บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า

กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นกากตะกรันที่ได้จากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าจากโรงงานผลิตเหล็กเส้นแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งกากตะกรันมี 2 ชนิด คือ กากตะกรันดำ และ กากตะกรันขาว ซึ่งสมบัติต่างๆ มีดังนี้

1. สมบัติทางด้านกายภาพ

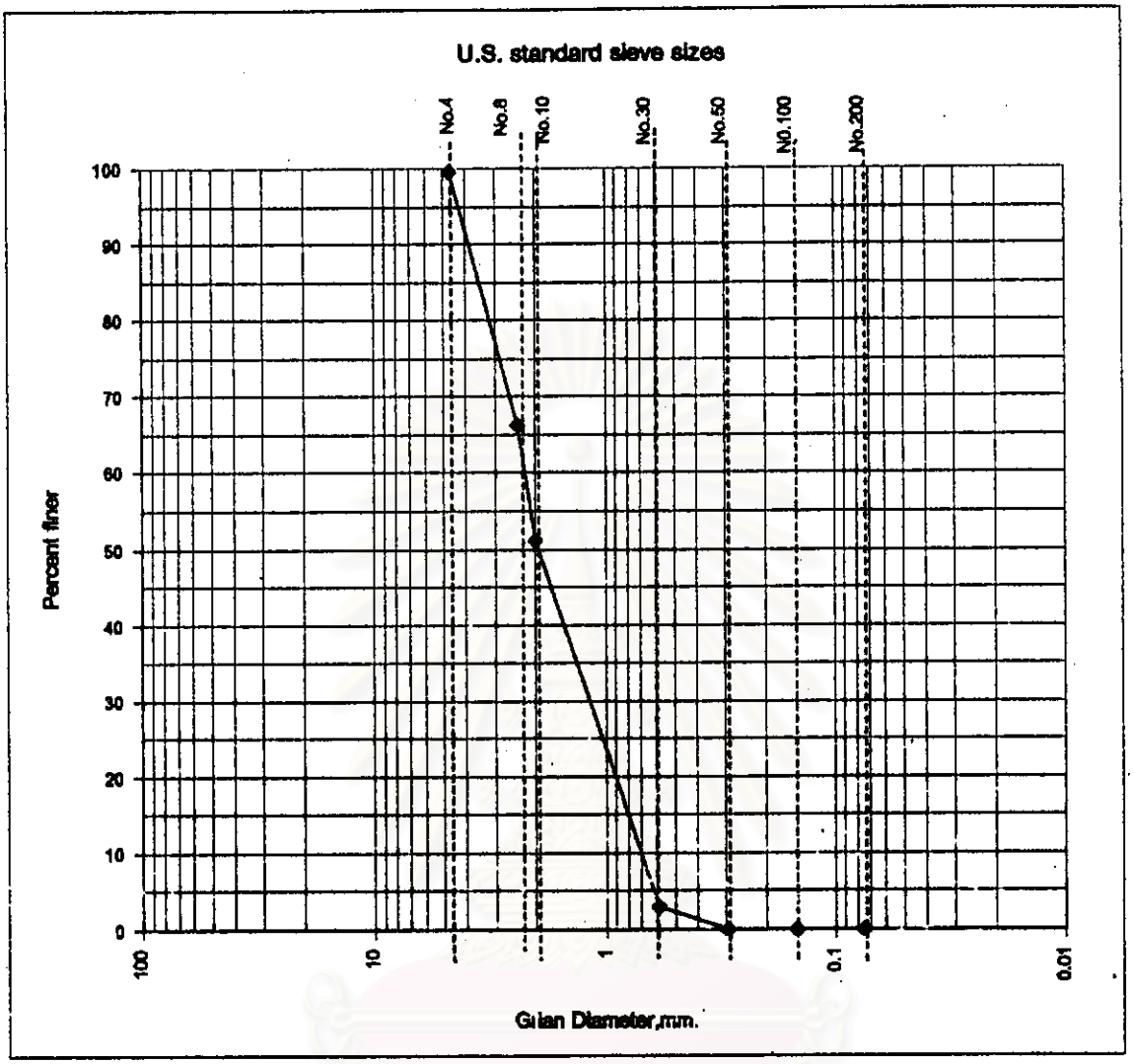
สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ประเภท ที่วิเคราะห์ได้แก่

1.1 การดูดซึม

จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 127- 80 โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่า กากตะกรันดำมีการดูดซึมโดยเฉลี่ยร้อยละ 4.66 โดยน้ำหนัก และกากตะกรันขาวมีการดูดซึมโดยเฉลี่ยร้อยละ 0.524 โดยน้ำหนัก

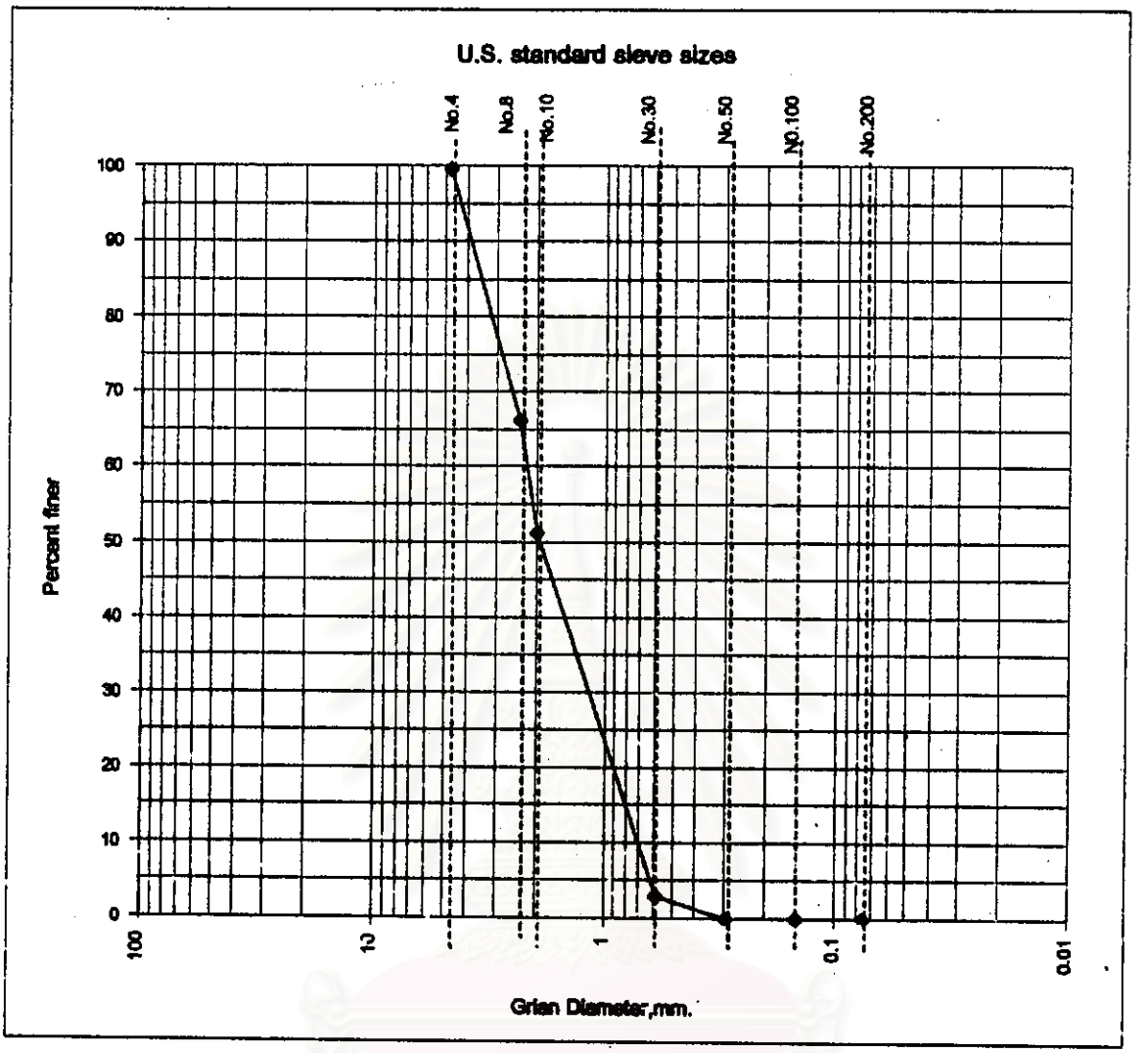
1.2 การกระจายขนาดคละ

การทดสอบหาการกระจายขนาดคละของกากตะกรันที่จะนำมาทำให้เป็นก้อนแข็ง ทำการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 136 – 80 ผลที่ได้พบว่า กากตะกรันดำมีขนาดเฉลี่ย (D_{50}) เท่ากับ 1.99 มม. และมีค่า Coefficient of Uniformity (C_u) หรือ ค่า D_{60}/D_{10} เท่ากับ 3.28 โดยมีกราฟการกระจายขนาดคละแสดงดังรูปที่ 5.1 กากตะกรันขาวมีขนาดเฉลี่ย (D_{50}) เท่ากับ 1.98 มม. และมีค่า Coefficient of Uniformity (C_u) หรือ ค่า D_{60}/D_{10} เท่ากับ 3.28 โดยมีกราฟการกระจายขนาดคละแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 กราฟการกระจายขนาดคละของกากตะกรันดำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 กราฟการกระจายขนาดคละของกากตะกรันขาว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

จากการทดสอบ 3 ครั้งพบว่า ความหนาแน่นรวมของกากตะกรันดำมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.74 ตัน/ลบ.ม. และ กากตะกรันขาวมีความหนาแน่นรวมโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.49 ตัน/ลบ.ม.

2. สมบัติทางด้านเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ประเภท แสดงผลในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ วิเคราะห์โดยเครื่อง Energy Disperssive X-ray Spectrometer ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงในตารางที่ 5.1 จากผลวิเคราะห์ที่ได้ พบว่า กากตะกรันดำมีปริมาณแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 39.68 และมีปริมาณเหล็ก ประมาณร้อยละ 25.93 และกากตะกรันขาว มีปริมาณแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 51.58 แต่มีปริมาณเหล็กเพียงร้อยละ 7.70 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของวัตถุดิบและขั้นตอนในการเกิดตะกรัน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรัน ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดด้วยกรดไนตริก ตามมาตรฐานของ U.S. EPA ดังแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่า กากตะกรันดำมีปริมาณโลหะหนักมากกว่ากากตะกรันขาว ซึ่งกากตะกรันดำมีปริมาณเหล็กและโครเมียมสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น โดยมีปริมาณเหล็กและโครเมียมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 201,600 มก./กก. และ 996 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนกากตะกรันขาวมีปริมาณเหล็กและตะกั่วสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น โดยมีปริมาณเหล็กและตะกั่วโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9,760 มก./กก. และ 120 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนปริมาณปรอทและอาร์เซนิคมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่องวิเคราะห์ คือ น้อยกว่า 0.02 มก./ล. และ น้อยกว่า 0.01 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของธาตุในกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า*

องค์ประกอบของธาตุ	ปริมาณองค์ประกอบของธาตุ (ร้อยละ)	
	กากตะกรันดำ	กากตะกรันขาว
Si	13.94	14.07
S	0.91	0.44
Ca	39.68	51.58
Fe	25.93	7.70
Cu	0	0.86
Zn	0	0.22
As	0.71	1.96
Sn	0.30	0.245
Sb	3.34	2.81
Al	6.00	6.405
K	0.30	0.065
Ti	0.75	1.97
Mn	4.07	11.56
Cr	3.72	0
Cd	0.35	0.115
รวม	100	100

* วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer

สำหรับ การสกัดสาร ตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 พบว่า น้ำสกัดจากกากตะกรันดำมีค่าพีเอชสุดท้ายประมาณ 6.14 ส่วนน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวมีค่าพีเอชสุดท้ายประมาณ 8.96 ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว เท่ากับ 0.2 มก./ล. และ 0.18 มก./ล. ตามลำดับ (ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) : แคดเมียม $\geq$ 1 มก./ล.) ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว เท่ากับ 0.74 มก./ล. และ 0.42 มก./ล. ตามลำดับ (ค่ามาตรฐาน : โครเมียม $\geq$ 5 มก./ล.) ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว เท่ากับ 1.70 มก./ล. และ 2.82 มก./ล. ตามลำดับ (ค่ามาตรฐาน : ตะกั่ว $\geq$ 5 มก./ล.) ค่าความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดจากกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว เท่ากับ 75.6 มก./ล. และ 1.54 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นของปรอทและอาร์เซนิคในกากตะกรันทั้งสองมีค่าต่ำกว่า 0.02

ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามวิธีมาตรฐานของ U.S. EPA

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรัน (มิลลิกรัม/น้ำหนักกิโลกรัมแห้ง)	
	กากตะกรันดำ	กากตะกรันขาว
แคดเมียม (Cd)	10	9
โครเมียม (Cr)	996	114
ตะกั่ว (Pb)	110	120
ปรอท (Hg)	nd	nd
อาร์เซนิค (As)	nd	nd
เหล็ก (Fe)	201,600	9,760

nd = not detectable: ปรอท < 0.02 มก./ล., อาร์เซนิค < 0.01 มก./ล.

ตารางที่ 5.3 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าโดยใช้วิธีสกัดตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ลักษณะสมบัติ	กากตะกรันดำ	กากตะกรันขาว	เกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)
พีเอช	6.14	8.96	-
แคดเมียม (มก./ล.)	0.20	0.18	> 1
โครเมียม (มก./ล.)	0.74	0.42	> 5
ตะกั่ว (มก./ล.)	1.70	2.82	> 5
อาร์เซนิค (มก./ล.)	nd	nd	> 5
ปรอท (มก./ล.)	nd	nd	> 0.2
เหล็ก (มก./ล.)	25.6	3.54	-

nd = not detectable: ปรอท < 0.02 มก./ล., อาร์เซนิค < 0.01 มก./ล.

มก./ล. และ 0.01 มก./ล. ตามลำดับ (ค่ามาตรฐาน : ปรอท ≥ 0.2 มก./ล. , อาร์เซนิค ≥ 5 มก./ล.)

เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด พบว่า ไม่มีปริมาณโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะไม่มีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดชนิดใดเกินค่ามาตรฐาน แต่จากผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามวิธีมาตรฐานของ U.S. EPA พบว่า มีโครเมียม และ ตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะหนักอันตรายปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง คือ ปริมาณโครเมียมอยู่ในช่วง 114 ถึง 996 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 110 ถึง 120 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ มีปริมาณแคดเมียม อยู่ในช่วง 9 ถึง 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเกินกว่า 8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากของเสียที่จะใส่ในพื้นที่การเกษตรของประเทศ เบลเยียม เดนมาร์ก เนเธอร์แลนด์ และนอร์เวย์ นอกจากนี้ กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าจัดเป็นของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ภาคผนวกที่ 1 หมวด 2 ข้อ 7.8 ที่ได้กำหนดไว้ กล่าวคือ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า (Iron and steel) ซึ่งได้แก่ กากและฝุ่นจากหน่วยควบคุมฝุ่นละออง (Emission control) ในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าปฐมภูมิ (Primary steel production) โดยใช้เตาไฟฟ้า (Electric furnace) และของเหลวสำหรับ pickle ที่ใช้งานแล้วจากกรรมวิธีทำสำเร็จ (Finishing) ของเหล็กกล้าซึ่งเกิดขึ้นในหน่วยการผลิตต่างๆ เป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด (Specific sources) ซึ่งกระบวนการผลิตเหล็กกล้าปฐมภูมิ คือ การเหล็กกล้าจากการถลุงแร่เหล็ก ในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานที่ผลิตเหล็กกล้าโดยวิธีการถลุงแร่เหล็ก มีแต่โรงงานที่ผลิตเหล็กโดยวิธีการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นการผลิตเหล็กทุติยภูมิ จากการพูดคุยกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านโลหะการ พบว่า ข้อกำหนดข้างต้นนี้ได้ครอบคลุมถึงกากตะกรันจากขั้นตอนหลอมเศษเหล็กด้วยเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าด้วย ดังนั้น กากตะกรันเหล่านี้ จึงต้องได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ตามภาคผนวกที่ 2 ของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

5.2 ผลการทดสอบสัดส่วนผสมของวัสดุประสานเบื้องต้น

กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กที่ทำให้เป็นก้อน ด้วยอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10% ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20% ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต 10% และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต 20% มาผสมกับกากตะกรันด้วยอัตราส่วนของวัสดุประสานร้อยละ 10 20 และ 30 ของน้ำหนักกากตะกรัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 เพื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัด ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาวัสดุประสานที่เหมาะสม และ สัดส่วนผสมที่เป็นไปได้ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัด

ทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งสองชนิดที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.4

1.1 ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

1.1.1 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันดำ เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 8.03 กก./ตร.ซม. และ 7.56 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 20 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 29.76 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 36.49 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมากโดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.73 กก./ตร.ซม. และ 90.59 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

1.1.2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาว เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ย 10.4 กก./ตร.ซม. และ 13.69 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 20 กำลังรับแรงอัดพัฒนาเพิ่มขึ้นมาก โดยทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 82.45 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 88.32 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมากโดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 174.44 กก./ตร.ซม. และ 182.65 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

1.2 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวเป็นวัสดุประสาน

1.2.1 กากตะกรันดำที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวต่อกากตะกรันดำ เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเป็นร้อยละ 20 พบว่า กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 13.09 กก./ตร.ซม. ซึ่งยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 16.23 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเป็นร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.69 กก./ตร.ซม. และ 32.64 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

1.2.2 อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวต่อกากตะกรันขาว เท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเป็นร้อยละ 20 พบว่า กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 12.23 กก./ตร.ซม. ซึ่งยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 13.62 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเป็นร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.75 กก./ตร.ซม. และ 25.42 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

กากตะกรันดำ		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสม(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์	10	8.03	7.56	1.79	1.84
	20	29.76	36.49	2.04	2.08
	30	85.73	90.59	2.48	2.39
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	10	3.15	3.21	1.79	1.74
	20	13.09	16.23	1.87	1.79
	30	25.69	32.64	2.08	2.13
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	6.10	7.68	1.89	1.84
	20	16.67	29.47	2.08	2.07
	30	57.58	50.54	2.37	2.14
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	7.03	6.51	1.92	1.79
	20	25.74	30.00	2.03	2.17
	30	60.00	65.38	2.44	2.27
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	1.02	2.05	1.84	1.68
	20	4.84	6.06	1.68	1.99
	30	9.61	12.40	1.92	2.03
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	1.10	2.95	1.77	1.95
	20	6.42	10.87	1.82	2.02
	30	17.38	25.68	1.95	2.30
เกณฑ์มาตรฐาน		> 14 กก./ตร.ซม.*		> 1.15 ตัน/ลบ.ม.**	

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

** เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

กากตะกรันขาว		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
วัสดุประสาน	อัตราส่วนผสม(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์	10	10.4	13.69	1.70	1.72
	20	82.45	86.32	1.94	1.93
	30	174.4	182.6	2.22	2.22
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	10	2.5	2.65	1.61	1.54
	20	12.23	13.62	1.73	1.71
	30	21.75	25.42	1.81	1.77
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	6.96	7.83	1.76	1.70
	20	37.52	61.82	1.97	2.04
	30	100.6	132.1	2.38	2.22
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	8.21	9.72	1.63	1.83
	20	66.01	94.51	2.05	2.02
	30	143.9	161.8	2.34	2.25
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	1.07	3.23	1.63	1.69
	20	5.3	12.7	1.67	1.93
	30	9.84	19.37	1.82	1.95
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต (ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์)	10	1.43	3.43	1.61	1.83
	20	9.88	22.27	1.79	2.01
	30	17.97	32.52	1.85	2.03
เกณฑ์มาตรฐาน		> 14 กก./ตร.ซม.*		> 1.15 ตัน/ลบ.ม.**	

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

** เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

1.3 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) เป็นวัสดุประสาน

1.3.1 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันดำเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ย 6.1 กก./ตร.ซม. และ 7.68 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 16.67 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน เท่ากับ 29.47 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 57.58 กก./ตร.ซม. และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.54 กก./ตร.ซม.

1.3.2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ย 6.96 กก./ตร.ซม. และ 7.83 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 37.52 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน เท่ากับ 61.82 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 100.62 กก./ตร.ซม. และเมื่อบ่มครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 132.16 กก./ตร.ซม.

1.4 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) เป็นวัสดุประสาน

1.4.1 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันดำเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ย 7.03 กก./ตร.ซม. และ 6.51 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ

25.74 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย และที่ระยะเวลาปม 28 วัน เท่ากับ 30 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน เท่ากับ 60 กก./ตร.ซม. และเมื่อปมครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.36 กก./ตร.ซม.

1.4.2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ย 8.21 กก./ตร.ซม. และ 9.72 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน เท่ากับ 66.01 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย และที่ระยะเวลาปม 28 วัน เท่ากับ 94.51 กก./ตร.ซม. โดยเฉลี่ย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาอย่างมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน เท่ากับ 143.9 กก./ตร.ซม. และเมื่อปมครบ 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161.83 กก./ตร.ซม. .

1.5 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) เป็นวัสดุประสาน

1.5.1 ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันต่ำเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 พบว่า กำลังรับแรงอัด มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาปม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.84 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาปม 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.06 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.61 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาปม 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.4 กก./ตร.ซม.

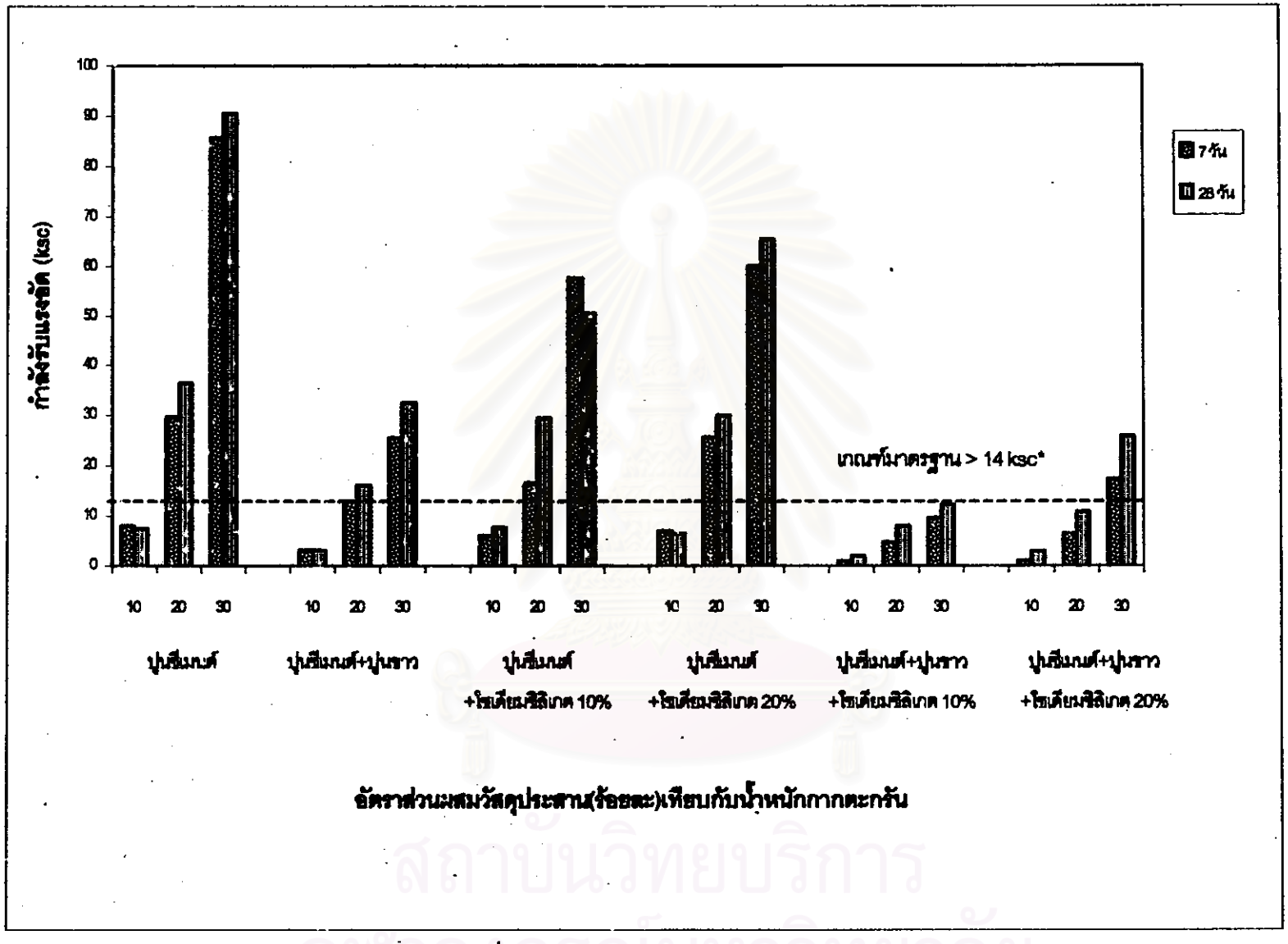
1.5.2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำ

กว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 พบว่า กำลังรับแรงอัด มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.3 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.7 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.84 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.37 กก./ตร.ซม.

1.6 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) เป็นวัสดุประสาน

1.6.1 ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันดำเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 พบว่า กำลังรับแรงอัด มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 6.42 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.87 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.38 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.88 กก./ตร.ซม.

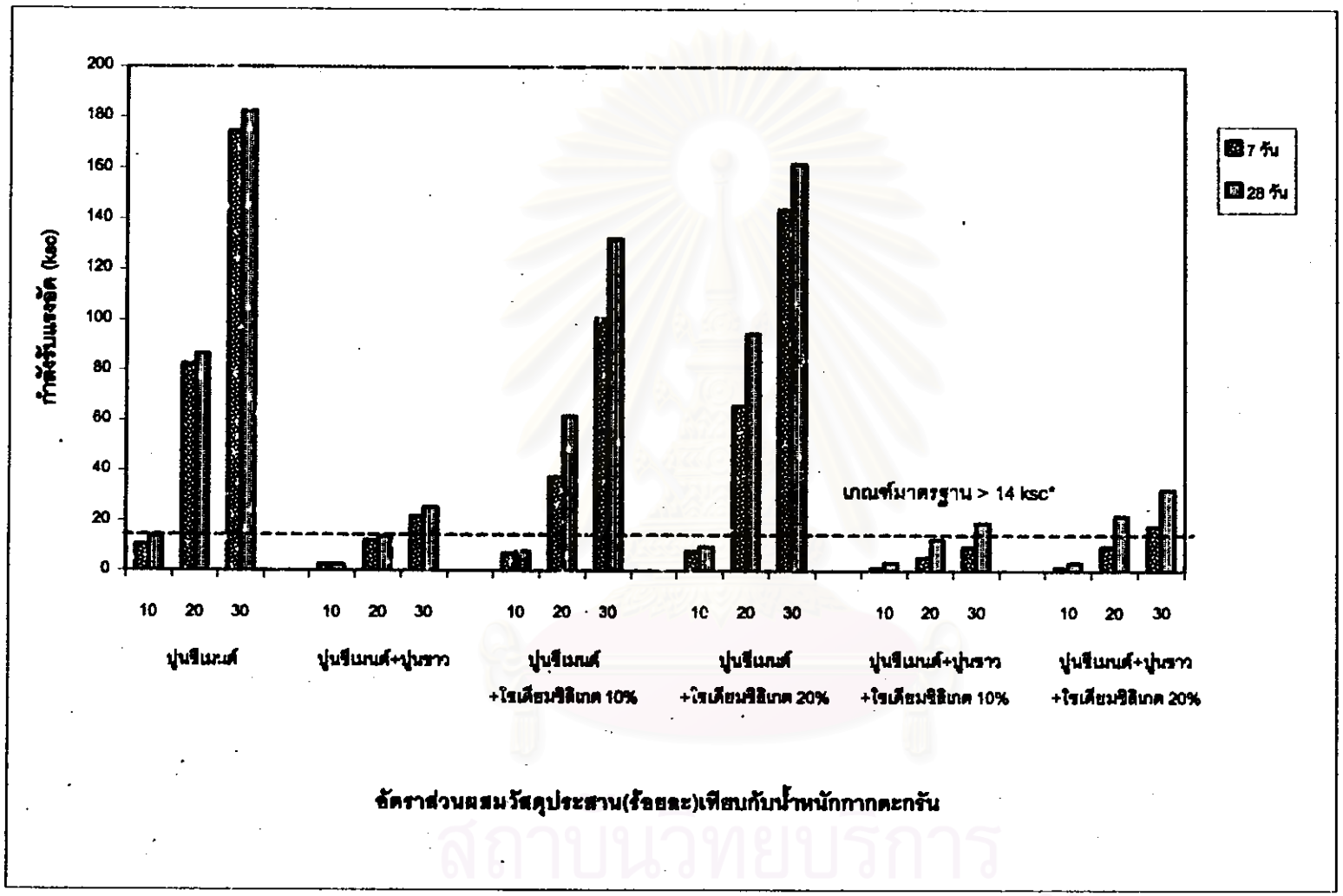
1.6.2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) ผสมโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนผสม ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์) ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับร้อยละ 10 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานในการฝังกลบที่กำหนดไว้ 14 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสาน เป็นร้อยละ 20 พบว่า กำลังรับแรงอัด มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 9.88 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.27 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.97 กก./ตร.ซม. และที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.52 กก./ตร.ซม.



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในการทำกากตะกรันดำให้เป็นก้อนแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในการทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

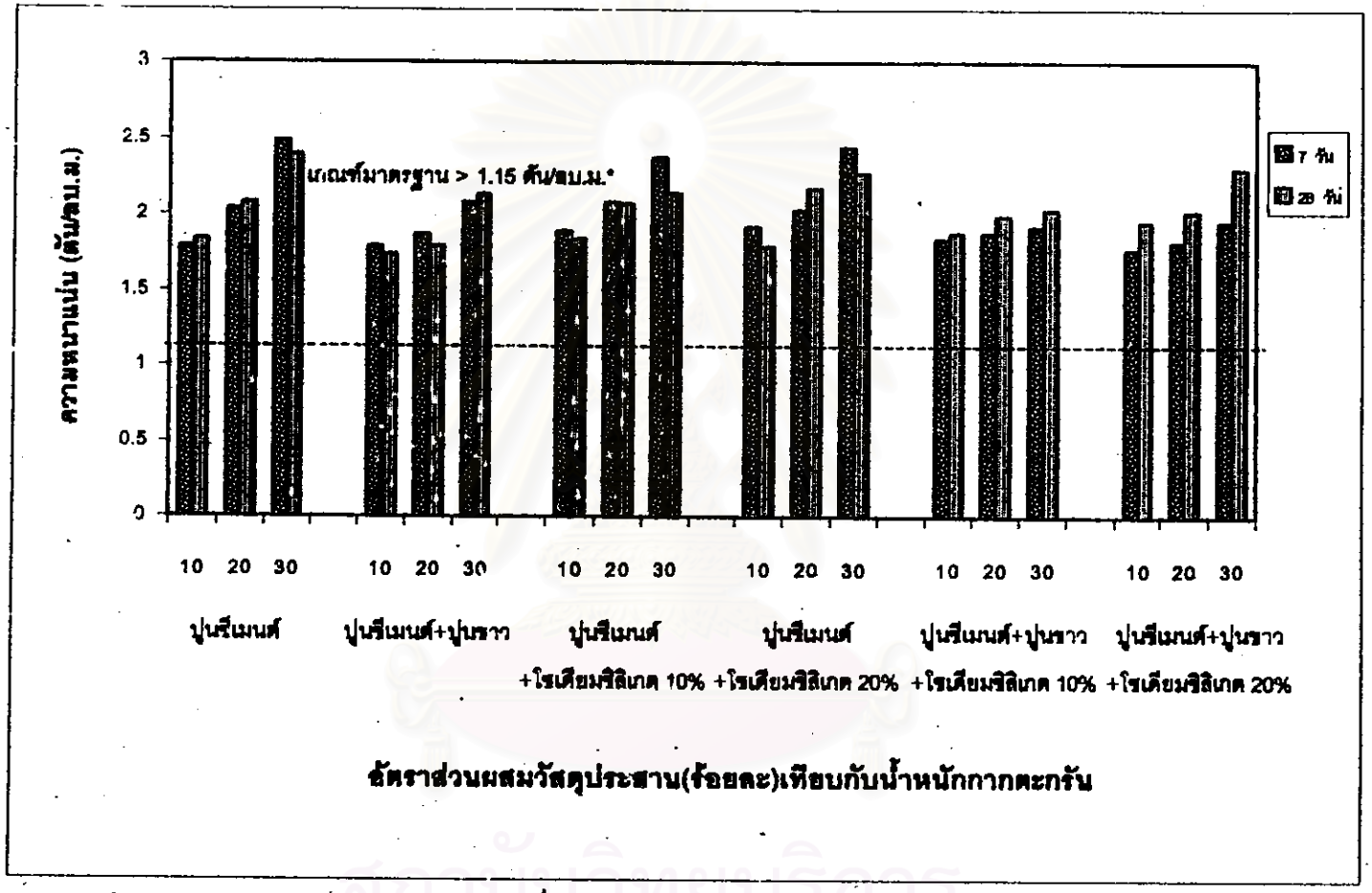
จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า การทำให้กากตะกรันดำและกากตะกรันขาวเป็นก้อนแข็งโดยใช้วัสดุประสาน คือ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10 % และ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20 % ด้วยอัตราส่วนผสมเพียงร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก็สามารถทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัด อยู่ในช่วง 17 ถึง 82 กก./ตร.ซม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน คือ 14 กก./ตร.ซม. โดยที่การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานจะทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าการใช้วัสดุประสานชนิดอื่น ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ได้นี้ จะนำไปพิจารณาร่วมกับผลของค่าความหนาแน่นและปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดไปทำการศึกษาให้ละเอียดในขั้นตอนต่อไป

2. ความหนาแน่น

ทำการหาความหนาแน่นของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งสองชนิดที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ผลการหาความหนาแน่นของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ผลการหาความหนาแน่นของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.6

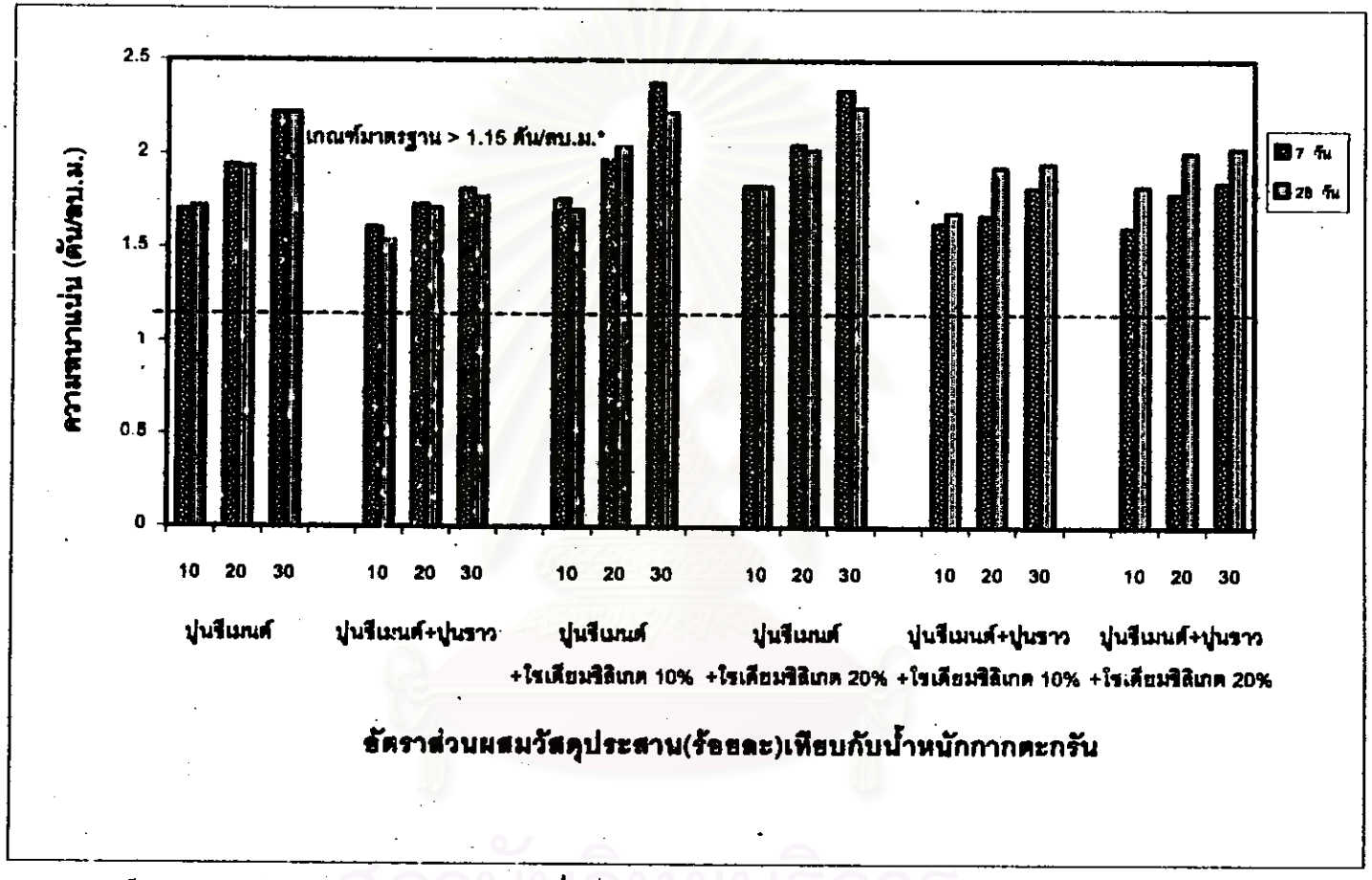
2.1 ความหนาแน่นของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นที่อัตราส่วนผสมวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ค่าอยู่ระหว่าง 1.77 ตัน/ลบ.ม. และ 1.92 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม. เมื่ออัตราส่วนผสมวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น

2.2 ความหนาแน่นของกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นที่อัตราส่วนผสมวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ค่าอยู่ระหว่าง 1.61 ตัน/ลบ.ม. และ 1.83 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม. เมื่ออัตราส่วนผสมวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในการทำกากตะกรันดำให้เป็นก้อนแข็ง



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในการทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็ง

ดังนั้น การทำให้กากตะกรันดำและกากตะกรันขาวเป็นก้อนแข็งโดยใช้อัตราส่วนวัสดุประสานชนิดต่างๆ เพียงร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก็สามารถทำให้ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 1.9 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม. ผลของค่าความหนาแน่นที่ได้นี้ จะนำไปพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดไปทำการศึกษาให้ละเอียดในขั้นตอนต่อไป

3. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดใช้วิธีสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ พีเอช และปริมาณโลหะหนัก โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) สำหรับวิเคราะห์ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็ก โดยแคดเมียมใช้ความยาวคลื่น 228.8 nm โครเมียมใช้ความยาวคลื่น 357.9 nm ตะกั่วใช้ความยาวคลื่น 283.3 nm และเหล็กใช้ความยาวคลื่น 248.3 nm

3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10% ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20% ปูเซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต 10% และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต 20% ด้วยอัตราส่วนผสมวัสดุประสานร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน แสดงในตารางที่ 5.6 และจากผลที่ได้สรุปได้ดังนี้

3.1.1 ค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 10.67 และ 11.64 แสดงว่า น้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง เนื่องจากเกิดการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และส่วนผสมปูนขาว ก้อนตัวอย่างที่เติมโซเดียมซิลิเกตในวัสดุประสานมีค่าพีเอชของน้ำสกัดใกล้เคียงกับก้อนตัวอย่างที่ไม่ได้เติม และค่าพีเอชลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวตามเวลา เมื่ออัตราส่วนผสมวัสดุ

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ชนิด และ สัดส่วนวัสดุประสาน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ระยะเวลาบ่ม	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์										
ร้อยละ 10	10.67	10.43	nd	nd	nd	nd	0.12	0.11	0.45	0.37
ร้อยละ 20	11.16	10.93	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.34	0.25
ร้อยละ 30	11.36	11.14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.20	0.16
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)										
ร้อยละ 10	10.91	10.74	nd	nd	nd	nd	0.17	0.14	0.54	0.46
ร้อยละ 20	11.35	11.05	nd	nd	nd	nd	0.13	0.12	0.42	0.37
ร้อยละ 30	11.54	11.25	nd	nd	nd	nd	0.12	0.11	0.31	0.24
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10 %										
ร้อยละ 10	10.75	10.46	nd	nd	nd	nd	0.11	0.11	0.47	0.38
ร้อยละ 20	11.26	10.95	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.35	0.27
ร้อยละ 30	11.45	11.18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.21	0.18
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20 %										
ร้อยละ 10	10.73	10.42	nd	nd	nd	nd	0.10	0.10	0.44	0.41
ร้อยละ 20	11.31	10.98	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.33	0.28
ร้อยละ 30	11.47	11.20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.19	0.16
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ผสมโซเดียมซิลิเกต 10 %										
ร้อยละ 10	10.93	10.72	nd	nd	nd	nd	0.16	0.15	0.55	0.50
ร้อยละ 20	11.41	11.07	nd	nd	nd	nd	0.13	0.13	0.41	0.34
ร้อยละ 30	11.64	11.30	nd	nd	nd	nd	0.12	0.11	0.32	0.22
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ผสมโซเดียมซิลิเกต 20 %										
ร้อยละ 10	10.88	10.73	nd	nd	nd	nd	0.17	0.14	0.52	0.48
ร้อยละ 20	11.36	11.02	nd	nd	nd	nd	0.14	0.12	0.39	0.35
ร้อยละ 30	11.60	11.28	nd	nd	nd	nd	0.13	0.11	0.29	0.25

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล. ,ตะกั่ว < 0.1 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ชนิด และ สัดส่วนวัสดุประสาน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ระยะเวลาบ่ม	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์										
ร้อยละ 10	10.97	10.74	nd	nd	nd	nd	0.11	0.10	0.30	0.28
ร้อยละ 20	11.25	11.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.22	0.20
ร้อยละ 30	11.47	11.31	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.13	0.12
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)										
ร้อยละ 10	11.21	11.04	nd	nd	nd	nd	0.13	0.12	0.36	0.34
ร้อยละ 20	11.41	11.23	nd	nd	nd	nd	0.11	0.11	0.25	0.23
ร้อยละ 30	11.65	11.43	nd	nd	nd	nd	0.10	0.10	0.16	0.16
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10 %										
ร้อยละ 10	10.98	10.72	nd	nd	nd	nd	0.11	0.10	0.31	0.26
ร้อยละ 20	11.28	11.06	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.21	0.21
ร้อยละ 30	11.45	11.29	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.13	0.12
ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20 %										
ร้อยละ 10	11.01	10.75	nd	nd	nd	nd	0.11	0.11	0.29	0.24
ร้อยละ 20	11.30	11.08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.22	0.21
ร้อยละ 30	11.50	11.33	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.12	0.13
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ผสมโซเดียมซิลิเกต 10 %										
ร้อยละ 10	11.24	10.98	nd	nd	nd	nd	0.12	0.12	0.35	0.32
ร้อยละ 20	11.42	11.18	nd	nd	nd	nd	0.11	0.10	0.24	0.22
ร้อยละ 30	11.66	11.47	nd	nd	nd	nd	0.11	0.10	0.17	0.15
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ผสมโซเดียมซิลิเกต 20 %										
ร้อยละ 10	11.23	11.02	nd	nd	nd	nd	0.13	0.12	0.34	0.31
ร้อยละ 20	11.44	11.21	nd	nd	nd	nd	0.11	0.11	0.25	0.24
ร้อยละ 30	11.71	11.50	nd	nd	nd	nd	0.10	0.10	0.16	0.16

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล. ,ตะกั่ว < 0.1 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงฯ อุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ประสานเพิ่มขึ้นค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการละลายเพิ่มขึ้นของไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

3.1.2 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกรันดำทุกสัดส่วนผสม มีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาปม 7 วัน และ 28 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยปริมาณของแคดเมียม และโครเมียม ต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ คือ 0.02 มก./ล. และ 0.06 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าต่ำกว่า 0.2 มก./ล. สาเหตุเนื่องจากน้ำสกัดมีค่าพีเอชสูง สภาพละลายได้ของโลหะหนักมีค่าต่ำ มีผลทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่ละลายได้น้อยมาก

3.1.3 ผลวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ส่วนผสมวัสดุประสานทุกชนิดเพียงร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันดำ ก็สามารถมีเสถียรภาพยึดเกาะโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกรันดำไม่ให้ถูกชะละลายออกมาได้

3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10% ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20% ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต 10% และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซิลิเกต 20% ด้วยอัตราส่วนผสมวัสดุประสานร้อยละ 10 20 และ 30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน แสดงในตารางที่ 5.7 และจากผลที่ได้สรุปได้ดังนี้

3.2.1 ค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่าอยู่ระหว่าง 10.72 และ 11.71 แสดงว่า น้ำสกัดมีลักษณะเป็นด่าง และก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และปูนขาวจะมีค่าพีเอชสูงกว่าก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียว เนื่องจากเกิดการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และส่วนผสมปูนขาว ก้อนตัวอย่างที่เติมโซเดียมซิลิเกตในวัสดุประสานมีค่าพีเอชของน้ำสกัดใกล้เคียงกับก้อนตัวอย่างที่ไม่ได้เติม และพบว่าค่าพีเอชลดลงเมื่อระยะเวลาปมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวตามเวลา

3.2.2 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อกากตะกรันขาวทุกสัดส่วนผสม มีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สาเหตุเนื่องจากน้ำสกัดมีค่าพีเอชสูง สภาพละลายได้ของโลหะหนักมีค่าต่ำ มีผลทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่ละลายได้น้อยมาก โดยมีปริมาณของแคดเมียม และโครเมียม ต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ คือ 0.02 มก./ล. และ 0.06 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าต่ำกว่า 0.15 มก./ล.

3.2.3 ผลวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ส่วนผสมวัสดุประสานทุกชนิดเพียงร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันขาว ก็สามารถมีเสถียรภาพยึดเกาะโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกรันขาวไม่ให้ถูกชะละลายออกมาได้

สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

กากตะกรันดำ

1. จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และ เหล็กในน้ำสกัด พบว่า ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานทั้ง 6 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณแคดเมียมและโครเมียม ต่ำกว่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์ คือ 0.02 มก./ล. และ 0.06 มก./ล. ตามลำดับ ปริมาณตะกั่ว ต่ำกว่า 0.2 มก./ล. ลำดับ และ ปริมาณเหล็ก ต่ำกว่า 0.55 มก./ล. ลำดับ ซึ่งปริมาณโลหะหนักมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ในทุกอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน และมีประสิทธิภาพในการทำให้แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็กคงตัว มากกว่า 87% 89% 85 % และ 97% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว ดังนั้น การพิจารณาเลือกวัสดุประสาน ที่เหมาะสมในการทำให้กากตะกรันดำเป็นก้อน จึงพิจารณาจากกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง รวมทั้งค่าใช้จ่าย เพื่อทำการศึกษาต่อในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

2. อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10% และอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20% เพียงร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันดำ สามารถให้กำลังรับแรงอัด ในช่วง 17 ถึง 37 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐาน

คือ 14 กก./ตร.ซม. และมีความหนาแน่น ในช่วง 2.03 ถึง 2.17 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม.

3. ที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน นอกจากราคายังถูกกว่ายังมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า การใช้ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกตเป็นวัสดุประสาน ดังนั้นจึงเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานในการทำกากตะกรันดำให้เป็นก้อนแข็ง ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อกากตะกรันดำ เท่ากับ ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

กากตะกรันขาว

1. จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และ เหล็ก ในน้ำสกัด พบว่า ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานทั้ง 6 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณแคดเมียมและโครเมียม ต่ำกว่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์ คือ 0.02 มก./ล. และ 0.06 มก./ล. ตามลำดับ ปริมาณตะกั่ว ต่ำกว่า 0.15 มก./ล. และ ปริมาณเหล็ก ต่ำกว่า 0.36 มก./ล.และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ในทุกอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน และมีประสิทธิภาพในการทำให้แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็กคงตัว มากกว่า 85% 81% 93 % และ 87 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว ดังนั้น การพิจารณาเลือกวัสดุประสาน ที่เหมาะสมในการทำให้กากตะกรันขาวเป็นก้อน จึงพิจารณาจากกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง รวมทั้งค่าใช้จ่าย เพื่อทำการศึกษาต่อในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

2. อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 10% และอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกต 20% เพียงร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันขาว สามารถให้กำลังรับแรงอัด ในช่วง 38 ถึง 95 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐาน คือ 14 กก./ตร.ซม. และมีความหนาแน่น ในช่วง 1.93 ถึง 2.04 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม.

3. ที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน นอกจากราคายังถูกกว่ายังมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า การใช้ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมซิลิเกตเป็นวัสดุประสาน ดังนั้นจึงเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานในการทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็ง ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งต่อกากตะกรันขาว เท่ากับ ร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

5.3 ผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการทดสอบสัดส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานในอัตราส่วนผสมร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ทำให้ก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ มากกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้วัสดุประสานชนิดอื่นที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน ดังนั้น จึงนำกากตะกรันดำ และกากตะกรันขาว มาทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสาน โดยกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันที่ ร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 เพื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัด ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

1. สมบัติทางกายภาพของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

1.1 กำลังรับแรงอัด

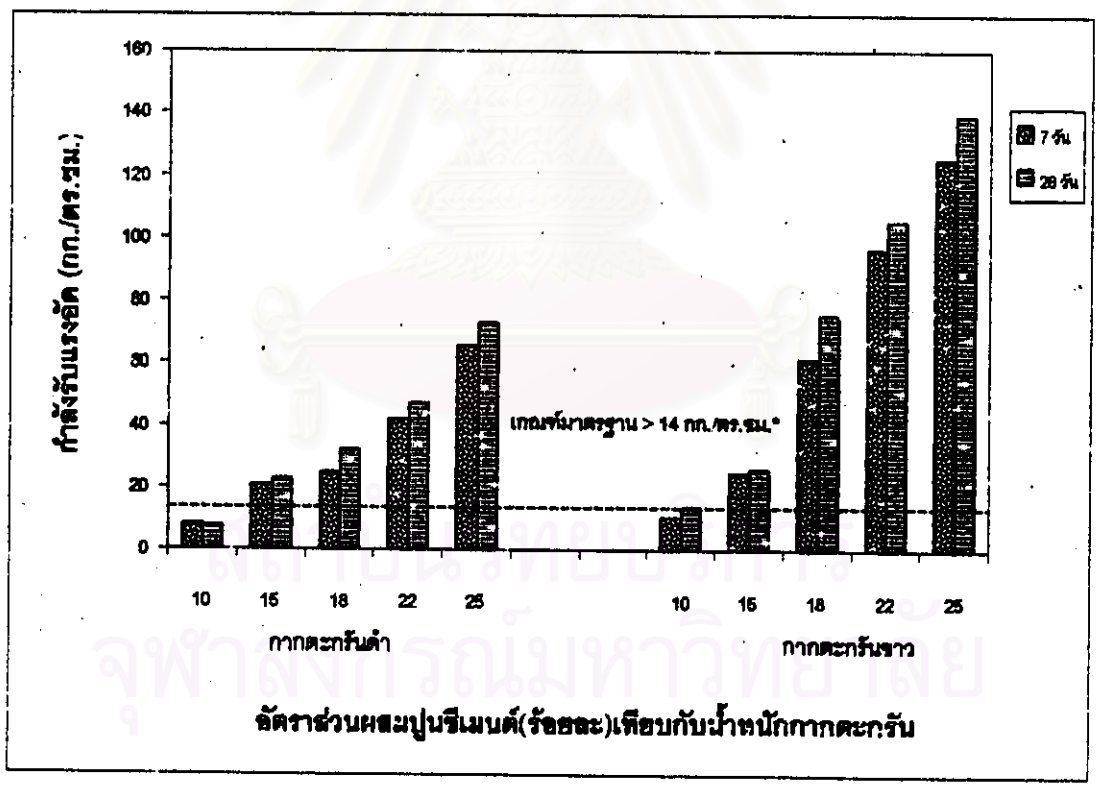
ทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน แสดงในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.7 ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรัน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			
	กากตะกรันดำ		กากตะกรันขาว		กากตะกรันดำ		กากตะกรันขาว	
	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
10	8.03	7.56	10.40	13.69	1.79	1.84	1.70	1.72
15	20.21	22.43	24.57	25.87	1.92	1.93	1.78	1.84
18	24.38	31.67	81.27	75.40	2.01	1.99	1.88	1.89
22	41.93	47.28	96.33	104.93	2.13	2.12	2.02	2.03
25	65.18	72.66	125.04	139.30	2.17	2.23	2.08	2.11
เกณฑ์มาตรฐาน	> 14 กก./ตร.ซม.*				> 1.15 ตัน/ลบ.ม.**			

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

** เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540)



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2531)

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิดให้เป็นก้อนแข็ง

1.1.1 กำลังรับแรงอัดของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 15 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดพัฒนาเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับ กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสาน ร้อยละ 10 คือ มีค่าประมาณ 20 กก./ตร.ซม. และมีค่าเกินมาตรฐาน คือ 14 กก./ตร.ซม. แสดงว่าเกิดการยึดประสานอันเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์เป็น ร้อยละ 18 กำลังรับแรงอัดยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่อัตราการเพิ่มลดลงเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่างร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 15 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 22 และร้อยละ 25 กำลังรับแรงอัดยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น และมีอัตราการเพิ่มสูง เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่างร้อยละ 18 ถึง ร้อยละ 20

1.1.2 เมื่อใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับ ร้อยละ 15 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดพัฒนาเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสาน ร้อยละ 10 คือ มีค่าประมาณ 25 กก./ตร.ซม. และ มีค่าเกินมาตรฐาน คือ 14 กก./ตร.ซม. แสดงว่าเกิดการยึดประสานอันเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์เป็น ร้อยละ 18 กำลังรับแรงอัดยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 22 และร้อยละ 25 กำลังรับแรงอัดยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น และมีอัตราการเพิ่มสูง เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่างร้อยละ 18 ถึง ร้อยละ 20

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมเพียงร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก็สามารถทำให้ก้อนตัวอย่างกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท มีกำลังรับแรงอัด อยู่ในช่วง 20 ถึง 25 กก./ตร.ซม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน คือ 14 กก./ตร.ซม. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ได้นี้ จะนำไปพิจารณาร่วมกับผลของค่าความหนาแน่นและปริมาณโลหะหนักในน้ำลกัด เพื่อเลือกอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด ในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภท ให้เป็นก้อนแข็ง

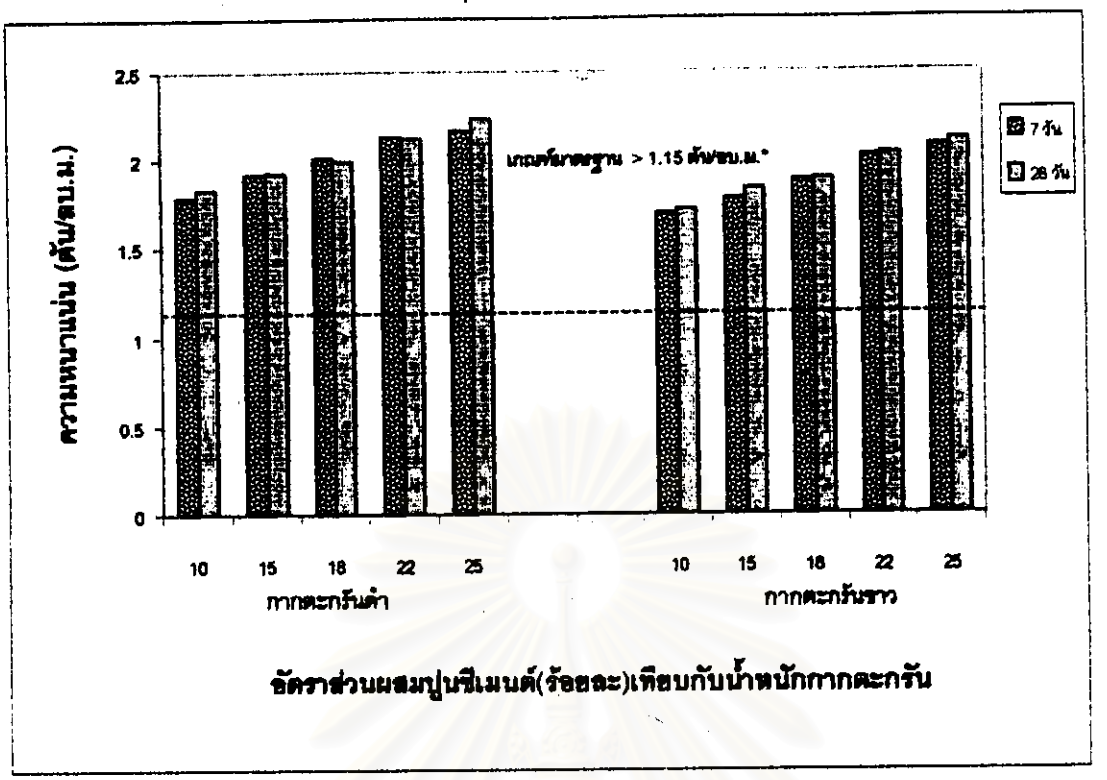
1.2 ความหนาแน่น

ทำการหาความหนาแน่นของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งสองชนิดที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน แสดงผลการทดลองในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.8 ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1.2.1 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันดำตั้งแต่ ร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 25 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน พบว่า ความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.82 ถึง 2.23 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม.

1.2.2 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาวตั้งแต่ ร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 25 เทียบกับ น้ำหนักกากตะกรัน พบว่า ความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.78 ถึง 2.11 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม.

จากผลการทดลอง พบว่า การทำให้กากตะกรันดำและกากตะกรันขาวเป็นก้อนแข็งโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ เพียงร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ก็สามารถทำให้ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.78 ถึง 1.82 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม. ผลของค่าความหนาแน่นที่ได้นี้ จะนำไปพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อเลือกอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภท ให้เป็นก้อนแข็ง



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิดให้เป็นก้อนแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

หลังจากที่ได้ผสมปูนซีเมนต์กับกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.5 แล้วนำก้อนตัวอย่างไปบ่มที่ระยะเวลา 7 และ 28 วัน เพื่อนำมาสกัดเพื่อหาสมบัติการชะละลายของโลหะหนักต่าง ๆ โดยนำน้ำสกัดมาวิเคราะห์ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ พีเอช และปริมาณโลหะหนัก โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) สำหรับวิเคราะห์ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็ก โดยแคดเมียมใช้ความยาวคลื่น 228.8 nm โครเมียมใช้ความยาวคลื่น 357.9 nm ตะกั่วใช้ความยาวคลื่น 217 nm และเหล็กใช้ความยาวคลื่น 248.3 nm

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน แสดงในตารางที่ 5.9 และ ตารางที่ 5.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ระยะเวลาบ่ม	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
ร้อยละ 10	10.67	10.43	nd	nd	nd	nd	0.12	0.11	0.45	0.37
ร้อยละ 15	10.87	10.71	nd	nd	nd	nd	0.08	0.06	0.44	0.40
ร้อยละ 18	11.00	10.87	nd	nd	nd	nd	0.08	0.04	0.40	0.34
ร้อยละ 22	11.13	11.05	nd	nd	nd	nd	0.05	0.03	0.32	0.27
ร้อยละ 25	11.21	11.17	nd	nd	nd	nd	0.04	0.01	0.26	0.22

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ระยะเวลาบ่ม	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
ร้อยละ 10	10.97	10.74	nd	nd	nd	nd	0.11	0.10	0.30	0.28
ร้อยละ 15	11.13	11.07	nd	nd	nd	nd	0.09	0.06	0.30	0.27
ร้อยละ 18	11.20	11.12	nd	nd	nd	nd	0.06	0.05	0.24	0.21
ร้อยละ 22	11.32	11.25	nd	nd	nd	nd	0.04	0.03	0.20	0.18
ร้อยละ 25	11.41	11.36	nd	nd	nd	nd	0.03	0.02	0.17	0.15

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

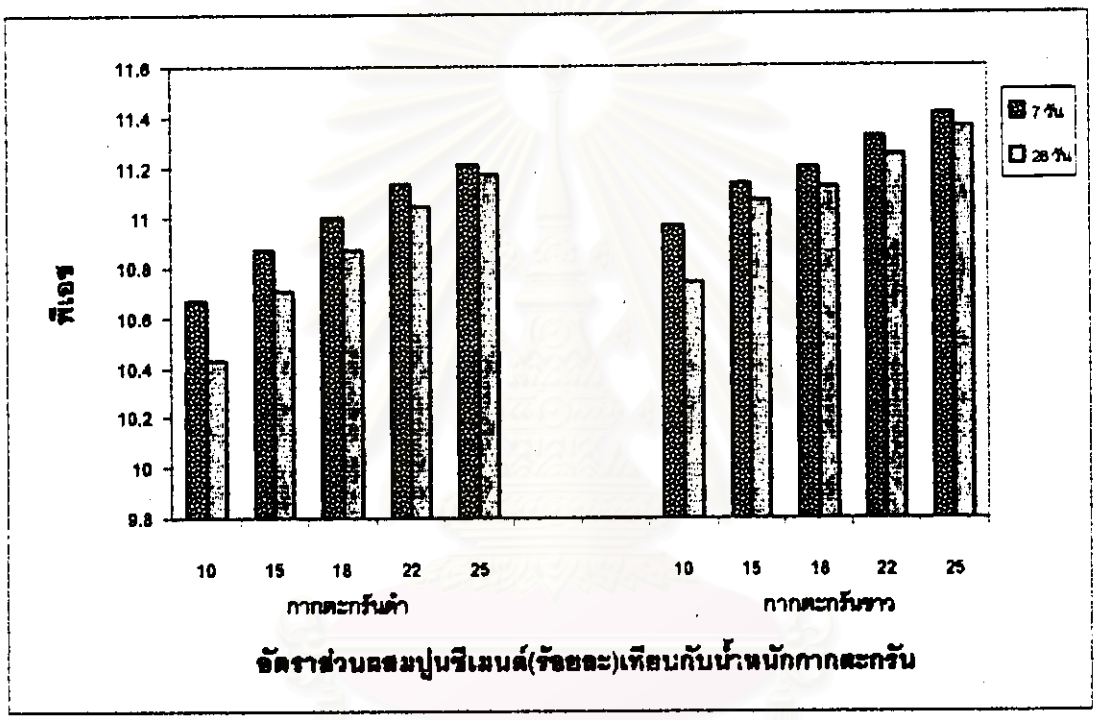
2.1 พีเอช

พีเอชสุดท้ายของน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันดำ มีค่าระหว่าง 10.71 และ 11.21 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันดำ น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของปูนซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น คาดว่าเกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์มีมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พีเอชกลับมีค่าลดลง คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวตามระยะเวลาและไฮดรอกไซด์บางส่วนไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักกลายเป็นสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ รักษพล ในปี พ.ศ. 2538

พีเอชสุดท้ายของน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาว มีค่าระหว่าง 11.13 และ 11.41 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันขาว น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของปูนซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น คาดว่าเกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์มีมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พีเอชกลับมีค่าลดลง คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวตามระยะเวลาและไฮดรอกไซด์บางส่วนไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนัก

กลายเป็นสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ รักษพล ในปี พ.ศ. 2538

จากรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่า น้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในทุกสัดส่วนผสม มีลักษณะเป็นด่าง คือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 10.7 ถึง 11.4



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชสุดท้ายในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

2.2 แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในทุกสัดส่วนผสม มีค่าต่ำกว่า 0.02 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์ หรือมีประสิทธิภาพในการทำให้แคดเมียมคงตัว มากกว่า 85% เมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว เนื่องจากพีเอชที่สูงของน้ำสกัด สภาพละลายได้ของแคดเมียมต่ำ มีผลทำให้ปริมาณของแคดเมียมในน้ำสกัดต่ำมาก

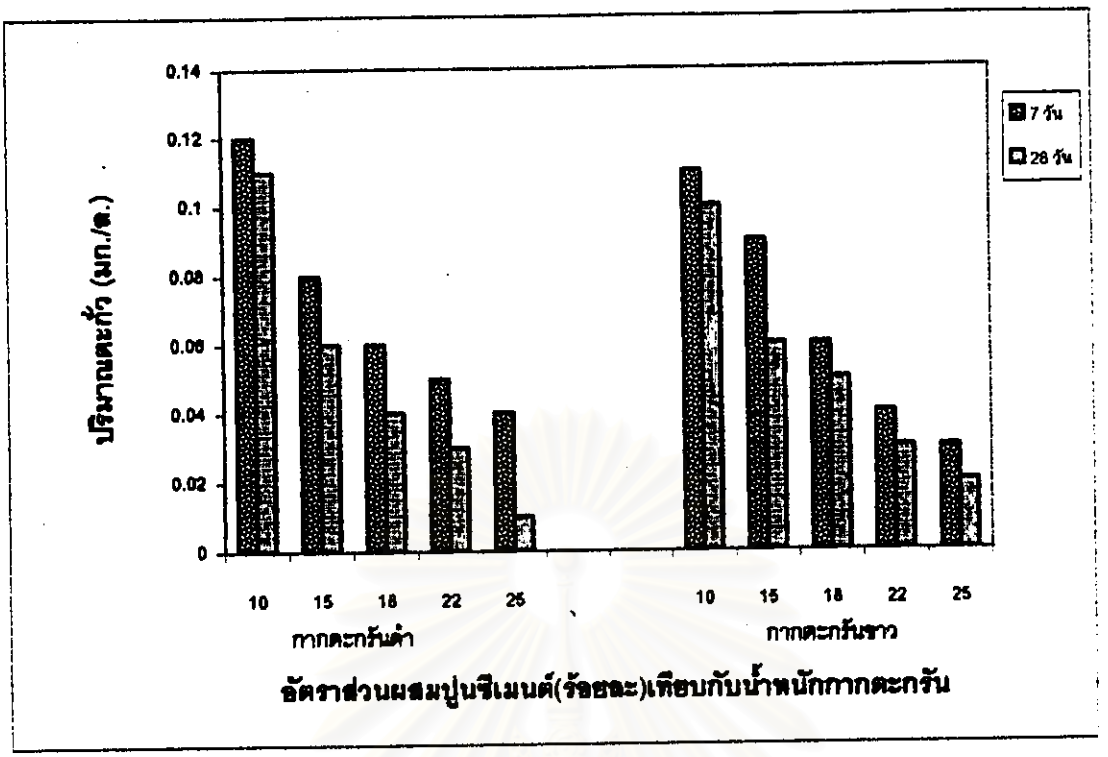
2.3 โครเมียม

ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในทุกสัดส่วนผสม มีค่าต่ำกว่า 0.06 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์ หรือมีประสิทธิภาพในการทำให้โครเมียมคงตัว มากกว่า 81% เมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว

2.4 ตะกั่ว

ปริมาณของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันดำที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 0.06 0.05 และ 0.04 มก./ล. จากอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันร้อยละ 15 18 22 และ 25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันดำตามลำดับ หรือมีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัว มากกว่า 93 % เมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดลดลง ทั้งนี้คาดว่าตะกั่วที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

ที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 มก./ล. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ปริมาณตะกั่วลดต่ำลง และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 28 วัน ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระยะเวลาบ่ม 7 วัน ทั้งนี้คาดว่าตะกั่วที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับ ไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

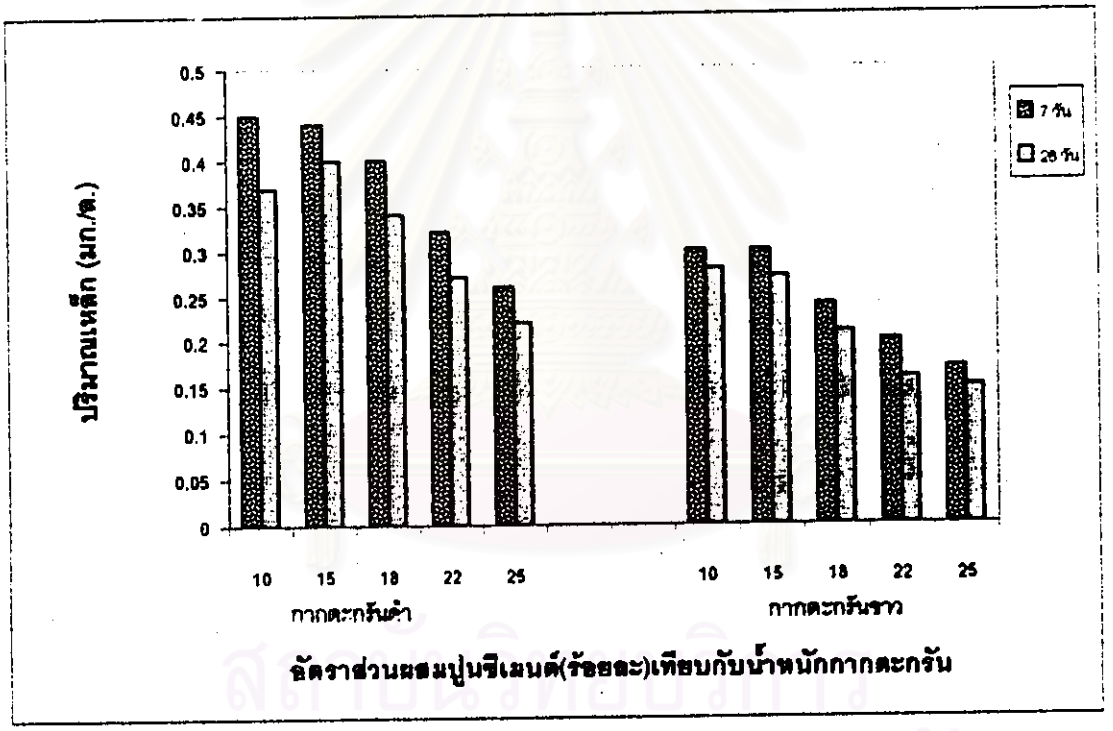
จากรูปที่ 5.10 พบว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในทุกสัดส่วนผสม มีค่าอยู่ในช่วง 0.09 ถึง 0.01 มก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 5 มก./ล. หรือมีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัว มากกว่า 93 % เมื่อเทียบกับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว

2.5 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีค่าสูงสุด เมื่ออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันดำเท่ากับร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 มก./ล. ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีค่าลดลง และก้อนตัวอย่างที่บ่ม 28 วัน มีปริมาณเหล็กในน้ำสกัดน้อยกว่า ก้อนตัวอย่างที่บ่ม 7 วัน ทั้งนี้คาดว่าเหล็กที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับ ไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

ที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อกากตะกรันขาวเท่ากับร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณเหล็กในน้ำลกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 มก./ล. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ปริมาณเหล็กลดต่ำลง และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มเป็น 28 วัน ปริมาณเหล็กในน้ำลกัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระยะเวลาบ่ม 7 วัน ทั้งนี้คาดว่าเหล็กที่ละลายในน้ำลกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับ ไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.11 พบว่า ปริมาณเหล็กในน้ำลกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในทุกสัดส่วนผสม มีค่าอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.44 มก./ล. เมื่ออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์และระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณเหล็กในน้ำลกัดลดลง



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในน้ำลกัดกับอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนอย่าง กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จะทำให้กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่ออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจะลดลงอย่างไม่สำคัญ เนื่องจากทุกอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่ทำการทดสอบพีเอชของน้ำสกัดมีค่าสูงเกิน 10 ซึ่งที่พีเอชสูงๆ สภาพละลายได้ของโลหะหนักต่ำลง โดยโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ และจะปรับสภาพการละลายเข้าสู่สภาวะการละลายสมดุล (Equilibrium Solubility) ตามภาวะค่าพีเอชสุดท้ายที่เกิดขึ้น จึงมีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์

เนื่องจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 15 มีกำลังรับแรงอัดเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) คือ 14 กก./ตร.ซม. มีความหนาแน่นเกิน 1.15 ตัน/ลบ.ม. และมีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ดังนั้น ในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภท ให้เป็นก้อนแข็ง จึงเลือกใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์) ในขั้นตอนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

จากขั้นตอนการทดสอบหาวัสดุประสานและอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าให้เป็นก้อน พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เป็นวัสดุประสาน ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน นั้นเหมาะสมทั้งสำหรับการทำกากตะกรันดำ และกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็ง และได้นำผลการทดสอบนี้มาใช้ในขั้นตอนการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ในที่นี้หมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง) โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ 5 ค่า ดังนี้ คือ 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 เพื่อนำก้อนตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และวิเคราะห์สมบัติของน้ำลกัด ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช และปริมาณโลหะหนักในน้ำลกัด ตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

1. สมบัติทางกายภาพของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งที่อัตราส่วนน้ำผสมต่าง ๆ

1.1 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งสองชนิดที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนน้ำผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สรุปได้ดังนี้

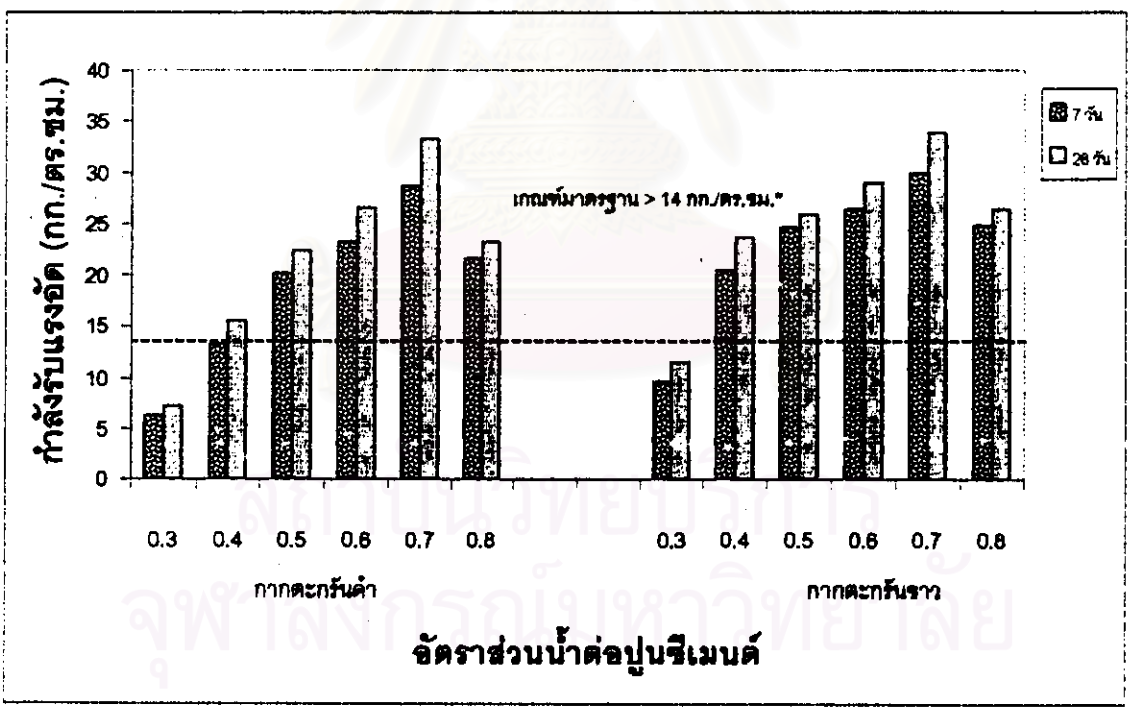
1.1.1 กำลังรับแรงอัดของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.3 มีค่าน้อยที่สุด คือ 6.21 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะสูงที่สุด คือ 33.23 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์สัดส่วนผสมร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่างๆ

อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			
	กากตะกรันดำ		กากตะกรันขาว		กากตะกรันดำ		กากตะกรันขาว	
	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
0.3	6.21	7.25	9.62	11.60	1.83	1.84	1.74	1.76
0.4	13.24	15.53	20.54	23.71	1.85	1.88	1.81	1.80
0.5	20.21	22.43	24.57	25.87	1.92	1.93	1.78	1.84
0.6	23.18	26.53	26.34	28.99	1.94	1.94	1.84	1.86
0.7	28.62	33.23	29.87	33.97	1.97	1.98	1.86	1.87
0.8	21.53	23.27	24.76	26.36	1.92	1.94	1.82	1.85
เกณฑ์มาตรฐาน	> 14 กก./ตร.ซม. *				> 1.15 ตัน/ลบ.ม. **			

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

** เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

1.1.2 กำลังรับแรงอัดของกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่ม อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 จะน้อยที่สุด เท่ากับ 9.62 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เป็น 0.4 0.6 และ 0.7 กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นมากตามลำดับ และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะสูงที่สุด คือ 33.97 กก./ตร.ซม.

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจนถึง 0.7 จะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด จะทำให้กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด ประมาณ 33 กก./ตร.ซม. แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.8 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีค่าลดลง คาดว่าสาเหตุเกิดจากการมีปริมาณน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เมื่อเวลาผ่านไประหว่างที่ปูนซีเมนต์แข็งตัว น้ำจะค่อย ๆ ระเหยออกไป จึงทำให้เกิดรูพรุนในก้อนตัวอย่าง มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Rijal ในปี ค.ศ. 1990 จากผลกำลังรับแรงอัดที่ได้ จะนำไปพิจารณาร่วมกับผลความหนาแน่น และ ปริมาณโลหะหนักอันตรายในน้ำสกัด เพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิดให้เป็นก้อนแข็ง

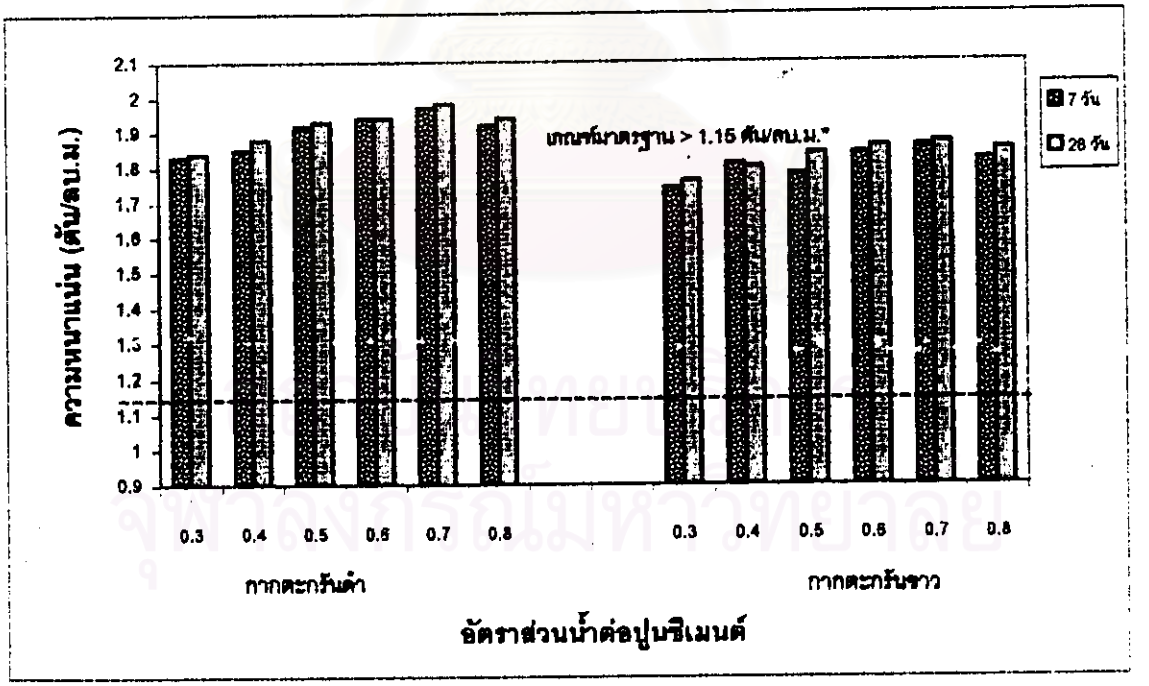
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ความหนาแน่น

ได้ทำการหาความหนาแน่นของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งสองชนิดที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งในอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.11 และ รูปที่ 5.13 ผลการทดลองที่ได้สรุปได้ดังนี้

1.2.1 ความหนาแน่นของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน พบว่า ความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น ตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.83 ถึง 1.98 ตัน/ลบ.ม.

1.2.2 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน พบว่า ความหนาแน่นของกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.74 ถึง 1.87 ตัน/ลบ.ม.



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้น และค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.7 จะทำให้กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน มีค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ อยู่ในช่วง 1.87 ถึง 1.98 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม. ทั้งนี้เพราะน้ำบางส่วนที่ผสมเข้าไป จะไปทำให้กากตะกรันเปียกชื้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีสมบูรณ์เร็วขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.8 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีค่าลดลง คาดว่าสาเหตุเกิดจากการมีปริมาณน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เมื่อเวลาผ่านไป ระหว่างที่ปูนซีเมนต์แข็งตัว น้ำจะค่อย ๆ ระเหยออกไป จึงทำให้เกิดรูพรุนในก้อนตัวอย่าง มีผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Rijal ในปี ค.ศ. 1990 จากผลของค่าความหนาแน่นที่ได้ จะนำไปพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และ ปริมาณโลหะหนักอันตรายในน้ำสกัด เพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิดให้เป็นก้อนแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

หลังจากทำการผสมกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งที่อัตส่วนผสมร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โดยแปรอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 หลังการบ่มจนครบ 7 และ 28 วัน ได้นำก้อนตัวอย่างมาบดเพื่อสกัดตามวิธีตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยนำน้ำสกัดมาวิเคราะห์ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ พีเอช และปริมาณโลหะหนัก โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) สำหรับวิเคราะห์ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็ก โดยแคดเมียมใช้ความยาวคลื่น 228.8 nm โครเมียมใช้ความยาวคลื่น 357.9 nm ตะกั่วใช้ความยาวคลื่น 217 nm และเหล็กใช้ความยาวคลื่น 248.3 nm

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 5 ค่า ดังนี้ คือ 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 แสดงในตารางที่ 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์อัตส่วนผสมร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่างๆ

อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ระยะเวลาบ่ม	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
0.3	10.85	10.68	nd	nd	nd	nd	0.07	0.06	0.41	0.38
0.4	10.88	10.71	nd	nd	nd	nd	0.08	0.06	0.44	0.43
0.5	10.87	10.71	nd	nd	nd	nd	0.08	0.06	0.44	0.40
0.6	10.87	10.70	nd	nd	nd	nd	0.05	0.04	0.45	0.44
0.7	10.88	10.73	nd	nd	nd	nd	0.05	0.04	0.44	0.42
0.8	10.86	10.73	nd	nd	nd	nd	0.05	0.04	0.44	0.43

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์สัด ส่วนผสมร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่างๆ

อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ระยะเวลาบ่ม	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
0.3	11.15	11.00	nd	nd	nd	nd	0.08	0.05	0.32	0.30
0.4	11.14	11.05	nd	nd	nd	nd	0.06	0.06	0.33	0.31
0.5	11.13	11.07	nd	nd	nd	nd	0.09	0.06	0.30	0.27
0.6	11.12	11.04	nd	nd	nd	nd	0.07	0.05	0.34	0.33
0.7	11.14	11.09	nd	nd	nd	nd	0.05	0.05	0.34	0.33
0.8	11.13	11.06	nd	nd	nd	nd	0.06	0.06	0.33	0.30

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

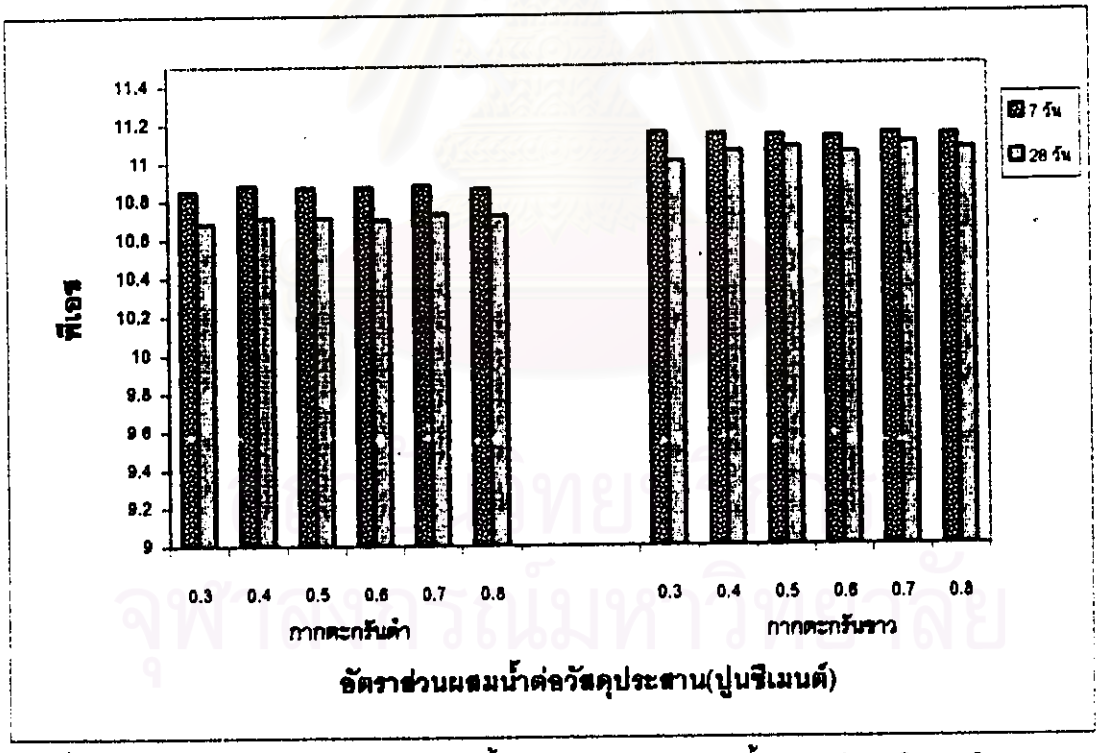
2.1 พีเอช

พีเอชสุดท้ายของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าระหว่าง 10.85 และ 10.88 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูง คาดว่าเกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มีมากขึ้น และน้ำสกัดที่เป็นกรดถูกละเทินให้เป็นกลางโดยความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมาจากก้อนตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Bishop ในปี ค.ศ. 1988 และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พีเอชกลับมีค่าลดลง คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจากที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ปูนซีเมนต์ยังไม่ก่อตัวดีพอ เมื่อสกัดด้วยน้ำสกัดที่เป็นกรด จึงทำให้ความเป็นด่างและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ถูกสกัดออกมาได้ง่าย มีผลทำให้น้ำสกัดมีพีเอชสูง ส่วนที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ปูนซีเมนต์ก่อตัวได้ดีแล้ว เมื่อสกัดด้วยน้ำสกัดที่เป็นกรด ความเป็นด่างและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ถูกสกัดได้น้อยลง มีผลทำให้พีเอชของน้ำสกัดต่ำลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

พีเอชสุดท้ายของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าระหว่าง 11.12 และ 11.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 น้ำสกัดมีค่าพีเอชสูง คาดว่าเกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮ

ดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์มีมากขึ้น และน้ำสกัดที่เป็นกรดถูกสะเทินให้เป็นกลางโดยความเป็นด่างที่ถูกสกัดออกมาจากก้อนตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Bishop ในปี ค.ศ. 1988 และเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น พีเอชกลับมีค่าลดลง คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจากที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ปูนซีเมนต์ยังไม่ก่อตัวดีพอ เมื่อสกัดด้วยน้ำสกัดที่เป็นกรด จึงทำให้ความเป็นด่างและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ถูกสกัดออกมาได้ง่าย มีผลทำให้น้ำสกัดมีพีเอชสูง ส่วนที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ปูนซีเมนต์ก่อตัวได้ดีแล้ว เมื่อสกัดด้วยน้ำสกัดที่เป็นกรด ความเป็นด่างและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ถูกสกัดได้น้อยลง มีผลทำให้พีเอชของน้ำสกัดต่ำลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

จากรูปที่ 5.14 แสดงให้เห็นว่า น้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ มีลักษณะเป็นด่าง คือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 10.68 ถึง 11.15 และพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำในช่วง 0.3 ถึง 0.8 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

2.2 แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิดที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ทุกอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน มีค่าต่ำกว่า 0.02 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์

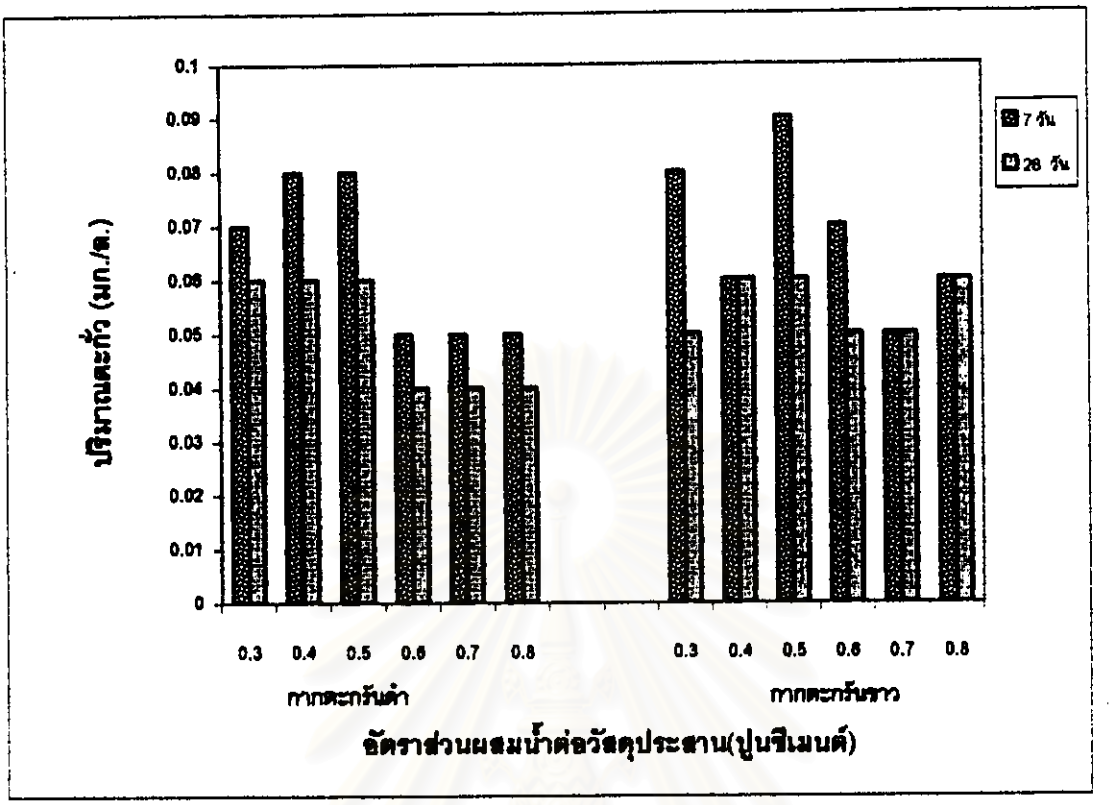
2.3 โครเมียม

ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิดที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ทุกอัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน มีค่าต่ำกว่า 0.06 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์

2.4 ตะกั่ว

ปริมาณของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนแข็งที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 0.08 0.05 0.05 และ 0.05 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดลดลง ทั้งนี้คาดว่าตะกั่วที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 0.06 0.07 0.05 และ 0.06 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดลดลง ทั้งนี้คาดว่าตะกั่วที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน



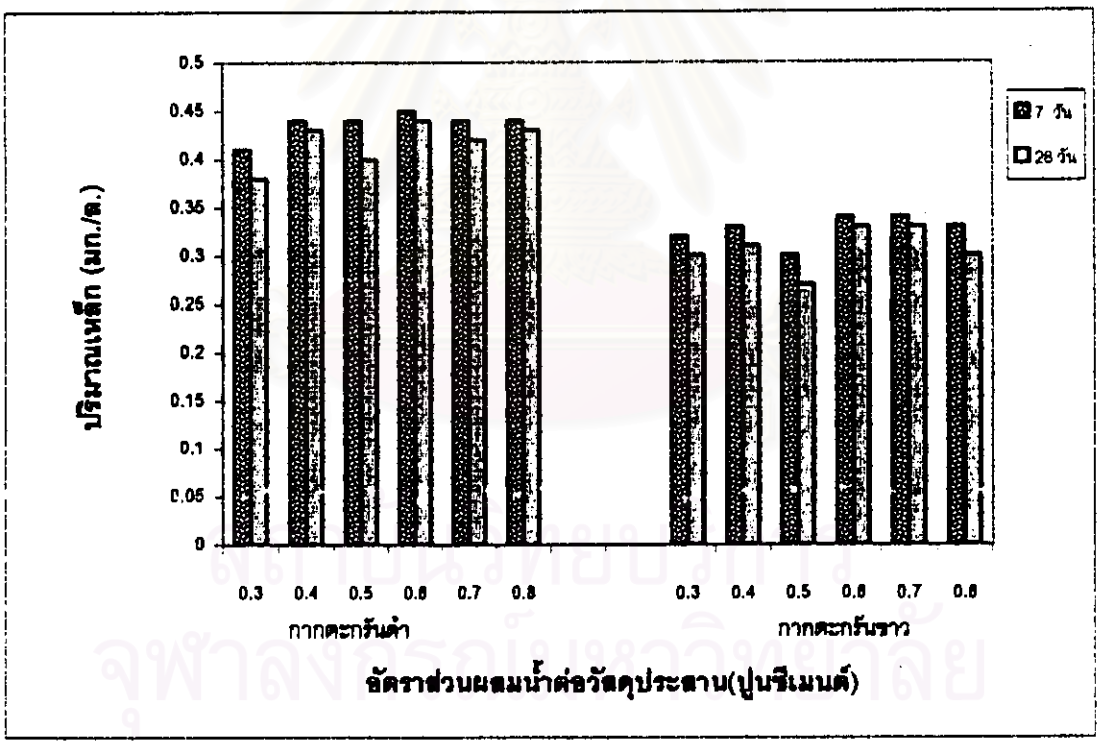
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดและอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

จากรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน มีค่าอยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.09 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) คือ 5 มก./ล. มาก และการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

2.5 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าโดยเฉลี่ย 0.41 0.44 0.45 0.44 และ 0.44 มก./ล. เมื่อใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีปริมาณเหล็กในน้ำสกัดน้อยกว่าที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่าโดยเฉลี่ย 0.32 0.33 0.34 0.34 และ 0.33 มก./ล. เมื่อใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3 0.4 0.6 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน จะมีปริมาณเหล็กในน้ำสกัดน้อยกว่าที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในน้ำสกัดและอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

จากรูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน มีค่าอยู่ในช่วง 0.27 ถึง 0.45 มก./ล. และ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

สรุปผลการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนอย่าง กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำทำให้กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลจากการที่น้ำที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น น้ำบางส่วนไปทำให้กากตะกรันเปียกชื้นอิ่มตัว ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสมบูรณ์ขึ้น จึงมีผลทำให้กำลังรับแรงอัด และ ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดของก้อนตัวอย่าง

ก้อนตัวอย่างกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.7 มีกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นสูงที่สุด คือ ประมาณ 33 กก./ตร.ซม. ดังนั้น ในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง จึงเลือกใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 ผลการศึกษาการใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน

การทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน เป็นการศึกษาเพิ่มเติมพิเศษ เพื่อพิจารณาสมบัติของก้อนตัวอย่างของกากตะกรันที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน แทนการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน เพราะเห็นว่าปูนขาวมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ โดยทำให้กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวเป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว และทดลองแปรค่าอัตราส่วนผสมปูนขาวที่ร้อยละ 10 15 20 25 30 35 40 50 60 และ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนขาว เท่ากับ 0.8 (เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า อัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมสำหรับปูนซีเมนต์ในการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนแข็ง เท่ากับ 0.7 และปูนขาวมีสมบัติดูดซึมน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนขาว เท่ากับ 0.8) เพื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัด ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็ก) ในน้ำสกัด ผลการศึกษาพอสรุปได้ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาว

กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้งสองชนิดที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาวที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน แสดงในตารางที่ 5.14 รูปที่ 5.17 และ รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1.1 กำลังรับแรงอัดของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 จนถึงร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน แต่เมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนปูนขาวมากขึ้นไปอีกเป็นร้อยละ 30 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลงตามอัตราส่วนปูนขาวที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเพราะปริมาณปูนขาวที่ผสมลง

ไปเกินความต้องการพอเหมาะ จึงทำให้ความแข็งแรงของก้อนตัวอย่างลดต่ำลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ธีระชาติ และ ฤทธิ์ชาร์ด ในปี พ.ศ. 2533

ความหนาแน่นของกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวจากร้อยละ 10 เป็น ร้อยละ 15 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวเป็นร้อยละ 20 25 30 และ 35 ความหนาแน่นจะเพิ่มตามอัตราส่วนผสมปูนขาวที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวมากกว่าร้อยละ 35 ความหนาแน่นลดลง และลดลงตามอัตราส่วนผสมปูนขาวที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเพราะปริมาณปูนขาวที่ผสมลงไปเกินความต้องการพอเหมาะ จึงทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดต่ำลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ธีระชาติ และ ฤทธิ์ชาร์ด ในปี พ.ศ. 2533

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้งชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสมปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
	กากตะกรันดำ	กากตะกรันขาว	กากตะกรันดำ	กากตะกรันขาว
10	0.76	1.25	1.76	1.88
15	0.89	1.87	1.86	1.97
20	1.73	1.74	1.98	2.05
25	1.60	1.48	2.01	2.07
30	1.15	1.20	2.05	2.12
35	1.00	0.64	2.11	2.14
40	0.33	0.52	2.02	2.06
50	0.28	0.42	1.85	1.94
60	0.23	0.31	1.70	1.84
70	0.20	0.25	1.65	1.75
เกณฑ์มาตรฐาน	> 14 กก./ตร.ซม. *		> 1.15 ตัน/ลบ.ม. **	

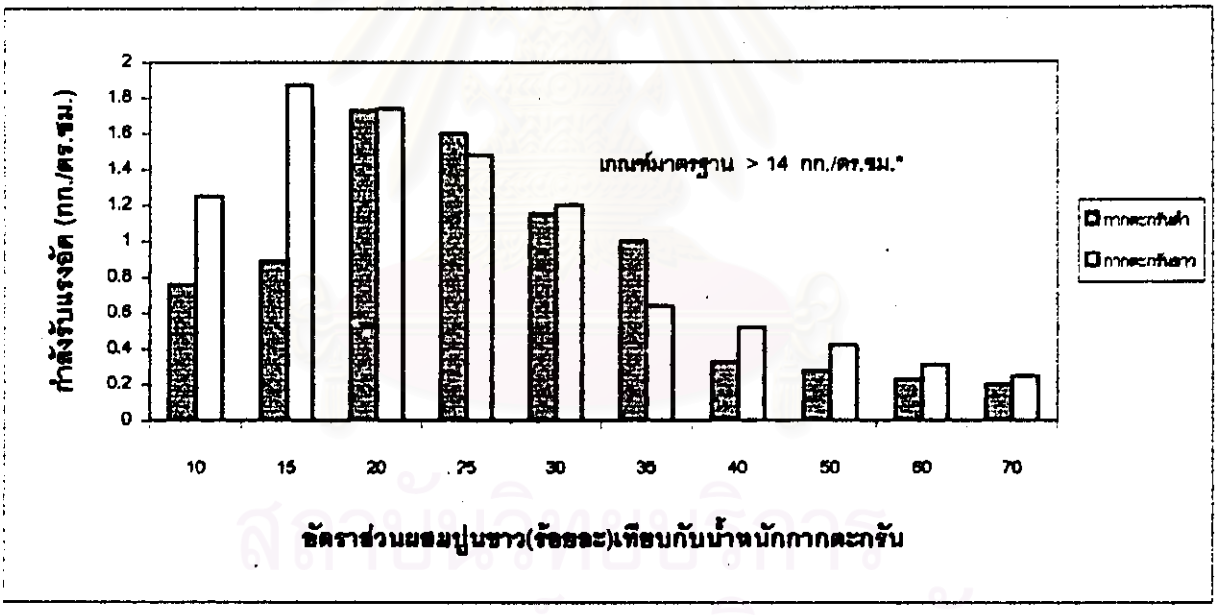
* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

** เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

1.2 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาวเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนปูนขาวมากขึ้น

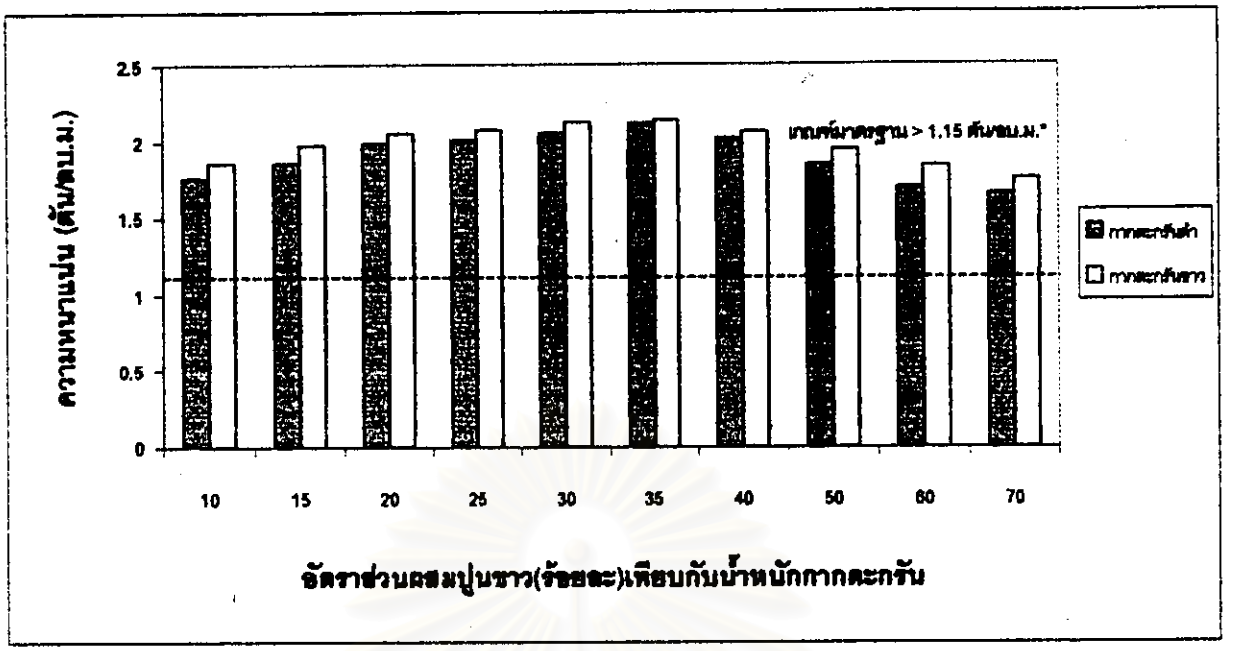
กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลงอย่างต่อเนื่องตามอัตราส่วนปูนขาวที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเพราะปริมาณปูนขาวที่ผสมลงไปเกินความต้องการพอเหมาะ จึงทำให้ความแข็งแรงของก้อนตัวอย่างลดต่ำลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ธีระชาติ และ ฤทธิ์ชาร์ด ในปี พ.ศ. 2533

ความหนาแน่นของกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวจากร้อยละ 10 เป็น ร้อยละ 15 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวเป็นร้อยละ 20 25 30 และ 35 ความหนาแน่นจะเพิ่มตามอัตราส่วนผสมปูนขาวที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขามากกว่าร้อยละ 35 ความหนาแน่นลดลง และลดลงตามอัตราส่วนผสมปูนขาวที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเพราะปริมาณปูนขาวที่ผสมลงไปเกินความต้องการพอเหมาะ จึงทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดต่ำลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของธีระชาติ และ ฤทธิ์ชาร์ด ในปี พ.ศ. 2533



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมปูนขาว ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน



* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนผสมปูนขาว ในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสานในการทำให้กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด เป็นก้อนแข็ง ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 20 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันดำ และที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 15 เทียบกับกับน้ำหนักกากตะกรันขาว ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.73 ถึง 1.87 กก./ตร.ซม. และยังเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) ที่ 14 กก./ตร.ซม สำหรับการใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสานในการทำให้กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด เป็นก้อนแข็ง ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 35 จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.11 ถึง 2.14 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม คือ 1.15 ตัน/ลบ.ม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวมากกว่าอัตราส่วนผสมที่ทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นสูงสุด จะทำให้ทั้งกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นลดลง ตามอัตราส่วนปูนขาวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะปริมาณปูนขาวที่ผสมลงไปเกินความต้องการพอเหมาะ จึงทำให้ความแข็งแรงของก้อนตัวอย่างลดต่ำลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ อีระชาติ และ ฤทธิ์ ชาร์ด ในปี พ.ศ. 2533

2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด

หลังจากทำการผสมปูนขาวกับกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้งสองชนิด แปรค่าอัตราส่วนผสมปูนขาวที่ร้อยละ 10 15 20 25 30 35 40 50 60 และ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อปูนขาว เท่ากับ 0.8 หลังจากปมก้อนตัวอย่างจนครบ 28 วัน ได้นำก้อนตัวอย่างมาบด เพื่อสกัดตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยนำน้ำสกัดมาวิเคราะห์ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้ คือ พีเอช และปริมาณโลหะหนัก โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง (Flame atomic absorption spectrophotometer) สำหรับวิเคราะห์ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และเหล็ก โดยแคดเมียมใช้ความยาวคลื่น 228.8 nm โครเมียมใช้ความยาวคลื่น 357.9 nm ตะกั่วใช้ความยาวคลื่น 283.3 nm และเหล็กใช้ความยาวคลื่น 248.3 nm

ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้งกากตะกรันดำและกากตะกรันขาว ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาว โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 15 20 25 30 35 40 50 60 และ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ได้แสดงในตารางที่ 5.15

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวที่ระยะเวลาบม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 11.70 และ 12.00 ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน โดยจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของปูนขาวเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพีเอชที่สูงนี้ คาดว่าเกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปูนขาว

ค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวมีค่าอยู่ระหว่าง 11.84 และ 12.10 ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 70 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน โดยค่าพีเอชจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพีเอชที่สูงนี้ คาดว่าเกิดจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปูนขาว

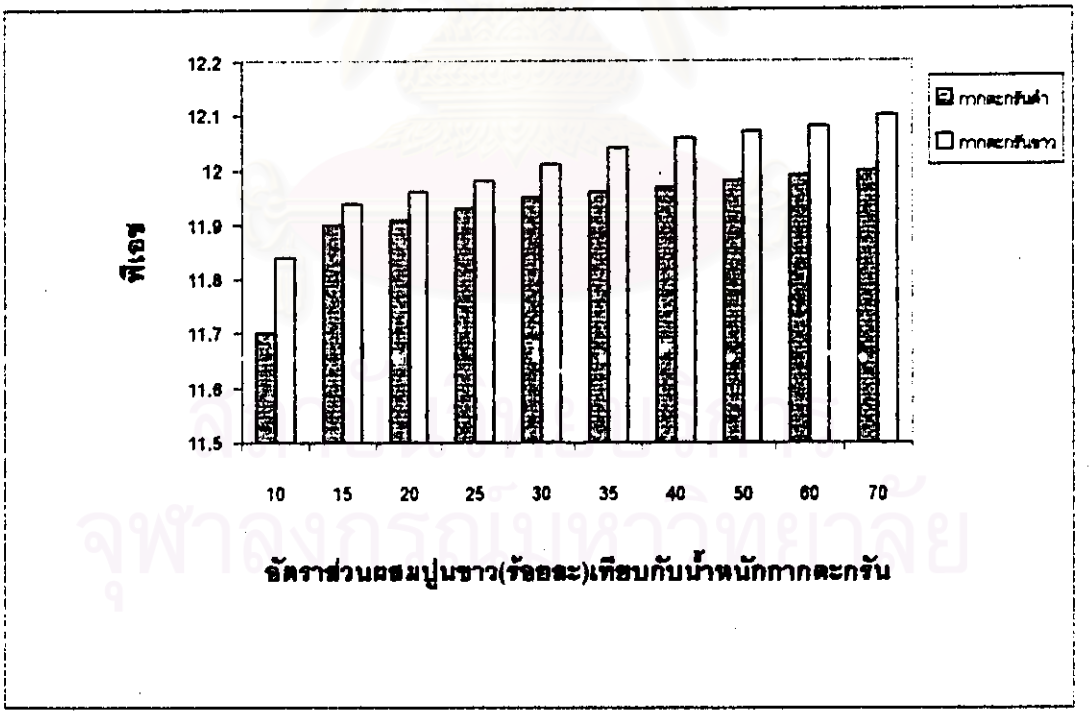
จากรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่า น้ำสกัดจากกากตะกรันทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาวในทุกสัดส่วนผสม มีลักษณะเป็นด่าง คือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 11.7 ถึง 12.1

ตารางที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวด้วยอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสมปูนขาว	พีเอช		ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ล.)							
			แคดเมียม		โครเมียม		ตะกั่ว		เหล็ก	
เกณฑ์มาตรฐาน *	-		< 1		< 5		< 5		-	
ประเภทของกากตะกรัน	ดำ	ขาว	ดำ	ขาว	ดำ	ขาว	ดำ	ขาว	ดำ	ขาว
ร้อยละ 10	11.70	11.84	nd	nd	nd	nd	0.26	0.30	0.75	0.53
ร้อยละ 15	11.90	11.94	nd	nd	nd	nd	0.24	0.27	0.72	0.52
ร้อยละ 20	11.91	11.96	nd	nd	nd	nd	0.23	0.26	0.68	0.50
ร้อยละ 25	11.93	11.98	nd	nd	nd	nd	0.21	0.25	0.66	0.49
ร้อยละ 30	11.95	12.01	nd	nd	nd	nd	0.19	0.23	0.64	0.47
ร้อยละ 35	11.96	12.04	nd	nd	nd	nd	0.19	0.22	0.63	0.46
ร้อยละ 40	11.97	12.06	nd	nd	nd	nd	0.18	0.21	0.62	0.46
ร้อยละ 50	11.96	12.07	nd	nd	nd	nd	0.17	0.20	0.61	0.43
ร้อยละ 60	11.99	12.08	nd	nd	nd	nd	0.15	0.18	0.59	0.42
ร้อยละ 70	12.00	12.10	nd	nd	nd	nd	0.14	0.18	0.59	0.40

nd = not detectable : แคดเมียม < 0.02 มก./ล. ,โครเมียม < 0.06 มก./ล.

* เกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดและอัตราส่วนผสมปูนขาวในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

2.2 แคดเมียม

ปริมาณของแคดเมียมในน้ำส้มสายชูจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ขนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวทุกอัตราส่วนผสม มีค่าต่ำกว่า 0.02 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์ เนื่องจากพีเอชที่สูงของน้ำส้มสายชู สภาพละลายได้ของแคดเมียมต่ำมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมในน้ำส้มสายชูต่ำมาก

2.3 โครเมียม

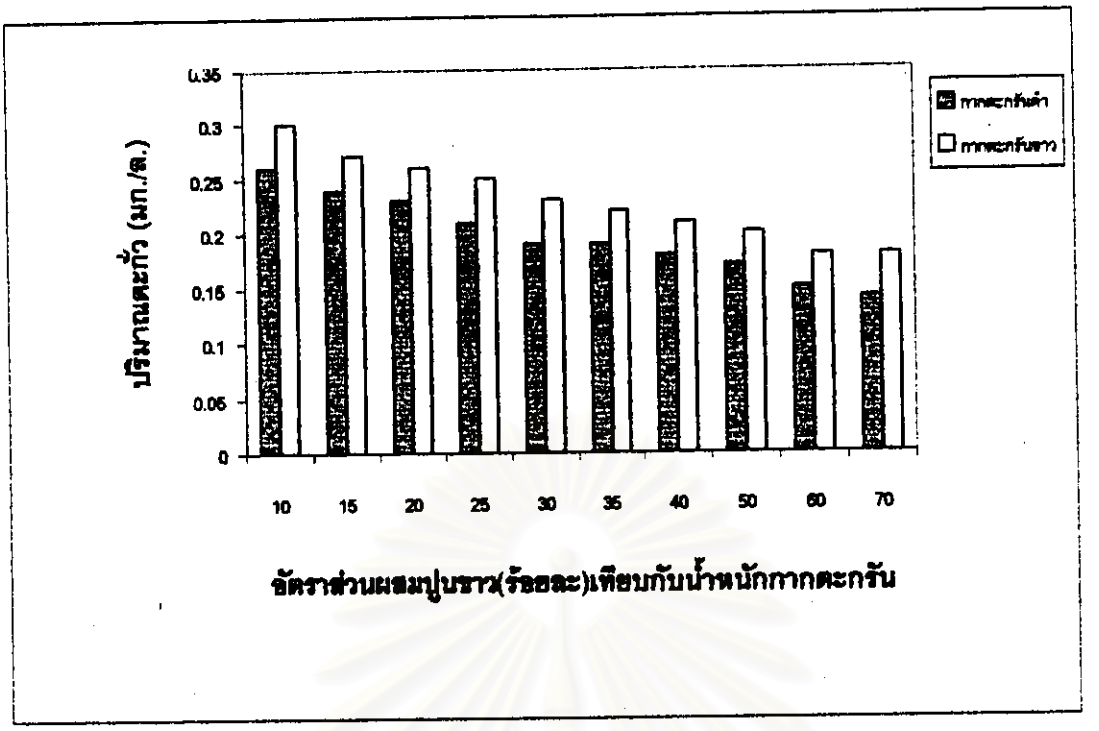
ปริมาณของโครเมียมในน้ำส้มสายชูจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กทั้ง 2 ขนิด ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวทุกอัตราส่วนผสม มีค่าต่ำกว่า 0.06 มก./ล. ซึ่งเป็นขีดจำกัดของการวิเคราะห์

2.4 ตะกั่ว

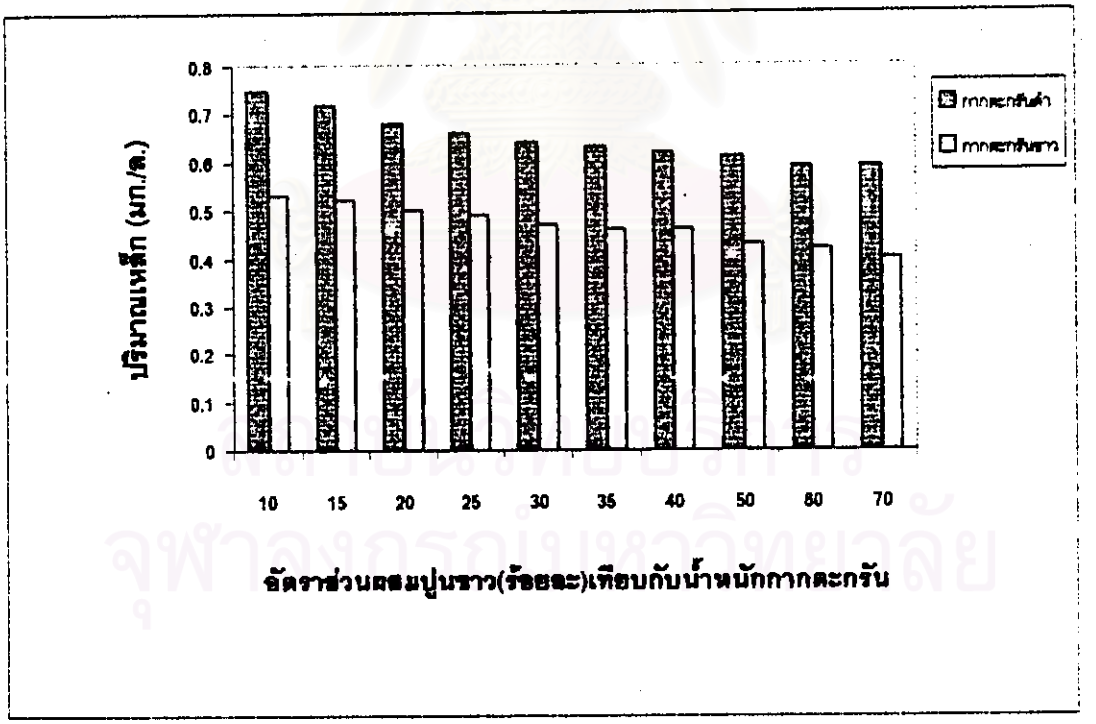
ปริมาณของตะกั่วในน้ำส้มสายชูจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว มีค่ามากที่สุด ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน คือ เท่ากับ 0.26 มก./ล. และเมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วในน้ำส้มสายชูจะลดลง ทั้งนี้ คาดว่าตะกั่วที่ละลายในน้ำส้มสายชูบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

ปริมาณของตะกั่วในน้ำส้มสายชูจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว มีค่ามากที่สุด ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน คือเท่ากับ 0.30 มก./ล. และเมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วในน้ำส้มสายชูจะลดลง ทั้งนี้ คาดว่าตะกั่วที่ละลายในน้ำส้มสายชูบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.20 พบว่า ปริมาณของตะกั่วในน้ำส้มสายชูจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ขนิด ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว ในทุกอัตราส่วนผสม มีค่าอยู่ในช่วง 0.14 ถึง 0.30 มก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน คือ 5 มก./ล.



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในน้ำลดัดและอัตราส่วนผสมปูนขาวในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง



รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในน้ำลดัดและอัตราส่วนผสมปูนขาวในการทำกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง

2.5 เหล็ก

ปริมาณของเหล็กในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันดำที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว มีค่ามากที่สุด ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน คือ เท่ากับ 0.75 มก./ล. เมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดจะลดลง ทั้งนี้ คาดว่าเหล็กที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

ปริมาณของเหล็กในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันขาวที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว มีค่ามากที่สุด ที่อัตราส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน คือ เท่ากับ 0.53 มก./ล. เมื่ออัตราส่วนผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดจะลดลง ทั้งนี้ คาดว่าเหล็กที่ละลายในน้ำสกัดบางส่วนทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ เพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของโลหะต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.21 พบว่า ปริมาณของเหล็กในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว ในทุกอัตราส่วนผสม มีค่าอยู่ในช่วง 0.40 ถึง 0.75 มก./ล.

สรุปผลการศึกษาการใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน

จากการเลือกใช้ปูนขาวอย่างเดียว เป็นวัสดุประสาน เพราะประหยัดกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสาน และผลการทดลอง พบว่า กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมปูนขาวที่เพิ่มขึ้น จนถึงอัตราส่วนผสมร้อยละ 20 สำหรับกากตะกรันดำ และร้อยละ 15 สำหรับกากตะกรันขาว ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวมากเกินกว่าค่านี้แล้ว กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะลดลง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวมากเกินกว่า ร้อยละ 35 มีผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างทั้งกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวมีค่าลดลง ตามอัตราส่วนปูนขาวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณปูนขาวที่ผสมลงไปเกินความต้องการพอเหมาะ จึงทำให้ความแข็งแรงของก้อนตัวอย่างลดต่ำลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ธีระชาติ และ ฤทธิ์ชาร์ด ในปี พ.ศ. 2533 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน กับก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน พบว่า ก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาว มีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดสูงกว่า

นอกจากนี้กำลังรับแรงอัดสูงสุดของกากตะกรันทั้ง 2 ชนิด ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนขาว ก็มีค่าอยู่ในช่วง 1.73 ถึง 1.87 กก./ตร.ซม. ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำลังรับแรงอัดตามประกาศของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) ที่ 14 กก./ตร.ซม. ดังนั้น ปูนขาวจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ เป็นวัสดุประสานในการทำกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด ให้เป็นก้อนแข็ง แม้ว่าจะมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ เนื่องจากกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6 ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว

การหาประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้ จะใช้ค่าความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability) ที่มีนิยามว่า อัตราส่วนของปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกชะละลายในน้ำสกัดต่อปริมาณความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตัวอย่าง ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน โดยการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว กับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันหลังการทำให้คงตัว

1. การทำกากตะกรันดำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การทำกากตะกรันดำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีสมบัติดีที่สุด ทั้งกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ประหยัดที่สุด สำหรับการหาประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว โลหะหนักที่ทำการหาประสิทธิภาพในการคงตัว คือ ตะกั่ว และ เหล็ก ส่วนแคดเมียม และ โครเมียม ไม่สามารถทำการหาประสิทธิภาพในการคงตัวได้ที่แน่นอนได้ เพราะ มีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์

1.1 ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัว

ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของตะกั่วในกากตะกรันดำก่อนผ่านการทำให้เป็นก้อนมีค่าเท่ากับ 309.90 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน ผลการศึกษาการทำกากตะกรันดำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.7 ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 96.18 % และ 96.94 % ตามลำดับ

1.2 ประสิทธิภาพในการทำให้เหล็กคงตัว

ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของเหล็กในกากตะกรันดำก่อนผ่านการทำให้เป็นก้อนมีค่าเท่ากับ 2.54 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน ผลการศึกษาการทำกากตะกรันดำให้

เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.7 ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการทำให้เหล็กคงตัวเท่ากับ 97.77 % และ 97.87 % ตามลำดับ

2. การทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีสมบัติดีที่สุด ทั้งกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และ ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ประหยัดที่สุด สำหรับการหาประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว โลหะหนักที่ทำการหาประสิทธิภาพในการคงตัว คือ ตะกั่ว และ เหล็ก ส่วนแคดเมียม และ โครเมียม ไม่สามารถทำการหาประสิทธิภาพในการคงตัวได้ เพราะ มีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถหาค่าที่แน่นอนได้

2.1 ประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัว

ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของตะกั่วในกากตะกรันขาวก่อนผ่านการทำให้เป็นก้อนมีค่าเท่ากับ 470 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน ผลการศึกษาการทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.7 ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการทำให้ตะกั่วคงตัวเท่ากับ 97.70 % และ 97.70 % ตามลำดับ

2.2 ประสิทธิภาพในการทำให้เหล็กคงตัว

ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของเหล็กในกากตะกรันขาวก่อนผ่านการทำให้เป็นก้อนมีค่าเท่ากับ 7.25 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากตะกรัน ผลการศึกษาการทำกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.7 ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการทำให้เหล็กคงตัวเท่ากับ 87.51 % และ 87.88 % ตามลำดับ

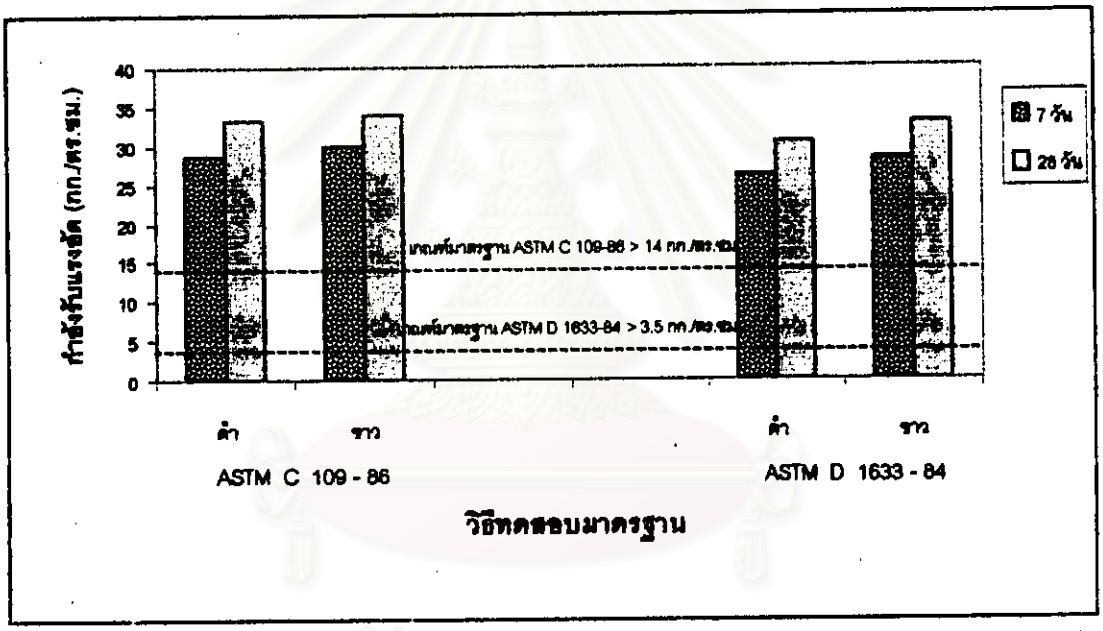
5.7 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดจากวิธีทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540)

เนื่องจากการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า ในการศึกษานี้ ใช้วิธีทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (2531) ซึ่งใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm cube specimens) โดยกำหนดใช้ค่า compressive strength โดยทำการทดสอบจากก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 × 50 × 50 มิลลิเมตร และกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนการทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้วิธีทดสอบตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับใหม่ คือ ฉบับที่ 6 (2540) กำหนดให้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1633 – 84 Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil – Cement Cylinders กำหนดใช้ค่า compressive strength โดยทำการทดสอบจากก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8 นิ้ว (71.1 มม.) และสูง 5.6 นิ้ว (142.2 มม.) โดยมีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 2.00 และกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

สำหรับการเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดทั้ง 2 วิธี ของก้อนตัวอย่างกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กที่ทำให้เป็นก้อนด้วยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.7 ได้แสดงในตารางที่ 5.16 และรูปที่ 5.22 จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า กำลังรับแรงอัดของกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภท ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐานทั้งสอง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1633 – 84 มีค่าต่ำกว่าการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 109 – 86 ประมาณ 10 % โดยมีค่าอยู่ในช่วง 26 ถึง 33 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของทั้ง 2 วิธี คือ เท่ากับ 14 กก./ตร.ซม. ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 109-86 และ เท่ากับ 3.5 กก./ตร.ซม. ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1633-84

ตารางที่ 5.16 การเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109 – 89 และ ASTM D 1633 – 84

ประเภทของกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			
	ASTM C 109 - 86		ASTM D 1633 - 84	
	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
กากตะกรันดำ	28.62	33.23	28.10	30.31
กากตะกรันขาว	29.87	33.97	28.33	32.82
เกณฑ์มาตรฐาน	> 14		> 3.5	



รูปที่ 5.22 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 109 – 86 และ ASTM D 1633 - 84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.8 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า

ในการหลอมเหล็กแต่ละเตา (heat) จะใช้เศษเหล็กและส่วนผสมต่างๆประมาณ 28 ตัน หลังจากหลอมแล้วจะได้เหล็กประมาณ 26 ตัน และจะมีกากตะกรันเกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 1.5 ตัน ใน 1 วัน โรงงานจะหลอมได้ 14 เตา (heat) จึงผลิตได้ประมาณ 370 ตัน และมีกากตะกรันเกิดขึ้นประมาณ 21 ตัน ซึ่งจะเกิดเป็นกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวอย่างละครึ่ง เพราะฉะนั้นจะเกิดกากตะกรันดำประมาณ 10.5 ตันต่อวัน และเกิดกากตะกรันขาวประมาณ 10.5 ตันต่อวัน

1. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า จะคิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวรวมกัน เพราะการทำกากตะกรันทั้งสองชนิดนี้ให้เป็นก้อน ใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์เท่ากัน คือ ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และในทางปฏิบัติ ปัจจุบันทางโรงงานจะทิ้งกากตะกรันทั้งสองปนกัน และหลังจากผ่านการบำบัดโดยทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว ต้องนำกากตะกรันที่ผ่านการบำบัดไปกำจัดโดยการฝังกลบ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน
2. ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ
3. ค่าฝังกลบ

1.1 ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน สามารถแบ่งได้เป็น ค่าวัสดุในการทำให้เป็นก้อนแข็ง และค่าแรงงาน

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง สามารถทำกากตะกรันดำและกากตะกรันขาวให้เป็นก้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ดังนั้นในการทำกากตะกรันทั้งสองชนิดให้เป็นก้อนเมื่อน้ำหนักกากตะกรันเท่ากับ 1 ตัน ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ $1 \times 0.15 = 0.15$ ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ตามราคาขายส่ง จากฝ่ายข้อมูลราคา กองดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ เดือน มกราคม 2542 ราคาตันละ 2,096 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำกากตะกรันทั้งสองชนิดให้เป็นก้อนเมื่อน้ำหนักกากตะกรัน 1 ตัน เท่ากับ $0.15 \times 2,096 = 314.40$ บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกรัน

ในงานผสมคอนกรีตสำเร็จรูป ค่าแรงงานที่ใช้ในการผสมประมาณร้อยละ 20 ของราคาวัสดุ ดังนั้น ค่าแรงในส่วนนี้จึงเท่ากับ 62.88 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกรัน

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนจึงประมาณเท่ากับ 380 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกรัน

1.2 ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ

กากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าที่ผ่านการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ จะถูกนำไปฝังกลบที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี ซึ่งระยะทางในการขนส่งประมาณ 200 กิโลเมตร ราคาค่าขนส่ง 2 บาท ต่อตัน – กิโลเมตร ดังนั้น ค่าขนส่งกากตะกรันที่บำบัดแล้วจากโรงงาน ไปฝังกลบที่ราชบุรี เท่ากับ 400 บาท ต่อน้ำหนักกากตะกรัน 1 ตัน

1.3 ค่าฝังกลบ

ค่าฝังกลบกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี เท่ากับ 450 บาท ต่อ ตัน

ตารางที่ 5.17 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าต่อน้ำหนักกากตะกรัน

ค่าทำให้เป็นก้อน (บาท/ตัน)	ค่าขนส่ง (บาท/ตัน)	ค่าฝังกลบ (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ตัน)
380	400	450	1,230

1.4 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต

จากผลการคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้า สามารถนำมาคิดเทียบกับกำลังการผลิตได้ โดยที่การผลิตเหล็กเส้น 1 ตัน เกิดกากตะกรันทั้งหมดประมาณ 0.06 ตัน ดังนั้น ในการกำจัดกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าต่อกำลังการผลิตเหล็กเส้น 1 ตัน จึงเท่ากับ 1,230 × 0.06 = 73.80 บาท

ราคาเหล็กเส้น จากฝ่ายข้อมูลราคา กองดัชนีเศรษฐกิจการค้า กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ เดือน มกราคม 2542 ราคาโดยเฉลี่ยตันละ 9,907.90 บาท ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกำลังการผลิตเหล็กเส้น 1 ตัน เท่ากับ 73.80 บาท ซึ่งเท่ากับร้อยละ 0.75 ของราคาเหล็กเส้น

2. ค่าใช้จ่ายในการทำเสถียรกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าด้วยปูนขาว

การทำเสถียรกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าด้วยปูนขาวในอัตราส่วนร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน จะประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด (ดูการประมาณค่าใช้จ่ายในภาคผนวก ง) และมีประสิทธิภาพในการทำให้แคดเมียม, โครเมียม และ ตะกั่ว คงตัวมากกว่า 85 %, 81 % และ 81 % ตามลำดับ เมื่อเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันก่อนการทำให้คงตัว กับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันหลังการทำให้คงตัว

ค่าใช้จ่าย ซึ่งรวมถึงค่าวัสดุและค่าแรงงาน ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ และ ค่าฝังกลบที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม จ.ราชบุรี ในการทำเสถียรกากตะกรันจากเตาหลอมเหล็กไฟฟ้าด้วยปูนขาวในอัตราส่วนร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน เท่ากับ 1,030 บาทต่อตันของน้ำหนักกากตะกรัน หรือ เท่ากับ 61.80 บาท ต่อการผลิตเหล็กเส้น 1 ตัน หรือ คิดเป็นร้อยละ 0.62 ของราคาเหล็กเส้น