การทำเสถียรภาพตะกอนจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า ด้วยวิธีการเผา

นางสาว สุวรรณา นทิวงศ์กิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-500-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17362040

STABILIZATION OF ASH FROM INCINERATION OF WASTE OIL REFINERY SLUDGE

Miss Suwanna Nateevongkij

A Thesis Submitted in Patial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-635-500-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำเสถียรภาพตะกอนจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า ด้วยวิธีการเผา
โดย นางสาว สุวรรณา นทีวงศ์กิจ
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุวรรณา นทีวงศ์กิจ : การทำเสถียรภากตะกอนจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า ด้วยวิธีการเผา (STABILIZATION OF ASH FROM INCINERATION OF WASTE OIL REFINERY SLUDGE) อ. ที่ปรึกษา : รศ. สุรี ชาวเธียร , อ. ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน , 120 หน้า. ISBN 974-635-500-7

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด ในการทำเสถียรเถ้าภากตะกอนน้ำมัน โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง เถ้าภากตะกอนน้ำมันเป็นของเสียที่ได้จากกระบวนการเผา ในส่วนที่เรียกว่า ภากตะกอนดิบ หรือ สลัดจ์กรดและดินดูดซับสีที่ใช้แล้ว จากการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า โดยจะนำภากตะกอนดิบมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 400 °ซ, 800 °ซ และ 1200 °ซ ได้ขี้เถ้าภาก ตะกอนน้ำมัน 3 ชนิด คือ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ, ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ และ ขี้เถ้าหลังการเผาที่ อุณหภูมิ 1200 °ซ ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำมาทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนแข็ง

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และ ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) โดย แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ (1) การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น (2) การทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด วิธีที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการทำให้เป็นก้อน ได้แก่ กำลังรับแรงอัด และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด

ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น พบว่า ปูนซีเมนต์ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุดสำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ และขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ โดยใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ และใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ในสัดส่วนผสมร้อยละ 10 เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด พบว่า สัดส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ คือ ใช้สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 7 และ 19 สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ และ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ตามลำดับ สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ใช้สัดส่วนผสมปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต สุวรรณา นทีวงศ์กิจ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C718049 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: SOLIDIFICATION/ STABILIZATION/ USED LUBRICATING OIL

SUWANNA NATEEWONGKIJ : STABILIZATION OF ASH FROM INCINERATION OF WASTE OIL REFINERY SLUDGE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUREE KHAODHIAN, THESIS CO-ADVISOR : BOONYONG LOHWONGWATANA, 120 pp. ISBN 974-635-500-7

This research investigated the optimum amount of binders for stabilizing of ash from incineration of waste oil refinery sludge by stabilization/solidification. Oilly waste sludge is a mixture of acid sludge and used activated clay from a waste oil re-refinering plant. After incineration at 400 °C, 800 °C and 1200 °C, the products were called ash incinerated at 400 °C, ash incinerated at 800 °C and ash incinerated at 1200 °C, respectively.

The binders used in the study were portland cement, lime and a mixture of lime and portland cement at a ratio of 1:1 by weight. The experiments were divided into two stages consisting of trial test and optimization test. The method employed to assess the effectiveness of stabilization/solidification were compressive strengths and concentrations of heavy metals in extractant.

The result of the trial test unveiled that portland cement was the best binder for ash incinerated at 400 °C and ash incinerated at 1200 °C. The best proportions of portland cement to ash were found to be 10 percent and 20 percent for ash incinerated at 400 °C and ash incinerated at 1200 °C, respectively. But the best binder for ash incinerated at 800 °C was the mixture of lime and portland cement which found to be 10 percent.

In the optimization test, the best proportions of the binder in this experiment were 7 percent and 19 percent of portland cement for ash incinerated at 400 °C and ash incinerated at 1200 °C, respectively. The best proportion of ash incinerated at 800 °C was a mixture of lime and portland cement at 9 percent by weight.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต สุวรรณา นทีวงศ์กิจ
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. สุรี ขาวเธียร และ อาจารย์ บุญยง โลห์วงศ์วัฒน ที่กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบ

ขอขอบคุณ บริษัท อุตสาหกรรมน้ำมันไทย และ คุณสมคิด ทองศิลา ที่ให้คำแนะนำและเตรียมกากตะกอนไว้ให้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฐ
สารบัญรูป ..... ณ
บทที่
1 บทนำ 1
2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย 4
3 การทบทวนเอกสาร 6
โลหะหนัก 6
ของเสียที่เป็นอันตราย 7
กระบวนการกลั่นแบบกรดและดินเหนียว 7
1. คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำมัน 8
2. ปริมาณกากของเสียอันตราย 8
การบำบัดและกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย 9
การทำเสถียรของเสียที่เป็นอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน 10
1. คำจำกัดความและที่มาของการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน 10
2. การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ 11
3. กลไกการยึดจับโลหะหนัก 15
ปูนซีเมนต์ 17
ปูนขาว 18
ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ 19
วิธีการสกัดสารและการทดสอบการชะละลาย 19
การประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน 20

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

เกณฑ์มาตรฐานในการระบุของเสียที่เป็นอันตราย 22
การศึกษาที่ผ่านมา 24
4 การดำเนินการวิจัย 30
วัสดุที่ใช้ในการศึกษา 30
1. กากตะกอนดิบ 30
2. วัสดุประสาน 30
เครื่องมือและอุปกรณ์ 31
1. การเผา 31
2. การทดลองผสมกากตะกอนกับวัสดุประสานและการทดสอบกำลังรับแรงอัด 31
3. การทดสอบการสกัดสาร 31
วิธีการศึกษา 32
1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 32
2. การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 34
การศึกษาสมบัติของกากตะกอนดิบ 35
1. สมบัติทางกายภาพ 35
2. สมบัติทางเคมี 35
ขั้นตอนการเผากากตะกอนดิบ 35
การทดสอบสมบัติของกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา
ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสาน 36
1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 37
2. การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 39
5 ผลการทดลองและวิจารณ์ 41
ลักษณะสมบัติของกากตะกอนดิบ 41
1. สมบัติทางกายภาพ 41
2. สมบัติทางเคมี 42

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิสูง 42
1. สมบัติทางกายภาพ 43
2. สมบัติทางเคมี 44
ผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 44
1. กำลังรับแรงอัด 45
2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด 51
3. สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 55
ผลการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 58
1. คุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง 58
2. ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด 62
3. ค่าความซึมน้ำได้ 70
4. สรุปผลการทดลอง 71
5. การวิจารณ์ผลการทดลอง 75
การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบ 76
1. ค่าบริการขนส่งของเสียจากโรงงาน 76
2. ค่าใช้จ่ายในการเผา 76
3. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน 77
4. ค่าขนส่งและขนย้ายไปยังหลุมฝังกลบ 78
5. ค่าฝังกลบ 79
6. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบต่อหน่วยการผลิต 81
6 สรุปผลการวิจัย 83
7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม 85
รายการอ้างอิง 86
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง 90
ภาคผนวก ข ภาพถ่ายก้อนตัวอย่าง 100

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค รายการคำนวณ 105
ภาคผนวก ง วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ 113
ประวัติผู้เขียน 120

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ 12
ตารางที่ 3.2 ประเภทของของเสียที่ไม่เหมาะสมในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อน 15
ตารางที่ 3.3 ออกไซด์ของธาตุต่างๆ และสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 18
ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบวิธีการสกัดสาร 21
ตารางที่ 3.5 แสดงช่วงของของเสียที่เป็นอันตรายและของเสียเฉื่อย 23
ตารางที่ 4.1 สัดส่วนของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทำกากตะกอนดิบ
และขี้เถ้าหลังการเผาให้เป็นก้อน 33
ตารางที่ 5.1 ผลวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา 42
ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา 43
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 46
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 47
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 48
ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 53
ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 54
ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 56
ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของ
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ 59
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของ
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ 60

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของ
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ 61
ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด.....63
ตารางที่ 5.13 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด.....64
ตารางที่ 5.14 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยปูนซีเมนต์ ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด.....64
ตารางที่ 5.15 ค่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของขี้เถ้าทั้ง 3 ประเภท 79
ตารางที่ 5.16 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนดิบ 82

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 การแบ่งกระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน 10

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงพีเอชและความเป็นด่างสะสมจากการสกัด 15 ครั้ง 16

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย
ความเป็นด่างถูกชะละลายและซิลิกอนถูกชะละลาย จากการสกัด 15 ครั้ง 17

รูปที่ 4.1 เตาเผา 36

รูปที่ 4.2 แบบหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม. 37

รูปที่ 4.3 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด 38

รูปที่ 4.4 เครื่องเขย่า 200 รอบ/ นาที 39

รูปที่ 5.1 กราฟแท่งแสดงการรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 46

รูปที่ 5.2 กราฟแท่งแสดงการรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 47

รูปที่ 5.3 กราฟแท่งแสดงการรับแรงอัดของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่ทำให้เป็นก้อน
ด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 48

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ
ที่ทำให้เป็นก้อนกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ 59

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ
ที่ทำให้เป็นก้อนกับสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ 61

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด ของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ
ที่ทำให้เป็นก้อนกับสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ 62

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนซีเมนต์
ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ. 65

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์
ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ 65

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชในน้ำสกัดกับสัดส่วนปูนซีเมนต์
ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ 66
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัดกับ
สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ 67
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัดกับ
สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ 68
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมในน้ำสกัดกับ
สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ 68
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดกับ
สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ 69
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดกับ
สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ 70
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดกับ
สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ 71