.27 ± 1.0
	30%	5.936 ± 1.034	4.22 ± 0.8
	50%	10.135 ± 0.683	3.71 ± 0.5
สไลซ์	10%	3.758 ± 1.151	4.52 ± 1.2
	30%	3.137 ± 0.199	4.61 ± 1.1
	50%	9.459 ± 2.641	4.92 ± 1.5
ซัลเฟต	10%	7.577 ± 0.296	5.35 ± 0.9
	30%	8.287 ± 0.689	5.31 ± 0.2
	50%	8.515 ± 0.496	4.92 ± 0.3
บอริก	10%	5.757 ± 0.241	3.92 ± 0.3
	30%	7.632 ± 0.248	3.66 ± 0.3
	50%	7.067 ± 0.641	4.51 ± 0.5
Blank		7.149 ± 0.4289	6.98 ± 0.8

4.2 ผลการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี

โดยทั่วไปกากกัมมันตรังสีระดับความแข็งแรงระดับต่ำจะถูกฝังกลบในหลุมฝัง จึงมีโอกาสที่น้ำจะซึมผ่านเข้าไปได้ ดังนั้นการทดสอบความทนทานต่อสารเคมีเป็นการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่า ถ้าผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสีถูกแช่ในน้ำทะเลสาบ 5 ชนิด ที่อาจพบได้ได้ผิวเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ในสถานที่ที่ฝังกากจะต้องไม่เกิดการบวมตัวหรือหดตัวมากเกินไปจนกระทั่งมีผลต่อการบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุกากกัมมันตรังสีทำให้เสียรูปทรง ทำให้สารรังสีเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งปัญหานี้พบในการผลิตกากเรซินและโซเดียมซัลเฟตด้วยซิเมนต์ [13-14]

เนื่องจากชิ้นงานที่เตรียมขึ้นเป็นการผลิตแบบครั้งและมีขนาดระดับมิลลิเมตร(จำนวน 3 ชิ้นต่อตัวอย่าง) การกระจายของข้อมูลเนื่องมาจากกระบวนการผลิตและความคลาดเคลื่อนจากการวัดขนาดจึงมี

โอกาสเป็นไปได้สูง ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรชิ้นงานเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ดังนั้นจึงรายงานผลในรูปของช่วง(range)ของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นงานตัวอย่างก่อนและหลังแช่ในตัวทำละลาย โดยค่าบวกหมายถึง การเพิ่มขึ้นของปริมาตรเนื่องจากการบวม ส่วนค่าลบหมายถึง การลดลงของปริมาตรเนื่องจากการหดตัวของผลิตภัณฑ์กากหมัก

ผลจากการทดลองในตารางที่ 2 พบว่า กากหมักประเภทต่างๆ เมื่อผ่านการแช่ในสารละลาย ทั้ง 5 ชนิด เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มเพิ่มตามสัดส่วนผสมของกาก ยกเว้นกากหมักประเภทเรซินที่มีสัดส่วนผสมของกากมากกว่า 10 % จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรมากน้อยสำคัญ(>10%) ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานมีการให้ความร้อนแก่เพื่อหลอมละลายโพลีเอทิลีน ความชื้นในกากเรซินซึ่งเป็นเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วจึงระเหยออกไป ดังนั้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์กากหมักมาแช่ในตัวทำละลาย กากเรซินที่อยู่บริเวณผิวชิ้นงานจึงดูดน้ำทำให้เกิดการบวมของผลิตภัณฑ์กากหมักได้มากกว่าผลิตภัณฑ์กากหมักประเภทอื่น การบวมตัวของเรซินเป็นการสร้างแรงดึง(tensile strength)ขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่เนื่องจากโพลีเอทิลีนเป็นวัสดุที่ดัดหรือโค้งงอได้(ductile)จึงสามารถทนต่อแรงดึงนี้ได้ รูปร่างของชิ้นงานที่มีสัดส่วนผสมของกากสูงขึ้นหลังจากแช่ในตัวทำละลายจึงบิดเบี้ยวไปแต่ไม่แตกหักเหมือนกับวัสดุที่ประเภชไฮดรอลิกซีเมนต์ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ P. Kalb [1,3]

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรผลิตภัณฑ์กากหมักเมื่อแช่ในตัวทำละลาย

ประเภทกาก		เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรในตัวทำละลาย				
		NaCl	Na ₂ CO ₃	CaSO ₄	H ₂ SO ₄	H ₂ O ₂
เรซิน	10%	2.5-4.8	3.3-9.5	4.0-9.5	5.1-6.6	7.1-10.3
	30%	7.57-17.9	9.59-17.6	11.0-15.8	13.4-17.4	9.7-19.4
	50%	6.6-8.8	10.3-11.0	9.5-13.9	11.8-14.0	11.0-18.2
ถ่าน	10%	0.97-2.02	1.13-3.67	2.09-2.69	0.85-3.44	0.67-1.28
	30%	0.92-3.11	1.19-2.64	2.30-3.44	2.11-4.46	1.11-3.99
	50%	1.11-3.37	0.54-3.57	2.66-4.87	3.77-5.45	2.23-3.02
สลัดจ์	10%	1.28-2.48	1.54-1.69	2.55-4.53	1.43-3.95	3.27-5.38
	30%	-0.57-1.28	1.76-2.58	1.83-3.83	1.29-2.39	0.98-1.67
	50%	1.68-2.01	2.14-4.78	2.50-4.84	1.37-3.77	2.08-4.32
ซีลเฟด	10%	2.44-3.75	2.33-3.49	1.73-4.09	1.36-3.09	1.42-4.46
	30%	0.89-2.35	3.46-7.26	6.83-11.56	1.77-3.67	2.94-5.80
	50%	-1.39-2.8	-0.36-1.75	3.11-6.02	2.2-3.95	3.79-5.63
บอริก	10%	0.0-1.02	-0.28-0.35	0.88-0.95	0.94-1.64	1.31-1.56
	30%	0.49-1.83	-0.3-1.82	0.57-3.93	0.37-2.21	0.62-2.14
	50%	-0.08-1.37	0.88-6.53	5.08-8.58	0.23-4.99	0.18-1.09

4.3 ผลการทดสอบความทนทานต่อการถูกชะล้าง

การวัดการชะล้างเป็นการวัดความสามารถของผลิตภัณฑ์กากหมักที่จะหน่วงรั้งการหลุดรอดของสารรังสีออกจากผู้สิ่งแวดล้อม ผลการทดสอบความทนทานต่อการถูกชะล้างแสดง เป็น 3 ค่าของค่าเฉลี่ยดังนี้

1. อัตราการชะล้าง(Leach Rate) เป็น ค่าที่แสดงถึงปริมาณของสารกัมมันตรังสีที่หลุดรอดออกจากผลิตภัณฑ์กากหมักต่อพื้นที่ผิวของชิ้นงานต่อเวลา
2. ดัชนีการชะล้าง (Leach Index) เป็นค่าไร้มิติที่เทียบการชะล้างสารรังสีตามทฤษฎีการเคลื่อนที่ของมวลสาร(mass-transport theory) ค่านี้จะผกผันกับ logarithm ของการแพร่(diffusion) [9] นั่นคือ ถ้าค่าดัชนีการชะล้างมีค่าเพิ่มขึ้นหมายถึงขนาด(magnitude)ของการชะล้างสารรังสีออกจากผลิตภัณฑ์จะน้อยลง (ถ้ามาตรฐาน เท่ากับ 6.0)
3. สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตภาพสะสม(Cumulative Activity Released Fraction) หมายถึง สัดส่วนของปริมาณสารกัมมันตรังสีที่หลุดออกจากผลิตภัณฑ์กากหมักในช่วงเวลาเทียบกับปริมาณสารกัมมันตรังสีเริ่มต้นทั้งหมดที่มีในผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงค่าครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีที่มีในผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาอัตราการชะล้างของผลการทดลองในตารางที่ 3 จะเห็นว่า อัตราการชะล้างของสารรังสีออกจากผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำมาก คืออยู่ในระดับ 10^{-4} ถึง 10^{-5} กรัมต่อตร.ซม ต่อวัน โดยกากประเภทซีลเฟดมีค่าอัตราการชะล้างสูงกว่ากากประเภทอื่น ทั้งนี้เป็นเพราะเกลือ

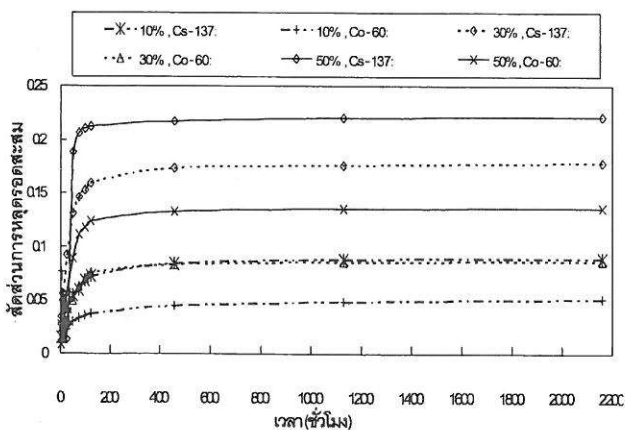
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยอัตราการชะล้าง และ ดัชนีการชะล้างของผลิตภัณฑ์กากหมักประเภทต่างๆ

ประเภท กาก	สัดส่วนการหลุดรอด		อัตราการชะล้าง		ดัชนีการชะล้าง		
	สะสมที่ระยะสุดท้าย		10 ⁻⁴ กรัม.ตร.ซม./วัน)				
	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60	
เรซิน 10%	0.089	0.051	2.03	10.28	8.2	8.7	
	30%	0.178	0.087	17.86	14.56	7.4	8.3
	50%	0.221	0.136	32.71	20.13	7.2	7.8
ถ่าน 10%	0.560	0.009	10.87	1.46	7.4	10.8	
	30%	0.235	0.012	15.76	1.81	8.2	10.1
	50%	0.367	0.021	32.1	1.86	7.7	10.0
สลัดจ์ 10%	0.097	0.265	1.77	43.58	8.9	8.0	
	30%	0.176	0.393	10.12	52.75	8.7	7.8
	50%	0.130	0.291	10.56	23.67	8.6	7.7
ซีลเฟด 10%	0.152	0.101	3.19	18.56	8.0	8.5	
	30%	0.858	0.654	63.1	111.0	5.8	6.1
	50%	0.878	0.676	107	82.8	5.7	6.0
บอริก 10%	0.088	0.022	2.25	5.00	7.8	9.2	
	30%	0.123	0.072	9.33	12.66	7.6	8.1
	50%	0.255	0.108	28.2	11.48	7.0	7.7

ของกากประเภทนี้ละลายน้ำได้ดี สารรังสีที่อยู่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์กากหนักจึงถูกชะออกมาได้มากกว่ากากประเภทอื่นๆ และยังพบว่า อัตราการชะล้างมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์กากหนักมีสัดส่วนผสมของกากสูงขึ้น แสดงว่า การเพิ่มสัดส่วนผสมของกากมีผลให้สารกัมมันตรังสีถูกชะออกมาได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณามูลค่าดัชนีการชะล้างซึ่งเป็นค่าที่มีการใช้พารามิเตอร์ในการคำนวณมากกว่าอัตราการชะล้าง พบว่า ดัชนีการชะล้างของผลิตภัณฑ์กากหนักทุกประเภทมีค่ามากกว่ามาตรฐาน คือ 6.0 ยกเว้นดัชนีการชะล้าง Cs-137 จากผลิตภัณฑ์กากหนักประเภทโซเดียมซัลเฟตที่มีสัดส่วนผสมของกาก 30 % และ 50 % ทั้งนี้เป็นเพราะเกลือของกากประเภทนี้ละลายน้ำได้ดี ไอโซโทปรังสีจึงถูกชะล้างออกมาได้มากกว่ากากหนักประเภทอื่นๆ ดังนั้น ผลจากการทดลองนี้ แสดงว่า กากหนักประเภทโซเดียมซัลเฟต มีข้อจำกัดของสัดส่วนผสมของกากที่ 10 % นอกจากนี้ยังพบว่า แนวโน้มของดัชนีการชะล้างจะลดลงเมื่อส่วนผสมของปริมาณกากเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการชะล้างที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมาย ที่ว่า กากหนักที่มีสัดส่วนผสมของกากสูงจะมีเนื้อของสารหนัก(โพลิเอทิลีน)ที่จะหนักกากน้อยลง สารรังสีจึงมีโอกาสถูกชะออกจากกากหนักได้สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า กากหนักประเภทนี้มีค่าดัชนีการชะล้างสูงสุด(10 สำหรับ Co-60, 50 %)หรือมีอัตราการชะล้างต่ำสุด ดังนั้น การหนักกากประเภทนี้ด้วยโพลิเอทิลีน สามารถใช้ปริมาณสารหนักที่น้อยได้หรือใส่ส่วนผสมของกากในสัดส่วนที่สูงมากกว่า 50 % หรือมากกว่า ทั้งนี้ต้องพิจารณาเกี่ยวกับมาตรฐานอื่นควบคู่กันไป

เมื่อพิจารณาลักษณะการแพร่ของกัมมันตรังสีในรูปของการสะสมที่เวลาต่างๆ หรือ เรียกว่า สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตภาพสะสม ที่ระยะเวลาต่างๆ ในช่วง 3 เดือน พบว่า พฤติกรรมการแพร่ของกัมมันตรังสีของทุกชิ้นผลิตภัณฑ์กากหนักมีลักษณะคล้ายกัน คือ มีการแพร่ของกัมมันตรังสีออกจากชิ้นงานในช่วง 10 วันแรกมากจากนั้นจะลด



รูปที่ 3 สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตรังสีสะสมของผลิตภัณฑ์กากหนักประเภทเรซิน

น้อยลงจนถึงค่าอิ่มตัวที่ค่าหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไป(ดังแสดงในรูปที่3) โดยมีสัดส่วนของการหลุดรอดระยะสุดท้ายอยู่ในช่วง $0.1-10^{-2}$ ปรากฏการณ์เช่นนี้ถือว่าเป็นผลดีต่อการจัดการฝังกากกัมมันตรังสีอย่างถาวร เพราะแสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งการแพร่กระจายของกัมมันตภาพรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อมจะไม่สูงเพิ่มขึ้นอีก

5. บทสรุป

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทางเลือกหนึ่งในการเปลี่ยนสภาพกากกัมมันตรังสีในอยู่ในสถานะที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งกากในประเทศ โดยการใช้โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำหนักกากกัมมันตรังสีประเภทกลุ่มที่มีปัญหาในการจัดการ อันได้แก่ สลัดจ์ เถ้า เรซิน โซเดียมซัลเฟต และ กรดบอริก โดยมีสัดส่วนผสมของกากกับสารหนัก 10 % 30 % และ 50 % โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยทดสอบความทนทานต่อ กำลังรับแรงอัด สารเคมี และการถูกชะล้าง ผลจากการทดลองสามารถสรุปภายใต้เงื่อนไขของการทดลองนี้ได้ดังนี้

ผลิตภัณฑ์กากหนักประเภทเถ้า พบว่า ทุกสัดส่วนผสมของกากสามารถผ่านการทดสอบความทนทานทุกประเภท ผลิตภัณฑ์กากหนักที่มีสัดส่วนผสมของกาก 50 % มีค่าความทนทานกำลังรับแรงอัดได้สูงสุด 10.13 MPa มีดัชนีการชะล้างสูงสุด 7.7 และ 10 สำหรับ Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรหลังจากแช่ในสารละลายในช่วง 1-3 % ดังนั้น การหนักกากประเภทเถ้าด้วยโพลิเอทิลีนจึงสามารถทำได้ในระดับของสัดส่วนผสมของกาก 50 %

ผลิตภัณฑ์กากหนักประเภทเรซิน พบว่า ถึงแม้ว่า ผลิตภัณฑ์กากหนักที่มีสัดส่วนผสมของกาก 50 % สามารถผ่านการทดสอบความทนทานต่อกำลังรับแรงอัด (มีค่าความทนทานกำลังรับแรงอัดได้สูงสุด 2.02 MPa) และ มีดัชนีการชะล้างสูงสุด 7.2 และ 7.8 สำหรับ Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ แต่พบว่า ผลิตภัณฑ์กากหนักที่มีสัดส่วนผสมของกาก 30 % มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร(บวมตัวและเสียรูป)อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น กากประเภทเรซินจึงมีข้อจำกัดที่สัดส่วนผสมของกากกับโพลิเอทิลีนไว้ที่ 10 % เท่านั้น

ผลิตภัณฑ์กากหนักประเภทโซเดียมซัลเฟต พบว่า ทุกสัดส่วนผสมของกากสามารถผ่านการทดสอบความทนทานต่อกำลังรับแรงอัด โดยผลิตภัณฑ์กากหนักที่มีสัดส่วนผสมของกาก 50 % มีค่าความทนทานกำลังรับแรงอัดได้สูงสุด 8.51 MPa มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรหลังจากแช่ในสารละลายในช่วง (-1.39)-5.63 แต่ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนผสมของกากที่ 30 % มีค่าดัชนีการชะล้าง 5.8 และ 6.1 สำหรับ Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้น การหนักกากประเภทโซเดียมซัลเฟตด้วยโพลิเอทิลีนจึงมีข้อจำกัดที่สัดส่วนผสมของกากกับโพลิเอทิลีนไว้ที่ 10 % เท่านั้น

ผลิตภัณฑ์กากพริกประเภทสลัดจ์ พบว่า ทุกสัดส่วนผสมของกากสามารถผ่านการทดสอบความทนทานทุกประเภท ผลิตภัณฑ์กากพริกที่มีสัดส่วนผสมของกาก 50 % มีค่าความทนทานกำลังรับแรงอัดได้สูงสุด 9.459 MPa มีดัชนีการชะล้างสูงสุด 8.6 และ 7.7 สำหรับ Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อแช่ในสารละลายอยู่ในช่วง 1.37-4.32 % ดังนั้น การพริกกากประเภทสลัดจ์ด้วยโพลีเอทีลีนจึงสามารถทำได้ในระดับของสัดส่วนผสมของกาก 50 %

ผลิตภัณฑ์กากพริกประเภทกรบอริก พบว่า ทุกสัดส่วนผสมของกากสามารถผ่านการทดสอบความทนทานทุกประเภท ผลิตภัณฑ์กากพริกที่มีสัดส่วนผสมของกาก 50 % มีค่าความทนทานกำลังรับแรงอัดได้สูงสุด 7.067 MPa มีดัชนีการชะล้างสูงสุด 7.0 และ 7.7 สำหรับ Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อแช่ในสารละลายอยู่ในช่วง (-0.08)-8.58% ดังนั้น การพริกกากประเภทเถ้าด้วยโพลีเอทีลีนจึงสามารถทำได้ในระดับของสัดส่วนผสมของกาก 50 %

จะเห็นว่า ผลทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กากพริกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงขีดจำกัดต่างๆของผลิตภัณฑ์กากพริกนั้นๆ ในการวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบผลิตต่อครั้งจึงมีความไม่สม่ำเสมอของชิ้นงานจึงเสนอแนะว่าควรทำการทดลองพริกกากดังกล่าวด้วยระบบที่ต่อเนื่อง และ เพิ่มการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นของของผลิตภัณฑ์กากพริก เช่น ความทนทานต่อรังสี ความทนทานต่อความร้อน และ ความทนทานทางชีวภาพ รวมทั้งถ่ายสภาพโครงสร้างของกากพริกในระดับจุลภาค และควรทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านการทนทานต่อการรับแรงอัดอีกครั้งของผลิตภัณฑ์กากพริกที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นมาแล้ว ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่า ผลิตภัณฑ์กากพริกสามารถทนทานต่อแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 0.41 เมกะปาสกาล

เอกสารอ้างอิง

1. R.M., Jr. Neilson, P.D. Kalb, M. Fuhrmann and P.Columbo, "Solidification of Ion Exchange Resin Wastes in Hydraulic Cement," The Treatment and Handling of Radioactive Wastes, Springer-Verlag, New York, 1983.
2. G.R. Darnell, "Sulphur Polymer Cement, a New Stabilization Agent for Mixed and Low-Level Radioactive Waste," Proceedings of the First International Symposium on Mixed Waste, Baltimore, Md., August 26-29, 1991
3. P.D. Kalb and Peter Colombo, "Polyethylene Solidification of Low-Level Wastes," BNL-51867, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, October 1984.
4. P. D. Kalb and P.R. Lageraen, "Polyethylene Encapsulation Full-Scale Technology Demonstration, Final Report, BNL-52478. Brookhaven National Laboratory, Upton, NY. October 1994
5. American Society for Testing and Materials Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics (matrix), ASTM D-695M, 1991.
6. H.A. Brownlow, Geochemistry, Pretice-Hall, Inc., Eaglewood Cliffs, New Jersey, 1979.
7. G. H. Bolt and M.G.M Bruggenwert, "Soil Chemistry, A Basic Element", Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1976.
8. American Society for Testing and Materials Standard Test Method for Resistance of Plastics to Chemical Reagents; ASTM B543, 1987
9. American National Standards Institute/American Nuclear Society, American National Standard for Measurment of Leachability of Solidified Low-Level Radioactive Wastes by a Short-Term Test Procedure; ANSI/ANS16.1, 1986.
10. P.D. Kalb, John H. Heiser and Peter Colombo, "Polyethylene Encapsulation of Nitrate Salt Wastes: Waste Form Stability, Process Scale-Up and Economics", BNL-52293, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY, July 1991.
11. R.Gather and H. Muller, Plastic Additive Handbook, 4thed., Hanser Publishers, 1993.
12. W. C. Wake, Filler for Plastics, Cliffs Books, London, 1971.
13. H. Zhou, and P. Colombo, "Solidification of Radioactive Waste in Mesony Cement" Proceeding of the 1984. Fall Convention of the American Concret Institute, NY, 10/28-11/2, 1984.
14. R.M., Jr., Neilson, and P. Colombo, "Solidification of Ion Exchange Resin Wastes, BNL-51615, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY. August 1982.