บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

5.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ เพื่อผลิตตะกั่วแท่งบริสุทธิ์ใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการชะละลายโดยวิธีการสกัดตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรันเป็นดังนี้

5.1.1 สมบัติทางกายภาพ

เมื่อสังเกตกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ด้วยตาเปล่า ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ ผ.2 พบว่า ก้อนของกากตะกรันมีลักษณะเป็นของแข็งที่มีรูพรุนทั่วทั้งก้อน สีเทาดำ มีสีเงินมันวาวเป็นจุดเล็กๆ และที่ผิวบางแห่งบนก้อนของกากตะกรันนี้จะมีสีน้ำตาลแดง สีเงินมันวาวน่าจะเกิดจากโลหะตะกั่ว สีน้ำตาลแดงจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเป็นสนิมเหล็ก ส่วนลักษณะสมบัติทางกายภาพอื่นๆเป็นดังนี้

1) ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

เมื่อนำก้อนของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ มาทดสอบหาค่าความหนาแน่นรวม พบว่า ก้อนของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์มีค่าความหนาแน่นรวมตั้งแต่ 3.61 ถึง 3.70 ตันต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 3.65 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

2) การกระจายขนาดคละ (Size distribution)

เมื่อนำก้อนของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ มาผ่านการบด จะได้กากตะกรันที่มีลักษณะดังรูปที่ ผ.3 เมื่อนำกากตะกรันนี้มาทดสอบเพื่อหาการกระจายขนาดคละ ด้วยชุดตะแกรงร่อน ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM C 136-39 ผลการทดลองพบว่า กากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ที่ผ่านการบดแล้วมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ย(D_{50}) เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายขนาดคละ(Coefficient of Uniformity) เท่ากับ 6.38 และกราฟแสดงการกระจายขนาดคละของกากตะกรันนี้แสดงดังรูปที่ 5.1

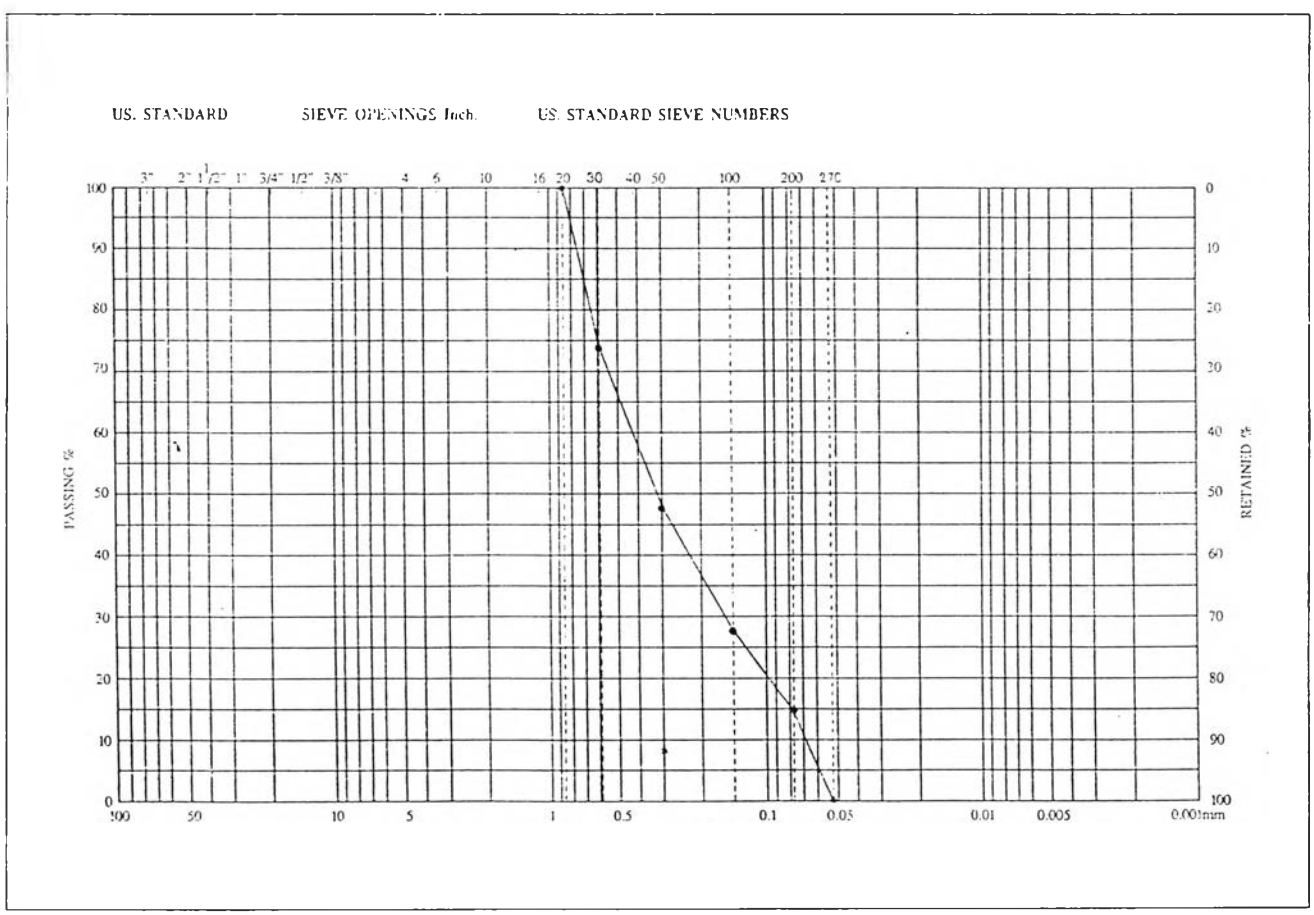
3) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption capacity)

เมื่อนำกากตะกรันที่ผ่านการบดแล้ว ซึ่งมีการกระจายขนาดคละดังผลการทดลองข้างต้นมาทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ(water absorption capacity) โดยใช้วิธีการทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ ASTM C 128-93 ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการดูดซึม

น้ำของกากตะกรันซึ่งมีขนาดอนุภาคดังกล่าว มีค่าประมาณร้อยละ 4.02 โดยน้ำหนักของกากตะกรัน

ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะสมบัติทางกายภาพของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

สมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่นรวม	3.65 ตัน/ลูกบาศก์เมตร
การกระจายขนาดคละ	
- ขนาดเฉลี่ย	0.33 มิลลิเมตร
- สัมประสิทธิ์การกระจายขนาดคละ	6.38
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ	4.02 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการกระจายขนาดคละของกากตะกรันที่ใช้ในการทดลอง

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมี

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรัน ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์เพื่อผลิตตะกั่วแท่งบริสุทธิ์ 2 วิธีคือการหาองค์ประกอบของกากตะกรันโดยใช้เครื่อง Energy Disperssive X-ray Spectrometer ซึ่งเป็นวิธีทางเหมืองแร่ และการหาองค์ประกอบของกากตะกรันโดยการย่อยด้วยกรด(Total digestion) ตามวิธีของ U.S. EPA

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรันนี้ โดยใช้เครื่อง Energy Disperssive X-ray Spectrometer จะอยู่ในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ โดยละเอียด ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 5.2 จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกรันด้วยวิธีนี้พบว่า ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ได้แก่ เหล็ก ซิลิกา และแคลเซียมในปริมาณร้อยละ 30.32, 18.39 และ 16.62 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เหล็ก ซิลิกา และแคลเซียมที่เกิดในกากตะกรันนี้มาจากฟลักซ์(flux) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการถลุงนั่นเอง กากตะกรันนี้มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 8.07 โดยน้ำหนัก ตะกั่วในปริมาณนี้ นับว่าเป็นปริมาณที่ไม่น้อย ถึงแม้ว่าได้มีการแยกบางส่วนของกากตะกรันที่เห็นว่าเป็นโลหะตะกั่วชัดเจนกลับไปเป็นวัตถุดิบ เพื่อป้อนเตาหลอมอีกครั้ง(Recovery) แล้วก็ตาม ธาตุอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ได้แก่ พลวง อลูมิเนียม โมลิปดินัม สังกะสี แบเรียม แมงกานีส โปแทสเซียม และซัลเฟอร์ ส่วน ไททาเนียม ทองแดง อาร์เซนิก และเงิน มีในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นสารที่เป็นองค์ประกอบของผงแร่เซรัสไซต์ทั้งสิ้น

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์*

ลำดับที่	องค์ประกอบ	ปริมาณ(ร้อยละ)	ลำดับที่	องค์ประกอบ	ปริมาณ(ร้อยละ)
1.	เหล็ก (Fe)	30.32	9.	แบเรียม	1.92
2.	ซิลิกา (Si)	18.39	10.	แมงกานีส	1.74
3.	แคลเซียม (Ca)	16.62	11.	โปแทสเซียม	1.65
4.	ตะกั่ว (Pb)	8.07	12.	ซัลเฟอร์	1.02
5.	พลวง	6.07	13.	ไททาเนียม	0.67
6.	อลูมิเนียม	4.52	14.	ทองแดง	0.39
7.	โมลิปดินัม	4.02	15.	อาร์เซนิก	0.37
8.	สังกะสี	3.74	16.	เงิน	0.31
รวม			100		

*วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Energy Disperssive X-ray Spectrometer (ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรัน โดยวิธีการย่อยด้วยกรดเข้มข้น ตามมาตรฐานของ U.S.EPA จะเป็นปริมาณโลหะหนักหลักๆ ที่มีในกากตะกรันนี้ ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 5.3 จากผลการย่อยกากตะกรันนี้ด้วยกรดเข้มข้นตามมาตรฐานดังกล่าวพบว่าโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ในปริมาณสูง มีเพียง 2 ชนิด ได้แก่ เหล็ก และตะกั่ว 272.33 และ 74.67 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน หรือคิดเป็นปริมาณเหล็ก และตะกั่ว ประมาณ 27.2 และ 7.47 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โลหะหนักอันตรายได้แก่ โครเมียม แคดเมียม และปรอท ไม่สามารถตรวจพบได้ ส่วนโลหะหนักอื่นๆ ได้แก่ สังกะสี ทองแดง เงิน และอาร์เซนิก พบในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น

ปัจจุบันในประเทศไทย ยังไม่มีการกำหนดปริมาณของเสียที่ยอมให้ทิ้งได้ในพื้นที่ต่างๆ โดยตรง แต่ในประเทศแถบยุโรปบางประเทศ ได้แก่ เบลเยียม เดนมาร์ก เนเธอร์แลนด์ และนอร์เวย์ ได้ออกกฎหมายในลักษณะนี้แล้ว และกำหนดถึงค่าตะกั่วไว้ว่า ของเสียที่มีปริมาณตะกั่วเป็นองค์ประกอบ จะสามารถทิ้งในพื้นที่เกษตรกรรม แถบที่อยู่อาศัย และพื้นที่อุตสาหกรรมได้ก็ต่อเมื่อ ของเสียมีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.2, 0.2 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อกรัมของของเสีย จากผลการหาองค์ประกอบของกากตะกรันทั้ง 2 วิธีดังกล่าว พบว่า กากตะกรันนี้มีปริมาณตะกั่วสูงเกินค่ามาตรฐานของประเภทพื้นที่ทั้งสาม

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์*

องค์ประกอบของกากตะกรัน	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน)	ปริมาณโลหะหนัก (ร้อยละ) โดยน้ำหนัก
ตะกั่ว (Pb)	74.67	7.47
เหล็ก (Fe)	272.33	27.23
สังกะสี (Zn)	10.33	1.03
ทองแดง (Cu)	1.37	0.14
เงิน (Ag)	0.10	0.01
อาร์เซนิก (As)	0.49	0.05
โครเมียม (Cr)	nd	-
แคดเมียม (Cd)	nd	-
ปรอท (Hg)	nd	-

*วิเคราะห์โดยการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นตามมาตรฐานของ U.S.EPA

nd = not detectable กล่าวคือ ไม่สามารถตรวจวัดได้เมื่อมีปริมาณ โครเมียม < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรอท < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.1.3 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

การนำกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ เพื่อผลิตตะกั่วแท่งบริสุทธิ์ มาผ่านการชะละลาย ตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติทางด้านความเป็นพิษของน้ำสกัดจากกากตะกรัน (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) นำน้ำสกัดที่ได้มาวัดค่าพีเอช และปริมาณโลหะหนักอันตราย ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงดังกล่าว 5 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม ปรอท และอาร์เซนิก ผลการศึกษาเป็นดังตารางที่ 5.4 พบว่า น้ำสกัดมีค่าพีเอชสุดท้ายประมาณ 6.13 จากค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำสกัดประมาณ 5 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกรัน 9.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 (ของเสียที่มีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากของเสียนั้นสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นของเสียอันตราย) โลหะหนักอันตรายอีก 4 ชนิด ได้แก่ โครเมียม แคดเมียม ปรอท และอาร์เซนิก ตรวจไม่พบในน้ำสกัด จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า กากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ จัดเป็นของเสียอันตรายทั้งในด้านลักษณะสมบัติของน้ำสกัดและของเสียเฉพาะประเภทที่ต้องบำบัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมดังกล่าว ซึ่งกำหนดไว้ว่า ของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตตะกั่วปฐมภูมิอันได้แก่ วัสดุที่อยู่ในหรือขุดลอกได้จากส่วนดักผิวหน้า(Surface impoundment) ในหน่วยการหลอม จัดเป็นของเสียอันตราย

ตารางที่ 5.4 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด		เกณฑ์มาตรฐาน**
พีเอช (pH)	6.13	-
ตะกั่ว (Pb; มิลลิกรัมต่อลิตร)	9.07	5.00
โครเมียม (Cr; มิลลิกรัมต่อลิตร)	nd	5.00
แคดเมียม (Cd; มิลลิกรัมต่อลิตร)	nd	1.00
ปรอท (Hg; มิลลิกรัมต่อลิตร)	nd	0.20
อาร์เซนิก (As; มิลลิกรัมต่อลิตร)	nd	5.00
เหล็ก (Fe; มิลลิกรัมต่อลิตร)	23.5	-
สังกะสี (Zn; มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.12	-

*การสกัดตามวิธีมาตรฐานของ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540

**เกณฑ์มาตรฐานปริมาณโลหะหนักตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540

nd = not detectable กล่าวคือ ไม่สามารถตรวจวัดได้เมื่อปริมาณ โครเมียม < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร อาร์เซนิก < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรอท < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.2 การทำเสถียรกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์โดยใช้ปูนขาว

โดยปกติแล้วผลที่ได้จากการทำเสถียรของเสียอันตรายต่างๆ ด้วยปูนขาว มีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายฤทธิ์ของของเสียอันตรายนั้น จากนั้นจึงมักนำของเสียที่ได้จากการทำเสถียรไปผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานอื่นๆอีกครั้งหนึ่ง เพราะก้อนตัวอย่างที่ได้จากการทำเสถียรของเสียอันตรายด้วยปูนขาวมักให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรัน ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์พบว่า กากตะกรันนี้ประกอบด้วยซิลิกาในปริมาณร้อยละ 18.39 โดยน้ำหนัก จึงเป็นที่น่าสงสัยว่าซิลิกาเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลาน(Pozzolan reaction) กับแคลเซียมที่อยู่ในปูนขาว เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นสารที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงได้หรือไม่ ในการทดลองนี้จึงได้มีการทดลองผสมปูนขาวเข้ากับกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ในอัตราส่วนต่างๆ 9 อัตราส่วน ได้แก่ ปริมาณปูนขาวร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ค่าระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม 3 ค่า คือ 7, 14 และ 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้เท่ากับ 0.6 นำก้อนตัวอย่างต่างๆที่ได้มาทดสอบ สมบัติทางกายภาพได้แก่ กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น และการชะละลาย เพื่อหาลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง ได้แก่ พีเอชสุดท้ายของน้ำสกัด และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

5.2.1 สมบัติทางกายภาพ

ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยใช้ปูนขาวมีลักษณะดังรูปที่ ผ.4 เมื่อสังเกตลักษณะก้อนตัวอย่างพบว่า การใช้ปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสมบูรณ์ของก้อนตัวอย่างลดลงกล่าวคือ ผิวของก้อนตัวอย่างจะมีการแตกร้าว และขอบของก้อนตัวอย่างจะมีการหักมากขึ้น เมื่อก้อนตัวอย่างมีปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น

1) กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ด้วยปูนขาวในปริมาณต่างๆ โดยใช้ระยะเวลาในการบ่ม 7, 14และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.2(ก) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1) การใช้ระยะเวลาบ่มคงที่ เมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มจากร้อยละ 0 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรัน

ด้วยปูนขาว จะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปูนขาวในปริมาณที่พอเหมาะ แต่ถ้าใช้ปูนขาวในปริมาณมากกว่าหรือน้อยกว่านั้นแล้ว กำลังรับแรงอัดก็จะมีค่าลดลง ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปริมาณปูนขาวในทุกๆอัตราส่วน ไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมได้ (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 25 พ.ศ.2531 กำหนดไว้ว่าของเสียที่ผ่านการบำบัดกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างต้องมีค่ามากกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุดแล้ว มีค่าเพียง 6.37 ถึง 6.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.2) การใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนขาวในปริมาณเท่ากัน ก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ไม่ได้มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน หรือในบางอัตราส่วนผสมปูนขาว ก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วันยังมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วันอีกด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น จาก 7, 14 และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันด้วยปูนขาวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่า ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ซึ่งเป็นก้อนตัวอย่างที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด ปริมาณแคลเซียมและซิลิกาที่ใช้ ไม่เป็นไปตามปริมาณมวลสารสัมพันธ์ทางเคมีของปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปูนขาวและซิลิกาในกากตะกรัน กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจึงไม่น่าที่จะเกิดขึ้น หรือถ้าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปูนขาวและซิลิกาในกากตะกรัน เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานต่อกันก็คงเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก เพราะเมื่อใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างไม่ได้มีค่าสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ควรเกิดจาก การจับยึดอนุภาคตะกรันไว้ด้วยกันโดยปูนขาวเท่านั้น

2) ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ด้วยปูนขาวในปริมาณต่างๆ โดยใช้ระยะเวลาในการบ่ม 7, 14และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.2(ข) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1) การใช้ระยะเวลาบ่มคงที่ เมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก้อนตัวอย่างที่ได้จะมีความหนาแน่นลดลง โดยมีค่าเริ่มต้นประมาณ 2.6 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และลดลงจนถึง 1.8 ตันต่อลูก

บาศก์เมตร โดยก้อนตัวอย่างที่เกิดจากส่วนผสมปูนขาวทุกอัตราส่วน สามารถให้ความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ได้ (เกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงฉบับดังกล่าว กำหนดว่า ของเสียอันตรายที่ผ่านการทำเสถียร และการทำให้เป็นก้อนต้องมีความหนาแน่นมากกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) การที่แนวโน้มของค่าความหนาแน่นมีลักษณะเช่นนี้ เป็นเพราะกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ เป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปูนขาวเพียงอย่างเดียวมีความหนาแน่นเพียง 1.3 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการใช้ปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น ปริมาณกากตะกรันที่ใช้ในก้อนตัวอย่างจะลดลง จึงมีผลโดยตรงต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างอย่างชัดเจน

2.2) การใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนขาวในปริมาณเท่ากัน พบว่า ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน และการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความหนาแน่นเป็นไปอย่างไม่มีแบบแผนที่ชัดเจน กล่าวคือในบางอัตราส่วนผสมปูนขาว ก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วันมีความหนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน และในบางอัตราส่วนผสมปูนขาว ก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน ก็มีความหนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ มีผลมาจากปริมาณกากตะกรันที่อยู่ในก้อนตัวอย่างนั่นเอง ไม่ใช่เกิดจากการเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาปอซโซลาน เพราะเมื่อใช้ปริมาณปูนขาวคงที่ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างไม่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามการใช้ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น

5.2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

เมื่อนำก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันด้วยปูนขาว ในอัตราส่วนปริมาณปูนขาวร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 7,14 และ 28 วัน มาผ่านการชะละลาย ตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 แล้วนำน้ำสกัดที่ได้มาทดสอบลักษณะสมบัติ 2 ประการ คือ พีเอช และ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1) พีเอช

พีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันโดยใช้ปูนขาวในอัตราส่วน และระยะเวลาบ่มต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.2(ค)

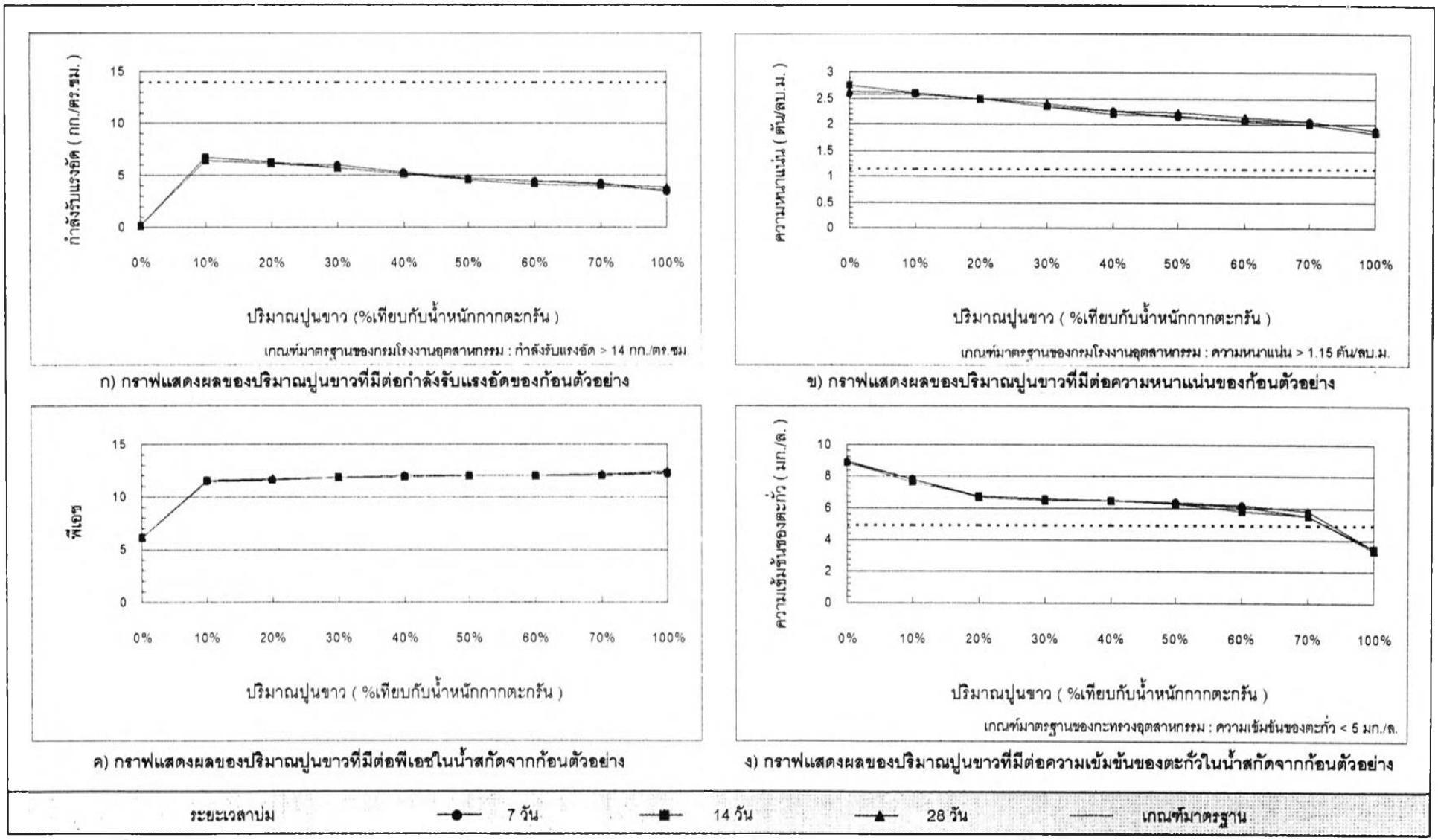
ตารางที่ 5.5 แสดงผลของปริมาณปูนขาวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

ลำดับที่	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			พีเอช			ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)		
ระยะเวลาบ่ม (วัน)		7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28
1.	0	0.09	0.09	0.10	2.56	2.75	2.62	6.13	6.11	6.11	8.87	8.88	8.92
2.	10	6.37	6.66	6.44	2.58	2.60	2.59	11.50	11.51	11.53	7.79	7.63	7.79
3.	20	6.18	6.23	6.18	2.50	2.49	2.49	11.60	11.62	11.65	6.73	6.72	6.68
4.	30	6.01	5.68	5.68	2.35	2.33	2.39	11.90	11.90	11.88	6.55	6.56	6.50
5.	40	5.33	5.13	5.18	2.27	2.19	2.26	11.94	11.92	11.93	6.47	6.46	6.45
6.	50	4.69	4.62	4.78	2.15	2.16	2.22	11.96	11.93	11.96	6.34	6.32	6.30
7.	60	4.44	4.14	4.44	2.09	2.06	2.13	11.97	11.98	11.96	6.15	5.78	6.11
8.	70	4.22	3.99	4.14	2.06	1.99	2.05	12.01	12.02	12.10	5.80	5.56	5.50
9.	100	3.45	3.56	3.81	1.90	1.84	1.88	12.21	12.30	12.40	3.40	3.43	3.36

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 : กำลังรับแรงอัด > 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความหนาแน่น > 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด < 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลของปริมาณปูนขาวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

1.1) การใช้ระยะเวลาบ่มคงที่ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันด้วยปูนขาวร้อยละ 0 ถึง 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน มีค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างต่างๆเหล่านี้อยู่ระหว่าง 6.1 ถึง 12.4 โดยเมื่อใช้ปริมาณปูนขาวในก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นพีเอชของน้ำสกัดนี้จะมีค่าสูงขึ้น ค่าพีเอชที่สูงขึ้นนี้เกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาณมากขึ้น ในก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวเพิ่มขึ้นนั่นเอง

1.2) การใช้ปริมาณปูนขาวในก้อนตัวอย่างคงที่ เมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นพบว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างกันมีค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างไม่แตกต่างกันมากและความแตกต่างไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน กล่าวคือในบางอัตราส่วนผสมปูนขาว น้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีค่าพีเอชสูงกว่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน หรือในบางอัตราส่วนผสมปูนขาว น้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน มีค่าพีเอชสูงกว่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ก็ได้

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า พีเอชที่เพิ่มขึ้นของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง มีผลกระทบโดยตรงมาจากปริมาณปูนขาวที่ใช้ในก้อนตัวอย่างนั่นเอง ไม่น่าจะเกิดจากผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมีใดๆ เพราะระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มไม่มีผลต่อพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง

2) ความเข้มข้นของตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดที่เกิดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันโดยใช้ปูนขาวในอัตราส่วนและระยะเวลาบ่มต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 แสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.2(ง)

2.1) การใช้ระยะเวลาบ่มคงที่ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันด้วยปูนขาวในปริมาณร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดที่เกิดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างเหล่านี้ประมาณ 8.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงจนถึง 3.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามปริมาณปูนขาวที่เพิ่มขึ้น ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันนี้ด้วยปูนขาวในปริมาณร้อยละ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นเพียงก้อนตัวอย่างเดียวที่เมื่อนำไปผ่านการชะละลายแล้วให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดประมาณ 3.36 ถึง 3.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ (เกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 กำหนดว่า ของเสียอันตราย

ที่ผ่านการทำเสถียร และการทำให้เป็นก้อนแข็งต้องมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดน้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.2) การใช้ปริมาณปูนขาวในก้อนตัวอย่างคงที่ เมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นพบว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างกันมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างไม่แตกต่างกันมาก และความแตกต่างดังกล่าวนี้ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน กล่าวคือในบางอัตราส่วนผสมปูนขาว น้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 14 วัน หรือในบางอัตราส่วนผสมปูนขาวก็เป็นไปในทางกลับกัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ปริมาณปูนขาวในก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดที่เกิดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างมีค่าลดลง เพราะการเจือจางปริมาณของเสียโดยปูนขาวนั่นเองไม่ได้เกิดจากกลไกการจับยึดในโครงสร้างระดับอนุภาค หรือเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ เนื่องจากการใช้ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้นไม่ได้มีผลใดๆต่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

5.2.3 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการทำเสถียรโดยใช้ปูนขาวของกากตะกรัน ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ สามารถสรุปได้ว่า การใช้ปริมาณปูนขาวในก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่ปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จากนั้นก้อนตัวอย่างที่ใช้ปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นต่อไปอีกจะให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการใช้ปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ซึ่งเป็นก้อนตัวอย่างที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดนี้ มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรจึงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

การใช้ปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดลง เพราะกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์เป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ดังนั้นปริมาณกากตะกรันในก้อนตัวอย่างจึงมีผลโดยตรงต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง โดยก้อนตัวอย่างทุกก้อนมีความหนาแน่นมากกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่นของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้

ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันโดยใช้ปูนขาว ในปริมาณร้อยละ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นเพียงก้อนตัวอย่างเดียวที่ผ่านการชะละลายแล้วให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดน้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

จากข้อสงสัยว่าซิลิกาในกากตะกรัน สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปูนขาวกลายเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งเป็นสารที่ให้กำลังรับแรงอัดสูง ซึ่งเป็นผลดีต่อการบำบัดของเสียทั้งทางด้านสมบัติทางกายภาพ และลักษณะสมบัติของน้ำสกัด สามารถสรุปได้ว่า กลไกการบำบัดกากตะกรัน ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยวิธีการทำเสถียรด้วยปูนขาว เกิดมาจากการเจือจางของเสียและการทำลายฤทธิ์ของน้ำชะละลายด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยปูนขาว มากกว่าที่จะเกิดมาจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปูนขาวและซิลิกาในกากตะกรัน เพราะการใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายจากก้อนตัวอย่างได้ ถ้าปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างซิลิกาในกากตะกรัน และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปูนขาวเกิดขึ้นจริง การใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะต้องมีค่ามากขึ้นด้วย

สำหรับการบำบัดของเสียอันตรายด้วยวิธีการทำเสถียรนั้น ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 25 พ.ศ.2531 ไม่ได้มีการกำหนดถึงค่ากำลังรับแรงอัด แต่กำหนดไว้ว่าของเสียอันตรายที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (การทดสอบกำลังรับแรงอัดใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 ซึ่งมีลักษณะก้อนตัวอย่างเป็นทรงลูกบาศก์) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ซึ่งเป็นกฎหมายที่บังคับใช้ในปัจจุบัน กำหนดว่าของเสียอันตรายที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทำเสถียร และการทำให้เป็นก้อนจะต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบน เมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบได้อย่างปลอดภัย (การทดสอบกำลังรับแรงอัดใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM D 1633-84 ซึ่งมีลักษณะก้อนตัวอย่างเป็นทรงกระบอก)

สำหรับการทำเสถียรกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยใช้ปูนขาว มีอัตราส่วนปูนขาวร้อยละ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่สามารถให้ก้อนตัวอย่างที่ผ่านการชะละลายแล้ว มีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมตามกฎหมายฉบับปัจจุบันได้ ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้นว่ากฎหมายฉบับปัจจุบันได้มีการกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันด้วยปูนขาวในอัตราส่วนข้างต้นไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ การทำเสถียรด้วยปูนขาวจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการบำบัดกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

5.3 ผลการศึกษาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม ในการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ วัสดุประสานที่ใช้ในการทดลองมี 5 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.5:0.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.3:0.7 นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้วัสดุประสาน 5 ชนิดนี้ ผสมน้ำยากันซึม(Permeability reducer) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างอีกด้วย ปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ร้อยละ 10, 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มก้อนตัวอย่าง 7 วัน

5.3.1 สมบัติทางกายภาพ

ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยวิธีการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีลักษณะดังรูปที่ ผ.5

1) กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.3(ก)

1.1) การใช้ปริมาณวัสดุประสานคงที่ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ พบว่า วัสดุประสานที่ให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุดได้แก่ วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 รองลงมาคือ วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.5:0.5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.3:0.7 ตามลำดับ เมื่อสังเกตลักษณะก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดต่างๆ(ตามรูปที่ ผ.5) พบว่า ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ซึ่งเป็นวัสดุประสานชนิดที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดจะเป็นก้อนตัวอย่างที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด ไม่มีรอยแตกร้าว เหลี่ยมและมุมไม่หัก ที่ผิวเนียนเรียบไม่มีการหลุดร่อนเลย ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว และวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 ให้กำลังรับแรงอัดสูง แต่ลักษณะผิวของก้อนตัวอย่างมีรอยแตกร้าวเล็กน้อย ไม่เนียนเรียบ และมีการหลุดร่อนบ้าง จากลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การผสมปูนขาวในปริมาณที่พอเหมาะจะ

สามารถลดการรบกวนของกากตะกรันต่อการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ได้ แต่ถ้าผสมปูนขาวในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดนั้นมีกำลังรับแรงอัดลดลง

การใช้ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดต่างๆทุกชนิดมีค่ามากกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรจึงสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามของกระทรวงอุตสาหกรรมได้

1.2) เมื่อเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดเดียวกันในปริมาณคงที่ ผสมและไม่ผสมน้ำยากันซึมพบว่า วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 เป็นเพียงวัสดุประสานชนิดเดียวที่ผสมน้ำยากันซึมแล้วให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 5.3(ก) ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดอื่นๆ ผสมน้ำยากันซึมจะให้กำลังรับแรงอัดมีค่าใกล้เคียงกับการก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยากันซึม โดยอาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเล็กน้อยอย่างไม่มีแบบแผน

เมื่อใช้ปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน วัสดุประสาน 3 ชนิดแรก ได้แก่ วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึมจะให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นกว่าก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยากันซึม อย่างชัดเจน ในขณะที่การใช้วัสดุประสาน 2 ชนิดหลัง ได้แก่ วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.5:0.5 และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.3:0.7 ก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึม และก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยากันซึม จะมีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า น้ำยากันซึมจะใช้ได้ดีเมื่อก้อนตัวอย่างต้องประกอบด้วยปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากพอสมควร

2) ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ เป็นดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.3(ข)

2.1) การใช้ปริมาณวัสดุประสานคงที่พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.5:0.5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูน

ขาวในอัตราส่วน 0.3:0.7 ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการใช้ปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นในวัสดุประสานจะทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีค่าลดลง อย่างไรก็ดีความหนาแน่นที่ลดลงก็มีค่าลดลงไม่มากนัก (ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.63 ถึง 2.42 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานชนิดต่างๆทุกชนิด มีค่าความหนาแน่นมากกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตรจึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมได้

2.2) เมื่อใช้ปริมาณวัสดุประสานคงที่ วัสดุประสานชนิดเดียวกัน ก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึม มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยากันซึม ตามธรรมชาติของน้ำยากันซึมแล้วมีคุณสมบัติในการลดการซึมผ่านของน้ำด้วยการเกิดสารประกอบไปอุดรูเล็กๆ ในซีเมนต์ ดังนั้นการผสมน้ำยากันซึมควรมีผลโดยตรงต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง แต่อาจเป็นไปได้ว่าปูนซีเมนต์ที่ใช้ในก้อนตัวอย่างมีปริมาณน้อยเกินกว่าที่น้ำยากันซึมสามารถแสดงผลให้เห็นได้

5.3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

เมื่อนำก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มาผ่านการชะละลายด้วยวิธีการสกัดตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม แล้วนำน้ำสกัดที่ได้มาทดสอบลักษณะสมบัติได้แก่ พีเอช และความเข้มข้นของตะกั่ว มีผลการทดลองดังนี้

1) พีเอช

ผลการทดสอบพีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ เป็นดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.3(ค)

1.1) การใช้วัสดุประสานในปริมาณคงที่ พบว่า พีเอชของน้ำสกัดที่ได้จากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.3:0.7 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ พีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.5:0.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่อวัสดุประสานมีปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีในวัสดุประสานเพิ่มขึ้นนั่นเอง

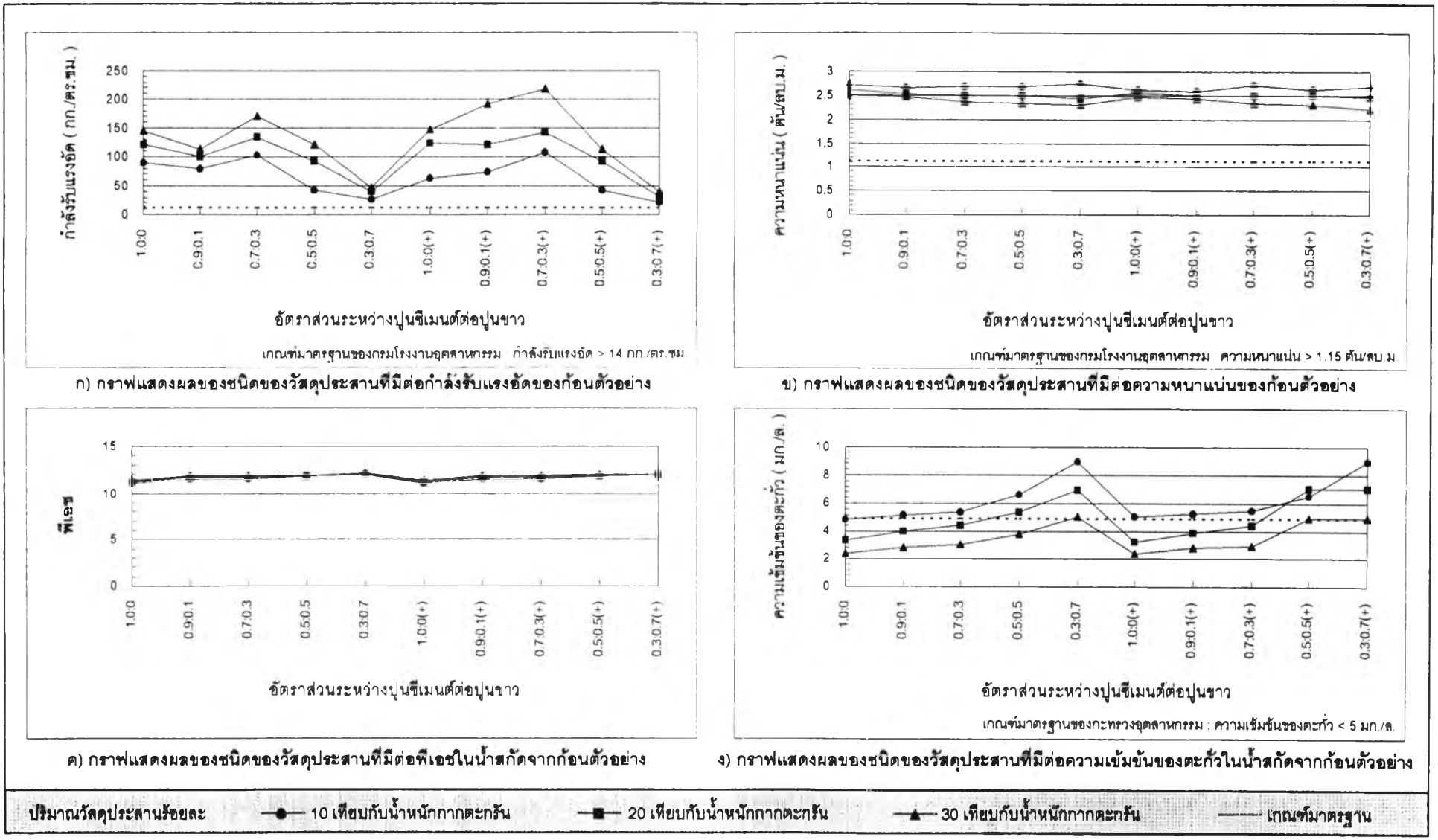
ตารางที่ 5.6 แสดงผลของชนิดของวัสดุประสานที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

ลำดับที่	วัสดุประสาน			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			พีเอช			ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)		
	OPC	Lime	Perm.R.												
อัตราส่วนผสมวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1.	1.0	0	-	90.52	120.85	143.74	2.71	2.63	2.50	11.01	11.16	11.30	4.80	3.34	2.44
2.	0.9	0.1	-	80.16	99.36	114.35	2.66	2.54	2.46	11.57	11.61	11.80	5.20	4.03	2.86
3.	0.7	0.3	-	101.96	133.92	171.37	2.69	2.48	2.36	11.59	11.67	11.85	5.37	4.42	3.09
4.	0.5	0.5	-	41.92	91.33	120.90	2.68	2.48	2.34	11.84	11.88	11.92	6.59	5.35	3.83
5.	0.3	0.7	-	27.11	38.88	46.62	2.74	2.42	2.29	11.98	12.01	12.11	8.91	6.96	5.04
6.	1.0	0	●	62.70	123.45	147.49	2.61	2.55	2.46	11.12	11.20	11.35	5.07	3.30	2.40
7.	0.9	0.1	●	74.58	120.63	193.42	2.60	2.48	2.44	11.55	11.67	11.77	5.31	3.88	2.82
8.	0.7	0.3	●	108.65	143.05	218.27	2.70	2.49	2.35	11.60	11.65	11.79	5.46	4.45	2.94
9.	0.5	0.5	●	40.91	91.56	114.43	2.61	2.48	2.31	11.89	11.90	11.95	6.50	7.01	4.95
10.	0.3	0.7	●	20.72	31.93	38.31	2.69	2.46	2.21	11.94	11.98	12.05	8.90	7.08	4.96

OPC คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาหรือ Ordinary Portland Cement Lime คือ ปูนขาว และ Perm.R. คือ น้ำยาลดการซึมน้ำหรือ Permeability reducer

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 : กำลังรับแรงอัด > 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความหนาแน่น > 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด < 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลของชนิดของวัสดุประสานที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

1.2) การใช้วัสดุประสานในปริมาณคงที่ วัสดุประสานชนิดเดียวกัน ก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึมจะมีค่าพีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างใกล้เคียงกับพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยากันซึม หรืออาจกล่าวได้ว่าน้ำยากันซึมไม่มีผลต่อพีเอชของน้ำสกัดจากการ ชะละลายก้อนตัวอย่างนั่นเอง

2) ความเข้มข้นของตะกั่ว

ผลการทดสอบ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด จากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.3(ง)

2.1) การใช้วัสดุประสานในปริมาณคงที่ พบว่า น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว จะมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วน้อยที่สุด วัสดุประสานที่ให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดมากขึ้น ได้แก่ วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.5:0.5 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.3:0.7 ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่า การใช้ปริมาณปูนขาวในวัสดุประสานเพิ่มขึ้น หรือการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานลดลง จะทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

2.2) การใช้วัสดุประสานชนิดเดียวกัน ในปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันซึ่งเป็นปริมาณวัสดุประสานที่ต่ำที่สุดที่ใช้ในการทดลองนี้ ก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึมจะให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างนั้น มีค่าใกล้เคียงกับ ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยากันซึม ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน วัสดุประสาน 3 ชนิดแรกได้แก่ วัสดุประสานที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.9:0.1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 ก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึมจะให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างนั้น น้อยกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่ผสมน้ำยากันซึม

จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า น้ำยากันซึมสามารถลดความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างได้ก็ต่อเมื่อก้อนตัวอย่างนั้นจะต้องประกอบด้วยปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงพอสมควรน้ำยากันซึมจึงสามารถแสดงผลได้ การใช้ปริมาณวัสดุ

ประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว เมื่อผ่านการชะละลายแล้ว จะให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดประมาณ 4.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่วัสดุประสานชนิดอื่นๆ มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดมากกว่า 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งสิ้น ดังนั้นที่ปริมาณการใช้วัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งจึงเป็นวัสดุประสานเพียงชนิดเดียว สามารถให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้

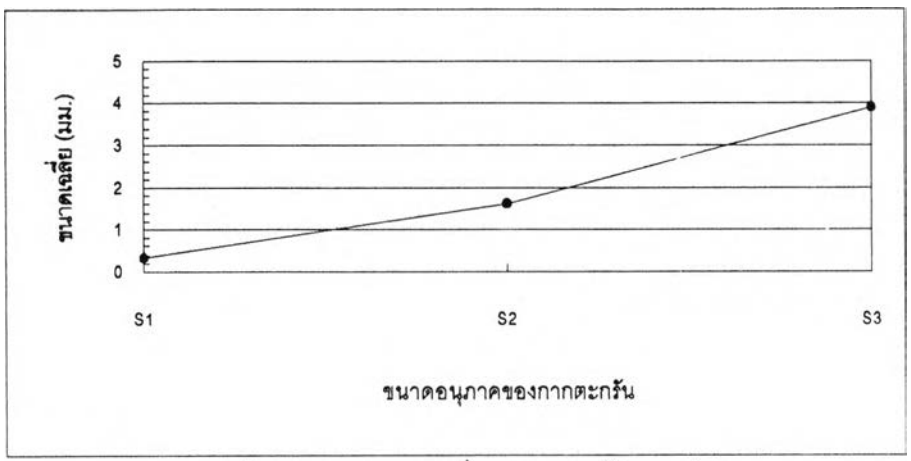
5.3.3 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาเพื่อหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม ต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ พบว่า ก้อนตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดคือก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 รองลงมาคือก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 มีลักษณะเป็นก้อนที่สมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกร้าว ผิวเนียนเรียบ ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว จะมีลักษณะแตกร้าวเล็กน้อยและผิวร่อนบ้าง เมื่อใช้วัสดุประสานในปริมาณสูง หรืออาจกล่าวได้ว่า การใช้ปูนซีเมนต์ผสมลงไปในวัสดุประสานในปริมาณพอเหมาะจะช่วยลดการรบกวนของกากตะกรันนี้ต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายจากก้อนตัวอย่าง พบว่า น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากวัสดุประสาน ที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียวมีความเข้มข้นของตะกั่วน้อยกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากวัสดุประสาน ที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วน 0.7:0.3 และเมื่อใช้ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน วัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ที่สามารถให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ น้ำยากันซึมจะมีผลต่อทั้งกำลังรับแรงอัด และการลดการชะละลายของตะกั่ว ได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้วัสดุประสานในปริมาณสูง ในการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ดูแนวโน้มแล้ว ปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จากเหตุผลทั้งหมดข้างต้นจึงเลือกวัสดุประสานที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ต

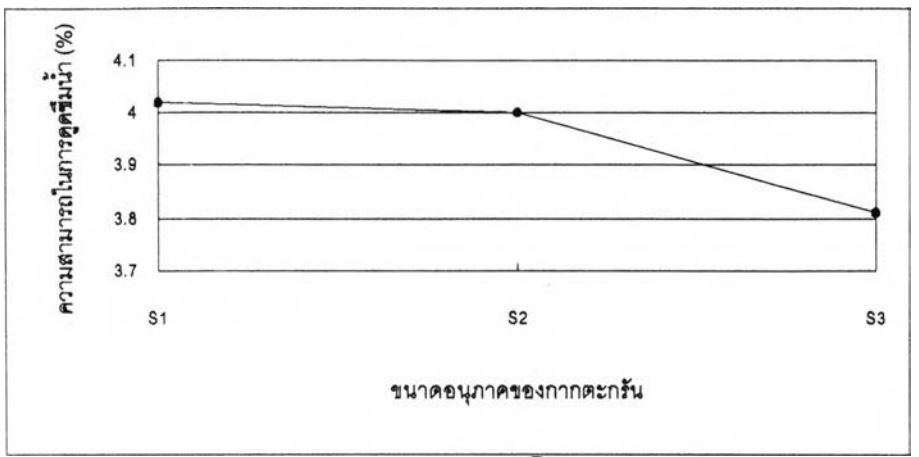
แลนด์ประเภทที่หนึ่งเพียงอย่างเดียว เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันนี้ ทั้งนี้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุที่มีราคาถูก และการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพียงอย่างเดียวยังสะดวกในการนำไปใช้งานจริงในโรงงานอีกด้วย

5.4 ผลการศึกษาขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อน

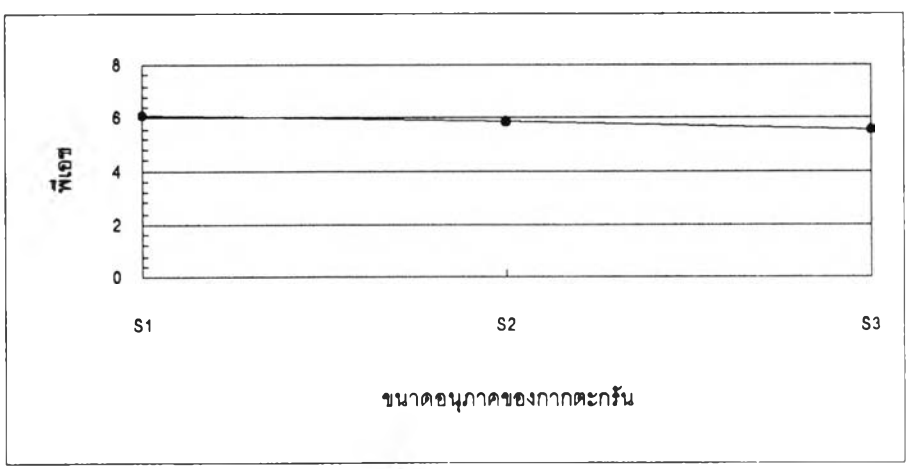
ในปี 1992 Nakamura และคณะ พบว่า ขนาดอนุภาคของกากตะกรัน มีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่างๆของปูนซีเมนต์ โดยเมื่อขนาดอนุภาคกากตะกรันที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์มีขนาดเล็กซีเมนต์ที่ได้จะมีคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่กำลังรับแรงอัดดีกว่าปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า โดยทั่วไป ของเสียอันตรายที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดจากการชะละลายของเสียนั้นมากกว่าของเสียอันตรายชนิดเดียวกันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า เพราะขนาดอนุภาคของของเสียอันตรายที่เล็กกว่า จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารสกัดมากกว่า ของเสียอันตรายที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ จึงได้มีการศึกษาผลของขนาดอนุภาคกากตะกรันที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งซึ่งเป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมจากการทดลองที่ผ่านมา นำกากตะกรันที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาบดลดขนาดให้มี 3 ขนาดที่แตกต่างกัน(ดังรูปที่ ผ.6) จากนั้นจึงนำกากตะกรัน 3 ขนาดเหล่านี้ ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การกระจายขนาดคละ(size distribution) และความสามารถในการดูดซึมน้ำ(water absorption) และลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะลายกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ เหล่านี้ โดยวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกรัน ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.7 รูปที่ 5.4(ก) และรูปที่ 5.4(ข) พบว่า กากตะกรันขนาดเล็กที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดในการทดลองนี้ ใช้สัญลักษณ์ S_1 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.33 มิลลิเมตร กากตะกรันขนาดที่มีอนุภาคใหญ่ขึ้น ใช้สัญลักษณ์ S_2 และ S_3 ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.6 และ 3.9 มิลลิเมตร ตามลำดับ กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า จะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่ากากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ ผลการชะละลายกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมแสดงดังตารางที่ 5.8 รูปที่ 5.4(ค) และรูปที่ 5.4(ง) พบว่า กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้มี ค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายกากตะกรันนี้มากกว่ากากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่ใหญ่กว่า เพราะกากตะกรันที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับกรดซึ่งเป็นสารสกัด มากกว่ากากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่



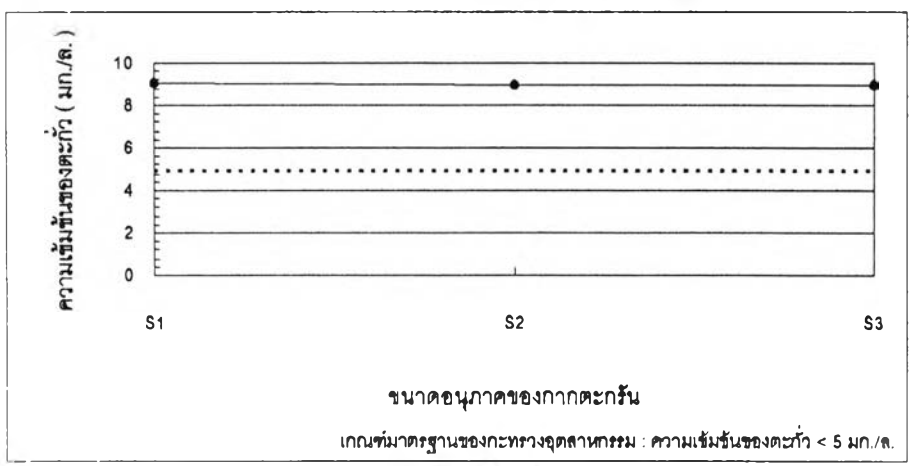
ก) กราฟแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกากตะกรันขนาดต่าง ๆ



ข) กราฟแสดงค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของกากตะกรันขนาดต่าง ๆ



ค) กราฟแสดงพีเอชในน้ำสกัดจากกากตะกรันขนาดต่าง ๆ



ง) กราฟแสดงความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกรันขนาดต่าง ๆ

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ

ในการศึกษาผลของขนาดอนุภาคกากตะกรันที่มีต่อการทำให้เป็นก้อน วัสดุประสานที่ใช้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งซึ่งเป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มก้อนตัวอย่าง 7 วัน โดยต้องมีการใส่น้ำเพิ่มสำหรับความต้องการน้ำเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ของกากตะกรันแต่ละขนาดอนุภาคด้วย

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	สัญลักษณ์	การกระจายขนาดคละ		การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) โดยน้ำหนัก	พีเอช	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)
		ขนาดเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	สัมประสิทธิ์การกระจายขนาดคละ			
1.	S_1	0.33	6.38	4.02	6.13	9.07
2.	S_2	1.60	1.67	4.00	5.84	8.95
3.	S_3	3.90	2.93	3.81	5.55	8.92

5.4.1 สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ แสดงดังรูปที่ ผ.7 รูปที่ ผ.8 และรูปที่ ผ.9

1) กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของ กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ด้วยปูนซีเมนต์ แสดงดังตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.5(ก)

1.1) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน พบว่าก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ใช้ในการทดลองเป็นก้อนตัวอย่างเดียวที่สามารถอยู่เป็นก้อนได้ โดยกำลังรับแรงอัดค่าประมาณ 82 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า เมื่อแกะแบบก็ยังสามารถเป็นก้อนได้ แต่เป็นก้อนที่แตกเป็นส่วนๆ ไม่สามารถนำไป

ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ ส่วนก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด เมื่อแกะแบบแล้ว กากตะกรันก็ร่วนลงเป็นเม็ดๆ ไม่มีส่วนที่อยู่เป็นก้อนเลย

1.2) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 กับน้ำหนักกากตะกรัน พบว่า ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่ใช้ในการทดลอง มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 ซึ่งเป็นกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น และก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคขนาดที่ 3 ซึ่งเป็นกากตะกรันขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดลอง ตามลำดับ โดยกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆทุกขนาด ดังกล่าว มีค่ามากกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.3) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน พบว่า ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่ใช้ในการทดลอง มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 ซึ่งเป็นกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดลอง และก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคขนาดที่ 2 ตามลำดับ โดยกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆทุกขนาดดังกล่าวมีค่ามากกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ความแตกต่างระหว่างขนาดอนุภาคกากตะกรัน ขนาดที่ 2 และขนาดที่ 3 จะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างแล้ว และก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าก้อนตัวอย่างที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อย่างมาก การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในปริมาณต่ำกากตะกรันที่มีขนาดเล็กกว่า จะให้ก้อนตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันที่มีขนาดใหญ่ แต่เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในปริมาณสูงขึ้น ขนาดอนุภาคของกากตะกรันจะมีผลน้อยลงต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ทั้งนี้การกระจายขนาดคละของอนุภาค ซึ่งพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การกระจายขนาดคละก็มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างด้วย จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคของกากตะกรันจะมีผลต่อกำลังรับของก้อนตัวอย่าง โดยกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะแปรผกผันกับขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่ใช้ในก้อนตัวอย่างนั้น ซึ่งตรงกับผลการทดลองของ Nakamura และคณะ จากการทดลองนี้ยังพบอีกว่า การใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณสูงขึ้น ขนาดอนุภาคของกากตะกรันจะมีผลลดลงต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

ตารางที่ 5.8 แสดงผลของขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่าง

ลำดับที่	ขนาดอนุภาคของกากตะกรัน		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)		
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)						
ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน			ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
1.	S_1	0.33	82.2	133.6	147.0	2.87	2.62	2.51
2.	S_2	1.60	-	38.0	106.6	-	2.50	2.46
3.	S_3	3.90	-	23.9	107.2	-	2.40	2.50

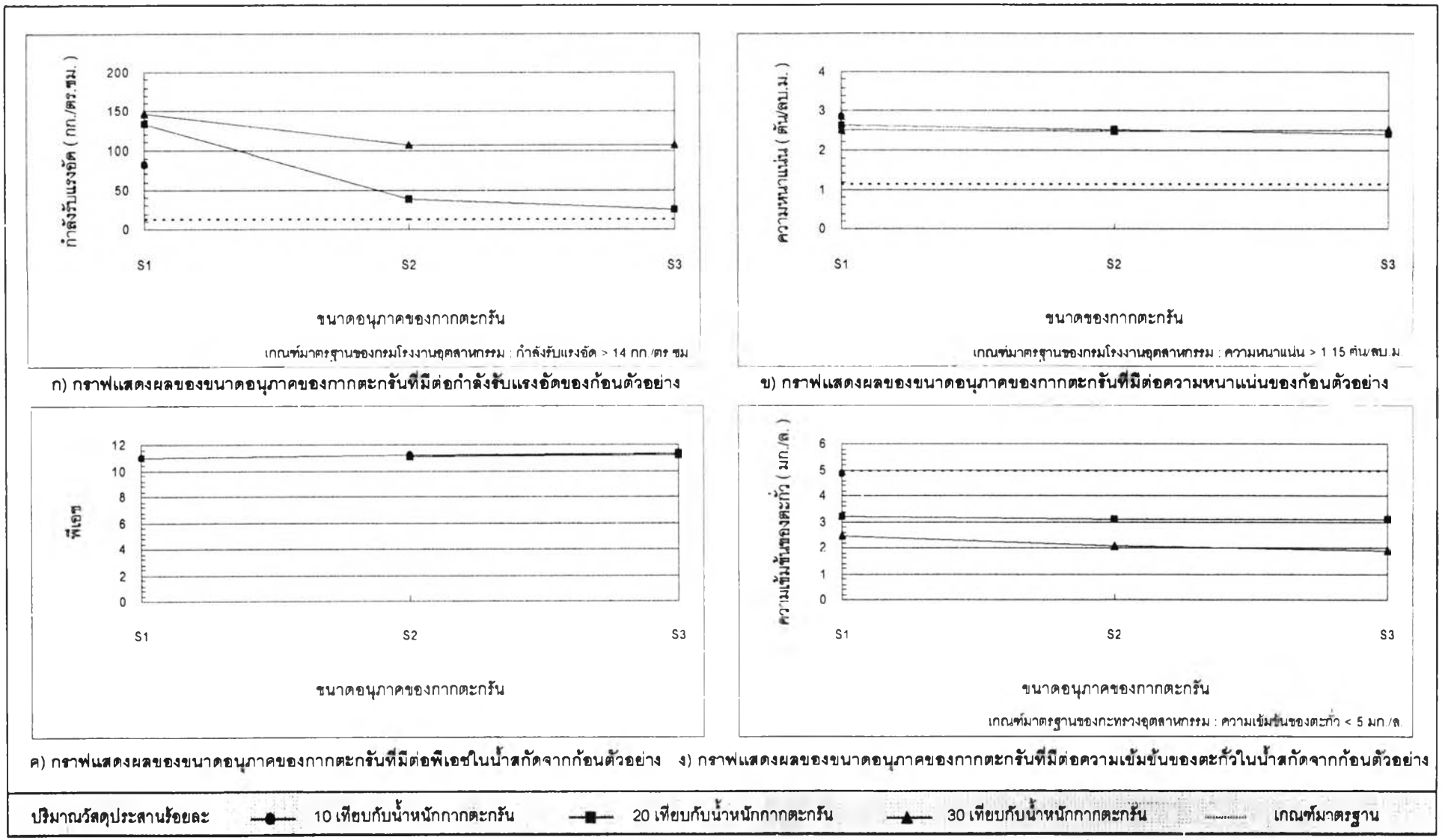
เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 : กำลังรับแรงอัด > 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความหนาแน่น > 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 5.9 แสดงผลของขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่มีต่อลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

ลำดับที่	ขนาดอนุภาคของกากตะกรัน		พีเอช			ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)		
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)						
ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน			ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30	ร้อยละ 10	ร้อยละ 20	ร้อยละ 30
1.	S_1	0.33	11.01	11.16	11.30	4.83	3.20	2.46
2.	S_2	1.60	-	11.12	11.27	-	3.10	2.05
3.	S_3	3.90	-	11.06	11.18	-	3.06	1.89

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด < 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงผลของขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

2) ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ ด้วยปูนซีเมนต์ แสดงดังตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.5(ข)

2.1) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 10 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน พบว่า กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1(S_1) เท่านั้นที่สามารถอยู่เป็นก้อนได้ โดยมีความหนาแน่น 2.87 ตันต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งมีค่ามากกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จึงสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ได้

2.2) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน พบว่า ก้อนตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงสุดได้แก่ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) 2.62 ตันต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2) 2.5 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3) 2.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองที่การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันนี้ สามารถสรุปได้ว่า การใช้อนุภาคกากตะกรันที่มีขนาดเล็ก จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นมากกว่าการใช้กากตะกรันที่มีขนาดใหญ่

2.3) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นวัสดุประสาน พบว่า ก้อนตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงสุด ได้แก่ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) 2.51 ตันต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3) 2.5 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2) 2.46 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยทุกก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นมากกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน ความแตกต่างระหว่างขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่จัดว่ามีขนาดค่อนข้างใหญ่ (กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 และกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3) จะมีผลต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดลง

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ขนาดอนุภาคของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ จะมีผลต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่เกิดขึ้น โดยความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจะแปรผกผันกับขนาดอนุภาคของกากตะกรัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้ตรงกับผลการทดลองของ Nakamura และคณะ

5.4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

1) พีเอช

ผลการทดสอบพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ผ่านการชะละลาย โดยวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 แสดงดังตารางที่ 5.9 และ 5.5(ค)

1.1) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสานพบว่า น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง ที่มีพีเอชของน้ำสกัดสูงที่สุดคือน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) ซึ่งเป็นกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดที่ใช้ในการทดลองนี้ รองลงมาคือ น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2) และ น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3) ซึ่งเป็นกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด ที่ใช้ในการทดลองนี้

1.2) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน พบว่า ค่าพีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับ พีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆโดยใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จะให้ค่าพีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างมากกว่า พีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างมีปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเล็กน้อย (ปริมาณปูนซีเมนต์ 20 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1, 2, และ 3 มีพีเอชประมาณ 11.16, 11.12 และ 11.06 ตามลำดับ และปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1, 2, และ 3 มีพีเอชประมาณ 11.30, 11.27 และ 11.18 ตามลำดับ) โดยพีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆที่ไม่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่มีค่ามากที่สุด ได้แก่ กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) 6.13 รองลงมาคือ กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2) 5.94 และกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3) 5.55 ตามลำดับ จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า จะทำให้พีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากกากตะกรันขนาดดังกล่าว มีค่าน้อยกว่า พีเอชของน้ำสกัดที่เกิดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็น

ก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า เพราะกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับกรดซึ่งเป็นสารสกัดมากขึ้น ดังนั้นสารต่างๆในกากตะกรันจึงสามารถออกมาสะเทินฤทธิ์กรดได้ดีกว่ากากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่านั่นเอง

2) ความเข้มข้นของตะกั่ว

ผลการทดสอบความเข้มข้นของตะกั่ว ในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.5(ง)

2.1) การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสานพบว่า มีเพียงก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กที่สุดในการทดลองนี้ ที่สามารถอยู่เป็นก้อนได้ และมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างดังกล่าว 4.83 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งน้อยกว่า 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ ส่วนกากตะกรันขนาดอื่นๆ ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสานนั้น ไม่สามารถทำให้กากตะกรันอยู่เป็นก้อนแข็งได้

2.2) การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นวัสดุประสาน พบว่า น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) ซึ่งเป็นกากตะกรันที่เล็กที่สุดที่ใช้ในการทดลองนี้ มีความเข้มข้นของตะกั่วมากที่สุด ประมาณ 3.20 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2) 3.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และ น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3) 3.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.3) การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นวัสดุประสาน พบว่า น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับการใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1, 2, และ 3 ด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะรัน มีความเข้มข้นของตะกั่วประมาณ 2.46, 2.05 และ 1.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น โดยน้ำสกัดจากการชะละลายกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1, 2, และ 3 โดยไม่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง มีความเข้มข้นของตะกั่วประมาณ 9.07, 8.95 และ 8.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุป

ได้ว่า ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด จากการชะละลายก้อนตัวอย่างนั้น สูงกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด จากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของการใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าเพราะกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับกรดซึ่งเป็นสารสกัดมากขึ้น ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก สารต่างๆในกากตะกรันนั้น ก็สามารถออกมาสะเทินฤทธิ์กรดได้ดีกว่าการใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ดังนั้นถึงแม้ว่าก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จะมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างนั้น สูงกว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลาย ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ แต่ความแตกต่างของความเข้มข้นนี้ก็ไม่มากนัก

5.4.3 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษา ผลของขนาดอนุภาคของกากตะกรัน ที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ สามารถสรุปได้ว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จะให้ก้อนตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นสูงกว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคใหญ่กว่า โดยการวัสดุประสานในปริมาณน้อย ไม่สามารถทำให้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ อยู่เป็นก้อนแข็งได้ แต่สามารถทำให้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กว่า สามารถอยู่เป็นก้อนแข็ง และมีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้

น้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่มีขนาดเล็กกว่า มีความเข้มข้นของตะกั่วมากกว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด จากการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า โดยการวัสดุประสานในปริมาณน้อย ไม่สามารถทำให้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่อยู่เป็นก้อนแข็งได้ แต่สามารถทำให้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กว่าสามารถอยู่เป็นก้อนแข็งและมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ จากผลของขนาดอนุภาคกากตะกรันที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ในการเลือกใช้งานจริงเราควรใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เพราะกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถเป็นก้อนแข็งได้ด้วยปูนซีเมนต์ในปริมาณต่ำ ซึ่งจะทำให้มีราคาในการบำบัดถูกกว่า ในขณะที่กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอาจจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ถึง 2 เท่าของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุ และยังทำให้ปริมาตร

สุดท้ายของของเสีย เพิ่มขึ้นมากอีกด้วย ข้อสังเกตว่า ถ้าขนาดอนุภาคละเอียดจนปนเป็นผงแป้ง การใช้ปูนซีเมนต์ที่สามารถทำให้เป็นก้อนแข็งได้จะต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการใช้งานจริง ควรเลือกขนาดที่เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง โดยการเลือกขนาดนี้จะต้องสะดวกต่อการใช้งานจริงด้วย ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงแนวทางซึ่งแสดงให้ว่าการใช้กากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถประหยัดวัสดุในการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันได้

5.5 ผลการศึกษาปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

จากการทดลองที่ผ่านมาข้างต้น ทำให้ทราบเราว่า ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ ขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่ใช้จะเป็นขนาดที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีขนาดเฉลี่ย (D_{50}) เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับกากตะกรันที่ใช้ในการทดลองหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมนั่นเอง และจากการทดลองที่ผ่านมาข้างต้นยังทำให้เราทราบอีกว่า ในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อน โดยให้ก้อนตัวอย่างที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมได้นั้น การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานควรมีปริมาณร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ถึงร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้มีการแปรค่าปริมาณปูนซีเมนต์ 7 ค่า ได้แก่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 12, 14, 15, 16, 18 และ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และระยะเวลาบ่มเท่ากับ 7 วัน

5.5.1 สมบัติทางกายภาพ

1) กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันโดยใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.6(ก) เมื่อพิจารณารูปที่ 5.6(ก) กราฟแสดงผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อกำลังรับแรงอัด จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ก้อนตัวอย่างก็จะให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน กำลังรับแรงอัดมีค่าอยู่ระหว่าง 83.46 ถึง 130.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จึงสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ดีมาก

2) ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันโดยใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.6(ข) เมื่อพิจารณารูปที่ 5.6(ข) กราฟแสดงผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อความหนาแน่น พบว่า เมื่อปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจะมีค่าลดลงแล้วก็เพิ่มขึ้นจากนั้นก็กลับลดลงอีกครั้งที่ผลเป็นเช่นนี้น่าจะเป็นเพราะกากตะกรันมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงมาก เมื่อใช้ปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณกากตะกรันในก้อนตัวอย่างมีปริมาณน้อยลงทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดลง ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นก้อนตัวอย่างก็ควรมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วย

5.5.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

1) ค่าพีเอช

น้ำสกัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรัน ด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนโดยมีการแปรค่าวัสดุประสาน มีค่าพีเอชเป็นดังตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.6(ค) เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 10 จนถึง 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน พีเอชของน้ำสกัดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 11.01 ถึง 11.30 เมื่อพิจารณารูปที่ 5.6(ค) กราฟแสดงผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อพีเอชของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้นน้ำสกัดจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงสามารถละลายออกมาได้มากขึ้นนั่นเอง

2) ความเข้มข้นของตะกั่ว

ผลการทดลองหาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด จากก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรันด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนโดยมีการแปรค่าวัสดุประสาน เป็นดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.6(ง) เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 10 จนถึง 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 4.83 ถึง 3.20 มิลิกรัมต่อลิตร โดยทุกค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้นเมื่อพิจารณารูปที่ 5.6(ง) กราฟแสดงผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง จะพบว่าเมื่อปริมาณวัสดุประสานเพิ่มขึ้น น้ำสกัดจะมีความเข้มข้นของตะกั่วลดลง ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะการเจือจางของของเสีย และเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นการกักของเสียไว้ที่ผิวและในโครงสร้างของปูนซีเมนต์ น่าจะดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวดังจะได้กล่าวต่อไป

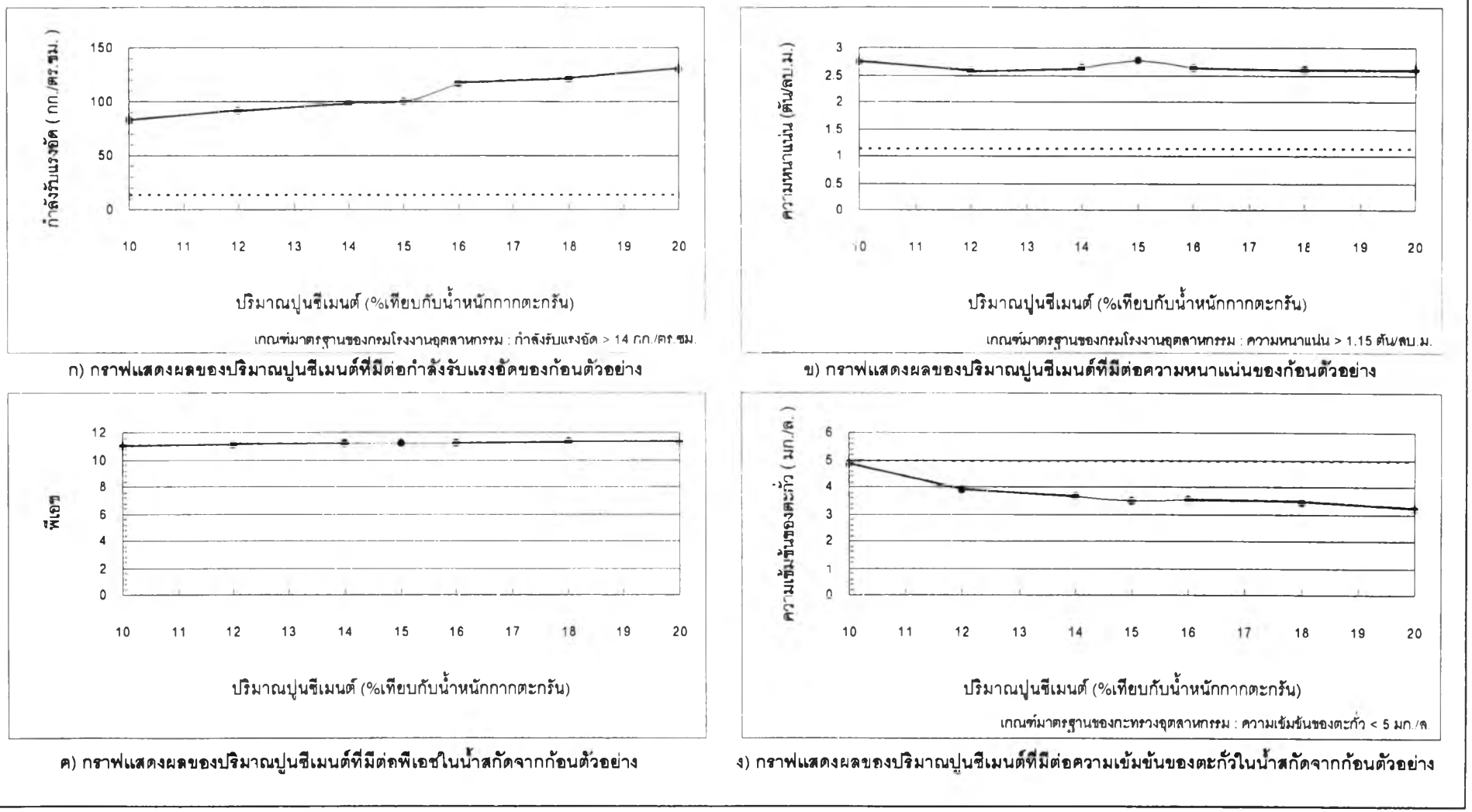
ตารางที่ 5.10 แสดงผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

ลำดับที่	ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	พีเอช	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)
1.	10	83.46	2.75	11.01	4.83
2.	12	91.48	2.58	11.09	3.90
3.	14	98.97	2.64	11.16	3.64
4.	15	100.59	2.77	11.21	3.50
5.	16	116.50	2.63	11.23	3.52
6.	18	121.15	2.59	11.26	3.41
7.	20	130.20	2.61	11.30	3.20

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 : กำลังรับแรงอัด > 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความหนาแน่น > 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด < 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

5.5.3 สรุปผลการศึกษา

จากการผลการทดลองข้างต้นจะพบว่า ปริมาณวัสดุประสานทุกอัตราส่วนสามารถทำให้ก้อนตัวอย่างที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ เมื่อพิจารณาเพื่อหาปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสมจากค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะพบว่า ถึงแม้จะใช้ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน แล้วความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้แต่ก็ผ่านได้แบบเกือบพอดีเกณฑ์ ในการบำบัดจึงควรเผื่อค่าปัจจัยความปลอดภัยไว้ด้วย ดังนั้นจึงเลือกปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสมเท่ากับ ปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

5.6 ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

จากการทดลองที่ผ่านมาข้างต้น ทำให้ทราบเราว่าปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะสามารถประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับกากตะกรันที่ใช้ในการทดลองหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมนั่นเอง และปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ควรมีค่าประมาณร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ดังนั้นเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์โดยวิธีทำให้เป็นก้อน จึงได้มีการแปรอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน 7 อัตราส่วน ได้แก่ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ระยะเวลาบ่มที่ใช้เท่ากับ 7 วัน

5.6.1 สมบัติทางกายภาพ

1) กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรัน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานในปริมาณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.7(ก) เมื่อพิจารณารูปที่ 5.7(ก) กราฟแสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่มีต่อกำลังรับแรงอัด พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้นจาก 0.3 จนถึง 0.8 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างก็จะเพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 และเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้นอีกเป็น 0.9 กำลังรับแรงอัดก็จะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นเพราะปริมาณน้ำมีมากเกินไปทำให้เมื่อแข็งตัวแล้วทำให้ก้อนตัวอย่างมีรูพรุนมาก

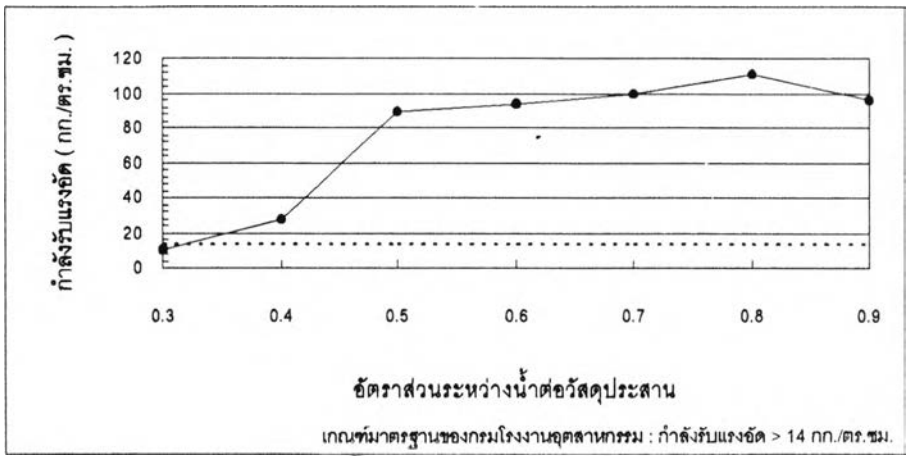
ตารางที่ 5.11 แสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	พีเอช	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)
1.	0.3	10.12	2.33	11.16	3.95
2.	0.4	27.53	2.42	11.12	3.91
3.	0.5	89.18	2.59	11.09	3.90
4.	0.6	93.19	2.68	11.06	3.92
5.	0.7	99.71	2.70	11.11	3.85
6.	0.8	110.52	2.71	11.13	3.80
7.	0.9	95.93	2.67	11.15	3.93

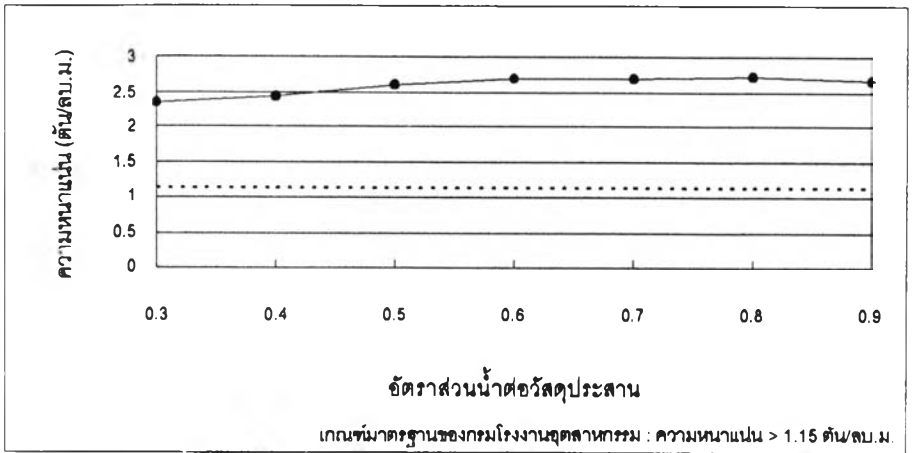
เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 : กำลังรับแรงอัด > 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความหนาแน่น > 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

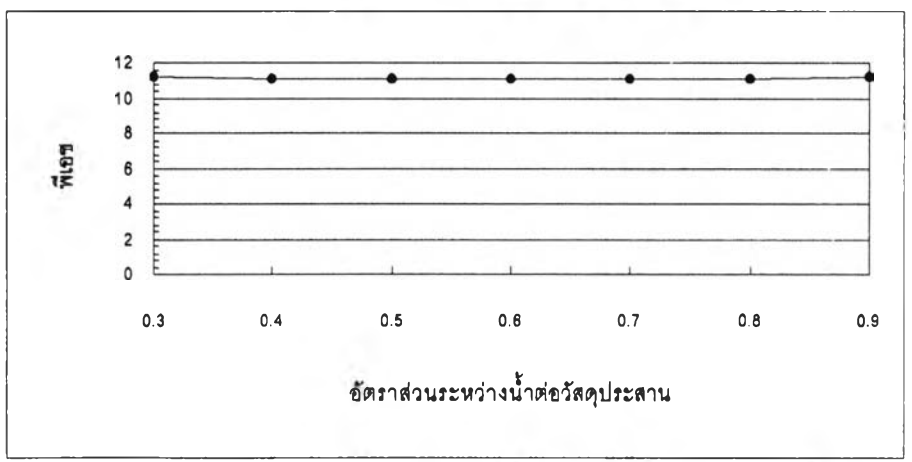
ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด < 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



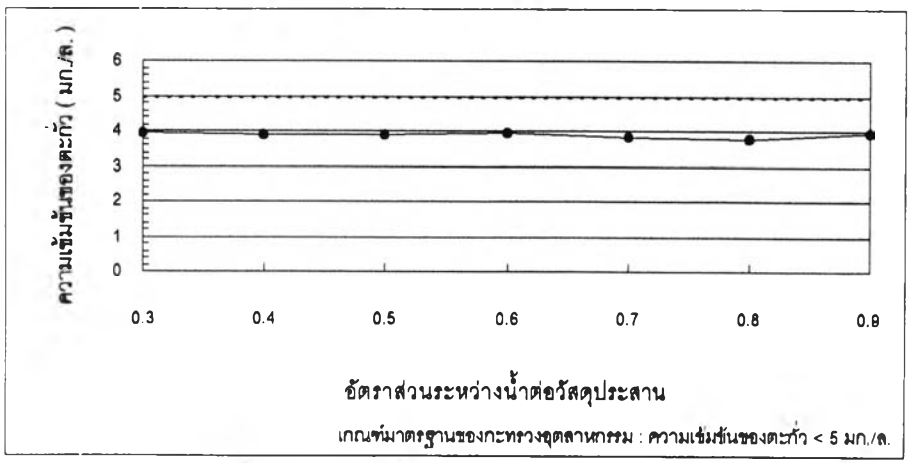
ก) กราฟแสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง



ข) กราฟแสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง



ค) กราฟแสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่อพีเอชในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง



ง) กราฟแสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

2) ความหนาแน่น

ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรันโดยการแปรค่า อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน แสดงดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.7(ข) เมื่อพิจารณารูปที่ 5.7(ข) พบว่า ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับกำลังรับแรงอัด กล่าวคือ เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้นจาก 0.3 จนถึง 0.8 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างก็จะเพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 และเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้นอีกเป็น 0.9 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างก็จะมีค่าลดลง ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับผลของกำลังรับแรงอัด

5.6.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

1) ค่าพีเอช

ผลการวัดค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรัน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานในค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.7(ค) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 ถึง 0.9 พบว่า พีเอชของน้ำสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 11.09 ถึง 11.16 ในแต่ละอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน พีเอชของน้ำสกัดมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น น่าจะเกิดจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของแต่ละตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันนั่นเอง

2) ความเข้มข้นของตะกั่ว

ผลการทดลองหาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันโดยการแปรค่า อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน แสดงดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.7(ง) เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.9 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าประมาณ 3.8 ถึง 3.9 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยความมากน้อยของความเข้มข้นของตะกั่วนี้จะมากขึ้น หรือน้อยลงอย่างไม่มีแบบแผน แต่ถ้าใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อยมากเกินไป(อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.3) หรืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงมากเกินไป(อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.9) ก็จะทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อยเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดได้อย่างไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมากจนเกินไปก็จะทำให้เนื้อซีเมนต์ที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนมากกว่าปกติ

5.6.3 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน พบว่า สำหรับการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่ใช้

จะเป็นขนาดที่ละเอียด ขนาดเฉลี่ย(D_{50})เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร และปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จะต้องการอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 จึงจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่ากากตะกรันต้องการอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อนสูงกว่าของเสียที่เป็นกากตะกอนมาก อาจเนื่องมาจากปริมาณวัสดุประสานที่ใช้น้อยมาก การจะยึดจับอนุภาคตะกรันให้ได้ทั้งหมดจึงต้องอาศัยน้ำเป็นตัวพาอนุภาควัสดุประสานให้สามารถเข้าถึงทุกๆอนุภาคของกากตะกรันได้

5.7 ผลการศึกษาระยะเวลาบ่มที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

จากการทดลองที่ผ่านมาข้างต้น ทำให้เราถึงทราบปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์โดยวิธีทำให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งพบว่า ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่ใช้จะเป็นขนาดที่เล็กที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ขนาดเฉลี่ย(D_{50}) เท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร) ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 ระยะเวลาบ่มที่ใช้ข้างต้นเท่ากับ 7 วัน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันนี้ด้วย โดยมีการแปรค่าระยะเวลาบ่ม 4 ค่าคือ 1, 7, 14 และ 28 วัน ลักษณะของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรันโดยใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆแสดงดังรูปที่ ผ.10

5.7.1 สมบัติทางกายภาพ

1) กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็ง ของกากตะกรันโดยใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.8(ก) กำลังรับแรงอัดของก้อนเมื่อใช้ระยะเวลาบ่มเป็น 1, 7, 14 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 2.51, 105.84, 124.49 และ 153.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้เป็นอย่างดี แต่ที่ระยะเวลาบ่ม 1 วันกำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยมากและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนั่นเป็นเพราะระยะเวลาบ่ม 1 วัน ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดน้อยมาก เมื่อพิจารณารูปที่ 5.8(ก) กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ พบว่า เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

2) ความหนาแน่น

ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรันโดยการแปรค่า ระยะเวลาบ่ม แสดงดังตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.8(ข) เมื่อพิจารณารูปที่ 5.8(ข) กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับกำลังรับแรงอัดกล่าวคือ เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นจาก7 วันจนถึง 28 วัน ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างก็จะเพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองที่ระยะเวลาบ่ม 1 วันให้ค่าความหนาแน่นสูงมากอาจเกิดมาจาก น้ำในก้อนตัวอย่างที่ยังไม่ได้ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

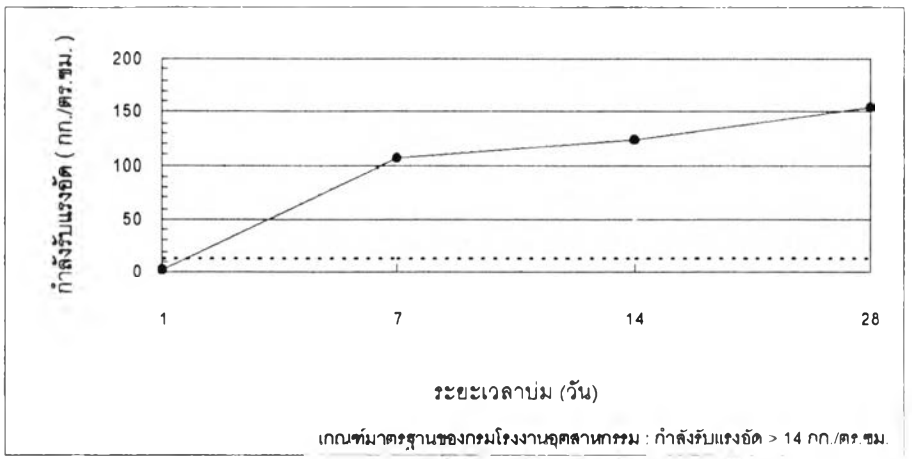
5.7.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

1) ค่าพีเอช

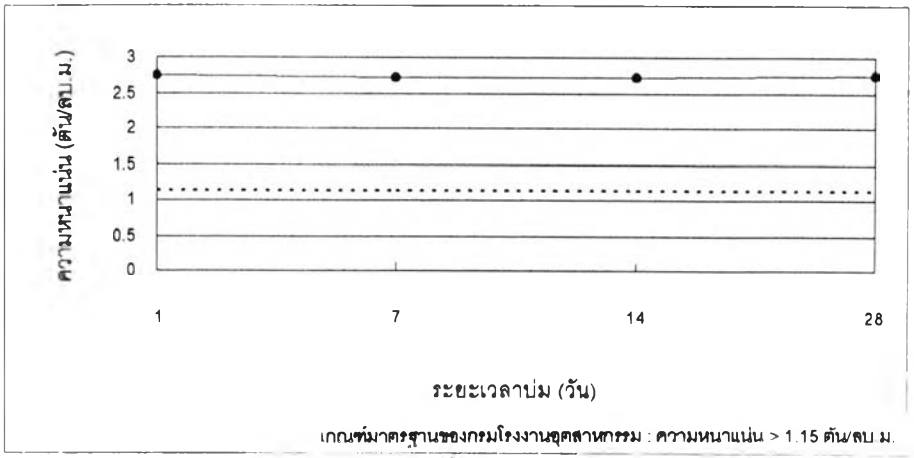
ผลการวัดค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรันโดยใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.8(ค) เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มตั้งแต่ 1 ถึง 28 วัน พีเอชของน้ำสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 11.15 ถึง 11.04 โดยการใช้ระยะเวลาบ่มน้อยจะให้ค่าพีเอชของน้ำสกัดสูงกว่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มมากกว่า นั่นคือ เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น น้ำสกัดจะมีค่าพีเอชลดลงอาจเป็นเพราะที่ระยะเวลาบ่มน้อยปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์จะเกิดน้อยกว่าที่ระยะเวลาบ่มมากขึ้น ดังนั้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเมื่อใช้ระยะเวลาบ่มมากกว่าจึงมีปริมาณมากกว่าตามไปด้วย เมื่อผ่านการสกัดแคลเซียมไฮดรอกไซด์จึงถูกน้ำสกัด ละลายออกมาได้มาก

2) ความเข้มข้นของตะกั่ว

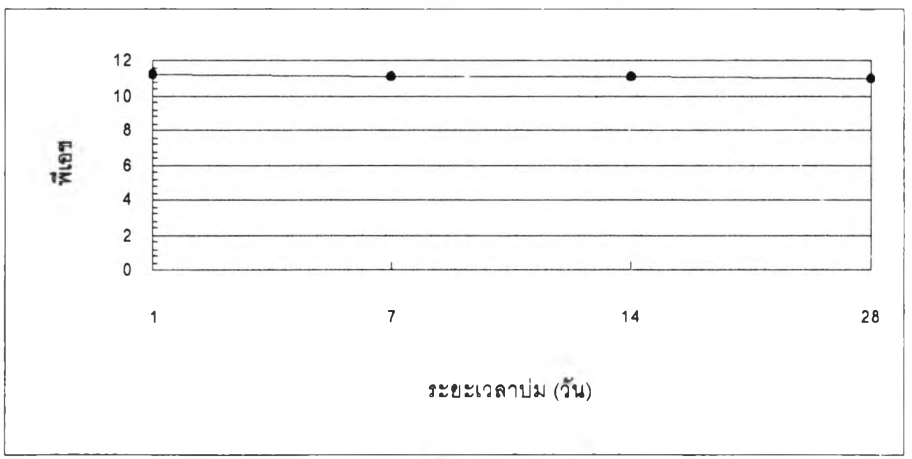
ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง ที่เกิดจากการบำบัดกากตะกรัน โดยการแปรค่าระยะเวลาบ่ม แสดงดังตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.8(ง) จะพบว่าระยะเวลาบ่มไม่ได้มีผลต่อความเข้มข้นของตะกั่วอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่จะเห็นว่าที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจะมีค่าสูงกว่าระยะเวลาบ่มอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดน้อยมาก จึงทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นน้อย สะเทินน้ำสกัดได้น้อยกว่าที่ระยะเวลาบ่มอื่นๆ และโครงสร้างของปูนซีเมนต์ก็ยังไม่แข็งแรงพอที่จะกักเก็บกากตะกรันไว้ได้ ทั้งนี้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ทุกค่าระยะเวลาบ่มสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้



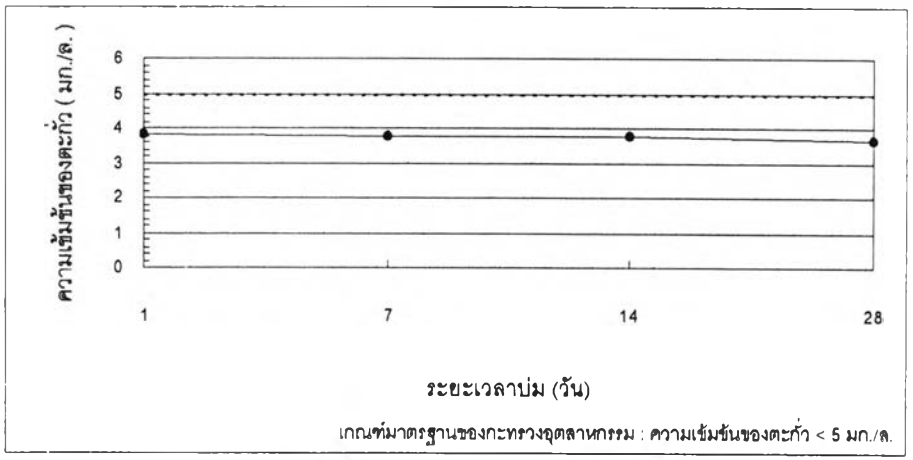
ก) กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง



ข) กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง



ค) กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อพีเอชในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง



ง) กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่าง

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างและลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายก้อนตัวอย่าง

5.7.3 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองศึกษาระยะเวลาบ่ม ที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ก้อนตัวอย่างมีแนวโน้มว่ามีกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าพีเอชของน้ำสกัดลดลง โดยระยะเวลาบ่มไม่ได้มีผลอย่างชัดเจนต่อค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด นอกจากว่าจะใช้ระยะเวลาบ่มน้อยมาก(1วัน) เท่านั้นที่ทำให้ กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีค่าต่ำ และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดสูงกว่าระยะเวลาบ่มอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดน้อยนั่นเอง

ตารางที่ 5.12 แสดงผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	พีเอช	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)
1.	1	2.5	2.74	11.2	3.82
2.	7	105.8	2.71	11.1	3.76
3.	14	124.5	2.72	11.1	3.78
4.	28	153.7	2.74	11.0	3.65

เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 : กำลังรับแรงอัด > 14 กก./ตร.ซม.
เกณฑ์มาตรฐานตาม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 : ความหนาแน่น > 1.15 ตัน/ลบ.ม.
ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด > 5 มก./ล.

5.8 ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว

การเปรียบเทียบการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ด้วยวิธีต่างๆ นอกจากพิจารณาจากค่ามาตรฐานได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดแล้ว ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวของแต่ละวิธีการบำบัด ก็เป็นอีกค่าหนึ่งซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัว หมายถึง ร้อยละการถูกชะละลายของตะกั่วที่ลดลงหลังจากการนำกากตะกรันมาผ่านการบำบัดด้วยวิธีต่างๆ

เมื่อนำกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ มาผ่านการชะละลายด้วยวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 พบว่า ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ 2.419 มิลลิกรัมต่อกรัม

ในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยวิธีการทำเสถียรด้วยปูนขาว เมื่อใช้ปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 0.372, 2.398 และ 0.372 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณปูนขาวร้อยละ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 2.646, 1.819 และ 3.803 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เป็นวัสดุประสาน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 พบว่า ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 49.235 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด พบว่า ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 49.556 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยวิธีทำเสถียรด้วยปูนขาว พบว่า ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวมีค่าน้อยมาก น่าจะเกิดจาก การที่ปูนขาวไม่ได้เกิดปฏิกิริยาให้สารผลิตภัณฑ์ใหม่ใดๆเลย เพียงแต่แข็งตัวแล้วยึดอนุภาคตะกรันให้พออยู่ด้วยกันไว้เท่านั้น แต่ปูนขาวก็สามารถช่วยทำลายฤทธิ์ของน้ำชะละลายซึ่งเป็นกรดได้ เมื่อพิจารณาการบำบัดกากตะกรันนี้โดยวิธีทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์พบว่า ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวของการใช้ปูนซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน มีค่าไม่สูงมากนัก แต่ก็สามารถทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ การที่ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวมีค่าค่อนข้างต่ำ เป็นเพราะปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้น้อยมาก การเกิดโครงสร้างเพื่อห่อหุ้มอนุภาคกากตะกรันอาจเป็นไปได้ไม่ดีนัก ซึ่งเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ในการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันเลือกปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เพราะประหยัดค่าใช้จ่าย และทำให้ปริมาตรสุดท้ายของของเสียเพิ่มน้อยที่สุด

5.9 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดตามวิธีทดสอบของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เป็นปูนซีเมนต์มีด้วยกันหลายวิธี สำหรับในงานวิจัยฉบับนี้ จะใช้วิธีทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามวิธีการทดสอบของประกาศของกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 ด้วยความเหมาะสมในหลายๆประการ ทั้งในเชิงปฏิบัติ และทางวิศวกรรม วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระบุไว้ในประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 1

พ.ศ.2531 เป็นวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars(using 2-in. or 50 mm. cube specimens) ซึ่งในการทดสอบจะใช้ก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เมตร และในประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 พ.ศ.2531นี้ ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับการบำบัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อนว่า จะต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ซึ่งเป็นกฎหมายที่บังคับใช้ในปัจจุบัน จะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1633-84 Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil- Cement Cylinders ซึ่งในการทดสอบจะใช้ก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 นิ้ว หรือ 71.1 มิลลิเมตร สูง 5.6 นิ้วหรือ 142.2 มิลลิเมตร โดยมีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.0 และในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540นี้ ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยวิธีทำให้เสถียร และการทำให้เป็นก้อนเป็นก้อนจะต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อความครอบคลุมถึงกฎหมายที่บังคับใช้ในปัจจุบันในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามวิธีที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ซึ่งเป็นก้อนตัวอย่างที่มีรูปทรงเป็นทรงกระบอกด้วย โดยเลือกปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันเป็นวัสดุประสาน และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดตามวิธีทั้งสองเป็นดังตารางที่ 5.13 จากผลของกำลังรับแรงอัดสามารถประมาณได้ว่า กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก (ASTM D 1633-84) จะมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ (ASTM C 109-86) ประมาณร้อยละ 30 ซึ่งค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีของสัดส่วนที่เลือกใช้ในการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันนี้ สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้

ตารางที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดโดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 และ ASTM D 1633-84

คุณสมบัติ	ASTM C 109-86	ASTM D 1633-84
ลักษณะก้อนตัวอย่าง	ลูกบาศก์ขนาด 5×5×5ลบ.ซม.	ทรงกระบอกϕ 2.8นิ้ว สูง5.6นิ้ว
กำลังรับแรงอัด		
- ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	105.84	71.62
- ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	153.66	104.42
เกณฑ์มาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)	> 14	> 3.5

5.10 การประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

ในการผลิตโลหะตะกั่วบริสุทธิ์ จะใช้หัวแร่ประมาณ 20,000 ตันต่อปี เกิดเป็นโลหะตะกั่ว ประมาณ 12,000 ตันต่อปี และกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ประมาณ 8,000 ตันต่อปี

การศึกษาการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานในปริมาณร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน มีความเหมาะสมที่สุดเพราะ คุณสมบัติทั้งทางกายภาพ และการชะละลายผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาตรสุดท้ายของของเสียเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และประหยัดวัสดุในการทำให้เป็นก้อน ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันจะประกอบด้วยค่าวัสดุและค่าแรงในการบำบัด ค่าขนส่ง และค่าฝังกลบ ข้อมูลจากจากฝ่ายข้อมูลราคา กองดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ เดือนมกราคม 2543 ปูนซีเมนต์ราคาตันละ 2,522 บาท ในการทำให้เป็นก้อนนี้ กากตะกรัน 1 ตัน ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 0.12 ตัน คิดเป็นราคาปูนซีเมนต์ 302.64 บาท โดยปรกติแล้วค่าแรงงานในการผสมคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 20 ของราคาวัสดุที่ใช้ ดังนั้นค่าแรงในส่วนนี้จึงมีค่าประมาณ 61 บาท ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในกระบวนการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ประมาณ 364 บาทต่อตันของกากตะกรัน หรือประมาณ 243 บาทต่อตันของตะกั่วที่ผลิตได้ ส่วนพื้นที่ในการทิ้ง ฝังกลบกากตะกรันนั้นในปัจจุบันทางโรงงานมีพื้นที่ในส่วนนี้แล้วซึ่งอยู่ในบริเวณเดียวกับโรงงานนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถประหยัดต้นทุนในส่วนค่าขนส่ง และค่าฝังกลบไป

การศึกษาการทำให้เป็นเสถียรด้วยปูนขาวของกากตะกรัน ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ พบว่า การปูนขาว ร้อยละ100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน สามารถทำให้กากตะกรันหลังผ่านการทำเสถียรมีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด มีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานในด้านการชะละลาย ดังนั้นจึงได้มีการประมาณค่าใช้จ่ายในการทำเสถียรด้วยปูนขาวไว้ดังนี้ ข้อมูลจากกรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์ เดือนมกราคม 2543 ปูนขาวราคากิโลกรัมละ 1.50 บาท ดังนั้นในการทำเสถียรกากตะกรัน 1 ตันซึ่งต้องใช้ปูนขาวในปริมาณ 1 ตันเช่นเดียวกัน คิดเป็นเงิน 1500 บาทต่อตัน เมื่อพิจารณาค่าบริการในการบำบัดของศูนย์กำจัดกากแสมดำ(บำบัดที่แสมดำ และนำไปฝังกลบที่ราชบุรี) พบว่าของแข็งปนเปื้อนโลหะหนักที่จัดว่าเป็นของเสียอันตรายมีราคาในการบำบัดไม่ต่ำกว่า 2,000 บาทต่อตัน(ข้อมูลจากฝ่ายการตลาดของบริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด หรือ GENCO) โดยราคาแพงมากหรือน้อยต้องพิจารณาลักษณะสมบัติของของเสียอย่างละเอียด ราคานี้ยังไม่คิดรวม

ค่าขนส่ง 2.75 บาทต่อกิโลเมตร หรือเหมาจ่ายประมาณเที่ยวละ 2,000-4,000 บาท ค่าขนถ่ายของเสียขึ้นลง 300 บาทต่อตัน และค่าฝังกลบอีก 875 บาทต่อตัน รวมค่าใช้จ่ายไม่ต่ำกว่า 5,000 บาทต่อตัน ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วการกำจัดในบริเวณโรงงานน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า ค่าใช้จ่ายที่จะต้องลงทุนมากในครั้งแรกคือการปรับปรุงหลุมฝังกลบให้มีความปลอดภัยสมบูรณ์ตามหลักวิชาการเท่านั้น