การทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จาก การเผากากตะกอนน้ำมันเตา

นาย อธิวัตร จิรจริยาเวช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-386-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19232433

STABILIZATION AND SOLIDIFICATION OF THE ASH FROM BURNING BUNKER OIL SLUDGE

Mr. Athiwatr Jirajariyavech

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 Year 1999

ISBN 974-334-386-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตา
โดย	นาย อธิวัตร จิรจริยาเวช
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

อธิวัตร จิรจริยาเวช : การทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตา
(STABILIZATION AND SOLIDIFICATION OF THE ASH FROM BURNING BUNKER OIL SLUDGE)
อ.ที่ปรึกษา : ร.ศ. สุรี ขาวเธียร อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน, 186หน้า ISBN974-334-386-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาโดยใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ เพื่อพิจารณาเลือกใช้ชนิดและสัดส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิต่างๆ (400^{0}ซ. 800^{0}ซ. และ $1,200^{0}$ซ.) ให้เป็นก้อนแข็ง และมีคุณสมบัติตรงตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2531) และตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) กากตะกอนน้ำมันเตาที่ใช้ในการทดลองนั้นได้มาจากก้นถังพักน้ำมันเตาของคลังน้ำมันพระโขนง ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ในปัจจุบันการกำจัดตะกอนน้ำมันเหล่านี้จะใช้วิธีการเททิ้งลงในบ่อเก็บกักตื้น ๆ เพื่อปล่อยให้มีการย่อยสลายไปตามธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดการสะสมของโลหะหนักในดิน หรือในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นดินบริเวณนั้นได้ จากการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะละลายตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540) พบว่ามีความเข้มข้นของโครเมียม 5.16 มก./ล. และปรอท 0.25 มก./ล.ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ที่ 5 มก./ล. และ 0.2 มก./ล.ตามลำดับ กากตะกอนน้ำมันเตานี้จึงถูกจัดให้เป็นของเสียอันตราย สำหรับการวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างตะกอนน้ำมันเตาที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ. 800^{0}ซ. และ $1,200^{0}$ซ. แล้วนำขี้เถ้า (Ash) หรือสิ่งที่เหลืออยู่ (Residue) มาทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลาย หลังจากนั้นก็ศึกษาหาวิธีการทำเสถียรขี้เถ้าที่ได้จากการเผา และทำให้เป็นก้อนต่อ โดยใช้วัสดุประสานคือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% และ ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20% โดยใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุประสานต่อน้ำหนักขี้เถ้าต่างๆ กัน เพื่อทำการตรึงโลหะหนักที่ยังเหลืออยู่หลังจากผ่านการเผา รวมทั้งตรวจสอบความสามารถในการชะละลายหลังการทำให้เป็นก้อนแข็ง ตามวิธีมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดต่อปริมาตรตะกอนน้ำมันเตาที่เกิดขึ้นรวมถึงต่อราคาน้ำมันเตา

ผลการวิเคราะห์น้ำชะละลาย ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า กากตะกอนน้ำมันเตามีปริมาณโครเมียม 5.16 มก./ล. ปรอท 0.25 มก./ล. ส่วนขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่ 400^{0}ซ. 800^{0}ซ. และ $1,200^{0}$ซ. มีปริมาณโครเมียม 2.01, 1.97 และ 1.93 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนปริมาณปรอทนั้นตรวจไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาทั้ง 3 อุณหภูมิ และจากการทดลองนำขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาไปทำให้เป็นก้อนแข็งพบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ในอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก จะทำให้ก้อนตัวอย่างมีค่ากำลังรับแรงอัด 15.67 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ที่ 14 กก./ตร.ซม. และเป็นสัดส่วนผสมที่ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประสานชนิดอื่นๆ สำหรับการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.6 จะให้กำลังรับแรงอัด 19.07 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับวัสดุประสานชนิดเดียวกันและที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน

สำหรับค่าใช้ในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาจ่ายซึ่งประกอบด้วย ค่าเผากากตะกอนน้ำมันเตา ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ และค่าฝังกลบที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม ราชบุรี ในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาเท่ากับ 4,264 บาท ต่อปริมาณกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 0.11 ของราคาน้ำมันเตา

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	**ลายมือชื่อนิสิต**.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**.....
ปีการศึกษา.....2542.....	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**.....

3972339321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : STABILIZATION / SOLIDIFICATION / HEAVY METAL SLUDGE

ATHIWATR JIRAJARIYAVECH : STABILIZATION AND SOLIDIFICATION OF THE ASH FROM BURNING BUNKER OIL SLUDGE.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUREE KHAODHIAN,

THESIS CO-ADVISOR : MR. BOONYONG LOHWONGWATANA, 186 pp. ISBN 974-334-386-5

This research is to study type and mixing ratio of binders for the stabilization and solidification of ash from burning bunker oil sludge.The objective of the study is to select the most appropriate type and mixing ratio of binder for fixing the ash from burning the sludge at various temperatures (400^{0}C, 800^{0}C and 1,200^0 c) to meet the solidification standards promulgated by the Ministry of Industry Announcements No.1 (B.E. 2531) and No.6 (B.E.2540). The oil sludge, which no longer suitable for use, was taken from a bunker oil storage tank, at Prakhanong Tank Farm of the Petrolium Authority of Thailand (PTT). At present the oil sludge is disposed of in holding ponds allowing to decay naturally.This practice may be harmful to the environment from the build up of heavy metal and to the living things around that area. According to the notification of the Ministry of Industry No.6 (B.E.2540), the oil sludge has been classified as hazardous waste, because the sludge contained 5.16 mg/l of Cr and 0.25 mg/l of Hg which were higher than the official standards. This experiment was carried out by burning the sludge sample at various fixed temperatures (400^{0}C,800^{0}C and1,200^{0}C), to study the properties and the quantities of ash or residue, such as Cr. After that, a study to stabilize/solidify the ash by using portland cement, lime, a mixture of portland cement and lime, a mixture of portland cement with 10% of sodium hydroxide, and a mixing of portland cement with 20% of sodium hydroxide as binders were carried out, in order to fix the rest of the heavy metals in the ash. Extraction of the solidified products using the Ministry of Industry's method and an estimate for the disposal cost were also carried out.

It was found that the oil sludge, after using the Ministry's leaching method, contain 5.16 mg/l of Cr and 0.25 mg/l of Hg. The ash from burning the oil sludge at 400^{0}C, 800^{0}C and1,200^{0}C contain about 2.01,1.97 and 1.93 mg/l of Cr repectively, but Hg was not found in the ash. Portland cement was found to be the most appropriate binder with a mixing ratio of about 13% by weight. And the solidified product had a strength of 15.67 kg/sq.cm. meeting the standards promulgated by the Ministry of Industry of 14 kg/sq.cm.. The water cement ratio of about 0.6 is the most appropriate ratio and produced highest strength of 19.07 kg/sq.cm. when compared with other bindes in equivalent ratio.

The estimated costs including the burning of oil sludge, solidification cost, transportation cost, and the disposal cost in a secured landfill at Rajaburi Industrial Service Center is about 4,264 bth./1 ton of oil sludge or equivalent to 0.11% of the bunker oil cost.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. สุรี ขาวเธียร และ อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์ ที่กรุณาช่วยเหลือดูแลและให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมทางหลวง ที่อนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อกากตะกอนน้ำมันเตาสำหรับทำการวิจัย วิทยาลัยปิโตรเลียม ที่เอื้อเฟื้อให้คำแนะนำและข้อมูล

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบริษัทเชลล์แห่งประเทศไทย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกๆคนในครอบครัว ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในทุกๆด้านแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฐ

1. บทนำ 1

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย 2

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

2.2 ขอบเขตการวิจัย 2

3. ทบทวนเอกสาร 4

3.1 ของเสียที่เป็นอันตราย 4

3.2 โลหะหนัก 6

3.3 การบำบัดและกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย 7

3.4 การจัดการของเสียที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน 8

3.4.1 วิธีการบำบัดขั้นต้น 8

3.4.2 วิธีการกำจัด 9

3.5 การบำบัดด้วยความร้อน 10

3.5.1 การทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง 11

3.5.2 ประเภทของเตาเผาของเสียที่เป็นอันตราย 13

3.5.3 ข้อดีและข้อเสียของการทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง 14

3.6 การทำเสถียรของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน 15

3.7 การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ 20

3.7.1 สารเจือปนที่เป็นอุปสรรคต่อการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ 20

3.7.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ 21

3.8 กลไกการยึดจับโลหะหนัก 22

3.8.1 ความจุบัฟเฟอร์ 22

3.8.2 การยึดจับโลหะหนัก 23

บทที่ หน้า

3.9 ปูนซีเมนต์ 25
3.10 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ 28
3.11 ปูนขาว 28
3.12 โซดาไฟ 29
3.13 การทดสอบการชะละลาย 29
3.14 การประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน 30
3.15 เกณฑ์มาตรฐานในการระบุของเสียอันตราย 31
3.16 การศึกษาที่ผ่านมา 35
3.17 น้ำมันเตา 43
3.17.1 กากตะกอนน้ำมันเตา 43
4. แผนงานและการดำเนินการวิจัย 46
4.1 การเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ 46
4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา 46
4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 47
4.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ใช้ในงานวิจัย 47
4.2 การดำเนินการทดลอง 48
4.2.1 การเตรียมตะกอนดิบและขี้เถ้า 48
4.2.2 การทดลองเสถียร 49
4.2.3 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก 50
4.2.4 ขั้นตอนการทดลอง 54
4.3 การหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโลหะหนัก 65
4.4 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตา 65
4.5 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมด 65
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 67
5.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนและขี้เถ้าได้จากกาการเผาที่อุณหภูมิสูง 67
5.1.1 กากตะกอนน้ำมันเตา 67
5.1.2 ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูง 69
5.1.3 สรุปผลการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกอน 72
5.1.4 สรุปผลการศึกษาลักษณะสมบัติของขี้เถ้ากากตะกอน 73
5.2 ผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น 75

บทที่ หน้า

5.2.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0} ซ. 75
5.2.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0} ซ. 86
5.2.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0} ซ. 95
5.2.4 สรุปผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 104
5.3 ผลการทดสอบหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด 106
5.3.1 ผลการทดสอบขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0} ซ. 109
5.3.2 ผลการทดสอบขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0} ซ. 116
5.3.3 ผลการทดสอบขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1,200^{0} ซ. 123
5.3.4 สรุปผลการทดสอบการหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด 130
5.4 การแปรอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 134
5.5 การหาประสิทธิภาพในการลดการถูชะละลายของโลหะหนัก 135
5.6 สรุปผลการทดลอง 138
5.6.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0} ซ. 138
5.6.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0} ซ. 139
5.6.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0} ซ. 140
5.7 การเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด 141
5.8 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตา 143
5.8.1 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาต่อตันกากตะกอนน้ำมันเตา 143
5.8.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาต่อราคาน้ำมันเตา 145
5.9 วิจารณ์ผลการทดลอง 146
6. สรุปผลการวิจัย 148
7. ข้อแนะนำเพิ่มเติมในการวิจัย 150
รายการอ้างอิง 151
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายก้อนตัวอย่าง 154
ภาคผนวก ข ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือ 158
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง 164
ประวัติผู้เขียน 186

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน.....18
ตารางที่ 3.2 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนในแต่ละวิธีการ.....19
ตารางที่ 3.3 สารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....26
ตารางที่ 3.4 ค่าออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....27
ตารางที่ 3.5 ลักษณะสมบัติที่ต้องการของของเสียอันตรายที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe.....31
ตารางที่ 3.6 ค่ามาตรฐานของสารพิษต่าง ๆ จากการทดสอบด้วยวิธี TCLP.....33
ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันเตาให้เป็นก้อน.....59
ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนน้ำมันเตา.....69
ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา โดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540).....69
ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา โดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของ US.EPA. Method 3030.....69
ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา.....70
ตารางที่ 5.5 ผลวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของธาตุในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาด้วยเครื่อง EDS...71
ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์โครเมียมในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นโดยใช้เครื่อง AA.....71
ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามวิธีมาตรฐาน U.S.EPA.....71
ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา โดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540).....72
ตารางที่ 5.9 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C).....77

หน้า

ตารางที่ 5.10 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C).....83
ตารางที่ 5.11 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C).....87
ตารางที่ 5.12 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C).....92
ตารางที่ 5.13 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C).....96
ตารางที่ 5.14 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C).....101
ตารางที่ 5.15 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C).....110
ตารางที่ 5.16 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C).....113
ตารางที่ 5.17 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C).....117
ตารางที่ 5.18 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C).....120

หน้า

ตารางที่ 5.19 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C).....124

ตารางที่ 5.20 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C).....127

ตารางที่ 5.21 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนร้อยละ 13 ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C).....136

ตารางที่ 5.22 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดในขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนร้อยละ 13 ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C).....136

ตารางที่ 5.23 การเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พศ. 2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540).....142

ตารางที่ 5.24 ค่าใช้จ่ายในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400°ซ. 800°ซ. และ 1,200°ซ.....145

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 การแบ่งกระบวนการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน.....17
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงพีเอชและความเป็นด่างสะสมจากการสกัด 15 ครั้ง.....22
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย ความเป็นด่างถูกชะละลาย และซิลิกอนถูกชะละลายจากการสกัด 15 ครั้ง.....23
รูปที่ 3.4 แผนภาพ pC – pH สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว.....24
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนขบวนการการกลั่นน้ำมัน.....45
รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540).....51
รูปที่ 4.2 เครื่องมือทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด.....52
รูปที่ 4.3 เครื่องกวนเขย่าหมุน (Rotary Agitator).....52
รูปที่ 4.4 เครื่อง Atomic Absorbtion Spectrophotometer.....53
รูปที่ 4.5 แบบหล่อก้อนตัวอย่าง.....53
รูปที่ 4.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบหาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันเตา.....62
รูปที่ 4.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนของวัสดุประสานเทียบกับขี้เถ้าตะกอนที่เหมาะสมที่สุด.....63
รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด.....64
รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงขั้นตอนโดยสรุปเมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดแล้ว.....65
รูปที่5.1กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400°ซ.).....78
รูปที่5.2กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400°ซ.).....79
รูปที่5.3กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ400°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม7วัน) จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....80

หน้า

รูปที่5.4กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ400°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม7วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....80
รูปที่5.5กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ400°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม28วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น 81
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ400°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....81
รูปที่5.7กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400°ซ.).....84
รูปที่5.8กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400°ซ).....85
รูปที่5.9กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800°ซ.).....88
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800°ซ.).....89
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ800°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม7วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....90
รูปที่5.12กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ800°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม7วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....90

หน้า

รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ800^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม28วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น 91

รูปที่5.14กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ800^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.... 91

รูปที่5.15กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ.).....93

รูปที่5.16กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ).....94

รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200°ซ.).....97

รูปที่5.18กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200°ซ).....98

รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม7วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....99

รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม7วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....99

รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม28วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น 100

หน้า

รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น.....100
รูปที่ 5.23 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ.).....102
รูปที่ 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ).....103
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400°ซ.) 111
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400°ซ).....112
รูปที่ 5.27 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400^{0}ซ) 114
รูปที่ 5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400^{0}ซ).....115
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800°ซ.).....118
รูปที่ 5.30กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800°ซ).....119
รูปที่ 5.31กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ) 121

หน้า

รูปที่5.32กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ).....122

รูปที่5.33กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200°ซ.).....125

รูปที่ 5.34กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200°ซ).....126

รูปที่ 5.35กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ) 128

รูปที่5.36กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ).....129

รูปที่ 5.37กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆกับอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ร้อยละ13กับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่ 400°ซ).....137

รูปที่5.38 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด โดยเทียบระหว่างค่ามาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540).....142