การทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า

นายสุรพัชร์ พันพานิชย์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-615-5

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19235665

STABILIZATION OF SLAG FROM USED BATTERY SMELTERS

Mr. Surapat Punpanichkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year1999

ISBN 974-334-615-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
โดย	นายสุรพัชร์ พันพานิชย์กุล
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

.....กรรมการ

(อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

สุรพัชร์ พันพานิชย์กุล : การทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า (STABILIZATION OF SLAG FROM USED BATTERY SMELTER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.สุรี ขาวเธียร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน, 161 หน้า, ISBN 974-334-615-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า โดยใช้ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาวผสมโซเดียมซัลไฟต์ เป็นวัสดุประสาน โดยศึกษาเพื่อพิจารณาเลือกใช้ชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งในการพิจารณาเลือกชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานจะพิจารณาคุณสมบัติให้เป็นไปตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่1(พ.ศ. 2531) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ. 2540) กากตะกรันที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นกากตะกรันที่เกิดจากการหลอมตะกั่วออกจากแบตเตอรี่เก่า ซึ่งกากตะกรันที่เกิดจากการหลอมนี้เป็นกากตะกรันที่ไม่เสถียร แตกเป็นฝุ่นผงได้ง่าย สามารถละลายน้ำได้ดี และมีตะกั่วเจือปนอยู่สูง ในการศึกษานี้มีขั้นตอนอยู่ 4 ขั้นตอนคือ ในการทดลองที่หนึ่งเป็นการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า ในการทดลองที่สองเป็นการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น ซึ่งแปรค่าตั้งแต่ร้อยละ10 20 และ30 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน โดยมีการเติมโซเดียมซัลไฟต์10%และ20%เพื่อใช้ในการจับกับโลหะหนักและทำให้โลหะหนักสามารถจับตัวอยู่กับก้อนวัสดุประสานมากขึ้น ในการทดลองที่สามเป็นการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นการนำอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้นจากการทดลองที่สองมาแปรค่าอีก 3 ค่า เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่ประหยัดที่สุดโดยพิจารณาเลือกชนิดวัสดุประสานจากค่าใช้จ่ายในการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนแข็ง และในการทดลองที่สี่เป็นการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ซึ่งแปรค่าอัตราส่วนน้ำตั้งแต่ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ0.7

ผลการศึกษาพบว่า กากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าจัดเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ. 2540) โดยมีปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดจากกากตะกรันซึ่งใช้วิธีการสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ. 2540) อยู่สูงถึง 32.8 มก. /ล. ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้คือ 5 มก. /ล. และพบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ25 ของน้ำหนักกากตะกรัน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ0.5 เหมาะสมที่สุดในการทำกากตะกรันให้เป็นก้อนแข็ง โดยก้อนแข็งมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่1 (พ.ศ.2531) รวมทั้งความหนาแน่นและปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดผ่านมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ.2540)

สำหรับค่าใช้จ่ายซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ และค่าฝังกลบ เท่ากับ 2,181.50 บาทต่อตันกากตะกรัน หรือเท่ากับ 1,855 บาทต่อการผลิตตะกั่วแท่ง1ตัน หรือร้อยละ15.4 ของราคาตะกั่วแท่งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....สุรพัชร์ พันพานิชย์กุล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2542.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##3972253021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : STABILIZATION / SOLIDIFICATION / SLAG FROM USED BATTERY SMELTER

SURAPAT PUNPANICHKUL: SOLIDIFICATION OF SLAG FROM USED BATTERY SMELTER, THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.SUREE KHAODHIAN, THESIS CO-ADVISOR: MR.BOONYONG LOHWONGWATANA,161 pp. ISBN 974-334-615-5

The research is to study the stabilization of slag from used battery smelter by using portland cement, portland cement mixed with lime and portland cement mixed with lime and sodium sulphide as binders. The objective of this study is to select the most suitable type and mixing ratio of binders for the solidification of the slag. The selection of type and mixing ratio of binders were based on the solidified standards promulgated by Ministry of Industry announcements No. 1(B.E.2531) and No. 6(B.E.2540). This experiment used slag from a used battery smelter. This slag is not stable, easily shatter into dust, has high water solubility, and high lead content. The study can be devided into four tasks. The first experiment was to study the property of the slag. The second was to find a preliminary binders mixing ratio by varying 10%, 20% and30% of binders to slag by weight. Sodium sulphide of 10% and 20% also added to trap more heavy metal to the binder. The third was to find the most suitable type and mixing ratio of binders by varying three more ratios from the second experiment finding. Then select the best type of binders by comparing the solidification costs. And the forth was to study a water/binder ratio using five water/binder ratios of 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7.

It was found that the slag from the used battery smelter is characterized as hazardous waste. It contained high concentration of lead in the extractant, as high as 32.8 mg /l., higher than the value in the notification of the Ministry of Industry No. 6(B.E.2540) of not over 5 mg /l. The results also revealed that using portland cement type one, at a mixing ratio of 25% portland cement to slag by weight, and at 0.5 of water/cement ratio, is the most suitable ratio for the solidification of the slag. By which the compressive strength of the solidified specimen met the standards promulgated by the Ministry of Industry No. 1 (B.E.2531). The density and the concentration of lead in extractant also met the solidified standards promulgated by the Ministry of Industry No. 6(B.E.2540).

The expenses included the solidification cost, the transportation cost to secured landfill, and the cost for disposal in a secured landfill were 2,181.50 bath per ton of slag. Or equivalent to 1,855 bath per ton of lead ingot or about 15.4 percent of the price of the lead ingot.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....สุรพัชร์ พันพนิชกุล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2542.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุรี ขาวเธียร และอาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้ความเมตตาอนุเคราะห์ ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการต่างๆ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบ

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพานิช ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณอภิสิทธิ์ นากลอน และคุณมนูกิจ พัวไพบูลย์ กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาในการวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....2

บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร.....4

3.1 ของเสียที่เป็นอันตราย.....4

3.2 โลหะหนัก..... 5

3.3 การผลิตโลหะตะกั่วแท่ง.....7

3.3.1 การผลิตของโรงงาน ห.จ.ก.เลี่ยงฮวดหล่อหลอมโลหะ.....7

3.3.2 วัตถุดิบ.....7

3.3.3 กรรมวิธีการผลิตโลหะตะกั่วแท่ง โดยใช้เตาหลอมแบบตั้ง..... 7

3.3.4 ส่วนประกอบทางเคมีของกากตะกรัน จากเตาหลอมตะกั่ว.....10

3.3.5 ปัญหาและแนวทางการจัดการกากตะกรันจากเตาหลอมตะกั่ว.....10

3.4 การบำบัดและกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย..... 12

3.5 การทำของเสียที่เป็นอันตรายให้เป็นก้อน.....13

3.5.1 คำจำกัดความของการทำให้เป็นก้อน.....13

3.5.2 กระบวนการทำให้เป็นก้อน.....14

3.5.3 การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์.....16

3.6 ปูนซีเมนต์.....17

3.7 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ.....19

3.8 ปูนขาว.....20

หน้า

3.9 โซเดียมซัลไฟต์.....20
3.10 การตรวจสอบคุณสมบัติของของเสียอันตรายที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน.....21
3.11 เกณฑ์มาตรฐานในการระบุ สมบัติของของเสียที่เป็นอันตราย.....22
3.12 สมบัติกากของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง.....23
3.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....24
บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย.....28
4.1 แผนการวิจัย.....28
4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....28
4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....29
4.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 29
4.2 วิธีการทดลอง.....30
4.2.1 การศึกษาสมบัติของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า.....30
4.2.2 การศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....33
ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
4.2.3 การศึกษาหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะ.....37
สมที่สุดในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่า
4.2.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน.....42
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์.....44
5.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า.....44
5.2 ผลการศึกษาการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....49
ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
5.3 ผลการศึกษาการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะ.....74
สมที่สุด ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
5.4 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน.....103

หน้า

5.5 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด วิธีทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่1(2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่6(2540).....112

5.6 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า.....114

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา.....117

บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....120

รายการอ้างอิง.....121

ภาคผนวก.....123

ภาคผนวก ก ภาพถ่ายก้อนตัวอย่าง.....123

ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....125

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง.....129

ภาคผนวก ง ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในกากตะกรันด้วยเครื่อง SEM และ EDX.....154

ประวัติผู้เขียน.....161

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า.....10
ตารางที่3.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....19
ตารางที่4.1 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอม.....34
แบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน
เบื้องต้น
ตารางที่4.2 อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอม.....40
แบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุ
ประสานที่เหมาะสมที่สุด
ตารางที่5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพ ของกากตะกรันจากโรงหลอม.....44
แบตเตอรี่เก่า
ตารางที่5.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของธาตุในกากตะกรันจากโรงหลอม.....45
แบตเตอรี่เก่าด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และเครื่อง
Energy Dispersive X-ray Spectrometer
ตารางที่5.3 ผลการวิเคราะห์ตะกั่วในกากตะกรันด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น.....46
โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)
ตารางที่5.4 ผลการวิเคราะห์โครเมียมในกากตะกรันด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้ม.....47
โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)
ตารางที่5.5 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าด้วย.....47
วิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามมาตรฐาน U.S.EPA.
ตารางที่5.6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรัน ของโรงหลอม.....48
แบตเตอรี่เก่า โดยใช้วิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่6 (พ.ศ.2540)
ตารางที่5.7 ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น ของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี.....50
เก่า ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดลองหาอัตราส่วน
วัสดุประสานเบื้องต้น

หน้า

ตารางที่5.8 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า ที่ทำให้.....59
เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุ
ประสานเบื้องต้น
ตารางที่5.9 ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น ของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่.....75
เก่า ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดลองหาชนิด และ
อัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
ตารางที่5.10 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า ที่ทำให้.....85
เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดลองหาชนิด และอัตราส่วน
ผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
ตารางที่5.11 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ในการทำให้กากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า....102
เป็นก้อนแข็ง ที่ชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่างๆ
ตารางที่5.12 ค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น ของกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า...104
ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์อัตราส่วนผสมร้อยละ25 เทียบกับน้ำหนักกาก
ตะกรัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ จากการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำ
ต่อวัสดุประสาน
ตารางที่5.13 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าที่ทำให้.....108
เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์อัตราส่วนผสมร้อยละ25 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ จากการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ
ประสาน
ตารางที่5.14 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด วิธีทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม....113
ฉบับ1(พ.ศ. 2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6(พ.ศ. 2540);
ASTM C 109-86 กับ ASTM D 1633-84

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่3.1 แผนภาพแสดงกรรมวิธีการผลิตโลหะตะกั่วแท่ง โดยใช้เตาหลอมแบบตั้ง.....9
และใช้ Na_2CO_3 เป็นฟลักซ์
รูปที่3.2 กากตะกรัน จากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า.....11
รูปที่3.3 แสดงกระบวนการทำให้แข็งเป็นก้อน แยกตามประเภทวัสดุที่ใช้.....15
รูปที่4.1 รูปแสดงขั้นตอนการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น ในการ.....36
ทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
รูปที่4.2 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด.....38
รูปที่4.3 เครื่องกวนเขย่าหมุน (Rotary agitator).....38
รูปที่4.4 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AA).....39
รูปที่4.5 แบบหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร 39
รูปที่4.6 รูปแสดงขั้นตอนการหาชนิด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด.....41
ในการทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
รูปที่4.7 รูปแสดงขั้นตอนการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ในการทำ.....43
เสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า
รูปที่5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว7วัน และอัตรา.....51
ส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว28วัน และอัตรา.....51
ส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่มตัว7วัน และอัตรา.....55
ส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น

รูปที่5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่มตัว28วัน และอัตรา.....55
ส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชที่ระยะเวลาบ่มตัว7วัน และอัตรา.....60
ส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชที่ระยะเวลาบ่มตัว28วัน และอัตรา.....60
ส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่มตัว7วัน และ.....61
อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดที่ระยะเวลาปมตัว28วัน และ.....61
อัตราส่วนผสมวัสดุประสานชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่
เก่าให้เป็นก้อนแข็ง ในการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....66
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน
เบื้องต้น
รูปที่5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....67
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาอัตรา
ส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....69
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมNa_2S10%เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาอัตรา
ส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

หน้า

รูปที่5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....70
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมNa_2S20%เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาอัตรา
ส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....71
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)ผสมNa_2S10%เป็นวัสดุประสาน
ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....73
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)ผสมNa_2S20%เป็นวัสดุประสาน
ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น
รูปที่5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน.....77
ชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง
ในการทดลองหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน.....82
ชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง
ในการทดลองหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน.....87
ชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง
ในการทดลองหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน.....92
ชนิดต่างๆในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อนแข็ง
ในการทดลองหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด

หน้า

รูปที่5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....94
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุ
ประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....96
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาชนิดและ
อัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....97
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมNa_2S10%เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาชนิดและ
อัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....98
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมNa_2S20%เป็นวัสดุประสาน ในขั้นตอนการหาชนิดและ
อัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....100
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)ผสมNa_2S10%เป็นวัสดุประสาน
ในขั้นตอนการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....101
น้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน
จากการใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)ผสมNa_2S20%เป็นวัสดุประสาน
ในขั้นตอนการหาชนิดและอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด
รูปที่5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน.....104
ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อน ในการศึกษา
ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

หน้า

รูปที่5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน.....106
ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อน ในการศึกษา
ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
รูปที่5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัด และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน.....108
ในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อน ในการศึกษา
ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
รูปที่5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด และอัตราส่วนน้ำต่อ.....109
วัสดุประสานในการทำกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่าให้เป็นก้อน
ในการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
รูปที่5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และปริมาณตะกั่วใน.....111
น้ำสกัด กับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ในการศึกษาผลของอัตราส่วน
น้ำต่อวัสดุประสาน
รูปที่5.30 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้วิธีมาตรฐาน ASTM C 109-86 และ.....113
ASTM D 1633-84