บทที่ 4
แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ จะต้องมีการเก็บตัวอย่างกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์(Ce-rusite smelting)เพื่อผลิตตะกั่วแท่งบริสุทธิ์จากโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี แล้วนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการคอนกรีตของภาควิชาวิศวกรรมโยธา ห้องปฏิบัติการทางปฐพีวิทยาของภาควิชาวิศวกรรมโยธา ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1) ของเสีย (Waste)

ในงานวิจัยนี้ ของเสียที่ต้องการบำบัด คือ กากตะกรันจากกระบวนการถลุงแร่เซรัสไซต์ (Ce-rusite) เพื่อผลิตตะกั่วแท่งบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นของเสียได้มาจากโรงงานถลุงแร่ตะกั่วแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี กากตะกรันโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ปูนขาว ซิลิกา อลูมินา และแมกเนเซีย ส่วนประกอบอื่นๆได้แก่ ซัลเฟอร์ซึ่งมักพบในรูป ซัลไฟด์ เหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ และโลหะหนักชนิดต่างๆ

2) วัสดุประสาน (Binders)

จากการพิจารณาความเป็นได้ในเบื้องต้นทางด้าน คุณสมบัติ ความเข้ากันได้กับของเสีย ราคา และความยากง่ายในการหา ของวัสดุประสานชนิดต่างๆแล้ว จึงเลือกวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลองดังนี้คือ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ตามมาตรฐาน ASTM C 150 หรือเรียกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา(Ordinary Portland Cement) โดยในการทดลองนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ตราช้าง ของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย ในการทดลองจะสัญลักษณ์วัสดุประสานชนิดนี้เป็น OPC
- ปูนขาว(Lime) ซึ่งจะใช้เกรดเชิงพาณิชย์ในการทดลองนี้

3) สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่งที่ศึกษาเพื่อนำมาใช้ร่วมกับวัสดุประสานในการทดลองนี้ คือ สารผสมซีเมนต์ประเภทที่ทำให้ซีเมนต์มีความทึบแน่น กันน้ำ หรือเรียกว่า Permeability Reducers ซึ่งเป็นสารที่มี

คุณสมบัติไม่ให้น้ำซึมผ่านวัสดุได้ภายใต้ความดันน้ำที่สูง หรือลดค่าการซึมน้ำ นั่นเอง สารเหล่านี้จะไปแทรกอุดรูเล็กๆในคอนกรีต หรือซีเมนต์ จากคุณสมบัติของสารนี้ที่ดีของสารนี้ดังได้กล่าวไปแล้ว จึงน่าจะนำมาทดลองใช้ในการเป็นวัสดุเติมแต่ง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการลดโอกาสการถูกน้ำสกัดซึมเข้าไปชะละลายโลหะหนักให้ออกมากับน้ำสกัด ให้แก่ของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว ในการทดลองนี้จะใช้น้ำยากันซึมที่มีชื่อว่า พลาสโตกรีต เอ็น(Plastocrete N) ตราซิกา

4) น้ำ(Water)

น้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์ต้องเป็นน้ำที่มีความสะอาดเพียงพอ มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 พีพีเอ็ม และต้องไม่ได้รับการปนเปื้อนจากน้ำเสียประเภทต่างๆ ซึ่งน้ำประปาก็มีคุณสมบัติดังกล่าว ในการทดลองนี้จึงใช้น้ำประปาเป็นน้ำสำหรับผสมซีเมนต์

5) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- กรดไฮโดรคลอริก
- กรดซัลฟูริก
- กรดไนตริก
- น้ำกลั่น
- สารละลายมาตรฐานตะกั่ว
- สารละลายมาตรฐานแคดเมียม
- สารละลายมาตรฐานโครเมียม
- สารละลายมาตรฐานเหล็ก
- สารละลายมาตรฐานสังกะสี

4.1.2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) การเตรียมกากตะกรันที่ใช้ในการทดลอง

- ครก
- ชุดตะแกรงหาขนาดอนุภาค (Sieve Analysis)
- ชุดเครื่องมือหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)
- เครื่อง Energy Disperssive X-ray Spectrometer

2) การทดลองผสมกากตะกรันกับวัสดุประสานและการทดสอบกำลังรับแรงอัด

- เครื่องชั่งน้ำหนัก 2,000 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.2 กรัม
- แบบหล่อซีเมนต์ ขนาด 5 × 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งทำด้วยพลาสติก
- กระบอกตวง
- ภาชนะสำหรับผสมซีเมนต์
- ไม้กระทุ้ง(Tamper) และเกรียงฉาบซีเมนต์
- ผ้า และกล่องพลาสติก สำหรับบ่มปูนซีเมนต์
- เครื่องทดสอบแรงอัด (Testing Machine)

3) การทดสอบการสกัดสาร

- ตะแกรงร่อน(Sieve) ขนาด 9.5 มิลลิเมตร - เครื่องชั่งสารเคมี 1,000 กรัม
- ขวดพลาสติกทรงกระบอกปริมาตร 1 ลิตร
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร
- เครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30±1 รอบ/นาที
- กระดาษกรองใยแก้ว ซึ่งมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6-0.8 ไมครอน
- เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer
- เครื่องวัดค่าพีเอช - เครื่องแก้วต่างๆ (Glassware)

4.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์การบำบัดกากตะกรัน ในงานวิจัยนี้จึงได้แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆคือ

1. การศึกษาคุณสมบัติของตะกรัน
2. การศึกษาทำเสถียรตะกรันด้วยปูนขาว
3. การศึกษาการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
4. การประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อหน่วยน้ำหนักของตะกรัน และค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำหนักตะกั่วบริสุทธิ์ที่โรงงานผลิตได้ เพื่อให้โรงงานสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกหนึ่งได้

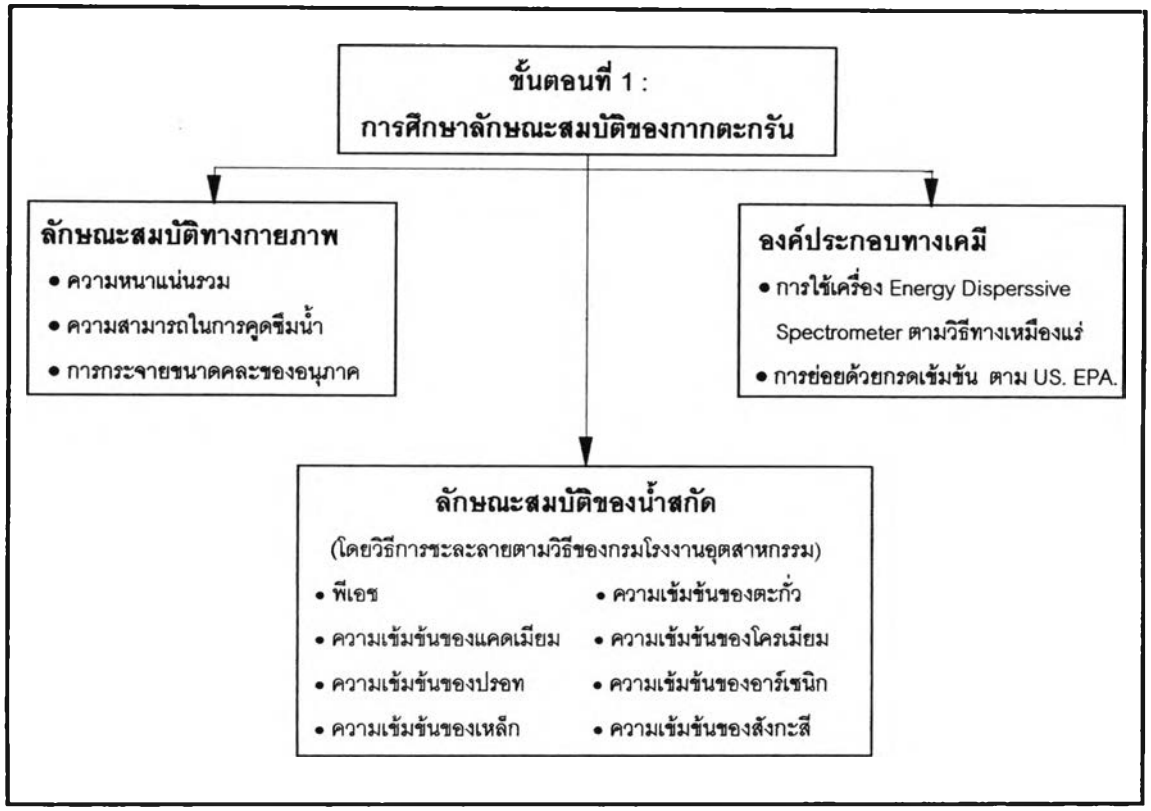
ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรัน

การศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรันจะแบ่งเป็น

1) การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวม ความสามารถในการดูดซึมน้ำ(Water absorption capacity) และการกระจายขนาดคละของอนุภาค

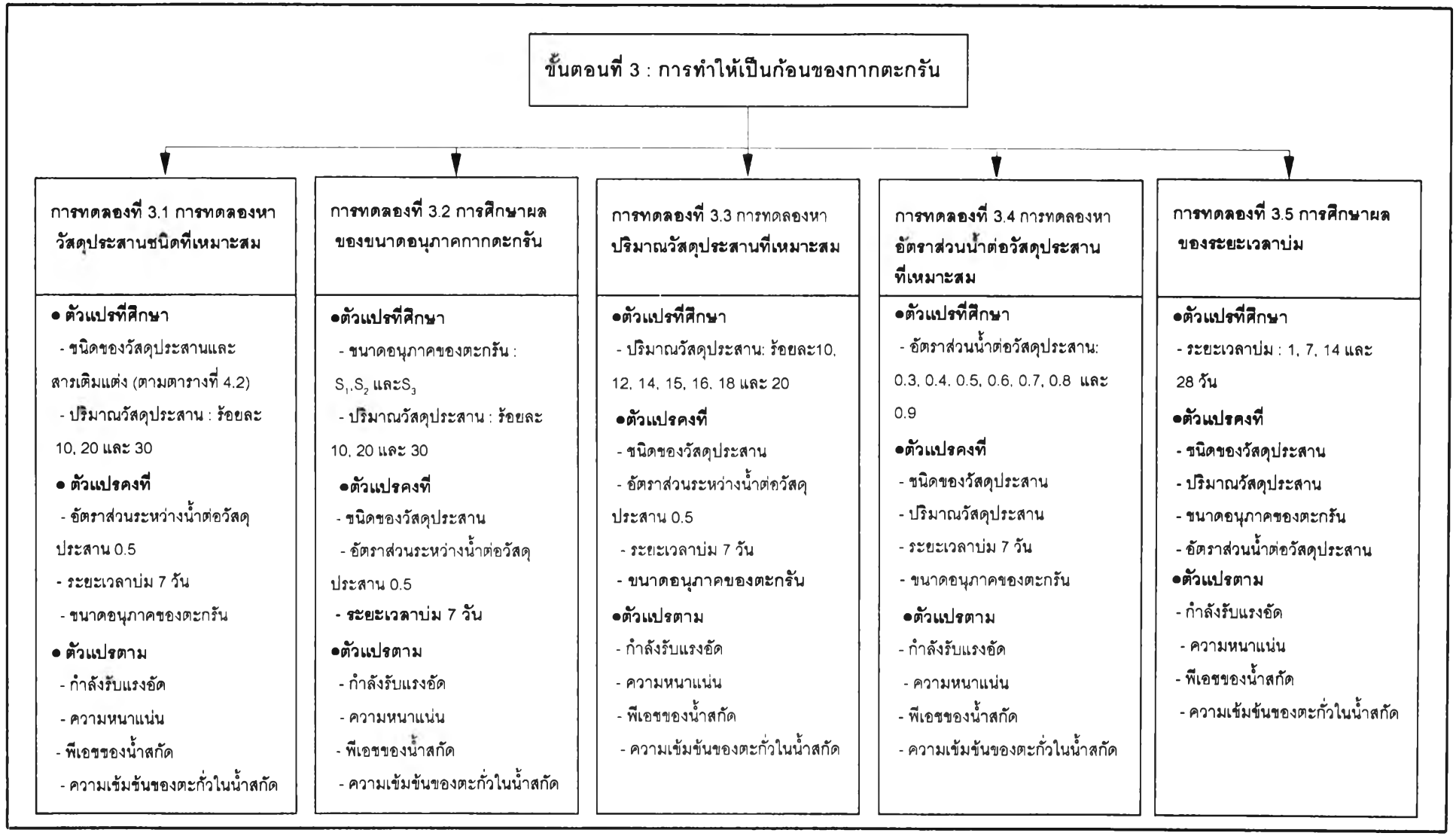
2) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ การหาองค์ประกอบทางเคมีโดยการใช้เครื่อง Energy Disperssive Spectrometer ตามวิธีทางเหมืองแร่ และการย่อยด้วยกรดแก่(Total digestion) ตามวิธีของ US.EPA.

3) การทดสอบการชะละลาย (Leachate extraction procedure) โดยวิธีการสกัดสารตามมาตรฐานของกรมโรงงาน อุตสาหกรรม น้ำสกัดที่ได้จะนำมาวัดค่าพีเอช ความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ปรอท อาร์เซนิก เหล็ก และสังกะสี



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรัน

รูปที่ 4.2 แสดงการศึกษาการทำเสถียรกากตะกรันโดยใช้ปูนขาว



รูปที่ 4.3 แสดงการศึกษาการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาการทำเสถียรตะกรันด้วยปูนขาว

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการทำเสถียรตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยใช้ปูนขาว ขนาดของตะกรันที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบคละขนาดซึ่งมีค่าขนาดของอนุภาคตะกรันดังในการทดลองที่ 1 ในการทดลองจะมีการแปรค่าปริมาณปูนขาวที่ใช้ 9 ค่าคือปริมาณปูนขาวร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักของตะกรัน อัตราส่วนน้ำต่อปูนขาวที่ใช้เท่ากับ 0.6 และใช้ระยะเวลาบ่ม 3 ค่าคือ 1, 7 และ 28 วัน วิธีการทดลองมีดังนี้

1) ผสมปูนขาวและผงตะกรันเข้าด้วยกันในสัดส่วนดังตารางที่ 4.1 แล้วเติมน้ำในปริมาณที่กำหนด กวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว เทของผสมที่ได้ ลงในแบบหล่อขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้จนแห้ง แล้วจึงแกะแบบ ทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่เวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

2) เมื่อครบตามระยะเวลาบ่มที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และทดสอบค่ารับแรงโดยเครื่องทดสอบแรงอัด(Testing Machine) เพื่อหาค่าความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัด จากนั้นจึงนำตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่เหลือ มาทดสอบการสกัดสาร ตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม วัดค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

3) ทำการทดลองในขั้นตอนนี้ซ้ำ จากข้อ 1) และ ข้อ 2) อีก 2 ครั้ง ซึ่งรวมทั้งหมดทำทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงการทดลองการทำเสถียรกากตะกรันด้วยปูนขาว

ลำดับที่	ส่วนประกอบของก้อนตัวอย่าง (ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน		ระยะเวลาบ่ม (วัน)
	ปูนขาว	กากตะกรัน	
1.	0	100	7, 14 และ 28
2.	10	100	7, 14 และ 28
3.	20	100	7, 14 และ 28
4.	30	100	7, 14 และ 28
5.	40	100	7, 14 และ 28
6.	50	100	7, 14 และ 28
7.	60	100	7, 14 และ 28
8.	70	100	7, 14 และ 28
9.	100	100	7, 14 และ 28

*ค่าที่ทำการวัด 1. กำลังรับแรงอัด 2. ความหนาแน่น 3. พีเอชของน้ำสกัด 4. ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

ในการศึกษาการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน จะแบ่งออกเป็น 4 การทดลองย่อยๆ คือ

1. การทดลองหาวัสดุประสานชนิดที่เหมาะสม
2. การศึกษาผลของขนาดของอนุภาคตะกรัน
3. การทดลองหาปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสม
4. การทดลองหาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม
5. การศึกษาผลของระยะเวลาบ่ม

การทดลองที่ 3.1 การทดลองหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้จะนำวัสดุประสานชนิดต่างๆที่มีส่วนประกอบดังตารางที่ 4.2 มาใช้ในการศึกษาเพื่อหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการบำบัดกากตะกรันนี้ กากตะกรันที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้อนุภาคแบบคละขนาด แปรค่าปริมาณวัสดุประสาน 3 ค่าคือปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10, 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และระยะเวลาบ่ม 7 วัน การเลือกชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมจะพิจารณาจากราคา และคุณสมบัติต่างๆว่าสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงาน

1) ผสมกากตะกรันให้เข้ากับวัสดุประสานแต่ละชนิด ตามปริมาณวัสดุประสานที่กำหนด เติมน้ำแล้วกวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว

2) เทของผสมที่ได้ลงในแบบหล่อขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตรทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงแกะแบบ ทำการบ่มก้อนซีเมนต์ที่ได้เป็นเวลา 7 วัน

3) นำก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนที่ได้มาวัดขนาด และชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง

4) จากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างดังกล่าวไปทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด(Testing Machine)

5) นำตัวอย่างที่เหลือ มาผ่านการสกัดโดยวิธีการชะละลายตามมาตรฐานกรมของโรงงานอุตสาหกรรม

6) ทำการทดลองจากข้อ 1) ถึง ข้อ5) ซ้ำอีก 2 ครั้ง ซึ่งรวมทั้งหมดทำการทดลองนี้ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.2 แสดงการทดลองเพื่อหาวัสดุประสานชนิดที่เหมาะสม

ลำดับที่	วัสดุประสาน			ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม**	
1.	1	0	-	10, 20 และ 30
2.	0.9	0.1	-	10, 20 และ 30
3.	0.7	0.3	-	10, 20 และ 30
4.	0.5	0.5	-	10, 20 และ 30
5.	0.3	0.7	-	10, 20 และ 30
6.	1	0	●	10, 20 และ 30
7.	0.9	0.1	●	10, 20 และ 30
8.	0.7	0.3	●	10, 20 และ 30
9.	0.5	0.5	●	10, 20 และ 30
10.	0.3	0.7	●	10, 20 และ 30

* ค่าที่ทำการวัด 1.กำลังรับแรงอัด 2.ความหนาแน่น 3.พีเอชของน้ำสกัด 4.ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

** น้ำยากันซึม (Permeability Reducer)

การทดลองที่ 3.2 การทดลองหาขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่เหมาะสม

เนื่องจากได้มีผู้พิสูจน์แล้วว่าขนาดอนุภาคของกากตะกรันที่ใช้ มีผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ โดยกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะให้ก้อนตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดมากกว่ากากตะกรันที่มีขนาดนุภาคใหญ่ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคกากตะกรันที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรันที่เกิกจากการถลุงแร่เซรัสไซต์ โดยในการทดลองจะศึกษาอนุภาคกากตะกรัน 3 ขนาด คือ โดยที่อนุภาคกากตะกรันขนาดที่ 1(S_1) จะเป็นขนาดที่ใช้ในการทดลองข้างต้นทั้งหมด ส่วนอนุภาคกากตะกรันขนาดที่ 2 (S_2) จะเป็นกากตะกรันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และอนุภาคกากตะกรันขนาดที่ 3 (S_3) จะเป็นขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดลองนี้

การทดลองนี้จะมีการแปรค่าปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ 3 ค่าได้แก่ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10, 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และระยะเวลาบ่ม 7 วัน วิธีการทดลองเป็นดังนี้

1) นำกากตะกรันที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากโรงงานมาบดเพื่อลดขนาด โดยกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 1 (S_1) จะเป็นกากตะกรันที่ใช้ในการทดลองที่ 2 และ 3.1 กากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2) จะเป็นกากตะกรันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3) จะเป็นกากตะกรันที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดลองนี้

2) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกรันแต่ละขนาดอนุภาค ได้แก่ การกระจายขนาดคละ และความสามารถในการดูดซึมน้ำ และทดสอบการชะละลายด้วยวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม นำน้ำสกัดที่ได้มาวัด พีเอช และความเข้มข้นของตะกั่ว

3) เมื่อทราบคุณสมบัติต่างๆของกากตะกรันแล้ว จึงนำไปทำให้เป็นก้อนโดยผสมวัสดุประสานชนิดที่เหมาะสม(จากการทดลองที่ 3.1) ให้เข้ากับกากตะกอนแต่ละขนาดอนุภาค เติมน้ำแล้วกวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

4) เทของผสมที่ได้ในข้อ 3) ลงในแบบหล่อ โดยหล่อตามวิธีมาตรฐาน ทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงแกะแบบ

5) บ่มก้อนตัวอย่างที่ได้ เป็นระยะเวลา 7 วัน

6) เมื่อครบระยะเวลาบ่มที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และทดสอบค่ารับแรงอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัด(Testing machine) เพื่อหาความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

7) นำตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่เหลือจากข้อ 4) มาทดสอบการสกัดสารตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม วัดค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

8) ทำการทดลองจากข้อ 3) ถึง 8) อีก 2 ครั้ง ซึ่งรวมทั้งหมดในแต่ละขนาดอนุภาคของกากตะกรัน จะมีก้อนตัวอย่างทั้งหมด 3 ก้อน

การทดลองที่ 3.3 การทดลองหาปริมาณวัสดุประสานที่ใช้

ในการทดลองหาปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสมนี้ จะใช้ชนิดของวัสดุประสานที่เลือกมาจากการทดลองที่ 3.1 และขนาดอนุภาคของกากตะกรันจะใช้แบบขนาดที่เลือกมาจากการทดลองที่ 3.2 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อของวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และระยะเวลาบ่ม 7 วัน ปริมาณวัสดุประสานที่มีการแปรค่าจะเลือกในปริมาณที่เป็นช่วงมาจากการทดลองที่ 3.1 และ 3.2

1) ผสมกากตะกรันให้เข้ากับวัสดุประสานในปริมาณต่างๆ เติมน้ำ แล้วกวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

2) เทของผสมที่ได้ในข้อ 1) ลงในแบบหล่อ โดยหล่อตามวิธีมาตรฐาน ทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงแกะแบบ

3) บ่มก้อนตัวอย่างที่ได้ เป็นระยะเวลา 7 วัน

4) เมื่อครบระยะเวลาบ่มที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และทดสอบค่ารับแรงอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัด (Testing machine) เพื่อหาความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

5) นำตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่เหลือจากข้อ 4) มาทดสอบการสกัดสารตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม วัดค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

6) ทำการทดลองจากข้อ 1) ถึง 5) อีก 2 ครั้ง ซึ่งรวมทั้งหมดในแต่ละสัดส่วนของวัสดุประสานจะมีก้อนตัวอย่างทั้งหมด 3 ก้อน

การทดลองที่ 3.4 การทดลองหาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม

ในการทดลองหาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมนี้ จะใช้ชนิดของวัสดุประสาน ขนาดอนุภาคของกากตะกรัน และปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ โดยในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง 7 ค่า ได้แก่ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9

1) ผสมกากตะกรันกับวัสดุประสานในปริมาณที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เติมน้ำในปริมาณต่างๆตามที่กำหนด แล้วกวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว

2) เทของผสมที่ได้ในข้อ 1) ลงในแบบหล่อ โดยหล่อตามวิธีมาตรฐาน ทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงแกะแบบ

3) บ่มก้อนตัวอย่างที่ได้ เป็นระยะเวลา 7 วัน

4) เมื่อครบระยะเวลาบ่มที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และทดสอบค่ารับแรงอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัด(Testing machine) เพื่อหาความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

5) นำตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่เหลือจากข้อ 4) มาทดสอบการสกัดสารตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม วัดค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

6) ทำการทดลองจากข้อ 1) ถึง 5) อีก 2 ครั้ง ซึ่งรวมทั้งหมดในแต่ละอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน จะมีก้อนตัวอย่างทั้งหมด 3 ก้อน

การทดลองที่ 3.5 การศึกษาระยะเวลาบ่มที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

ในการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันนี้ จะใช้ชนิดของวัสดุประสาน ขนาดอนุภาคของกากตะกรัน ปริมาณวัสดุประสาน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ

ประสานที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองที่ 3.1, 3.2, 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ โดยในการทดลองนี้จะแปรค่าระยะเวลาบ่ม 4 ค่าได้แก่ 1, 7, 14 และ 28 วัน

1) ผสมกากตะกรันให้เข้ากับวัสดุประสานในปริมาณที่กำหนด เติมน้ำแล้วกวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว

2) เทของผสมที่ได้ในข้อ 1) ลงในแบบหล่อ โดยหล่อตามวิธีมาตรฐาน ทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงแกะแบบ

3) บ่มก้อนตัวอย่างที่ได้ เป็นระยะเวลา 1, 7, 14 และ 28 วัน

4) เมื่อครบระยะเวลาบ่มที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และทดสอบค่ารับแรงอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัด(Testing machine) เพื่อหาความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

5) นำตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่เหลือจากข้อ 4) มาทดสอบการสกัดสารตามวิธีการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม วัดค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด

6) ทำการทดลองจากข้อ 1) ถึง 5) อีก 2 ครั้ง ซึ่งรวมทั้งหมดในแต่ละระยะเวลาบ่มจะมีก้อนตัวอย่างทั้งหมด 3 ก้อน

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินราคาในการบำบัดของกากตะกรันที่เกิดจากกระบวนการถลุงแร่เซรัสไซต์

ในงานวิจัยนี้จะมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกรัน ค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะประกอบด้วย ค่าวัสดุที่ใช้ ค่าแรง ค่าขนส่งต่างๆ และค่าฝังกลบ เพื่อให้โรงงานสามารถนำไปพิจารณาเป็นทางเลือกหนึ่งได้ โดยจะคิดเป็น

1) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อหน่วยตะกรันของเสีย

2) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อหน่วยตะกั่วบริสุทธิ์ที่โรงงานผลิตได้