บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะสมบัติของกากตะกอนดิบ

กากตะกอนดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นกากตะกอนที่ได้จากบริษัท อุตสาหกรรมน้ำมันไทย ซึ่งเป็นกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

1. สมบัติทางด้านกายภาพ

สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนดิบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งสมบัติต่างๆที่วิคราะห์ ได้แก่

1.1 ปริมาณน้ำบรรจุ

จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2216-80 พบว่า กากตะกอนดิบที่ได้รับและใช้ในการวิจัย มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

1.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นรวมของกากตะกอนดิบมีค่าอยู่ระหว่าง 1 และ 1.2 ตัน/ลบ.ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.1 ตัน/ลบ.ม

1.3 กำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบตามแรงมาตรฐาน ASTM D 109-86 กากตะกอนดิบมีลักษณะเป็นเม็ด คล้ายดินร่วน ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดได้

1.4 ปริมาณน้ำมันและไขมัน

จากการวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน โดยวิธีการสกัดในกากตะกอน (Extraction Method for Sludge Samples) พบว่า กากตะกอนดิบที่ได้รับและใช้ในการวิจัย มีปริมาณน้ำมันและไขมันประมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักแห้ง หรือร้อยละ 33.6 ของน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 5.1 ผลวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา

สมบัติทางด้านกายภาพ	กากตะกอนดิบ	ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400°ซ	ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800°ซ	ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200°ซ
ปริมาณน้ำบรรจุ(ร้อยละ)	4	2.85	0.23	0.06
ปริมาณน้ำมันและไขมัน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	35	5.06	0.071	0.07
ความหนาแน่นรวม(ตัน/ลบ.ม)	1.1	0.79	0.75	1.36
กำลังรับแรงอัด(กก/ตร.ซม)	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว

2. สมบัติทางด้านเคมี

จากการนำกากตะกอนดิบมาทำการสกัด ด้วยวิธีการสกัดสาร(Extraction Procedure) และนำน้ำที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ด้วยเครื่องมือพีเอชมิเตอร์ และวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ในน้ำสกัดของกากตะกอนดิบมีพีเอชประมาณ 8 ส่วนค่าความเข้มข้นของโครเมียมและปรอทในน้ำสกัดเท่ากับ 1.2 มก./ล และ 0.02 มก./ล ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำสกัดมีความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และตะกั่วต่ำกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิสูง

ภายหลังจากการนำกากตะกอนดิบมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 400 °ซ, 800 °ซ และ 1200 °ซ ในเตาเผาอุณหภูมิสูง จะได้ขี้เถ้าที่มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา

คุณสมบัติ	กากตะกอนดิบ	ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400°ซ	ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800°ซ	ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200°ซ	เกณฑ์มาตรฐาน
พีเอช	8	9.4	9.6	9.8	-
อาร์เซนิค (มก./ล)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<5
แคดเมียม(มก./ล)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<1
โครเมียม(มก./ล)	1.2	1.4	1.4	1.5	<5
ปรอท(มก./ล)	0.02	0.02	0.02	<0.02	<0.2
ตะกั่ว(มก./ล)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<5

1. สมบัติทางด้านกายภาพ

สมบัติทางด้านกายภาพของหลังขี้เถ้าการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งสมบัติต่างๆที่วิเคราะห์ ได้แก่

1.1 ปริมาณน้ำบรรจุ

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 216-80 พบว่า ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ มีปริมาณน้ำบรรจุอยู่ระหว่างร้อยละ 0.06 ถึง 2.85 โดยน้ำหนัก ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ, 800 °ซ และ 1200 °ซ มีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 2.85, 0.23 และ 0.06 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

1.2 ปริมาณน้ำมันและไขมัน

จากการวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน โดยวิธีการสกัดในกากตะกอน (Extraction Method for Sludge Samples) พบว่า ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ มีปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.07-5.06 ของน้ำหนักแห้ง โดยขี้เถ้าที่ถูกเผา ณ อุณหภูมิ 400 °ซ, 800 °ซ และ 1200 °ซ จะมีปริมาณน้ำมันและไขมันประมาณร้อยละ 5.06, 0.071 และ 0.07 ของน้ำหนักแห้ง หรือ ร้อยละ 4.92, 0.071 และ 0.07 ของน้ำหนักเปียก ตามลำดับ

1.3 ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นของขี้เถ้าหลังจากเผาที่อุณหภูมิต่างๆคือ 400 °ซ, 800 °ซ และ 1200 °ซ มีค่าเท่ากับ 0.79, 0.75 และ 1.36 ตัน/ลบ.ม ตามลำดับ

1.4 กำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 109-86 ขี้เถ้าหลังการเผามีลักษณะเป็นผง ไม่เกาะตัว ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดได้

2. สมบัติทางด้านเคมี

จากการสกัดสารตามวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานฯ เพื่อหาปริมาณสารมลพิษที่จะละลายออกมา ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 พบว่า ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ และ 800 °ซ มีความเข้มข้นของโครเมียมและปรอทเท่ากับ 1.4 มก./ล และ 0.02 มก./ล ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และตะกั่ว ต่ำกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือ ในน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ มีความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.5 มก./ล ส่วนความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ต่ำกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือ ส่วนค่าพีเอชในน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ, 800 °ซ และ 1200 °ซ มีค่าประมาณ 9.4, 9.6 และ 9.8 ตามลำดับ

สังเกตว่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดของขี้เถ้าหลังการเผามีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกอนก่อนเผา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหลังจากเผาที่อุณหภูมิสูง โครเมียมที่อยู่ในกากตะกอนดิบเกิดเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย โดยอาจอยู่ในรูป CrO หรือ CrO_2 เป็นต้น

ผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

เนื่องจากกฎหมายกำหนดว่าน้ำมันเครื่องเก่าเข้าข่ายของเสียที่เป็นอันตราย ดังนั้นของเสียจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่าก็น่าจะเข้าข่ายของเสียที่เป็นอันตรายด้วย ถึงแม้ว่าไม่สามารถตรวจพบโลหะหนักตัวใดเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ในน้ำสกัดของกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา ดังนั้นจึงควรนำขี้เถ้าหลังการเผามาบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อน เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายก่อนการฝังกลบต่อไป

กากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนัก เมื่อมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด และวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาสัดสวนผสมที่เป็นไปได้เบื้องต้น โดยผลของการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด

1.1 กากตะกอนดิบ

กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนดิบที่ผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักกาก โดยจะทำการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน พบว่า ก้อนตัวอย่างไม่เกิดการแข็งตัวและไม่สามารถรับแรงอัดได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำมันและไขมันอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ทำให้ไม่เกิดการแข็งตัวหรือเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

1.2 ขี้เถ้าหลังการเผา

กำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่ผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า โดยจะทำการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 5.3, 5.4, 5.5 และ รูปที่ 5.1, 5.2, 5.3

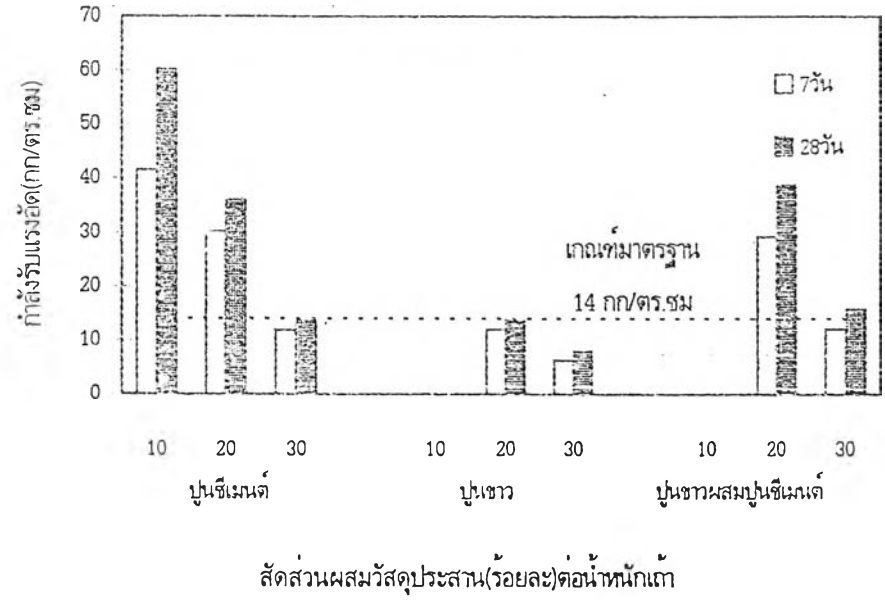
1.2.1 ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

1.2.1.1 สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.6 กก/ตร.ซม และ 60.2 กก/ตร.ซม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 20 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 30.3 กก/ตร.ซม และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อสัดส่วนผสมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน กลับลดลงและต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการผังกลบที่กำหนดไว้ที่ 14 กก/ตร.ซม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 0.36 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 และเป็น 0.66 และ 0.9 เมื่อใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ จึงทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีค่าต่ำลงตามลำดับ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์

1.2.1.2 ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400°ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

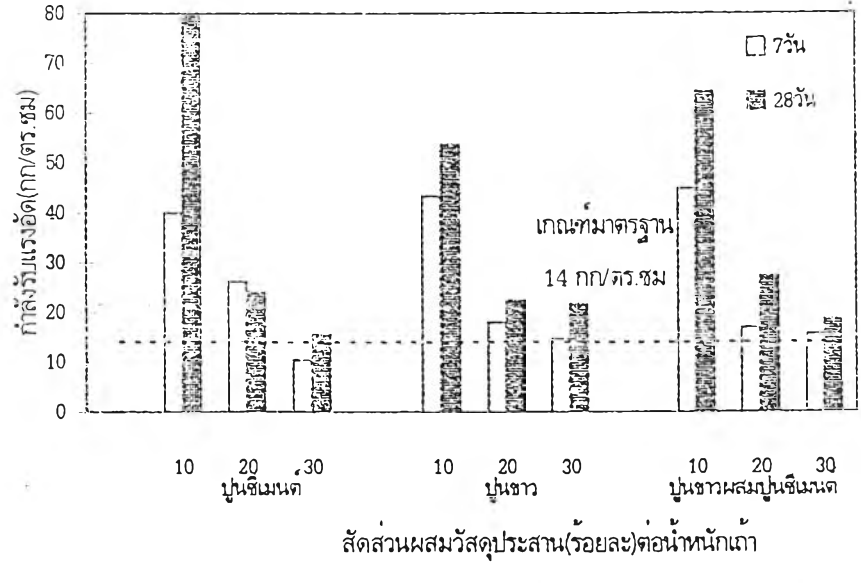
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม)	
วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์	10	41.6	60.2
	20	30.3	36.0
	30	11.9	13.6
ปูนขาว	10	ไม่เป็นก้อน	ไม่เป็นก้อน
	20	11.9	13.7
	30	6.2	8
ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1โดยน้ำหนัก)	10	ไม่เป็นก้อน	ไม่เป็นก้อน
	20	29.2	38.7
	30	12.1	15.8



รูปที่ 5.1 กราฟแท่งแสดงกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

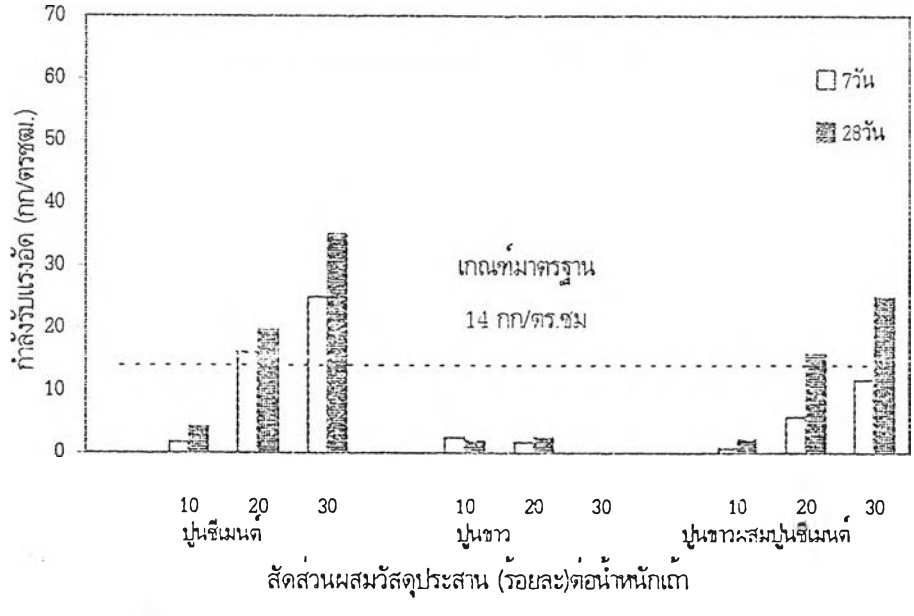
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม)	
วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์	10	40	79.4
	20	26.1	24.1
	30	10.3	15.4
ปูนขาว	10	43.3	53.6
	20	18	22.3
	30	14.6	21.7
ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1โดยน้ำหนัก)	10	44.9	64.4
	20	16.9	27.2
	30	15.6	18.5



รูปที่ 5.2 กราฟแท่งแสดงกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม)	
วัสดุประสาน	สัดส่วนผสม(ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์	10	1.7	4.1
	20	16.1	19.7
	30	25	35
ปูนขาว	10	2.4	1.9
	20	1.8	2.4
	30	ไม่เป็นก้อน	ไม่เป็นก้อน
ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1โดยน้ำหนัก)	10	0.8	2.1
	20	5.7	15.9
	30	11.7	25



รูปที่ 5.3 กราฟแท่งแสดงกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40 กก/ตร.ซม และ 79.4 กก/ตร.ซม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาลดลงที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.1 กก/ตร.ซม และ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าใกล้เคียงค่าเดิม คือ มีค่าเท่ากับ 24.1 กก/ตร.ซม และ ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 พบว่า กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบ และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 28 วัน ซึ่งเหตุผลที่กำลังรับแรงอัดลดลง เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ อาจเนื่องจากค่าน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงขึ้น จาก 0.73 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 และเป็น 1.85 เมื่อใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 30

1.2.1.3 สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์กับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก/ตร.ซม เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 20 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ได้ 16.1 กก/ตร.ซม โดยเฉลี่ย และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย 25 กก/ตร.ซม และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเป็น 35 กก/ตร.ซม จะพบว่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ อาจมีสาเหตุมาจากการขาดน้ำเพื่อใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ (ดังสมการที่ 3.1 - 3.4) สำหรับก้อนตัวอย่างที่ใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ในปริมาณต่ำ โดยสังเกตจากค่าน้ำต่อวัสดุประสานมีค่าเพียง 0.25 และ 0.47 สำหรับก้อนตัวอย่างที่ใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 10 และ 20 และเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 30 ทำให้ค่าน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มเป็น 0.65 ส่งผลให้มีน้ำเพียงพอใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน จากภาพโดยรวมเปรียบเทียบกำลังของก้อนตัวอย่าง พบว่า ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานให้กำลังค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบก้อนตัวอย่างที่เกิดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ และ 800 °ซ เมื่อใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหลังจากเผากากตะกอนดิบที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ทำให้เกิดเกลือโลหะหนักบางตัว ซึ่งมีคุณสมบัติหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

1.2.2 <u>ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน</u>

1.2.2.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ในสัดส่วนผสมปูนขาวต่อขี้เถ้าเท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว อาจเป็นเพราะปริมาณปูนขาวมีไม่เพียงพอในการสร้างกำลัง เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนขาวเป็นร้อยละ 20 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น แต่ยังคงต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และที่สัดส่วนผสมร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำลง

อีก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากน้ำมันและไขมันที่ยังมีเหลืออยู่เป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนขาวก็เป็นได้

1.2.2.2 ที่สัดส่วนผสมปูนขาวต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.3 กก/ตร.ซม และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาขึ้นมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.6 กก/ตร.ซม เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนขาวเป็นร้อยละ 20 และ 30 พบว่า กำลังรับแรงอัดพัฒนาช้าลงที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาบ่มเป็น 28 วัน ซึ่งเหตุผลที่กำลังรับแรงอัดลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาว อาจเนื่องจากค่าน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงขึ้น จาก 0.73 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 และเป็น 1.85 เมื่อใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 30

1.2.2.3 ที่สัดส่วนผสมปูนขาวต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 และ 20 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำและเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ถึงแม้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวเป็นร้อยละ 30 พบว่าก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว สาเหตุที่ก้อนตัวอย่างรับกำลังได้ต่ำมาก อาจเป็นเพราะมีเกลือโลหะหนักบางตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนขาว

1.2.3 ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1ต่อ1 โดยน้ำหนัก) เป็นวัสดุประสาน

1.2.3.1 สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำส่วนใหญ่ถูกปูนขาวดูดซับไว้ ทำให้ขาดน้ำใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 พบว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน เท่ากับ 29.2 กก/ตร.ซม และ 38.7 กก/ตร.ซม ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 30 พบว่า กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาลดลงที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อบ่มครบ 28 วัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานสามารถรับกำลังได้ต่ำกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

1.2.3.2 สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่ากำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมาก โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.9 กก/ตร.ซม และ 64.4 กก/ตร.ซม จะสังเกตุว่าที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

ก้อนตัวอย่างจะให้กำลังที่สูงกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์หรือปูนขาวเป็นวัสดุประสานในปริมาณสัดส่วนผสมที่เท่ากัน และเมื่อสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 และ 30 กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มพัฒนาช้าลง แต่ยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐานในการผังกลบ ซึ่งเหตุผลที่กำลังรับแรงอัดลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ อาจเนื่องจากค่าน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงขึ้น จาก 0.73 ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 และเป็น 1.85 เมื่อใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 30

1.2.3.3 สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ถึงแม้ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 20 การพัฒนากำลังรับแรงอัดยังคงต่ำเมื่อระยะเวลาบ่ม 7 วัน และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.9 กก/ตร.ซม เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดพัฒนาขึ้นอย่างมาก โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.7 กก/ตร.ซม เมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25 กก/ตร.ซม อาจกล่าวโดยรวมได้ว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานสามารถรับกำลังได้ไม่ดีเท่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

2. <u>ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด</u>

การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักในน้ำสกัด ใช้วิธีการสกัดสารตามมาตรฐาน ของกรมโรงงานฯ ซึ่งประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2531 การทดสอบคุณสมบัตินี้ก็เพื่อพิจารณาว่าขี้เถ้าหลังการเผาที่ถูกทำให้เป็นก้อน จะผ่านมาตรฐานของเสียอันตรายของกรมโรงงานฯหรือไม่ โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของโลหะหนัก คือ อาร์เซนิค โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ในน้ำสกัด สำหรับโครเมียม แคดเมียม และ ตะกั่ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) ซึ่งเครื่องมือวิเคราะห์มีขีดจำกัดดังนี้ 0.01 มก./ล สำหรับแคดเมียม, 0.2 มก./ล สำหรับโครเมียม, และ 0.2 มก./ล สำหรับตะกั่ว สำหรับอาร์เซนิค และ ปรอท วิเคราะห์ด้วยวิธี Vapor Generation ซึ่งมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์คือ 0.01 มก/ล สำหรับอาร์ซินิค, และ 0.02 มก/ล สำหรับปรอท

2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ

2.1.1 พีเอชของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 11.9 แสดงว่าน้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง

2.1.2 สัดส่วนผสมของวัสดุประสาน ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ทุกสัดส่วนผสม มีความเข้มข้นของโลหะหนัก คือ อาร์เซนิค โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ในน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมโรงงานฯกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 5.6 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่น้อยมากในกากตะกอนดิบ

2.1.3 ปริมาณโครเมียมที่ถูกชะละลายออกมาจากก้อนตัวอย่าง จะสูงกว่าในน้ำสกัดของขี้เถ้า แสดงว่า ปูนซีเมนต์ไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของโครเมียมในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ

2.1.4 ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า สามารถทำเสถียรโดยยึดเกาะโลหะหนักที่มีอยู่ในขี้เถ้าได้ดี ไม่ให้โลหะหนักถูกชะละลายออกมา

2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ

2.2.1 พีเอชของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 9.8 ถึง 12.2 แสดงว่า น้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง

2.2.2 สัดส่วนผสมของวัสดุประสานต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ทุกสัดส่วนผสม มีความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานฯ ดังแสดงในตารางที่ 5.7 โดยความเข้มข้นของ อาร์เซนิค แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำสกัดต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ สำหรับความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.6 มก/ล

2.2.3 สำหรับโครเมียม และ ปรอท ที่พีเอชสูงๆยังสามารถละลายน้ำได้บ้าง และเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น พบว่า ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดมีค่าต่ำลง ส่วนความเข้มข้นของ

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

สัดส่วนผสมต่อน้ำหนักเถ้า	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล)									
			อาร์ซินิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว	
เกณฑ์มาตรฐาน	-		<5		<1		<5		<0.2		<5	
ระยะเวลาบ่ม	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
ขี้เถ้าหลังการเผา	9.4	9.4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.4	1.4	0 02	0.02	<0.2	<0.2
ปูนซีเมนต์												
ร้อยละ10	10.3	10.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.45	<.02	<.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	10.9	10.7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.5	<.02	<.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	11.0	10.9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.45	<.02	<.02	<0.2	<0.2
ปูนขาว												
ร้อยละ10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ร้อยละ20	11.7	10.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.8	0.02	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	11.9	10.6	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.8	0.02	0.02	<0.2	<0.2
ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์												
ร้อยละ10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ร้อยละ20	11.4	11.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.2	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	11.9	11.4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.4	0.03	0.02	<0.2	<0.2

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

สัดส่วนผสมต่อน้ำหนักเถ้า	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล)									
			อาร์ซินิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว	
เกณฑ์มาตรฐาน	-		<5		<1		<5		<0.2		<5	
ระยะเวลาบม	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
ขี้เถ้าหลังการเผา	9.6	9.6	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.4	1.4	0.02	0.02	<0.2	<0.2
ปูนซีเมนต์												
ร้อยละ10	10.8	10.9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.8	3.2	0.06	0.03	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	11.4	11.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.8	3.2	0.05	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	11.6	11.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.3	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ปูนขาว												
ร้อยละ10	12.2	11.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.4	0.04	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	12.2	11.7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.4	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	12.1	12.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.4	0.02	0.02	<0.2	<0.2
ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์												
ร้อยละ10	12.2	10.8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.4	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	12.1	11.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.6	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	11.8	9.8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3.2	3.6	0.02	<0.02	<0.2	<0.2

โครเมียมในน้ำสกัดสูงขึ้น แสดงว่าปูนซีเมนต์ไม่สามารถทำลายฤทธิ์โครเมียมได้

2.2.4 จากผลที่ได้ สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณวัสดุประสานทุกชนิดเพียงร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า สามารถทำสถียรยึดเกาะโลหะหนักที่มีอยู่ในขี้เถ้าไม่ให้ถูกชะละลายออกมาได้

2.3 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ

2.3.1 พีเอชของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 11.2 ถึง 12.8 แสดงว่าน้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง

2.3.2 ที่สัดส่วนผสมวัสดุประสานกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ทุกสัดส่วนผสม พบว่า มีความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมโรงงานฯกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 5.8

2.3.3 สำหรับโครเมียม และ ปรอท ที่พีเอชสูงๆยังสามารถละลายน้ำได้บ้าง และเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น พบว่า ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดมีค่าต่ำลง ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดสูงขึ้น แสดงว่าปูนซีเมนต์ไม่สามารถทำลายฤทธิ์โครเมียมได้

2.3.4 ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้วัสดุประสานทุกชนิดเพียงร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า สามารถมีเสถียรภาพยึดเกาะโลหะหนักที่มีอยู่ในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ไม่ให้ถูกชะละลายออกมาได้

3. สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากตารางที่ 5.6, 5.7 และ 5.8 แสดงว่าขี้เถ้าทั้ง 3 ประเภท สามารถใช้วัสดุประสานทุกชนิด และที่สัดส่วนผสมต่ำสุดก็สามารถผ่านเกณฑ์กำหนด ดังนั้น กำลังรับแรงอัดจึงเป็นค่ากำหนดที่สำคัญในการเลือกสัดส่วนผสมของวัสดุประสาน เพื่อทำการศึกษาต่อในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

สัดส่วนผสมต่อน้ำหนักเถ้า	พีเอซ		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล)									
			อาร์ซินิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว	
เกณฑ์มาตรฐาน	-		<5		<1		<5		<0.2		<5	
ระยะเวลาบม	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
ขี้เถ้าหลังการเผา	9.8	9.8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.5	1.5	<0.02	<0.02	<0.2	<0.2
ปูนซีเมนต์												
ร้อยละ10	11.5	11.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.2	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	11.7	12.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.3	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	11.9	12.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5.3	4.8	0.02	0.02	<0.2	<0.2
ปูนขาว												
ร้อยละ10	12.8	11.8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.4	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	12.5	11.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.5	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์												
ร้อยละ10	11.4	11.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.6	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ20	11.7	11.9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.6	5	0.03	0.02	<0.2	<0.2
ร้อยละ30	12.0	12.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5.4	5	0.02	0.02	<0.2	<0.2

3.1 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ

3.1.1 สามารถสรุปได้ว่า การใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่า 14 กก/ตร.ซม และสามารถให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าการผสมด้วยปูนขาว หรือด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์

3.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุที่หาง่าย และมีกลไกลของการทำลายฤทธิ์เป็นที่ทราบกันดี (ดังสมการที่ 3.1 - 3.4) ดังนั้น จึงกำหนดสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ เท่ากับร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า สำหรับใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

3.2 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ

3.2.1 สามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ หรือสัดส่วนผสมปูนขาว หรือสัดส่วนผสมปูนขาวผสมกับปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า สามารถให้กำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งสูงเกิน 14 กก/ตร.ซม ทุกชนิดของวัสดุประสาน

3.2.2 ที่สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ให้กำลังรับแรงอัดได้สูงกว่าปูนซีเมนต์หรือปูนขาวอย่างเดียว ที่สัดส่วนผสมเดียวกัน เมื่อใช้ระยะเวลาบ่มเพียง 7 วัน อีกทั้งราคาปูนขาวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นจึงกำหนดให้สัดส่วนผสมของปูนขาวผสมกับปูนซีเมนต์ ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า สำหรับใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

3.3 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ

3.3.1 การใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียว ผสมกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ สามารถให้กำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าการผสมด้วยปูนขาว หรือการผสมด้วยปูนขาวปนกับปูนซีเมนต์

3.3.2 ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ให้กำลังรับแรงอัดที่สูงเกิน 14 กก/ตร.ซม และ จากรูปที่ 5.3 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่างร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้ จึงกำหนดสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เป็นค่าอ้างอิงใน

การแปรเปลี่ยนสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ หรือใช้ในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมต่อไป

ผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อเป็นการประหยัดวัสดุประสาน จึงทำการหาสัดส่วนผสมที่ละเอียดขึ้น โดยยังมีคุณสมบัติตามที่ทางราชการกำหนด นอกจากนี้ยังเป็นการหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมโดยประมาณได้อีก

ก. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ กำหนดสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า

ข. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ กำหนดสัดส่วนผสมปูนขาวบ่นกับปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า

ค. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ กำหนดสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าร้อยละ 13, 16 และ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า

1. คุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง

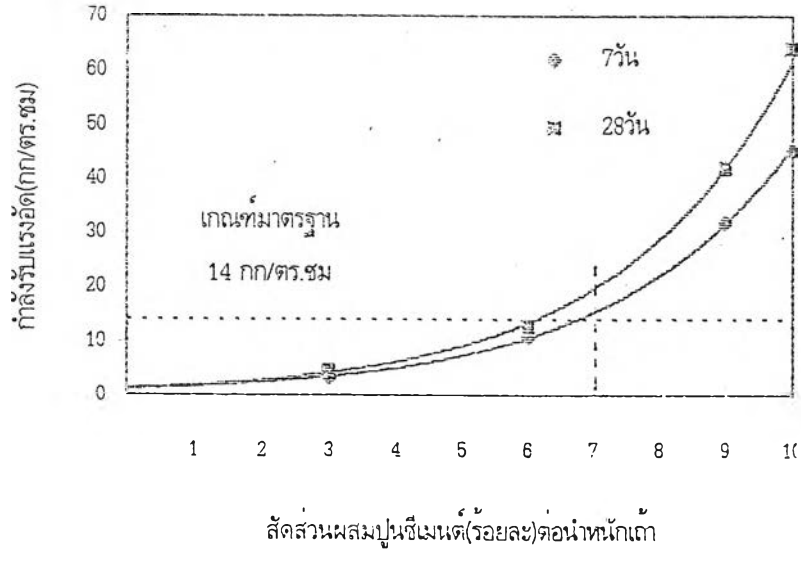
1.1 กำลังรับแรงอัด

1.1.1 จากตารางที่ 5.9 กำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 3 และ 6 ต่อน้ำหนักเถ้า มีค่าต่ำมาก ทั้งนี้เพราะปริมาณน้ำเกือบทั้งหมดถูกขี้เถ้าดูดซับไว้ ทำให้เกิดการขาดน้ำที่จะใช้ในปฏิกริยาไฮเดรชัน แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 6 พบว่า กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก และยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 5.4 แสดงว่าเป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 7 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ก้อนตัวอย่างสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่า 14 กก./ตร.ซม ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการฝังกลบของกรมโรงงานฯ

1.1.2 จากตารางที่ 5.10 กำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 3 และ 6 ต่อน้ำหนักเถ้า มีค่าต่ำมาก ทั้งนี้เพราะปริมาณน้ำเกือบทั้งหมดถูกขี้เถ้าดูดซับไว้ ทำให้เกิดการขาดน้ำที่จะใช้ในปฏิกริยาไฮเดรชัน แต่พบว่าเมื่อสัดส่วนผสมมากกว่าร้อยละ 6 กำลังรับแรงอัดพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่า เกิดการยึดประสานอันเป็น

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ (ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบม)	
	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
3	2	3	1.32	1.45
6	10	12	1.33	1.47
9	30	42	1.32	1.46
ที่ร้อยละ 10 จากขั้นตอนทดสอบเบื้องต้น	41.6	60.2	1.32	1.46



หมายเหตุ : ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ใช้ข้อมูลจากผลการทดลองสัดส่วนผสมเบื้องต้น

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ และ จากรูปที่ 5.5 พบว่า ที่สัดส่วนผสมปูนขาวปนกับปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 9 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20 และ 40 กก/ตร.ซม ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดในการฝังกลบ ของกรมโรงงานฯ แสดงดังตารางที่ 5.10 และ รูปที่ 5.5

1.1.3 จากตารางที่ 5.11 กำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 13 และ 16 ต่อน้ำหนักเถ้า มีค่าค่อนข้างต่ำ อาจเป็นเพราะปริมาณปูนซีเมนต์มีไม่เพียงพอที่จะสร้างกำลัง แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 19 กำลังรับแรงอัดพัฒนาเพิ่มขึ้นมาก แสดงว่าปริมาณปูนซีเมนต์มีเพียงพอใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน จาก รูปที่ 5.6 พบว่า ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 19 ก้อนตัวอย่างสามารถรับกำลังได้สูงกว่า 14 กก/ตร.ซม ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดในการฝังกลบ ของกรมโรงงานฯ

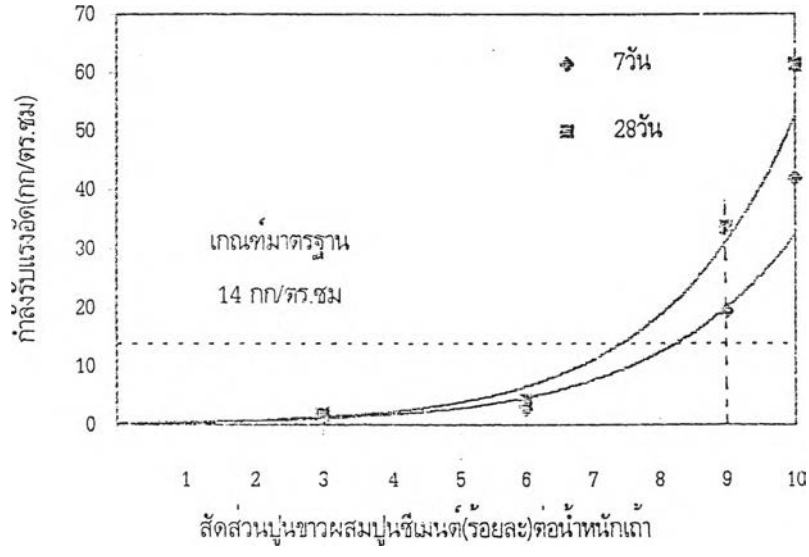
1.2 ความหนาแน่น

1.2.1 ความหนาแน่นของสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.32 และ 1.47 ตัน/ลบ.ม การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอย่างสำคัญ

1.2.2 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ก็เช่นกัน เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมปูนขาวปนกับปูนซีเมนต์ ตั้งแต่ร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 0.77 และ 1.5 ตัน/ลบ.ม.

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์

สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ (ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบม)	
	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
3	1.5	1.8	1.31	0.77
6	2.8	4.1	1.34	0.79
9	20	40	1.5	1.07
ที่ร้อยละ 10 จากขั้นตอนทดสอบเบื้องต้น	44.9	64.4	1.5	1.06

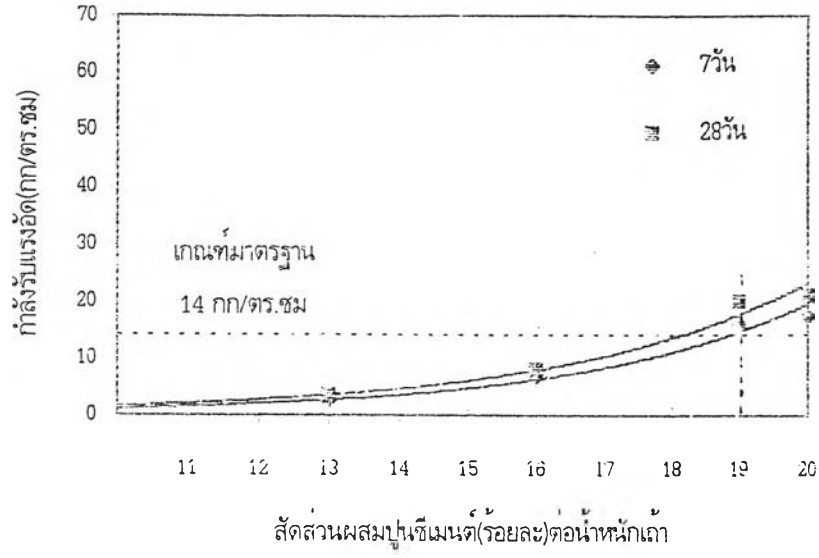


หมายเหตุ : ที่สัดส่วนผสมปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ใช้ข้อมูลจากผลการทดลองสัดส่วนผสมเบื้องต้น

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนกับสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ (ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบม)	
	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
13	2	3	1.32	1.51
16	6	8	1.33	1.4
19	14	18.5	1.32	1.54
ที่ร้อยละ 20 จากขั้นตอนทดสอบเบื้องต้น	16.1	19.7	1.33	1.52



หมายเหตุ : ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ข้อมูลจากผลการทดลองสัดส่วนผสมเบื้องต้น

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์

1.2.3 ความหนาแน่นของสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.32 และ 1.54 ตัน/ลบ.ม การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 13 ถึง ร้อยละ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นอย่างสำคัญ

2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

เมื่อนำน้ำสกัดของตัวอย่างต่างๆมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ โดยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ พีเอช และความเข้มข้นของโลหะหนักละลาย สำหรับแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว วัดด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) สำหรับ อาร์เซนิค และ ปรอท วิเคราะห์ด้วยวิธี Vapor Generation

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า แสดงดังตารางที่ 5.12

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า แสดงดังตารางที่ 5.13

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ร้อยละ 13, 16 และ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า แสดงดังตารางที่ 5.14

2.1 พีเอช

พีเอชของน้ำสกัดจากสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ มีค่าระหว่าง 9 และ 9.5 ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า ทั้งนี้น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการละลายของแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดชันของปูนซีเมนต์ จากรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ พีเอชมีค่าสูงขึ้น และที่ระยะเวลาบ่มนานขึ้น พีเอชจะสูงขึ้นเช่นกัน

พีเอชของน้ำสกัดจากสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ มีค่าระหว่าง 8.4 และ 9.7 รูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมพีเอชมีค่าสูงขึ้นและเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น พีเอชมีค่าสูงขึ้น

สำหรับพีเอชของน้ำสกัดจากสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ร้อยละ 13 16 และ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า มีค่าระหว่าง 11.7 และ 12 ดังรูปที่ 5.9 ซึ่ง

ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

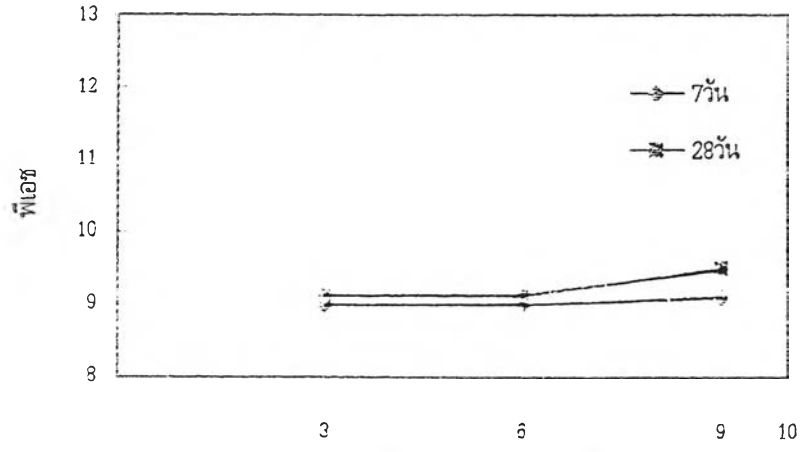
ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก/ล)									
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว	
	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
ขี้เถ้าหลังการเผา	9.4	9.4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.2	1.2	0.02	0.02	<0.2	<0.2
3	9	9.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.4	<0.02	<0.02	<0.2	<0.2
6	9	9.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.45	<0.02	<0.02	<0.2	<0.2
9	9.1	9.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.4	2.5	<0.02	<0.02	<0.2	<0.2

ตารางที่ 5.13 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก/ล)									
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว	
	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
ขี้เถ้าหลังการเผา	9.6	9.6	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.4	1.4	0.02	0.02	<0.2	<0.2
3	8.4	8.8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3	3.4	0.03	0.02	<0.2	<0.2
6	8.6	9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3.2	3.5	0.03	0.02	<0.2	<0.2
9	8.8	9.7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3.2	3.5	0.03	0.02	<0.2	<0.2

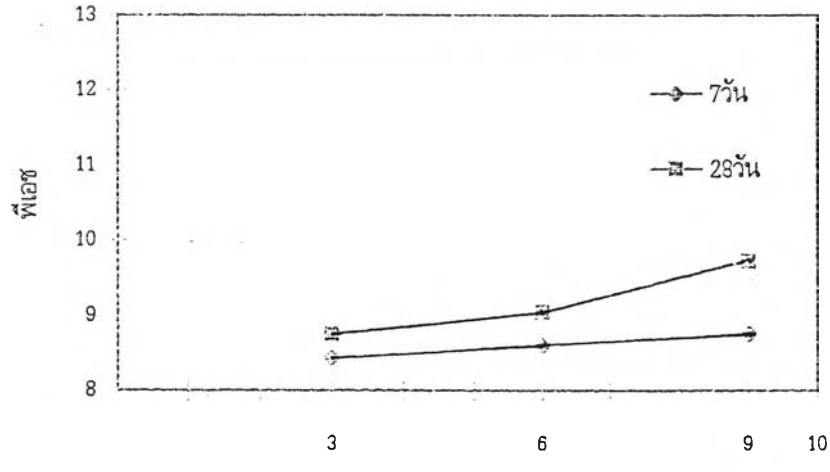
ตารางที่ 5.14 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) ต่อน้ำหนักเถ้า	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (มก/ล)									
			อาร์เซนิค		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว	
	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน	7วัน	28วัน
ขี้เถ้าหลังการเผา	9.8	9.8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.5	1.5	<0.02	<0.02	<0.2	<0.2
13	11.7	11.7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.3	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
16	11.8	12	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.3	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2
19	11.8	12.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	4.3	4.8	0.03	0.02	<0.2	<0.2



สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400°ซ (ร้อยละ)ต่อน้ำหนักเถ้า

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ



สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800°ซ (ร้อยละ)ต่อน้ำหนักเถ้า

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ

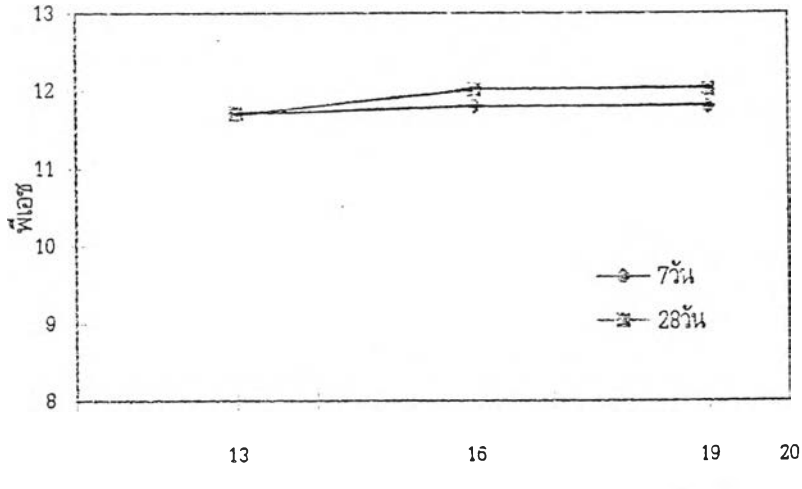
แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ พีเอชมีค่าสูงขึ้น และเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้นพีเอชมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

2.2 อาร์เซนิคและแคดเมียม

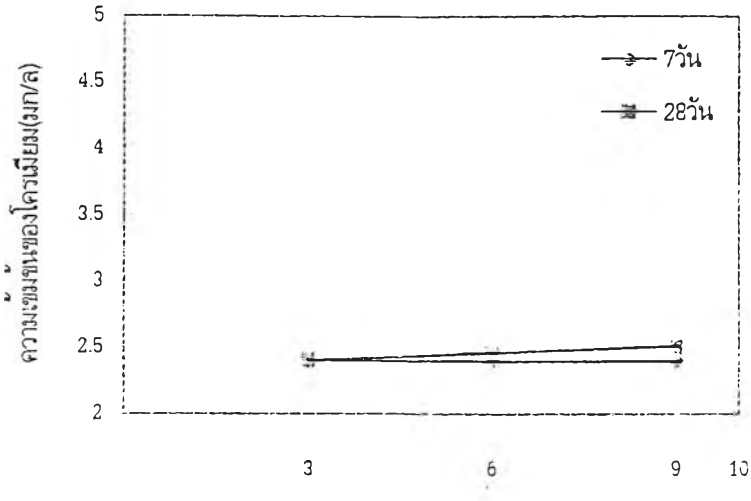
ความเข้มข้นของอาร์เซนิคและแคดเมียมในน้ำสกัดจากขี้เถ้า ทั้ง 3 ประเภท พบว่าทุกสัดส่วนผสมจะมีค่าน้อยกว่า 0.01 มก/ล สาเหตุเนื่องจากปริมาณอาร์เซนิคและแคดเมียมมีอยู่น้อยมากในกากตะกอนดิบ

2.3 โครเมียม

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัด จากสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เท่ากับ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.4 มก/ล ดังรูปที่ 5.10 และพบว่า ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ



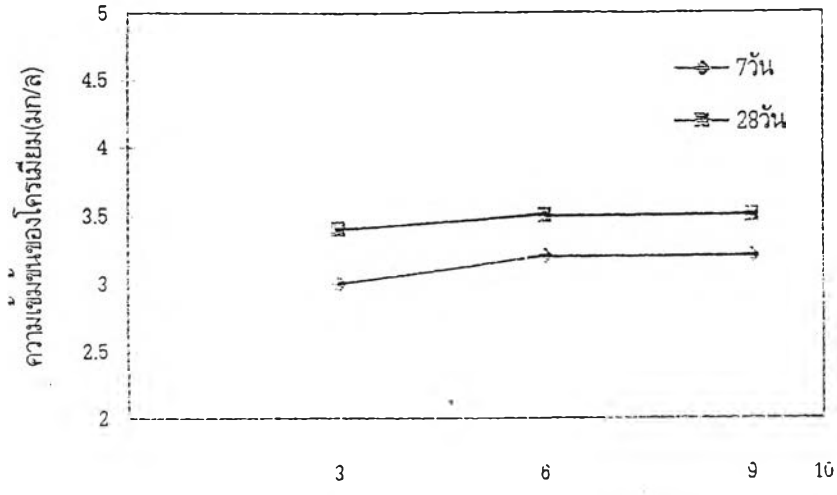
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัดกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีค่าเท่ากับ 2.5 มก/ล ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 9

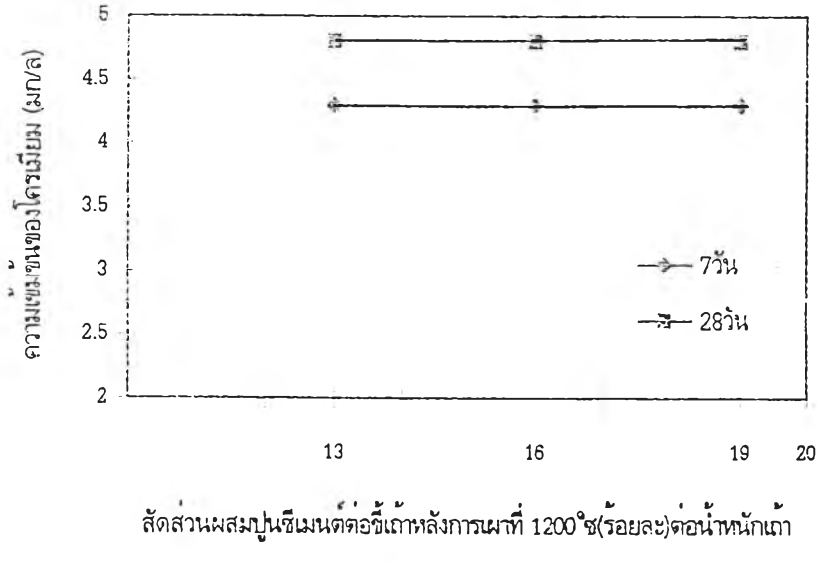
สำหรับปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เท่ากับร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน จะสูงกว่าที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ดังรูปที่ 5.11

ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัด ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เท่ากับร้อยละ 13, 16 และ 19 มีค่าเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 5.12 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.3 มก/ล และ 4.8 มก/ล ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ

สังเกตได้ว่า ก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ จะละลายโครเมียมออกมาในปริมาณที่สูงกว่าก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ และ 800 °ซ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะโครเมียมที่มีอยู่ในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ หลังจากผสมกับปูนซีเมนต์จนเกิดเป็นก้อนแข็ง ได้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้ง่ายขึ้น โดยอาจอยู่ในรูป CrO หรือ CrO_2 เป็นต้น



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัดกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ

2.4 ปรอท

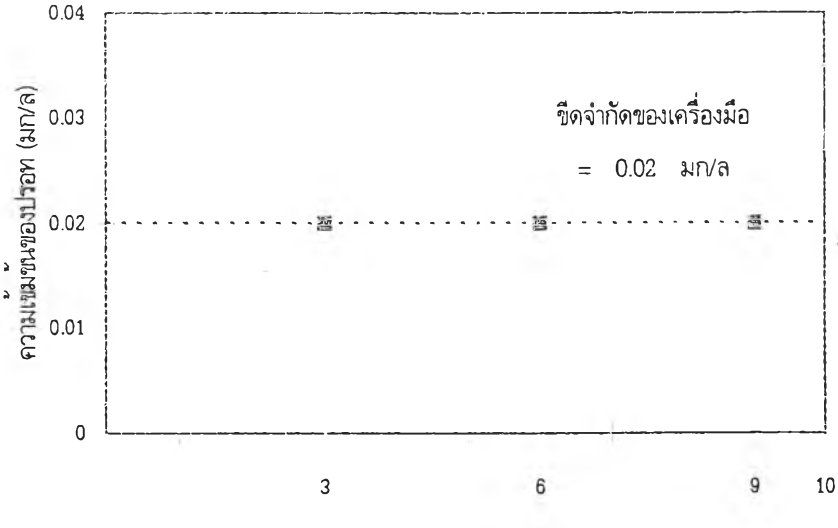
ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัด จากสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ทุกสัดส่วนผสม ต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือในการตรวจวัดที่ค่า 0.02 มก/ล ดังแสดงดังรูปที่ 5.13

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัด จากสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ระยะเวลาบ่มมากขึ้น ความเข้มข้นจะลดลง คือ มีค่าเท่ากับ 0.03 มก./ล ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และลดลงเหลือ 0.02 มก/ล ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ในทุกสัดส่วนผสม ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัด ดังแสดงดังรูปที่ 5.14

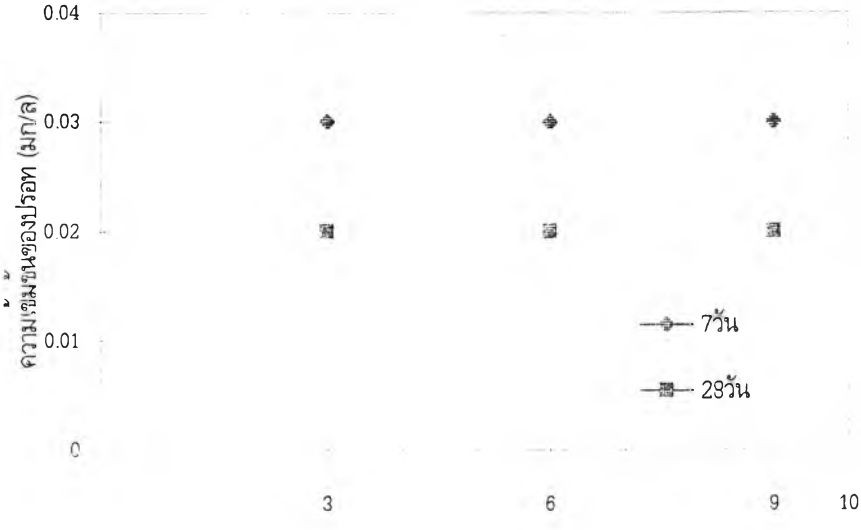
จากสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ จะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.03 มก/ล และ 0.02 มก/ล ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ในทุกสัดส่วนผสม ดังแสดงดังรูปที่ 5.15

2.5 ตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด จากสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผา



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัด กับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ

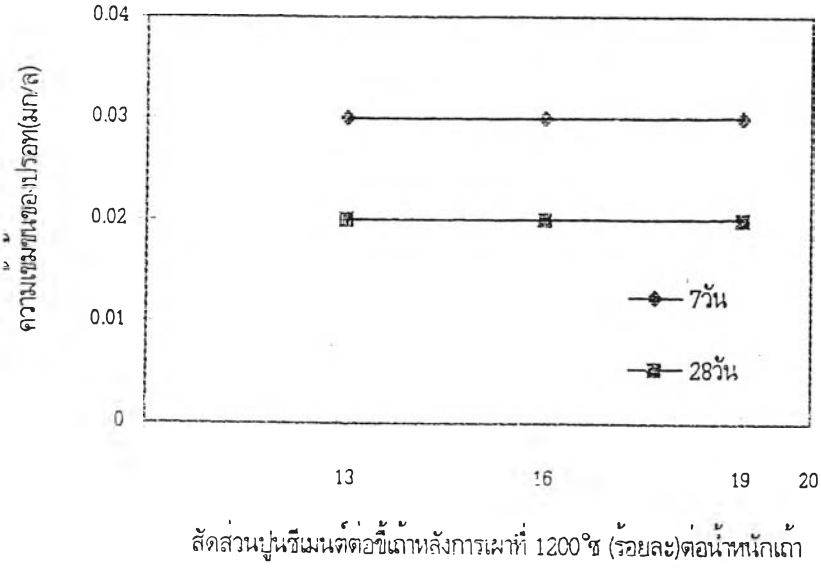


รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ

ที่อุณหภูมิ 400 °ซ และขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ และจากสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°ซ ในทุกสัดส่วนผสม ต่ำกว่าความสามารถในการตรวจวัดของเครื่องที่ค่า 0.2 มก./ล

3. ค่าความซึมน้ำได้

เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดสอบเฉพาะขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ถูกทำให้เป็นก้อน ในสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า เป็นวัสดุประสาน โดยส่งก้อนตัวอย่างไปทำการทดสอบหาค่าความซึมน้ำได้ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผลการทดลองพบว่า ค่าความซึมน้ำได้มีค่าประมาณ 9.963×10^{-7} ซม/วินาที ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนด คือ 1×10^{-6} ซม/ วินาที



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพอสรุปได้ว่า

4.1 กากตะกอนดิบ

4.1.1 กากตะกอนดิบมีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 4 ปริมาณน้ำมันและไขมันร้อยละ 35 ของน้ำหนักแห้ง หรือ 33.6 ของน้ำหนักเปียก ความหนาแน่นรวม 1.1 ตัน/ลบ.ม ส่วนในน้ำสกัดของกากตะกอนดิบมีค่าพีเอชประมาณ 8 ความเข้มข้นของอาร์เซนิคและแคดเมียมต่ำกว่า 0.01 มก/ล ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.2 มก/ล ความเข้มข้นของปรอทเท่ากับ 0.02 มก/ล และความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.2 มก/ล

4.1.2 ในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น ได้นำกากตะกอนดิบมาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่าไม่สามารถก่อตัวเป็นก้อนแข็งได้ ทั้งนี้เนื่องจากในกากตะกอนดิบมีปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่สูงมาก ซึ่งน้ำมันและไขมันจะเป็นตัวขัดขวางปฏิกริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์

ดังนั้น จึงควรกำจัดน้ำมันและไขมันออกก่อนด้วยวิธีการเผา แล้วจึงค่อยทำให้เป็นก้อนแข็ง ก่อนนำไปฝังกลบต่อไป

4.2 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ

4.2.1 พบว่าขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 2.85 ปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่เพียงร้อยละ 5.06 ของน้ำหนักแห้ง หรือร้อยละ 4.92 ของน้ำหนักเปียก ความหนาแน่นรวม 0.79 ตัน/ลบ.ม ส่วนในน้ำสกัดของขี้เถ้ามีค่าพีเอชเท่ากับ 9.4 ความเข้มข้นของอาร์เซนิคและแคดเมียมต่ำกว่า 0.01 มก/ล ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.4 มก/ล ความเข้มข้นของปรอทเท่ากับ 0.02 มก/ล และความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.2 มก/ล

4.2.2 ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น ได้นำขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ มาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า วัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด คือ ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า และเมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่าง พบว่า ค่าพีเอชของน้ำสกัดอยู่ในช่วง 10 ถึง 11.9 ความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และ ตะกั่ว ต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัด คือ 0.01, 0.01 และ 0.2 มก/ล ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมจะมีค่าใกล้เคียงกันในวัสดุประสานทุกชนิด และในทุกสัดส่วนผสมคืออยู่ในช่วง 2.2 - 2.8 มก/ล สำหรับปรอทพบว่า เมื่อใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ไม่สามารถหาค่าความเข้มข้นของปรอทได้ เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือ คือ 0.02 มก/ล และเมื่อใช้ปูนขาวหรือปูนขาวผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน พบว่า ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดมีค่าประมาณ 0.02 - 0.03 มก/ล

4.2.3 ในขั้นทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า ในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างมี ค่าพีเอชในช่วง 9 ถึง 9.5 ความเข้มข้นของอาร์เซนิคและแคดเมียมในน้ำสกัด มีค่าต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือ คือ 0.01 มก/ล ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าประมาณ 2.4 มก/ล สำหรับความเข้มข้นของปรอทและตะกั่ว มีค่าต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือคือ 0.02 และ 0.2 มก/ล ตามลำดับ นอกจากนั้นปูนซีเมนต์ร้อยละ 7 ต่อน้ำหนักเถ้า เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการทำให้เป็นก้อน คือสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่า 14 กก/ตร.ซม ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนดไว้

4.3 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ

4.3.1 พบว่าขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 0.23 ปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.07 ของน้ำหนักแห้ง หรือร้อยละ 0.07 ของน้ำหนักเปียก ความหนาแน่นรวม 0.75 ตัน/ลบ.ม ส่วนในน้ำสกัดของขี้เถ้ามีค่าพีเอชเท่ากับ 9.6 ความเข้มข้นของอาร์เซนิคและแคดเมียมต่ำกว่า 0.01 มก/ล ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.4 มก/ล ความเข้มข้นของปรอทเท่ากับ 0.02 มก/ล และความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.2 มก/ล

4.3.2 ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น ได้นำขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ มาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า วัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดคือ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเถ้า และเมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่าง พบว่าค่าพีเอชของน้ำสกัดอยู่ในช่วง 9.8 ถึง 12.2 ความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และ ตะกั่ว ต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัด คือ 0.01, 0.01 และ 0.2 มก/ล ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.8 ถึง 3.6 มก/ล สำหรับปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.06 มก/ล

4.3.3 ในขั้นทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่สัดส่วนผสมร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า ในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างมีค่าพีเอชในช่วง 8.4 ถึง 9.7 ความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และตะกั่วในน้ำสกัด มีค่าต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือ คือ 0.01, 0.01 และ 0.2 มก/ล ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วง 3 ถึง 3.5 มก/ล สำหรับความเข้มข้นของปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.03 มก/ล นอกจากนั้นปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการทำให้เป็นก้อน และเมื่อทดลองหาความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 1.5 และ 1.05 ตัน/ลบซม ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนดคือ 1.04 ตัน/ลบ.ซม และจากการวัดค่าความซึมน้ำของก้อนตัวอย่างมีค่าประมาณ 9.96×10^{-7} ซม/ วินาที ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนดคือ 1×10^{-6} ซม/ วินาที

4.4 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ

4.4.1 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 0.06 ปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.07 ของน้ำหนักแห้ง หรือร้อยละ 0.07 ของน้ำหนักเปียก ความหนาแน่นรวม 1.36 ตัน/ลบ.ม ส่วนในน้ำสกัดของขี้เถ้ามีค่าพีเอชเท่ากับ 9.8 ความเข้มข้นของอาร์เซนิคและแคดเมียมต่ำกว่า 0.01 มก/ล ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.5 มก/ล ความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่า 0.02 มก/ล และความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.2 มก/ล

4.4.2 ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น ได้นำขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ มาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า วัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดคือ ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมร้อยละ 20 ต่อน้ำหนักเถ้า และเมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่าง พบว่าค่าพีเอชของน้ำสกัดอยู่ในช่วง 11.2 ถึง 12.8 ความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และ ตะกั่ว ต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัด คือ 0.01, 0.01 และ 0.2 มก/ล ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.2 ถึง 5.4 มก/ล สำหรับปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.03 มก/ล

4.4.3 ในขั้นทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 13, 16 และ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า พบว่า ในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างมีค่าพีเอชในช่วง 11.7 ถึง 12 ความเข้มข้นของอาร์เซนิค แคดเมียม และตะกั่วในน้ำสกัด มีค่าต่ำกว่าความสามารถของเครื่องมือ คือ 0.01, 0.01 และ 0.2 มก/ล ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วง 4.3 ถึง 4.6 มก/ล สำหรับความเข้มข้นของปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.03 มก/ล นอกจากนั้นปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการทำให้เป็นก้อน และเมื่อทดลองหาความหนาแน่นของก้อนแข็งที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 1.32 และ 1.54 ตัน/ลบซม ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนดคือ 1.04 ตัน/ลบ.ซม

4.5 สำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ วัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ปูนซีเมนต์ ในสัดส่วนผสมร้อยละ 7 ต่อน้ำหนักเถ้า โดยมีคุณสมบัติต่างๆผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้

4.6 สำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ วัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ในสัดส่วนผสมร้อยละ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า โดยมีคุณสมบัติต่างๆผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้

4.7 สำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ วัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ปูนซีเมนต์ ในสัดส่วนผสมร้อยละ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า โดยมีคุณสมบัติต่างๆผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้

5. <u>การวิจารณ์ผลการทดลอง</u>

5.1 น้ำมันและไขมันเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อผสมกากตะกอนดิบกับวัสดุประสานชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง จะพบว่าไม่สามารถก่อตัวเป็นก้อนแข็งได้

5.2 ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดของขี้เถ้าก่อนทำเป็นก้อนแข็ง มีค่าอยู่ในช่วง 1.4 ถึง 1.5 มก/ล แต่หลังจากเป็นก้อนแข็งแล้ว พบว่า ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วง 2.4 ถึง 4.8 มก/ล แสดงว่าปูนซีเมนต์ไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของโครเมียมในขี้เถ้าได้

5.3 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ต่ำกว่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

5.4 จากการวิจัยพบว่า สำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ เมื่อเพิ่มวัสดุประสาน ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้น คือ ที่สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆร้อยละ 10, 20 และ 30 จะใช้ค่าน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.36, 0.66 และ 0.9 ตามลำดับ

5.5 สำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เมื่อเพิ่มวัสดุประสาน ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากค่าน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้น คือ ที่สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆร้อยละ 10, 20 และ 30 จะใช้ค่าน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.73, 1.33 และ 1.85 ตามลำดับ

5.6 สำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เมื่อเพิ่มวัสดุประสาน ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น คือ ที่สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆร้อยละ 10, 20 และ 30 จะใช้ค่าน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25, 0.47 และ 0.65 ตามลำดับ อธิบายได้ว่า ที่สัดส่วนผสมต่ำ

ปริมาณน้ำมีไม่เพียงพอใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมเป็นร้อยละ 30 ปริมาณน้ำมีมากพอใช้ในปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ทำให้สามารถรับกำลังได้สูง

การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบ

ในการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า 7 ตัน จะได้น้ำมันเครื่องพื้นฐานประมาณ 5 ตัน และจะเกิดกากตะกอนดิบประมาณ 1.5 ตัน กำลังการผลิตที่ทางบริษัทฯกำหนดไว้ในปี 2538 คือ 720 ตันต่อปี ดังนั้นจึงเกิดกากตะกอนดิบที่ต้องนำไปกำจัดประมาณ 216 ตันต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบสามารถกำหนดได้ดังนี้

1. ค่าบริการส่งของเสียจากโรงงาน
2. ค่าใช้จ่ายในการเผา
3. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน
4. ค่าขนส่งและขนย้ายไปยังหลุมฝังกลบ
5. ค่าฝังกลบ

1. ค่าบริการขนส่งของเสียจากโรงงาน

ปัจจุบันศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมฯ แสมดำ อยู่ภายใต้การบริหารของบริษัท เจนโก้และมีโครงการจะสร้างเตาเผาพิเศษให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2541 โดยทางบริษัทฯจะมีบริการขนส่งของเสียจากโรงงาน โดยคิดค่าขนส่งประมาณ 2.5 บาทต่อตันต่อกิโลเมตร ซึ่งระยะทางจากโรงกลั่นฯ ถึงศูนย์กำจัดกากฯ เป็นระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร ดังนั้นจึงคิดเป็นค่าขนส่งรวมขาไป-กลับ เท่ากับ 100 บาทต่อตัน

2. ค่าใช้จ่ายในการเผา

ผลการทดลองพบว่า กากตะกอนดิบไม่สามารถทำให้เป็นก้อนได้ ถ้าหากไม่ทำการเผาก่อน และเนื่องจากทางเจนโก้ยังไม่ได้กำหนดราคาในการเผา จึงขอใช้อัตราของนิคมอุตสาหกรรมบางพลี ซึ่งคิดอัตราค่าเผาเท่ากับ 3,500 บาทต่อของเสีย 1 ตัน ที่อุณหภูมิการเผาประมาณ 400 °ซ และขอใช้

อัตรา 4,000 บาทต่อตัน และ 5,500 บาทต่อตัน สำหรับการเผาของเสียที่อุณหภูมิ 800 °ซ และ 1200 °ซ ตามลำดับ

3. ค่าใช้จ่ายที่ทำให้เป็นก้อน สามารถแบ่งได้เป็นค่าวัสดุในการทำให้เป็นก้อน และค่าแรงงาน

3.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400 °ซ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400 °ซ เป็นก้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 7 ต่อน้ำหนักเถ้า จากการเผากากตะกอนดิบ 1 ตัน ที่ 400 °ซ จะได้ขี้เถ้าเพียง 0.7 ตัน ดังนั้นในการทำให้ขี้เถ้าดังกล่าวเป็นก้อน จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.7 x .07 = 0.049 ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ตามท้องตลาดราคาตันละ 1,850 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำขี้เถ้าให้เป็นก้อนต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน เท่ากับ 0.049 x 1,850 = 90.7 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ

ในงานผสมคอนกรีตสำเร็จรูป ค่าแรงที่ใช้ในการผสมประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 ของราคาวัสดุ เนื่องจากการผสมเพื่อทำให้เป็นก้อนไม่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงนัก ดังนั้นจึงกำหนดค่าแรงประมาณร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ค่าแรงในส่วนนี้จึงเท่ากับ 18 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนจึงเท่ากับ 108.7 บาท ต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน

3.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 °ซ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 °ซ เป็นก้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 8 ต่อน้ำหนักเถ้า จากการเผากากตะกอนดิบ 1 ตัน ที่ 800 °ซ จะได้ขี้เถ้าหนักเพียง 0.64 ตัน ดังนั้นในการทำให้ขี้เถ้าดังกล่าวเป็นก้อน จะต้องใช้ปริมาณปูนขาวผสมปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.64 x 0.09 = 0.0576 ตัน โดยเป็นปริมาณปูนขาวและปูนซีเมนต์เท่าๆกัน คือ 0.0288 ตัน

ราคาปูนขาวและปูนซีเมนต์ตามท้องตลาด ประมาณตันละ 1,400 บาท และ 1,850 บาท ตามลำดับ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำขี้เถ้าดังกล่าวให้เป็นก้อนต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน เท่ากับ 0.0288 x (1400 + 1850) = 93.6 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ

เมื่อกำหนดค่าแรงประมาณร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ค่าแรงที่ใช้ในส่วนนี้จึงเท่ากับ 18.7 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนจึงเท่ากับ 112.3 บาทต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน

3.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200 °ซ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ปูนซีเมนต์สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200 °ซ เป็นก้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้สัดส่วนผสมร้อยละ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า จากการเผากากตะกอนดิบ 1 ตัน ที่ 1200 °ซ จะได้ขี้เถ้าหนักเพียง 0.63 ตัน ดังนั้นในการทำให้ขี้เถ้าดังกล่าวเป็นก้อน จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.63 x 0.19 = 0.12 ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ตามท้องตลาดประมาณตันละ 1,850 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำขี้เถ้าดังกล่าวให้เป็นก้อนต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน เท่ากับ 0.12 x 1,850 = 222 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ

เมื่อกำหนดค่าแรงประมาณร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ค่าแรงที่ใช้ในส่วนนี้จึงเท่ากับ 44.4 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนจึงเท่ากับ 266.4 บาทต่อน้ำหนักกากตะกอนดิบ 1 ตัน

4. ค่าขนส่งและขนย้ายไปยังหลุมฝังกลบ

หลังจากการทำเสถียรแล้ว ทางเจนโก้จะทำการขนถ่ายกากของเสียที่ทำเป็นก้อนแข็งไปยังหลุมฝังกลบที่ทางบริษัทฯ จัดเตรียมไว้ให้ โดยคิดค่าขนส่งในอัตรา 140 บาทต่อตัน และค่าขนย้ายในอัตรา 250 บาทต่อตัน จากกากตะกอนดิบ 1 ตัน หลังจากถูกเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ได้ขี้เถ้าหนัก 0.7 ตัน และเมื่อทำการผสมกับปูนซีเมนต์ในปริมาณ 0.049 ตัน จะได้ก้อนแข็งที่มีน้ำหนัก 0.75 ตัน และถ้าเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ จะได้ขี้เถ้าหนัก 0.64 ตัน และเมื่อทำการผสมกับปูนขาวปนกับปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ในปริมาณ 0.0576 ตัน จะได้ก้อนแข็งที่มีน้ำหนัก 0.7 ตัน เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ จะได้ขี้เถ้าหนัก 0.63 ตัน และเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์หนัก 0.12 ตัน จะได้ก้อนแข็งที่มีน้ำหนัก 0.75 ตัน

ดังนั้น จึงคิดเป็นอัตราค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ รวมถึงค่าขนย้ายสำหรับขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 800 และ 1200 °ซ ที่ถูกทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว เท่ากับ 292.5, 273 และ 292.5 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกอนดิบ

5. ค่าฝังกลบ

เนื่องจากทางเจนโก้ไม่คิดค่าที่ดินในการฝังกลบ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จึงคิดแค่ขุดหลุมฝังกลบ

ในการคิดค่าขุดหลุมฝังกลบต้องทราบปริมาตรของหลุมฝังกลบที่ต้องการ ซึ่งขนาดของหลุมฝังกลบจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของขี้เถ้าที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแล้ว ในการคำนวณปริมาตรที่เกิดขึ้นของขี้เถ้าที่ผ่านการทำเป็นก้อน จะใช้ค่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume change factor) ซึ่งมีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$VCF = Ws/Wr \times Dr/Ds$$ โดยที่

VCF =ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตร
Wr = น้ำหนักของขี้เถ้าที่ใช้ (ตัน)
Ws = น้ำหนักของขี้เถ้าที่ทำให้เป็นก้อน (Wr+น้ำหนักของวัสดุประสาน) (ตัน)
Dr = ความหนาแน่นรวมของขี้เถ้า (ตันต่อลบ.ม.)
Ds = ความหนาแน่นรวมของขี้เถ้าที่ทำให้เป็นก้อน (ตันต่อลบ.ม)

ตารางที่ 5.15 ค่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของขี้เถ้าทั้ง 3 ประเภท

ประเภทของขี้เถ้า	Wr (ตัน)	Ws (ตัน)	Dr (ตัน/ลบ.ม)	Ds (ตัน/ลบ.ม)	VCF
ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400 °ซ	0.7	0.75	0.79	1.32	0.64
ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 °ซ	0.64	0.7	0.75	1.5	0.55
ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200 °ซ	0.63	0.75	1.36	1.32	1.23

5.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ

จากการคำนวณปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้เท่ากับ 0.64 แสดงว่าในการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีผลทำให้ปริมาตรลดลง 0.64 เท่า และจากอัตราการเกิดกากตะกอนดิบ 216 ตันต่อปี หรือ เท่ากับ 196.36 ลบ.ม. ต่อปี เมื่อนำกากตะกอนดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ จนได้ขี้เถ้าประมาณ 151.2 ตันต่อปี หรือเท่ากับ 191.39 ลบ.ม.ต่อปี จากนั้นทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

มีผลทำให้ปริมาตรลดลงเป็น 122.5 ลบ.มต่อปี ดังนั้นจึงต้องเตรียมหลุมฝังกลบที่มีปริมาตรประมาณ 122.5 ลบ.ม สำหรับฝังกลบในระยะเวลา 1 ปี

ถ้าต้องการฝังกลบในระดับความลึกประมาณ 5 เมตร ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 1 ปี ต้องเตรียมพื้นที่ประมาณ 122.5/5 = 24.5 ตร.ม

กำหนดพื้นที่ก้นหลุมเท่ากับ 25 ตร.ม ให้ขอบหลุมมีความชัน 1:1 กำหนดหลุมเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ให้ปากหลุมมีความกว้างและยาวเท่ากับ 15 เมตร ดังนั้นพื้นที่ที่ต้องปูแผ่นพีวีซีและทำฐานรองรับทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ก้นหลุม รวมกับพื้นที่ขอบทั้ง 4 ด้าน เท่ากับ 25 + 282.8 = 307.8 ตร.ม

ราคาของผู้รับเหมาในการขุดดินพร้อมขนย้ายเท่ากับ 45 บาทต่อลบ.ม และค่าปูแผ่นพีวีซีพร้อมทำฐานรองรับคิดราคา 220 บาทต่อตร.ม

ดังนั้นในการเตรียมหลุมฝังกลบสำหรับระยะเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ (122.5 x 45) + (307.8 x 220) = 73,228.5 บาทต่อปี ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 73,228.5/216 = 339 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ 1 ตัน

5.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ

จากการคำนวณปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้เท่ากับ 0.55 แสดงว่าในการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์มีผลทำให้ปริมาตรลดลง 0.55 เท่า และจากอัตราการเกิดกากตะกอนดิบ 216 ตันต่อปี หรือ เท่ากับ 196.36 ลบ.มต่อปี เมื่อนำกากตะกอนดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ จนได้ขี้เถ้าประมาณ 138.2 ตันต่อปี หรือเท่ากับ 184.32 ลบ.ม.ต่อปี จากนั้นทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ มีผลทำให้ปริมาตรลดลงเป็น 101.38 ลบ.มต่อปี ดังนั้นจึงต้องเตรียมหลุมฝังกลบที่มีปริมาตรประมาณ 101.38 ลบ.ม สำหรับฝังกลบในระยะเวลา 1 ปี

ถ้าต้องการฝังกลบในระดับความลึกประมาณ 5 เมตร ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 1 ปี ต้องเตรียมพื้นที่ประมาณ 101.38/5 = 20.28 ตร.ม

กำหนดพื้นที่ก้นหลุมเท่ากับ 20.25 ตร.ม ให้ขอบหลุมมีความชัน 1:1 กำหนดหลุมเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ให้ปากหลุมมีความกว้างและยาวเท่ากับ 14.5 เมตร ดังนั้นพื้นที่ที่ต้องปูแผ่นพีวีซีและทำฐานรองรับทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ก้นหลุม รวมกับพื้นที่ขอบทั้ง 4 ด้าน เท่ากับ 20.25+268.7 = 289 ตร.ม

ราคาของผู้รับเหมาในการขุดดินพร้อมขนย้ายเท่ากับ 45 บาทต่อลบ.ม และค่าปูแผ่นพีวีซีพร้อมทำฐานรองรับคิดราคา 220 บาทต่อตร.ม

ดังนั้นในการเตรียมหลุมฝังกลบสำหรับระยะเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ (101.38 x 45) + (289 x 220) = 68,142 บาทต่อปี ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 68,142/216 = 315.5 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ 1 ตัน

5.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ

จากการคำนวณปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ได้เท่ากับ 1.23 แสดงว่าในการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์มีผลทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น 1.23 เท่า และ จากอัตราการเกิดกากตะกอนดิบ 216 ตันต่อปี หรือ เท่ากับ 196.36 ลบ.ม ต่อปี เมื่อนำกากตะกอนดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ จนได้ขี้เถ้าประมาณ 136.1 ตันต่อปี หรือ เท่ากับ 100 ลบ.ม.ต่อปี จากนั้นทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ มีผลทำให้ปริมาตรลดลงเป็น 123.2 ลบ.มต่อปี ดังนั้นจึงต้องเตรียมหลุมฝังกลบที่มีปริมาตรประมาณ 123.2 ลบ.ม สำหรับฝังกลบในระยะเวลา 1 ปี

ถ้าต้องการฝังกลบในระดับความลึกประมาณ 5 เมตร ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 1 ปี ต้องเตรียมพื้นที่ประมาณ 123.2/5 = 24.6 ตร.ม

กำหนดพื้นที่ก้นหลุมเท่ากับ 25 ตร.ม ให้ขอบหลุมมีความชัน 1:1 กำหนดหลุมเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ให้ปากหลุมมีความกว้างและยาวเท่ากับ 15 เมตร ดังนั้นพื้นที่ที่ต้องปูแผ่นพีวีซีและทำฐานรองรับทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ก้นหลุม รวมกับพื้นที่ขอบทั้ง 4 ด้าน เท่ากับ 25 + 282.8 = 841.63 ตร.ม

ราคาของผู้รับเหมาในการขุดดินพร้อมขนย้ายเท่ากับ 45 บาทต่อลบ.ม และค่าปูแผ่นพีวีซีพร้อมทำฐานรองรับคิดราคา 220 บาทต่อตร.ม

ดังนั้นในการเตรียมหลุมฝังกลบสำหรับระยะเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ (123 x 45) + (307.8 x 220) = 73,251 บาทต่อปี ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 73,251/216 = 339 บาทต่อตันของกากตะกอนดิบ 1 ตัน

6. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบต่อหน่วยการผลิต

จากผลการคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบ ดังแสดงในตารางที่ 5.16 สามารถนำมาคิดเทียบกำลังการผลิตได้ โดยที่กำลังการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานของ บ. อุตสาหกรรมน้ำมันไทย 1 ตัน จะเกิดกากตะกอนดิบประมาณ 0.3 ตัน ดังนั้นในการกำจัดกากตะกอนดิบต่อกำลังการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 1 ตัน จึงเท่ากับ 1,302.1 , 1,440.2 และ 1,949.4 บาท ต่อการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 1 ตัน สำหรับการใช้อุณหภูมิในการเผาเท่ากับ 400, 800 และ 1200 °ซ ตามลำดับ

จากราคาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งทางบริษัทฯ ได้ส่งจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด โดยคิดอัตรา 8,000 บาทต่อตัน จากกำลังการผลิตของบริษัทเท่ากับ 720 ตันต่อปี เห็นได้ว่ายอดขายของบริษัทฯ ประมาณปีละ 5.76 ล้านบาท ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้น ประมาณปีละ 4,340.2 x 216 = 937,483 , 1,036,944 และ 1,403,568 บาท สำหรับการใช้อุณหภูมิในการเผาเท่ากับ 400, 800 และ 1200 $^{\circ}$ซ ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับร้อยละ 16.3, 18.0 และ 24.4 ของยอดขาย ตามลำดับ

ตารางที่ 5.16 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบ

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	ค่าบริการขนส่งจากโรงงาน (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าใช้จ่ายในการเผา (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าทำให้เป็นก้อน (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าขนส่งและขนย้ายไปหลุมฝังกลบ (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าฝังกลบ (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)
400 $^{\circ}$ซ	100	3,500	108.7	292.4	339	4,340.2
800°ซ	100	4,000	112.3	273	315.5	4,800.8
1200°ซ	100	5,500	266.4	292.5	339	6,498