การทำลายฤทธิ์โลหะหนักในผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง

นายชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-014-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18431454

DETOXIFICATION OF HEAVY METALS IN USED BATTERY POWDER BY SOLIDIFICATION

Mr. Chaiwat Photong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-332-014-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำลายฤทธิ์โลหะหนักในผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง
โดย	นายชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ เกรอต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการและเลขานุการ
(อาจารย์ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง : การทำลายฤทธิ์โลหะหนักในผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง
(DETOXIFICATION OF HEAVY METALS IN USED BATTERY POWDER BY SOLIDIFICATION)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. สุรี ขาวเธียร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน ; 211 หน้า. ISBN 974-332-014-8.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง ถ่านไฟฉายที่ใช้ในการวิจัยเป็นถ่านไฟฉายแบบคาร์บอน-สังกะสี ขนาดใหญ่ ที่ถูกเก็บรวบรวมมาจากสถานีขนถ่ายอ่อนนุช วัสดุประสานที่ใช้ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5, ปูนซีเมนต์ซิลิกา, ปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมปูนขาวร้อยละ 25 (โดยน้ำหนัก) และปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมทรายร้อยละ 25 (โดยน้ำหนัก) จากการทดสอบคุณสมบัติของผงถ่านไฟฉาย โดยวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2531) พบว่า ผงถ่านไฟฉายส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทสารมีพิษ โดยเฉพาะถ่านไฟฉาย B06 ซึ่งมีปริมาณการใช้มากที่สุด พบว่ามีความเข้มข้นของแคดเมียมและปรอทในน้ำชะละลายเท่ากับ 3.79 มก./ล. และ 1.24 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้โดยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 พ.ศ. 2531 คือ แคดเมียมและปรอท ไม่เกิน 1 มก./ล. และ 0.2 มก./ล. ตามลำดับ

การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น โดยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนผสมระหว่างผงถ่านไฟฉาย(B06)ต่อวัสดุประสานทั้ง 5 ชนิด ในสัดส่วนตั้งแต่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 (โดยน้ำหนัก) พบว่า ปูนซีเมนต์ซิลิกามีประสิทธิภาพในการทำให้เป็นก้อนแข็งใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และ 5 และเป็นวัสดุประสานที่หาง่ายและราคาถูกกว่า และที่สัดส่วน 0.1 ทำให้ก้อนตัวอย่างมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่กรมโรงงานกำหนดไว้ กล่าวคือ มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 14 กก./ตร.ซม., ความหนาแน่น มากกว่า 1.04 ตัน/ลบ.ม. และผ่านมาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายด้วย การทดสอบหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ซิลิกาต่อผงถ่านไฟฉาย(B06) เป็น 6 : 1, 7 : 1, 8 : 1 และ 9 : 1 (โดยน้ำหนัก) พบว่าที่สัดส่วนผสมที่ 7 : 1 เมื่อบ่มครบ 28 วัน เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม โดยก้อนตัวอย่างมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่ทางราชการกำหนด กล่าวคือ มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นมากเป็น 102.9 กก./ตร.ซม., ความหนาแน่น 2.08 ตัน/ลบ.ม., ความเข้มข้นของแคดเมียมและปรอทในน้ำชะละลายเหลือ 0.02 มก./ล. และ 0.0014 มก./ล. ตามลำดับ รวมทั้งมีลักษณะแข็งคล้ายหินและไม่มีกลิ่น จากผลการทดสอบระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยการนำก้อนตัวอย่างที่มีสัดส่วนปูนซีเมนต์ซิลิกาต่อผงถ่านไฟฉาย(B06) เท่ากับ 7 : 1 มาบ่มเป็นระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาบ่มจะมีผลต่อการชะละลายของโลหะหนักไม่มากนัก สำหรับการทดสอบการแช่ก้อนตัวอย่างในระยะยาว โดยการนำก้อนตัวอย่างที่สัดส่วนปูนซีเมนต์ซิลิกาต่อผงถ่านไฟฉาย(B06) เท่ากับ 7 : 1 ที่บ่มครบ 28 วัน มาขัดแล้วแช่ในน้ำกลั่นที่มี pH 5.8-6.3 เป็นเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน เมื่อนำน้ำชะละลายมาวิเคราะห์ พบว่าระยะเวลาที่แช่นานขึ้นทำให้ปรอทถูกชะละลายออกมามากขึ้นด้วย

ส่วนการทดสอบการนำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นมาทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ซิลิกาต่อผงถ่านไฟฉายเท่ากับ 7 : 1 เมื่อบ่มครบ 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัด, ความหนาแน่น และความเข้มข้นของโลหะหนัก ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทุกค่าเช่นกัน

สำหรับการประเมินค่าใช้จ่าย ตั้งแต่ขั้นตอนการขนส่ง, ขั้นตอนการทำให้เป็นก้อนแข็ง จนถึงขั้นตอนการขนส่งไปฝังกลบจะสิ้นค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 25,000 บาทต่อตันผงถ่านไฟฉาย หรือประมาณร้อยละ 16.6 ของราคาขายของถ่านไฟฉายขนาดใหญ่(B06)

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ..... **ลายมือชื่อนิสิต** ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....
ปีการศึกษา 2541 ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

C817878 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD:
BATTERY / SOLIDIFICATION / STABILIZATION

CHAIWAT PHOTONG : DETOXIFICATION OF HEAVY METALS IN USED BATTERY POWDER BY SOLIDIFICATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUREE KHAODHIAN, THESIS CO-ADVISOR : BOONYONG LOHWONGWATANA. 211 pp. ISBN 974-332-014-8.

This research investigated the detoxification of heavy metals in used battery powder by solidification. The batteries using in this study were large size carbon-zinc batteries which were collected from Onnuj transfer station. The binders used in this study were portland cement type 1, portland cement type 5, silica cement, a mixture of silica cement and lime 25 % (by weight) and a mixture of silica cement and sand 25 % (by weight). The characteristic of the battery powder, leaching by the Department of Industrial Works 's method (the Department of industrial Works 's promulgation vol. 1 1988) showed that most battery powders were classified as hazardous waste. Especially the B06 battery with the highest consumption, had cadmium and mercury m leaching solution at concentration of 3.75 mg./l. and 1.24 mg./l. respectively. This values exceeded the standard setting by the Ministry of Industry 's promulgation vol. 25, 1988, for cadmium and mercury at not more than 1 mg/l and 0.2 mg/l. respectively.

Form the trial test, by adjusting the proportions of battery powder (B06) to five binders at 0, 0.1, 0.2 and 0.3 (by weight). It was found that the silica cement had a solidified efficiency as good as portland cement type 1 and 5. And it was easily available and cheaper. And the mixing ratio of 0.1, the solidified samples met the Department of Industrial Works 's standard, for compressive strength more than 14 kg/cm^2., for density more than 1.04 $ton/m.^3$ and met the standard for heavy metals in the leaching solution too. In the optimization test, the proportions of silica cement to battery powder (B06) were reduced to 6:1, 7:1, 8:1 and 9:1 (by weight). It was found that the best proportion, at 28 days curing time, was 7:1. All of the solidified samples met the government standards with a remarkable increasing of compressive strength of 102.9 $kg./cm^2$., a density of 2.08 ton/m^3. And with cadmium and mercury concentrations in leaching solution of 0.02 mg./l. and 0.0014 mg./l. respectively. And hard as rock and no smell. In a test on effect of curing time on the solidified product, the solidified samples, at 7:1 mixing proportion, were cured for 7, 14, 28 and 60 days. It was found that increase in curing time increased the compressive strength of solidified sample, However, it did not show much effect on leaching of heavy metals. For the long-term soaking test, the solidified samples of 7:1 mixing proportion and 28 days curing time were crushed and soaked in distilled water having a pH value 5.8-6.3 for 7, 14, 28 and 60 days. After leaching, it was found that increase in soaking time increased the amount of mercury in leachate. In the solidification of other brand of battery powders, at 7:1 mixing proportion and 28 days curing time, it was found that the compressive strength, density and heavy metals concentration also met the standards.

The total estimated cost for transportation, solidification and disposal was about 25,000 baht per ton of battery powder or about 16.6 percent of the large size battery 's price (B06).

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม **ลายมือชื่อนิสิต** ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**

ปีการศึกษา 2541 **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้ข้อคิดเห็นตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และแผนกสำรวจ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือประกอบในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสำหรับใช้ในการทำวิจัย

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ซึ่งสนับสนุนทั้งด้านการเงินและให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขต 2
บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร 4
3.1 ของเสียอันตราย 4
3.2 ถ่านไฟฉาย 5
3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉายแบบคาร์บอน-สังกะสี 9
3.2.2 กระบวนการผลิตถ่านไฟฉาย 9
3.2.3 วัตถุดิบที่เป็นสารอันตรายหรือสารพิษ 11
3.3 การบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย 14
3.4 การทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง 15
3.5 การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ 19
3.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 19
3.7 ปูนขาว 22
3.8 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน 22
3.9 กลไกการทำเสถียรโลหะหนัก 24
3.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง 28
3.11 สารมลทินที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง 33
3.12 การทดสอบการชะละลาย 35
3.13 การประเมินคุณสมบัติของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง 37
3.14 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 40
3.15 การจัดการถ่านไฟฉายในต่างประเทศ 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย และแผนการดำเนินการวิจัย....48
4.1 การดำเนินการวิจัย....48
4.1.1 วัสดุประสานและของเสีย....48
4.1.2 เครื่องและอุปกรณ์....48
4.1.3 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง....49
4.2 การเตรียมผงถ่านไฟฉาย....50
4.3 แผนการดำเนินการวิจัย....50
4.3.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบคุณสมบัติของผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว....50
4.3.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น....51
4.3.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม....54
4.3.4 การทดลองที่ 4 ทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....54
4.3.5 การทดลองที่ 5 ทดสอบการแช่ระยะยาว....54
4.3.6 การทดลองที่ 6 ทดสอบการทำให้เป็นก้อนแข็งกับผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่น....55
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์....56
5.1 คุณสมบัติของผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว....56
5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ....56
5.1.2 คุณสมบัติทางเคมี....58
5.2 การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น....61
5.3 การทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม....76
5.4 การทดสอบระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....84
5.5 การทดสอบการแช่ระยะยาว....89
5.6 การทดสอบการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง....91
5.7 การประเมินค่าใช้จ่ายในการกำจัดผงถ่านไฟฉาย....93
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย....95
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัย....97
รายการอ้างอิง....98

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ประกาศประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)
เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน
ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมเรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์
กำจัด ฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) และ
ประกาศประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)
เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว..... 101

ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลอง..... 162

ภาคผนวก ค. มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 186

ภาคผนวก ง. ภาพถ่ายการทดลอง..... 195

ภาคผนวก จ. รายชื่อย่อและชื่อเต็มของถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ..... 204

ประวัติผู้เขียน..... 206

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญในถ่านไฟฉายบางชนิด....6
ตารางที่ 3.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของสารที่เป็นองค์ประกอบในถ่านไฟฉายบางชนิด....7
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งแบบต่างๆ....16
ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งแต่ละวิธี....17
ตารางที่ 3.5 ออกไซด์ของธาตุต่างๆ ในเม็ดปูน....19
ตารางที่ 3.6 สารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....20
ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างสารสารมลทินที่มีผลต่อการทำเสถียรและ
การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์....34
ตารางที่ 3.8 สักษณะของเสียที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์....35
ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบข้อดี และข้อเสีย ของการทดสอบแบบ
batch test และ column test....36
ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างวิธีการทดสอบการชะละลาย....36
ตารางที่ 3.11 คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้เป็น
ก้อนแข็งด้วยวิธี Sealosafe....39
ตารางที่ 5.1 ร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนประกอบต่างๆ ภายในก้อนถ่านไฟฉาย....57
ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ....59
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการชะละลายวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก
ในน้ำสกัดในผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ....60
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์....61
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับผงถ่านไฟฉาย....62
ตารางที่ 5.6 ผลการหาปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับปูนขาว....62
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น....65
ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบความหนาแน่น จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น....66
ตารางที่ 5.9 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น....70
ตารางที่ 5.10 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น....74
ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น
จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม....77

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.12 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....78
ตารางที่ 5.13 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....81
ตารางที่ 5.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....81
ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด, ความหนาแน่น และอัตราซึมน้ำ
จากการทดสอบผลของเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....85
ตารางที่ 5.16 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....87
ตารางที่ 5.17 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทดสอบระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....88
ตารางที่ 5.18 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า จากการทดสอบการแช่ระยะยาว....89
ตารางที่ 5.19 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากการทดสอบการแช่ระยะยาว....90
ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น
จากการทดสอบการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง....92
ตารางที่ 5.21 ค่าพีเอช,ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง....92
ตารางที่ 5.22 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง....93

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตถ่านไฟฉาย....12

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการประกอบถ่านไฟฉายที่ใช้อิเลคโตรไลต์แบบแป้งเปียก และแบบกระดาษ....13

รูปที่ 3.3 กระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง....15

รูปที่ 3.4 การก่อตัวของซีเมนต์....23

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่าพีเอช และค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย....25

รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์สะสมโลหะหนัก, ความเป็นด่าง และซิลิกอนที่ถูกชะละลาย....26

รูปที่ 3.7 กราฟแสดง pC-pH diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม, โครเมียม และตะกั่ว....27

รูปที่ 3.8 ผลของปริมาณของเสีย ต่อการถูกชะละลาย....28

รูปที่ 3.9 ผลของปริมาณของเสีย ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย....29

รูปที่ 3.10 ผลของปริมาณของเสียต่อค่ากำลังรับแรงอัด....29

รูปที่ 3.11 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย....30

รูปที่ 3.12 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ต่อกำลังรับแรงอัด....31

รูปที่ 3.13 ผลของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย....31

รูปที่ 3.14 ผลของค่าพีเอชของสารสกัด ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย....32

รูปที่ 3.15 ผลของระยะเวลาบ่มต่อความสามารถในการถูกชะละลาย....33

รูปที่ 3.16 กระบวนการรีไซเคิลถ่านไฟฉายของโรงงาน Nomura Kosan ในประเทศญี่ปุ่น....46

รูปที่ 3.17 กระบวนการรีไซเคิลถ่านไฟฉายของโรงงาน Voest-Alpine ในประเทศออสเตรีย....46

รูปที่ 3.18 กระบวนการรีไซเคิลถ่านไฟฉายของโรงงาน SAB Nife ในประเทศสวีเดน....47

รูปที่ 4.1 การทดสอบการแช่ระยะยาว....55

รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบต่างๆ ภายในก้อนถ่านไฟฉาย....56

รูปที่ 5.2 การกระจายขนาดคละของผงถ่านไฟฉาย....58

รูปที่ 5.3 กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน จากการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น....67

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.4 ความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น....68

รูปที่ 5.5 พีเอชของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น....71

รูปที่ 5.6 ความเป็นด่างของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น....72

รูปที่ 5.7 ความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น....73

รูปที่ 5.8 กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....77

รูปที่ 5.9 ความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....78

รูปที่ 5.10 พีเอชของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....79

รูปที่ 5.11 ความเป็นด่างของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....79

รูปที่ 5.12 ความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....80

รูปที่ 5.13 ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัดจากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....82

รูปที่ 5.14 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดจากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....82

รูปที่ 5.15 ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำสกัดจากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....83

รูปที่ 5.16 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำสกัดจากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม....83

รูปที่ 5.17 การทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัด....85

รูปที่ 5.18 การทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อความหนาแน่น....86

รูปที่ 5.19 การทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่ออัตราซึมน้ำ....86

รูปที่ 5.20 พีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....87

รูปที่ 5.21 ความเข้มข้นของปรอท, แมงกานีส และสังกะสีในน้ำสกัด
จากการทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง....88

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.22 พีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด จากการแช่ในระยะยาว.....90
รูปที่ 5.23 ความเข้มข้นของปรอท, แมงกานีส และสังกะสีในน้ำสกัดจากการแช่ในระยะยาว.....91