

บทที่ 4

ผลการทดลอง และ วิจารณ์

คุณสมบัติด้านต่างๆของกากขี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติของระบบที่ถูกผลิตขึ้นดังนั้น เพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติด้านกายภาพและทางเคมี อย่าง ทยายๆของกากขี้แต่ละชนิด กากขี้ประเภทกรดบอริก กากขี้ประเภทโซเดียมซัลเฟต มีลักษณะเป็นผง ละเอียดขนาดต่างๆและสามารถละลายน้ำได้ดี กากขี้ประเภทเรซินเป็นกากขี้ที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับโพลี เอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเนื่องจากเรซินที่ใช้เป็นโพลีเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงแล้วและจะไม่เกิด เพิ่มอีก กากขี้ประเภทเถ้าเป็นส่วนประกอบของโลหะออกไซด์และคาร์บอนที่เกิดการเผาไหม้ไม่ สมบูรณ์ กากขี้ประเภทสลัดจ์เป็นส่วนผสมของสารอินทรีย์หลายชนิดซึ่งไม่สามารถทราบถึงโครงสร้าง ที่แน่นอน ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการทดลองคือการเตรียมชิ้นงานในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆเป็น การเตรียมแบบครั้ง (batch production) ดังนั้นผลการทดสอบต่างๆของผลิตภัณฑ์กากขี้ชนิดที่เตรียม ได้ อาจมีการผิดพลาด เริ่มที่ความหนาแน่นต่อแรงกด ความต้านทานแรงดึง ความหนาแน่นต่อสารเคมี และความหนาแน่นต่อการถูกชะล้างตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอหรือความไม่เป็นเนื้อ เดียวกันของระบบที่ถูกผลิตแบบครั้ง ดังนั้นเมื่อทำการสุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบแม้ในชิ้นงานที่ เตรียมมาในคราวเดียวกัน จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้

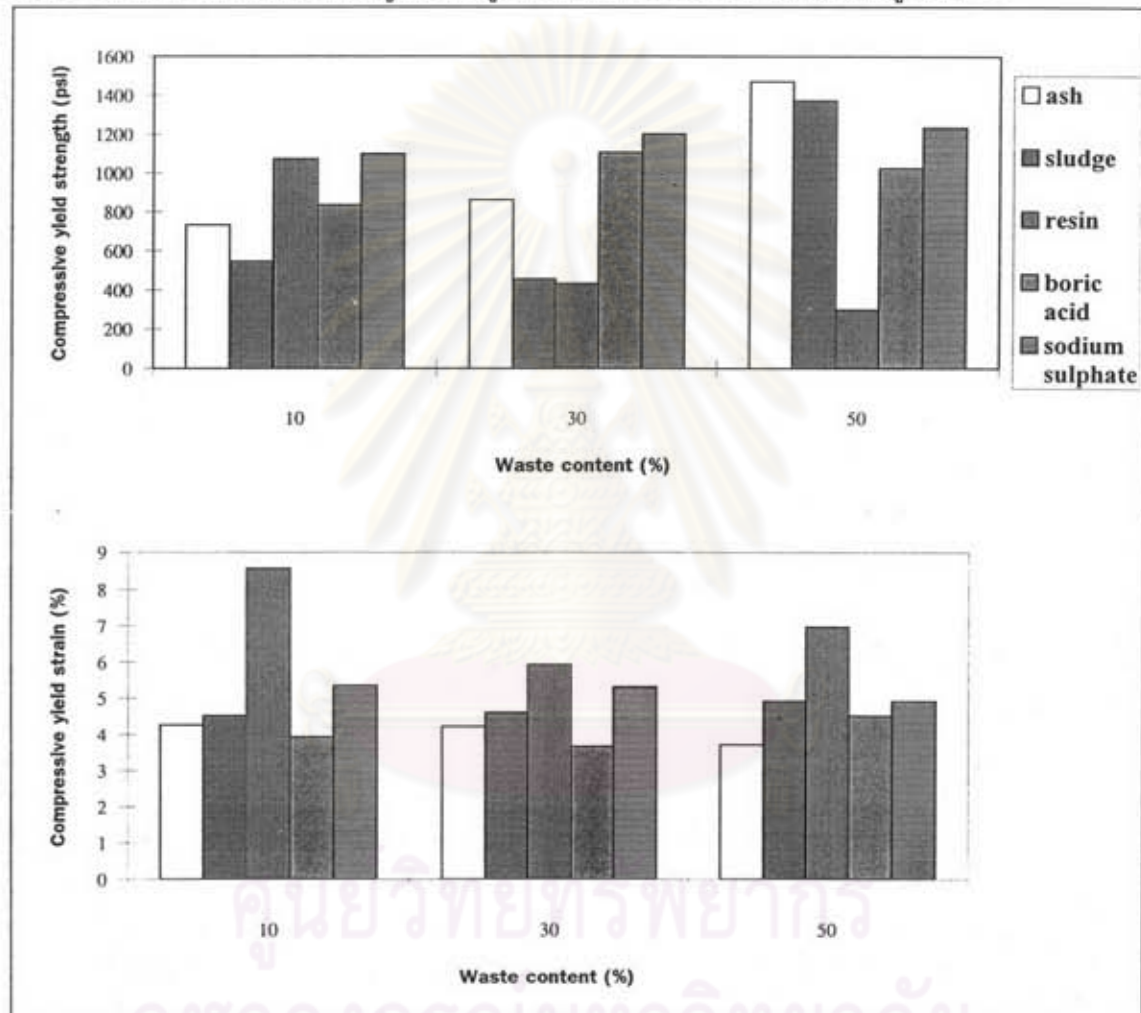
4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นต่อแรงกด

ผลการทดสอบความหนาแน่นต่อแรงกดของผลิตภัณฑ์กากขี้ที่มีปริมาณกากขี้ต่างๆ แสดงในตารางที่ 4-1 ข้อมูลดิบ การคำนวณความหนาแน่นต่อแรงกดที่จุดครากและการคำนวณค่าผิดพลาดด้วยวิธี Student's t distribution สำหรับการทดสอบความหนาแน่นต่อแรงกดจะถูกแสดงในภาค ผนวก

ตารางที่ 4-1 ค่าความหนาแน่นต่อแรงกดที่จุดครากของผลิตภัณฑ์กากขี้ชนิดต่างๆ

Waste content Waste type	10%		30%		50%	
	Yield Strength	Yield Strain	Yield Strength	Yield Strain	Yield Strength	Yield Strain
Incinerator Ash	732 ± 218	4.27 ± 1.0	861 ± 150	4.22 ± 0.8	1470 ± 99	3.71 ± 0.5
Activated Sludge	545 ± 167	4.52 ± 1.2	455 ± 29	4.61 ± 1.1	1372 ± 383	4.92 ± 1.5
Spent Resin	1074 ± 315	8.55 ± 2.9	431 ± 87	5.93 ± 0.4	299 ± 80	6.97 ± 0.8
Boric acid	835 ± 35	3.92 ± 0.3	1107 ± 36	3.66 ± 0.3	1025 ± 94	4.51 ± 0.5
Sodium sulphate	1099 ± 43	5.35 ± 0.9	1202 ± 10	5.31 ± 0.2	1235 ± 72	4.92 ± 0.3

ค่าในตารางที่ 4-1 ที่แสดงไว้เป็นค่าความทนทานสูงสุดที่จุดคราก (yield strength) และความเครียด (yield strain) ของตัวอย่างเป็นค่าที่ตัวอย่างสามารถทนได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (yield point) เนื่องจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะไม่เกิดจุดแตกอย่างชัดเจนแต่จะมีลักษณะแบนลงไปเมื่อได้รับแรงกด ดังนั้นจึงใช้ค่าดังกล่าวในการประมาณค่าความทนทานต่อแรงกด และสามารถนำค่ามาเขียนเป็นกราฟแสดงค่าความทนทานต่อแรงกดและค่าความเครียดที่จุดดังกล่าวกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกากที่ถูกผนึกอยู่ในผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้า ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ผลของปริมาณกากขี้เถ้าชนิดต่างๆต่อค่าความทนทานต่อแรงกดและความเครียด

จากผลการทดลองปรากฏว่า ค่าความทนทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากขี้เถ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะลดลงในกรณีของผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทเรซิน และเพิ่มขึ้นในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทแก้ว ประเภทสลัดจ์ ประเภทกรวดบอริก และ ประเภทโซเดียมซัลเฟต และทุกค่าที่ปรากฏในตารางมีค่าสูงมากพอที่ผ่านมาตรฐานขั้นต่ำที่กำหนดโดย NRC (Nuclear Regulatory Commission) ว่าผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าโดยซีเมนต์จะต้องค่าความทนทานต่อแรงกดอย่างน้อย 60 psi แม้ว่าค่าที่กำหนดใน NRC และค่าในตารางที่ 4-1 มีใช้ค่าเดียวกันทีเดียว

ซึ่งจำเป็นต้องมีการยกเว้นเพราะลักษณะเฉพาะของซีเมนต์และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีความแตกต่างกัน ข้อที่ชัดเจนที่สุดคือวัสดุประเภทซีเมนต์เมื่อถูกแรงกดค่าหนึ่งจะเกิดการแตกหักของชิ้นงานอย่างเห็นได้ชัดแต่กรณีดังกล่าวจะไม่เกิดกับโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จึงได้มีการนำค่าที่จุดก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรมาใช้ในการประมาณว่าผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าโดยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะไม่เปลี่ยนรูปร่างเมื่อได้รับแรงกดเพียง 60 psi และจากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าโดยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะไม่เปลี่ยนรูปร่างจนกระทั่งเมื่อได้รับแรงกดโดยประมาณถึง 219 psi แม้ในผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าที่มีกากขี้เถ้าประเภทเรซิน 50 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ซึ่งหมายความว่าสามารถผนึกกากขี้เถ้าได้ในปริมาณถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้เพียงค่าความทนทานต่อแรงกดเท่านั้นที่เป็นเกณฑ์ เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ สามารถเปรียบกับการผลิตผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทเรซินด้วยวัสดุซีเมนต์ได้อย่างชัดเจนคือปริมาณเรซินที่สามารถผนึกได้ในผลิตภัณฑ์และมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ ในกรณีของซีเมนต์มีค่าเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ และ 13 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเรซินและเรซินผสมตามลำดับ[38] นอกจากนี้การทราบถึงพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าโดยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีชนิดและปริมาณกากขี้เถ้าต่างกันในเรื่องต้น จะใช้เป็นแนวทางในการที่จะทราบว่ากากขี้เถ้าแต่ละชนิดจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องใดบ้าง แม้ว่าจะต้องการการทดสอบอีกหลายประการเพื่อยืนยันว่าการใช้โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นวัสดุทำให้กากขี้เถ้าอยู่กับที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านต่างๆ โดยปกติค่าความทนทานเชิงกลของวัสดุจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการหลักๆ เช่น โครงสร้างของวัสดุ กระบวนการผลิตวัสดุโพลีเมอร์ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสมบัติอื่น เช่น ความเป็นเนื้อเดียวกันของระบบเป็นลำดับถัดไป

เพราะว่ากากขี้เถ้าประเภทเรซินถือได้ว่าเป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งและในทางทฤษฎี การผสมโพลีเมอร์สองชนิดเข้าด้วยกัน คุณสมบัติของระบบที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่างสมบัติของโพลีเมอร์สองชนิดนั้น [17] เนื่องจากเรซินที่ใช้ในการจำลองเป็นกากขี้เถ้าไม่ได้ถูกผลิตขึ้นมาเป็นโพลีเมอร์เชิงกลซึ่งมักจะมีค่าความทนทานต่อแรงกดและค่าความต้านทานแรงดึงสูง ตัวอย่างเช่นโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพราะฉะนั้นถ้าปริมาณโพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลต่ำเพิ่มขึ้นในระบบ จึงมีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลเฉลี่ยของระบบลดลง ทั้งยังมีผิวสัมผัสที่กลมเรียบส้นไม่เกิดการยึดระหว่างผิวสัมผัสของเรซินและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างวัสดุทั้งสอง สมบัติเชิงกลของระบบจึงลดลง ไม่ว่าจะเป็นความทนทานต่อแรงกด ความต้านทานแรงดึง ดังผลการทดลองที่ปรากฏในตารางที่ 4-1 ตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-1

การเพิ่มปริมาณกากขี้เถ้าในระบบเป็นการเพิ่มความไม่ต่อเนื่องในระบบ ส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างกากขี้เถ้าและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (two discrete phase) มีทฤษฎีเกี่ยวกับสารตัวเติมในวัสดุโพลีเมอร์ กล่าวไว้ว่าส่วนที่ไม่ต่อเนื่องของวัสดุตัวเติมในโพลีเมอร์ จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงซึ่งหมายถึงสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์ที่มีการเติมสารตัวเติมมีค่าสูงกว่าโพลีเมอร์ปกติ โดยมีข้อแม้ว่าสารตัวเติมนั้นจะต้องมีสมบัติที่เหมาะสม เช่น ขนาดอนุภาคที่พอเหมาะ (optimum particle size) ชนิดของอนุภาคและคุณสมบัติของพื้นผิวที่ดี (good surface properties) [15] ในทางกลับกันก็จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาดต่ำลงซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป แต่ถ้ามีวัสดุตัว

เติมในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดการเลื่อนไหล (slip out) [16] ของวัสดุที่เติมลงในโพลีเมอร์ เมื่อระบบนั้น ๆ ได้รับแรงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายซึ่งหมายถึงจะมีผลทำให้ระบบมีสมบัติเชิงกลลดลง

กากขประเภทกรบอริก กากขประเภทโซเดียมซัลเฟต กากขประเภทสัลดีจและกากขประเภทเถ้า สำหรับกากขสองประเภทหลังมีผลต่อระบบไปในทางที่ดีคือสามารถกล่าวได้ว่าทำให้เกิดการเสริมแรงในระบบภายหลังการผสมกากขชนิดนั้น ๆ กับโพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากวัสดุทั้งสองประเภทนี้มีคุณสมบัติเสริมแรงให้กับโพลีเมอร์ กล่าวง่าย ๆ คือทำให้คุณสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์มีค่าสูงขึ้นนั่นเอง [15,16,37] ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกากขสองประเภทนี้จึงทำให้ค่าความแข็งแรงเชิงกล เช่นความทนทานต่อแรงกดและความต้านทานแรงดึงดังแสดงในตารางที่ 4-1 ตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-1 สำหรับกากขประเภทกรบอริกและกากขประเภทโซเดียมซัลเฟตแม้ว่าจะเป็นวัสดุที่ไม่มีประวัติการนำมาใช้เป็นสารเสริมแรงเช่นเดียวกับกากขสองประเภทข้างต้น แต่จากทฤษฎีความไม่ต่อเนื่องของสารตัวเติมในโพลีเมอร์ทำให้เชื่อได้ว่า ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของกรบอริกและโซเดียมซัลเฟตที่ถูกผนึกไว้ในระบบ ทำให้สมบัติเชิงกล เช่นความทนทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้นดังปรากฏในตารางที่ 4-3 เป็นการยืนยันในขั้นต้นว่าสามารถผนึกกากขประเภทต่าง ๆ ข้างต้นด้วยโพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำถ้าใช้เพียงมาตรฐานทางด้านคุณสมบัติความทนทานต่อแรงกดอย่างเดียว

4.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์กากขชนิดที่มีปริมาณของกากขในปริมาณต่าง ๆ กัน แสดงในตารางที่ 4-2 สำหรับข้อมูลดิบจากการทดสอบจะถูกรวบรวมอยู่ในภาคผนวกท้ายเล่ม โดยการรายงานผลจะใช้ค่าที่ 2 จุดมารายงานคือค่าที่จุดคราก (yield point) และค่าที่จุดที่มีการแตกหักหรือขาด (fracture) โดยหาค่าความผิดพลาดด้วยวิธี Student's t distribution ซึ่งวิธีการคำนวณจะถูกแสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 4-2 ค่าความต้านทานแรงดึงของผลิตภัณฑ์กากขชนิดต่าง ๆ

Waste content Waste type	Ultimate Tensile Strength (psi) and Elongation at break (%)					
	10%		30%		50%	
	Strength	Extension	Strength	Extension	Strength	Extension
Incinerator Ash	1397 ± 39	27.7 ± 2.9	1493 ± 16	15.8 ± 1.9	1699 ± 33	9.2 ± 0.4
Activated Sludge	1313 ± 63	12.0 ± 2.1	1510 ± 17	48.2 ± 12.7	1391 ± 45	6.85 ± 0.9
Spent Resin	1338 ± 50	2.62 ± 5.6	1115 ± 82	14.5 ± 4.0	822 ± 60	10.5 ± 1.6
Boric acid	1272 ± 60	18.1 ± 2.5	952 ± 37	7.45 ± 1.2	1405 ± 31	36.8 ± 5.5
Sodium sulphate	1461 ± 10	66.3 ± 7.6	1240 ± 29	22.9 ± 9.0	924 ± 37	20.5 ± 2.2

ตารางที่ 4-2 ค่าความต้านทานแรงดึงของผลิตภัณฑ์กักขังชนิดต่างๆ (ต่อ)

Waste content Waste type	Tensile Strength (psi) and Strain (%) at yield					
	10%		30%		50%	
	Strength	Strain	Strength	Strain	Strength	Strain
Ash	1066 ± 40	3.63 ± 0.2	1148 ± 45	2.8 ± 0.32	1373 ± 59	2.46 ± 0.26
Sludge	1031 ± 64	2.79 ± 0.58	1044 ± 88	3.29 ± 0.62	1117 ± 40	2.05 ± 0.29
Resin	924 ± 53	3.57 ± 0.44	830 ± 89	2.7 ± 0.34	718 ± 44	2.47 ± 0.17
Boric acid	1038 ± 58	2.6 ± 0.13	810 ± 40	1.8 ± 0.39	1104 ± 101	3.6 ± 0.87
Sodium sulphate	1161 ± 88	4.15 ± 0.64	752 ± 68	2.18 ± 0.5	604 ± 38	2.04 ± 0.43

การประยุกต์ของค่าความต้านทานแรงดึงจะแตกต่างจากของค่าความทนทานต่อแรงกด เพราะว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดเข้ามาเกี่ยวข้อง และค่าความทนทานต่อแรงกดในตารางที่ 4-1 เป็นค่าที่พิจารณาในช่วงที่วัสดุยังคงมีสมบัติเป็นอีลาสติก ก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานอย่างถาวร ผลการทดลองในตารางที่ 4-2 เป็นค่าของความต้านทานแรงดึงที่จุดครากและจุดขาด แสดงลักษณะเฉพาะที่ต่างไปจากจุดที่ใช้พิจารณาค่าความทนทานต่อแรงกด โดยปกติพฤติกรรมของการตอบสนองต่อแรงดึงและแรงกดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันสามารถแสดงได้โดยกราฟ (stress-strain curve) ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวกในส่วน of ตัวอย่างการคำนวณค่าความทนทานต่อแรงกดและความต้านทานแรงดึง และมีบางค่าที่ผิดไปจากแนวโน้ม ซึ่งเนื่องมาจากข้อผิดพลาดจากกระบวนการผลิตที่ต่างกันและผลจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างชิ้นงาน การวิเคราะห์ผลการทดลองสองส่วนนี้ต่างกันตรงการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาด ซึ่งมีทฤษฎีเรื่องสารตัวเติมและวัสดุเสริมแรงในวัสดุโพลีเมอร์เกี่ยวกับความไม่ต่อเนื่องของวัสดุสองชนิดในระบบที่ได้กล่าวถึงบ้างแล้วข้างต้น การเพิ่มปริมาณกากขังในระบบจะทำให้เปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของระบบลดลงดังจะสังเกตเห็นได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4-2 แต่สำหรับความต้านทานแรงดึงจะขึ้นโดยตรงกับลักษณะของสารตัวเติมหรือกากขัง ถ้าสารตัวเติมมีลักษณะเป็นเส้นใย เช่น ไฟเบอร์ถือได้ว่าเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับเสริมแรงต่างจากสารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นทรงกลม เช่น กากขังประเภท กรดบอริก โซเดียมซัลเฟต และเรซิน นอกจากจะไม่ช่วยเสริมแรงยังทำให้เกิดการแยกชั้นและไม่เข้ากันระหว่างกากขังและโพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำอีกด้วยถ้ามีในปริมาณมากเกินไป การแก้ไขปัญหาการแยกชั้นดังกล่าวคือการเติมสารคัปปลิง (coupling agent) ลงไปซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงเชิงกลมีค่าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองจะเห็นว่ายังมีบางจุดที่เปอร์เซ็นต์การยึดและความต้านทานแรงดึงไม่เป็นไปตามที่ควรจะเป็น เช่น ในระบบที่มีปริมาณกากขังประเภทสไลด์จ์ 30 เปอร์เซ็นต์ และระบบที่มีปริมาณกากขังประเภทกรดบอริก 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากความจำเป็นในส่วนของการผลิต เนื่องจากสาเหตุที่ว่าระบบทั้งสองเป็นระบบท้ายๆในการผลิตและมีปัญหาเรื่องความเหนียวติดเครื่องมือจึงต้องทำการเติมสารหล่อลื่น ในการทดลองใช้ซิลิโคนสเปรย์ซึ่งนอกจากจะมีสมบัติเป็นสารหล่อลื่นแล้วยังมีสมบัติเป็นสารเชื่อมโยงได้ด้วย [6,7,8] ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อความต้านทานแรงดึงและ

ค่าความต้านทานแรงดึงเป็นคุณสมบัติเชิงกลค่าหนึ่งของวัสดุแต่ในงานด้านการจัดการกากกัมมันตรังสีไม่ได้ระบุคุณสมบัตินี้เป็นมาตรฐานสำหรับวัสดุใดๆ โดยเฉพาะวัสดุที่ใช้ในการฉนีกกาก แต่จะใช้ค่าความทนทานต่อแรงกดเป็นมาตรฐาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์กากกษนีกจะต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและทนต่อแรงกดซึ่งจะมีผลต่อบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกากกษ เมื่อมีการฝังกากไว้ภายใต้พื้นดินที่มีผลของความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ที่ได้ทำการศึกษาไว้เพื่อใช้แสดงคุณสมบัติเชิงกลอีกค่าหนึ่งในการเปรียบเทียบกับค่าความทนทานต่อแรงกด นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงลักษณะแนวโน้มของการฉนีกกากกษชนิดต่างๆในโพสิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

4.3 ผลการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี

ผลการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี จะถูกแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา ซึ่งจะแสดงในรูปของปริมาณของชิ้นงานตัวอย่างก่อนและหลังทำการแช่ด้วยตัวทำละลาย จากการทดลองสามารถรวบรวมข้อมูลออกมาแสดงในตารางที่ 4-3 สำหรับข้อมูลดิบจากการทดลองถูกแนบไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 4-3 ก. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์กากกษนีก(%)ที่มีปริมาณกากกษประเภทเรซินต่างๆ เนื่องจากผลจากการแช่ด้วยสารละลาย

สารละลาย (10%)	ปริมาณกากกษ					
	10%		30%		50%	
	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร
NaCl	1.9-3.5	2.5-4.8	-0.7-1.7	7.57-17.9	5.9-9.5	6.6-8.8
Na ₂ CO ₃	0.75-2.6	3.3-9.5	-57-(-.59)	9.59-17.6	8.5-11.1	10.3-11.0
CaSO ₄	-0.37-3.5	4.0-9.5	0.38-2.59	11.0-15.8	9.69-11.13	9.5-13.9
H ₂ SO ₄	-0.37-0.38	5.1-6.6	0.38-1.35	13.4-17.4	10.1-12.9	11.8-14.0
H ₂ O ₂	-3.2-6.5	7.1-10.3	0.98-2.8	9.7-19.4	7.3-9.7	11.0-18.2

ตารางที่ 4-3 ข. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์กากกษนีก(%)ที่มีปริมาณกากกษประเภทแก้วต่างๆ เนื่องจากผลจากการแช่ด้วยสารละลาย

สารละลาย (10%)	ปริมาณกากกษ					
	10%		30%		50%	
	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร
NaCl	1.12-2.66	0.97-2.02	-2.3-(-0.17)	0.92-3.11	1.57-2.19	1.11-3.37
Na ₂ CO ₃	0-1.97	1.13-3.67	-1.7-1.57	1.19-2.64	1.71-2.37	0.54-3.57
CaSO ₄	0.7-3.34	2.09-2.69	-0.88-1.62	2.30-3.44	2.36-2.83	2.66-4.87
H ₂ SO ₄	0-2.17	0.85-3.44	-0.34-2.28	2.11-4.46	0.0-1.27	3.77-5.45
H ₂ O ₂	-0.18-0.55	0.67-1.28	-1.03-1.04	1.11-3.99	0.48-1.09	2.23-3.02

ตารางที่ 4-3 ค. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์กากกษนีก(%)ที่มีปริมาณกากกษประเภทสไลต์ต่างๆ เนื่องจากผลจากการแช่ด้วยสารละลาย

สารละลาย (10%)	ปริมาณกากข					
	10%		30%		50%	
	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร
NaCl	0.50-0.71	1.28-2.48	-0.39-0.81	-0.57-1.28	0.60-1.67	1.68-2.01
Na ₂ CO ₃	0.87-1.43	1.54-1.69	-1.57-1.38	1.76-2.58	-0.15-1.94	2.41-4.78
CaSO ₄	0.69-0.87	2.55-4.53	1.60-2.80	1.83-3.83	0.88-2.06	2.50-4.84
H ₂ SO ₄	0.0-1.17	1.43-3.95	0.40-1.61	1.29-2.39	1.31-2.52	1.37-3.77
H ₂ O ₂	0.0-0.37	3.27-5.38	-0.19-2.66	0.98-1.67	0.74-2.51	2.08-4.32

ตารางที่ 4-3 ง. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์กากข (%) ที่มีปริมาณกากข ประเภทกรดบอริกต่างๆ เนื่องจากผลจากการแช่ด้วยสารละลาย

สารละลาย (10%)	ปริมาณกากข					
	10%		30%		50%	
	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร
NaCl	-1.96-(-0.2)	0.0-1.02	-0.86-13.5	0.49-1.83	-3.9-(-2.5)	-0.08-1.37
Na ₂ CO ₃	-1.4-0.0	-0.28-0.35	-1.52-0.34	-0.3-1.82	-5.2-(-3.3)	0.88-6.53
CaSO ₄	-1.19-(-0.2)	0.88-0.95	-1.34-0.35	0.57-3.93	-4.4-(-2.2)	5.08-8.58
H ₂ SO ₄	0.0-0.61	0.94-1.64	-1.02-0.0	0.37-2.21	-6.0-(-4.5)	0.23-4.99
H ₂ O ₂	-0.4-0.2	1.31-1.56	-1.18-0.0	0.62-2.14	-5.8-(-4.0)	0.18-1.09

ตารางที่ 4-3 จ. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์กากข (%) ที่มีปริมาณกากข ประเภทโซเดียมซัลเฟตต่างๆ เนื่องจากผลจากการแช่ด้วยสารละลาย

สารละลาย (10%)	ปริมาณกากข					
	10%		30%		50%	
	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร	น้ำหนัก	ปริมาตร
NaCl	-1.1--0.3	2.44-3.75	-0.3-1.39	0.89-2.35	0.38-0.76	-1.39-2.8
Na ₂ CO ₃	-1.42-1.96	2.33-3.49	-0.31-1.29	3.46-7.26	0.19-0.76	-0.36-1.75
CaSO ₄	-1.28-1.12	1.73-4.09	1.56-4.33	6.83-11.56	2.27-2.88	3.11-6.02
H ₂ SO ₄	-1.6-(-0.32)	1.36-3.09	-0.63-0.32	1.77-3.67	0.38-0.77	2.2-3.95
H ₂ O ₂	-1.09-0.96	1.42-4.46	0.31-0.47	2.94-5.80	0.39-2.48	3.79-5.63

จากค่าในตารางที่ 4-3 จะพบว่ามีตัวเลขบวกและลบ ซึ่งหมายถึงมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของ น้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์กากข ปริมาตรและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงข้างต้นจะมีความสัมพันธ์กับความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) ของผลิตภัณฑ์กากขซึ่งแปรโดยตรงกับ กระบวนการผลิต ความไม่สม่ำเสมอของชิ้นงานซึ่งมักเกิดกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกเตรียมแบบครั้ง (batch production) การบวมตัว (swelling) ของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์กากขดังเช่นโพลีเอทีลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำซึ่งจะขึ้นกับวิธีการเชื่อมโยงของตัวโพลีเมอร์เป็นหลัก หรือแม้กระทั่งกากขประเภท ต่างๆที่ถูกผนึกไว้ในผลิตภัณฑ์กากข และความสามารถในการละลาย (solubility) ของกากขใน ผลิตภัณฑ์กากขในสารละลายชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลองซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุทุกา แต่ละชนิด โดยเฉพาะจากบริเวณผิวสัมผัสรอบชิ้นงาน

เนื่องจากการเตรียมชิ้นงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบถูกผลิตด้วยกระบวนการผลิตแบบครั้ง ดังนั้นการกระจายของข้อมูลจากการทดสอบจึงมีโอกาสดังเกิดขึ้นได้มากกว่าการผลิตแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อสารเคมีที่ใช้มีขนาดเล็กในระดับมิลลิเมตร ความคลาดเคลื่อนจากการวัดขนาดหรือการชั่งน้ำหนักชิ้นงานเพียงเล็กน้อยซึ่งมีโอกาสดังเกิดขึ้นในการทดลองที่ต้องมีการประมาณค่าขนาดหรือน้ำหนักนั้น จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของตัวเลขในตารางมีค่าผิดพลาดมากขึ้น

ประเด็นหลักที่ผลิตภัณฑ์อากาศยานนี้จำเป็นต้องได้รับการทดสอบความทนทานต่อสารเคมีคือเพื่อต้องการแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์อากาศยานจะไม่เกิดการบวมตัวมากเกินไปจนกระทั่งไปมีผลในทางลบต่อบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อากาศยานนี้เมื่อมีการดูดซับสารละลายต่างๆ ในขณะที่เดียวกันก็ไม่ต้องมีการให้มีการละลายของกากที่ถูกผนึกไว้ภายในผลิตภัณฑ์อากาศยานนี้เป็นผลให้เกิดการรั่วไหลของแก๊สมันดภาพรังสีออกจากระบบสุ่งสิ่งแวดล้อม ดังนั้นค่าที่ควรจะต้องได้รับเมื่อทำการทดสอบคือเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจะต้องมีค่าเป็นบวกและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะต้องไม่มีค่าเป็นบวกมากเกินไป ซึ่งจะต้องสังเกตผลร่วมกับลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนไปของชิ้นงาน ประกอบกับจะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความทนทานต่อแรงกดภายหลังการแช่ด้วยสารละลายด้วย ตามมาตรฐานที่ NRC กำหนดค่าดังกล่าวจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 60 psi ภายหลังจากการแช่ด้วยสารละลาย ซึ่งการผนึกที่ดีควรเอื้อให้มีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวของชิ้นงาน และควรต้องทำการวิจัยต่อไปถ้าต้องการทราบถึงศักยภาพในการใช้โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นในการผนึกอากาศยานใดๆ ทั้งนี้ต้องทำการทดสอบควบคู่กับคุณสมบัติด้านอื่นของผลิตภัณฑ์อากาศยานนี้ เช่น ความทนทานต่อรังสี ความคงทนทางชีวภาพ และพิจารณาประกอบกันไปด้วย

จากผลการทดสอบความทนทานต่อสารเคมี ในรูปของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและน้ำหนัก ภายหลังจากแช่ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ จะพบว่าผลิตภัณฑ์อากาศยานประเภทสลัดจ์และเก้าอี้ ปริมาณต่างๆ จะเกิดการบวมตัวคือมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นอีกข้อหนึ่งที่สามารช่วยยืนยันผลการทดลองในเรื่องของความทนทานต่อแรงกดและความทนทานต่อแรงดึงว่าเกิดการเสริมแรงในทั้งสองระบบ เนื่องจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ สามารถเกิดการเสริมแรงให้ระบบอาจเป็นไปได้ว่าอาจเกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพกับกากประเภทสลัดจ์และกากประเภทเก้าอี้ และไม่เกิดการเสริมแรงให้กับระบบ เนื่องมาจากกากและโพลีเอทิลีนไม่เกิดปฏิกิริยากัน เพียงแต่เป็นการผสมกันเท่านั้น กากเหล่านี้ คือ กากประเภท กรดบอริก เรซิน และโซเดียมซัลเฟต

ผลิตภัณฑ์อากาศยานประเภทเรซินเป็นส่วนที่เห็นได้ชัดเจนว่าระบบเกิดการบวมตัวไม่เกิดการละลายของกากลงในตัวทำละลาย เนื่องจากทั้งโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเรซินในผลิตภัณฑ์อากาศยานนี้ต่างมีสมบัติเป็นโพลีเมอร์ดังนั้นจึงไม่เกิดการละลายเมื่อถูกแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ดังที่พบในตาราง 4-3 ในส่วนของผลิตภัณฑ์อากาศยานประเภทเรซินจะมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มปริมาตรและน้ำหนัก อย่างชัดเจนเทียบกับผลิตภัณฑ์อากาศยานชนิดอื่น

จากผลการทดลองในตาราง 4-3 พบว่าผลิตภัณฑ์อากาศยานประเภทโซเดียมซัลเฟตจะมีค่าแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์อากาศยานประเภทอื่นๆ คือน้ำหนักภายหลังแช่ด้วยสารละลายน้อยกว่าค่าเริ่มต้น (ตัวเลขในตารางมีค่าเป็นลบ) เนื่องจากผลิตภัณฑ์อากาศยานประเภทโซเดียมซัลเฟตเป็นกาก

จากผลการทดลองในตาราง 4-3 พบว่าผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทโซเดียมซัลเฟตจะมีค่าแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทอื่นๆ คือน้ำหนักภายหลังแช่ด้วยสารละลายน้อยกว่าค่าเริ่มต้น (ตัวเลขในตารางมีค่าเป็นลบ) เนื่องจากผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทโซเดียมซัลเฟตเป็นกากที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเมื่อผลิตกากชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าแล้วกากบริเวณที่อยู่รอบๆ แท่งผลิตภัณฑ์เกิดการละลายของโซเดียมซัลเฟตโดยเฉพาะโซเดียมซัลเฟตจากบริเวณพื้นผิวสัมผัส (surface area) ของชิ้นงานลงในสารละลายต่างๆ ซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลายทั้งสิ้น ทั้งนี้เพราะโซเดียมซัลเฟตมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่ากากชนิดอื่นๆ แม้ในอุณหภูมิห้อง ดังจะเห็นได้ชัดจากผลการทดลองในตารางดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อเทียบกับกากประเภทที่สามารถผสมกันได้ดีในระบบเช่นกากประเภทสลัดจ์หรือเถ้า นอกจากนี้ในกรณีของกากประเภทกรดบอริกซึ่งโดยปกติกรดบอริกจะสามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิสูงฉะนั้นเมื่อเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทกรดบอริกและโซเดียมซัลเฟต ผลิตภัณฑ์แรกจะมีส่วนที่ละลายลงในตัวทำละลายน้อยกว่า ถึงแม้ว่าจะมีส่วนประกอบบริเวณพื้นผิวที่ละลายลงในสารละลายแต่การบวมตัวของชิ้นงานที่เป็นผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าทุกประเภทจะเกิดขึ้นในทุกกรณี

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงในค่าต่างๆ โดยเฉพาะน้ำหนักภายหลังการแช่ด้วยตัวทำละลายถ้ามีค่ามากกว่าในตอนแรก ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นในการที่ไม่มีน้ำหนักส่วนใดหลุดออกมาภายหลังจากฝังกากกัมมันตรังสีไว้ใต้ดินซึ่งอาจมีน้ำไหลผ่าน แต่ไม่ควรมีค่ามากจนเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดปัญหาการแตกของบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีขนาดพอดีกับผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าสำหรับการวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเทียบกับปริมาณกากสิ่งที่เป็นจะต้องคำนึงถึงคือ จลนศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง

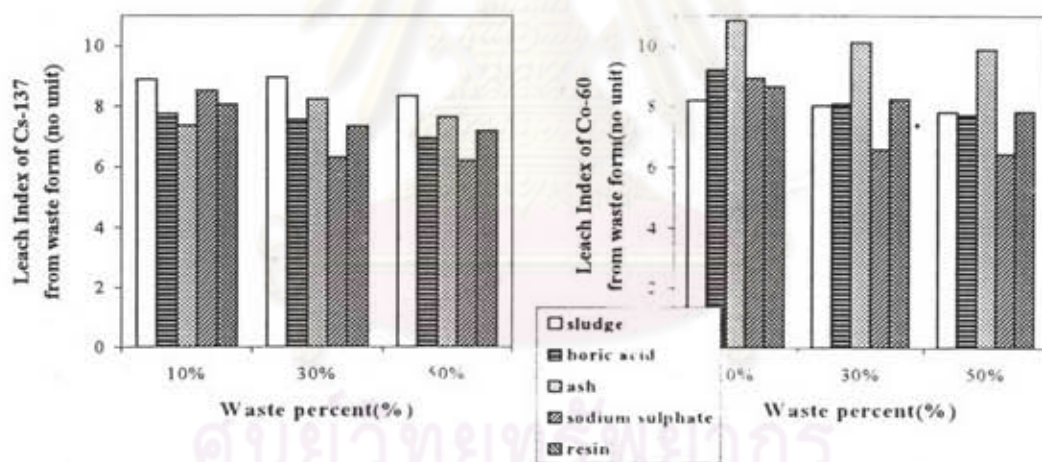
4.4 ผลการทดสอบการถูกชะล้าง

การทดสอบการถูกชะล้าง สามารถแสดงผลในรูปของค่าดัชนีการถูกชะล้าง (Leach Index) ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และ การหลุดรอดของกัมมันตภาพรังสีออกจากผลิตภัณฑ์ (released activity) ที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งจะอธิบายในรูปของกราฟเส้น ดังจะแสดงในรูปที่ 4-3 ถึง 4-7 ค่าดัชนีการถูกชะล้างเป็นค่าเฉลี่ยของการวัดกัมมันตภาพรังสีที่หลุดรอดลงในน้ำจากตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง สุ่มตามมาตรฐาน ANS/ANSI 16.1-1986 การคำนวณจะนำตัวแปรทุกอย่างเข้ามารวมไว้ในสมการแล้วจึงทำการคำนวณ ดังแสดงในรายละเอียดในภาคผนวกท้ายเล่ม ซึ่งตามมาตรฐานที่กำหนดโดย NRC ระบุว่าค่าดัชนีการถูกชะล้างต้องมีค่ามากกว่า 6.0

ตารางที่ 4-4 ค่าดัชนีการถูกชะล้างของผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าชนิดต่างๆ

Waste Content	10%		30%		50%	
	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60
Sludge	8.9	8.0	8.7	7.8	8.6	7.7
Boric acid	7.8	9.2	7.6	8.1	7.0	7.7
Incinerator Ash	7.4	10.8	8.2	10.1	7.7	10.0
Sodium Sulphate	8.0	8.5	5.8	6.1	5.7	6.0
Spent Resin	8.2	8.7	7.4	8.3	7.2	7.8

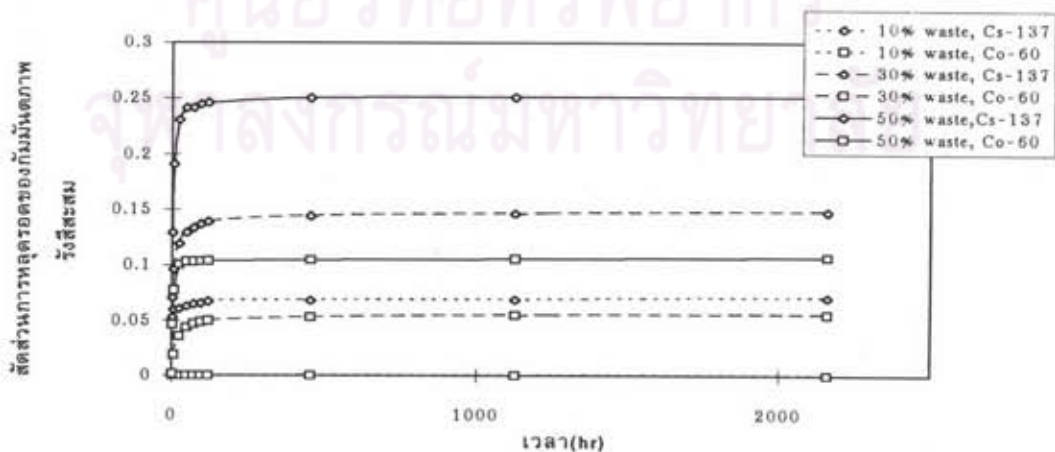
จากตาราง 4-4 พบว่าค่าดัชนีการถูกชะล้างของ Cs-137 และ Co-60 มีค่าสูงกว่ามาตรฐานสำหรับทุกผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทโซเดียมซัลเฟตที่มีกากขี้เถ้า 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกากขี้เถ้าโซเดียมซัลเฟตเป็นกากที่ละลายน้ำได้ดี จึงทำให้ไอโซโทปในกากขี้เถ้าสามารถหลุดรอดลงในน้ำที่ใช้เป็น leachant ได้มากกว่ากากขี้เถ้าประเภทอื่นๆ และพบอีกว่าค่าดัชนีการถูกชะล้างมีค่าลดลงตามปริมาณกากขี้เถ้าที่เพิ่มขึ้นในระบบโดยเทียบจากกากขี้เถ้าชนิดเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 4-2



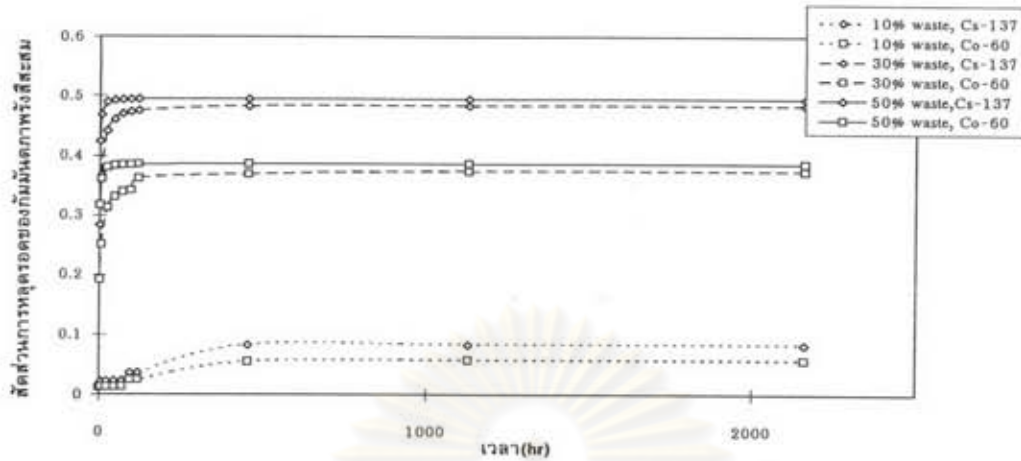
รูปที่ 4-2 แสดงดัชนีการถูกชะล้างของผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าชนิดต่างๆ

ซึ่งอธิบายได้ด้วยหลักการแพร่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารรังสีในผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าสูง ที่นี้หมายถึงผิวสัมผัสของตัวอย่าง (solidified waste formed surface) ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ (leachant) เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่ากระบวนการแพร่จะเกิดเฉพาะบริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาณกากขี้เถ้าในระบบ จะทำให้กากขี้เถ้าที่บริเวณพื้นผิวของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นและมีผลทำให้การแพร่ของกัมมันตรังสีจากกากขี้เถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอีก จากการคำนวณในภาคผนวก จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่ (effective diffusivity) และค่าดัชนีการถูกชะล้าง (leachability index) เป็นปฏิภาคกัน ผลจึงออกมาดังแสดงในตารางที่ 4-4 ว่าการเพิ่มปริมาณกากขี้เถ้าทำให้ค่าดัชนีการถูกชะล้างลดลง

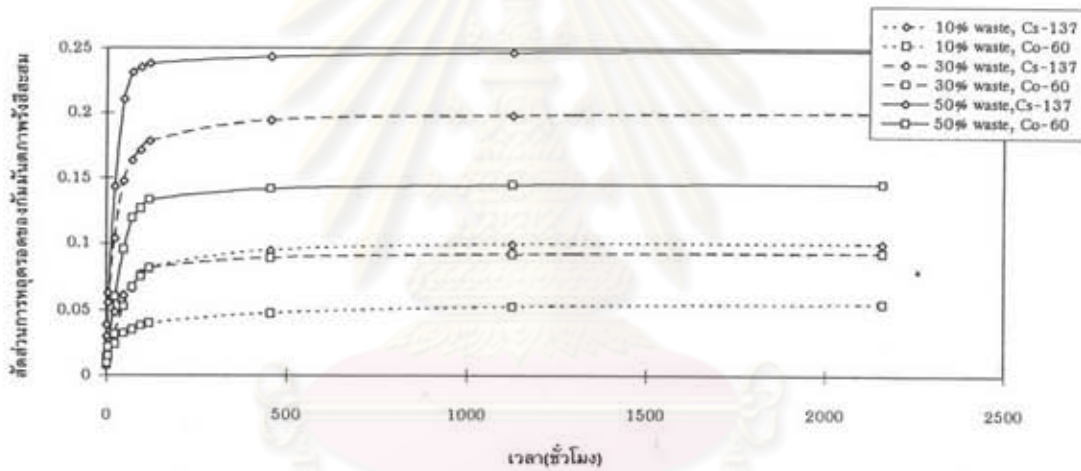
นอกจากนี้ยังพบว่าสำหรับผลิตภัณฑ์กักขังทุกชนิดยกเว้นสลัดจ์ ที่ปริมาณต่างๆ ค่าดัชนีการถูกชะล้างของซีเซียม-137 มีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีการถูกชะล้างของโคบอลต์-60 ซึ่งหมายความว่าซีเซียม-137 สามารถหลุดรอดหรือแพร่ออกมาได้ดีกว่าโคบอลต์-60 ซีเซียมซึ่งเป็นธาตุหมู่หนึ่งในตารางธาตุ เกลือของธาตุหมู่หนึ่งมีความสามารถในการละลายมากกว่าธาตุหมู่อื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคบอลต์-60 เป็นธาตุทรานซิชันซึ่งก็เป็นที่น่าทึ่งกันว่าสารประกอบของธาตุทรานซิชันมักจะมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ เปรียบเทียบกันในกรณีนี้ที่สารกัมมันตรังสีทั้งสองชนิดในกักขังจำลองไม่เกิดปฏิกิริยากับสารใดๆ ในระบบไม่ว่าจะเป็นกักขังจำลองและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ กรณีผลิตภัณฑ์กักขังประเภทสลัดจ์ที่มีการยกเว้นนั้น ค่าดัชนีการถูกชะล้างของซีเซียม-137 มีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีการถูกชะล้างของโคบอลต์-60 ซึ่งสาเหตุนี้สามารถสันนิษฐานได้ว่า สารประกอบของโคบอลต์กัมมันตรังสีอาจเกิดเป็นสารประกอบที่เสถียรขึ้นในระบบจึงไม่ละลายออกมานอกระบบ แต่ไม่สามารถระบุอย่างแน่นอนได้ ผลการทดลองอีกส่วนที่จะกล่าวต่อไป คืออัตราส่วนการหลุดรอดของกัมมันตรังสีสะสม (Cumulative activity released fraction) เทียบกับกัมมันตรังสีเริ่มต้น ที่ระยะเวลาต่างๆ ในช่วง 3 เดือนที่ทำการทดลอง เช่นเดียวกันกับค่าดัชนีการถูกชะล้างก็จะแสดงการคำนวณในรายละเอียดในภาคผนวก แนวโน้มของค่านี้จะไม่เหมือนกับแนวโน้มของค่าดัชนีการถูกชะล้างเพราะว่าไม่ได้นำตัวแปรทุกค่ามาใช้ในการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาวของชิ้นงาน ซึ่งนำมาคำนวณเป็นปริมาตรและพื้นที่ผิวอีกลำดับหนึ่งเช่นเดียวกับการคำนวณดัชนีการถูกชะล้าง ส่วนนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะการแพร่ของกัมมันตรังสีในรูปของการสะสมที่เวลาต่างๆ ซึ่งจะพบว่าพฤติกรรมการแพร่ของกัมมันตภาพรังสีของทุกชิ้นงานมีลักษณะคล้ายกันคือจะมีการแพร่ของกัมมันตภาพรังสีออกมามากในระยะแรกๆของการทดลองและจะมีค่าอิมิตที่ค่าหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไป ปรากฏการณ์เช่นนี้ถือว่าเป็นผลดีต่อการจัดการฝังกักขังอย่างถาวร เพราะถึงแม้เมื่อเวลาผ่านไปก็并不会ทำให้การแพร่กระจายของกัมมันตภาพรังสีออกสู่ภายนอกเพิ่มขึ้นได้อีก ดังในรูปที่ 4-3 รูป 4-4 รูป 4-5 รูป 4-6 และรูป 4-7 ซึ่งแสดงสัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตรังสีสะสมของสารกัมมันตรังสีในกักขังประเภททรอบอริก กักขังประเภทโซเดียมซัลเฟต กักขังประเภทเรซิน กักขังประเภทสลัดจ์ และกักขังประเภทแก้วตามลำดับ



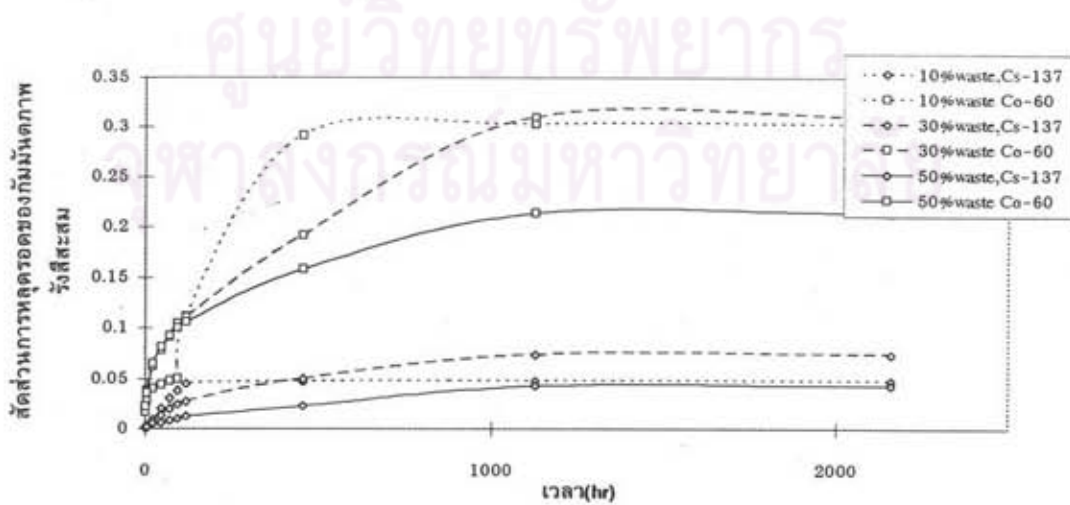
รูปที่ 4-3 สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตรังสีสะสมของ boric acid waste forms



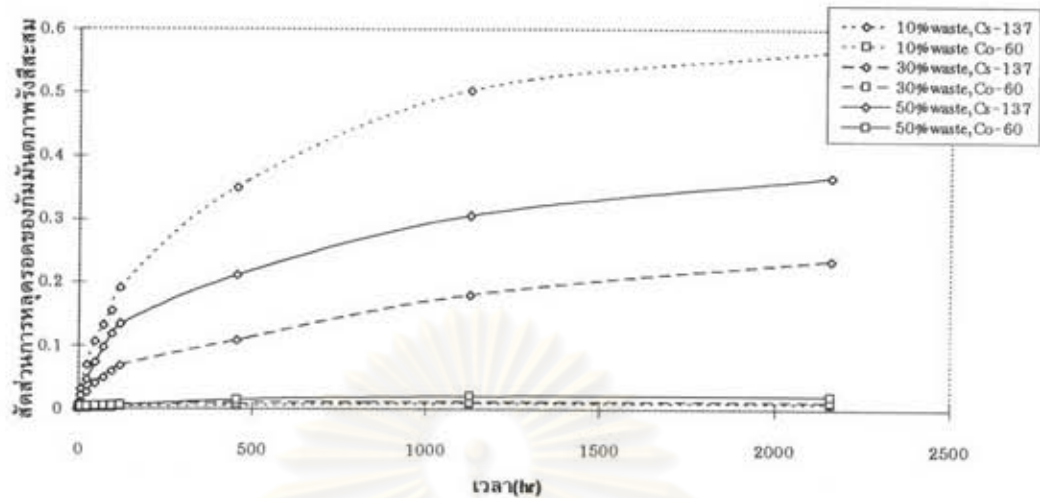
รูปที่ 4-4 สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตภาพรังสีสะสมของ sodium sulphate waste forms



รูปที่ 4-5 สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตภาพรังสีสะสมของ spent resin waste forms



รูปที่ 4-6 สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตภาพรังสีสะสมของ activated sludge waste forms



รูปที่ 4-7 สัดส่วนการหลุดรอดของกัมมันตรังสีสะสมของ incinerator ash waste forms

นอกจากนี้ยังสามารถรายงานผลการทดสอบการถูกชะล้างในรูปของความแรงรังสีรวมเฉลี่ยต่อเวลา (Leach Rate) ดังในตารางที่ 4-5 เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบกับค่าที่งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 4-5 ค่าอัตราการถูกชะล้าง (Leach rate, $10^{-5} \text{ g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$)

Waste Content	10%		30%		50%	
	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60
Sludge	1.77	43.58	10.12	52.75	10.56	23.67
Bone acid	2.25	5.00	9.33	12.66	28.2	11.48
Incinerator Ash	10.87	1.46	15.76	1.811	32.1	1.86
Sodium Sulphate	3.19	18.56	63.1	111.0	107	82.8
Spent Resin	2.03	10.28	17.86	14.56	32.71	20.13

จากตาราง 4-5 พบว่าค่าอัตราการถูกชะล้างสำหรับผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าประเภทต่างๆ มีค่าในระดับ 10^{-5} ถึง 10^{-4} กรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน เปรียบเทียบกับการใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุสำหรับผนึกกากชนิดต่างๆ ซึ่งมีค่าในช่วง 10^{-5} ถึง 10^{-4} กรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน [38] ขึ้นกับชนิดของกากที่ผนึกอยู่ในซีเมนต์ และจากการทดสอบความทนต่อการถูกชะล้าง พบว่าผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าทุกชนิดมีการเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมทั้งสิ้นโดยเฉพาะกากขี้เถ้าที่ขึ้นงานไม่เป็นเนื้อเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงจะเกิดในลักษณะบดอง ซึ่งจะส่งผลทำให้แนวโน้มของการหลุดรอดของสารรังสีจากผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าเกิดอย่างไม่ต่อเนื่อง หรืออัตราการแพร่ไม่คงที่ดังจะพบได้จากค่าจำนวนนับรังสีที่วัดได้ในตัวอย่างน้ำที่ใช้แช่ขี้เถ้า

เกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์กากขี้เถ้าโดยเฉพาะในส่วนที่ใช้ทดสอบความทนทานต่อแรงกด แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปในการทดลองครั้งนี้เป็นแบบที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อทดแทนกระบวนการ

การผลิตซึ่งควรเป็นแบบต่อเนื่อง (continuous process) แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือที่ไม่ครบถ้วน โดยปกติกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องจะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้ากันและความสม่ำเสมอของชิ้นงานได้ดีกว่ากระบวนการผลิตแบบครั้ง (batch production) เป็นเพราะมักมีอุปกรณ์สำหรับควบคุมส่วนผสมต่างๆในระบบต่อเนื่องนั้นๆ นอกจากนี้การเลือกใช้วิธีการผสมและการขึ้นรูปที่มีกระบวนการผลิตแยกจากกันมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดชนิดที่เกิดจากตัวบุคคล (personal error) ได้ง่ายเช่นเดียวกับการเตรียมภาชนะสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงกดในการทดลองครั้งนี้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้ระบบการผลิตแบบต่อเนื่องในการฝึกภาชนะกัมมันตรังสี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย