การทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันดิบด้วยวิธีการเผา แล้วทำให้เป็นก้อนแข็ง

นายอรรถพล เพ็ชรพลาย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540
ISBN 974-638-429-5
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18045169

STABILIZATION OF CRUDE OIL MUD BY INCINERATION AND SOLIDIFICATION

Mr. Athapol Pecharaply

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 1997

ISBN 974-638-429-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันดิบด้วยวิธีการเผา แล้วทำให้เป็นก้อนแข็ง
โดย	นายอรรถพล เพ็ชรพลาย
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อรรถพล เพ็ชรพลาย : การทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันดิบด้วยวิธีการเผาแล้วทำให้เป็นก้อนแข็ง
(STABILIZATION OF CRUDE OIL MUD BY INCINERATION AND SOLIDIFICATION)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. สุรี ขาวเธียร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน, 202 หน้า
ISBN 974-638-429-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าซึ่งเกิดจากการเผากากตะกอนน้ำมันดิบที่อุณหภูมิ 400๐ ซ, 800๐ ซ และ 1,200๐ ซ จากนั้นทำการศึกษาหาวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าหลังการเผาให้เป็นก้อนแข็ง รวมทั้งประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบด้วยวิธีการดังกล่าว

กากตะกอนน้ำมันดิบที่ใช้ในการวิจัยได้มาจากกากตะกอนที่สะสมอยู่ภายในถังเก็บกักน้ำมันดิบเป็นระยะเวลาประมาณ 5 ปี ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีกากตะกอนน้ำมันดิบนี้เกิดขึ้นมากกว่า 5 ล้านลิตรต่อปี วัสดุประสานที่ใช้คือ ปูนซีเมนต์, ปูนขาวดิบ และปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) จากการทดสอบหาสมบัติของกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้า โดยใช้วิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด คือ อาร์เซนิค, แคดเมียม, โครเมียม, ปรอท และตะกั่ว ในน้ำชะละลาย พบว่า กากตะกอนน้ำมันดิบมีปริมาณอาร์เซนิค น้อยกว่า 0.01 มก./ล., แคดเมียม 2.64 มก./ล., โครเมียม 4.80 มก./ล., ปรอท 10.95 มก./ล., และตะกั่ว 10.28 มก./ล. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400๐ ซ มีปริมาณอาร์เซนิคน้อยกว่า 0.01 มก./ล., แคดเมียม 2.20 มก./ล., โครเมียม น้อยกว่า 0.2 มก./ล., ปรอท 0.16 มก./ล. และตะกั่ว 6.20 มก./ล. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800๐ ซ มีปริมาณอาร์เซนิค น้อยกว่า 0.01 มก./ล., แคดเมียม 1.82 มก./ล., โครเมียม น้อยกว่า 0.2 มก./ล., ปรอท 0.14 มก./ล. และตะกั่ว 3.40 มก./ล. ส่วนขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200๐ ซ มีปริมาณอาร์เซนิค น้อยกว่า 0.01 มก./ล., แคดเมียม 1.42 มก./ล., โครเมียม น้อยกว่า 0.2 มก./ล., ปรอท 0.10 มก./ล. และตะกั่ว 2.80 มก./ล. แต่เกณฑ์ค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายของกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้มีปริมาณอาร์เซนิคไม่เกิน 5 มก./ล., แคดเมียม ไม่เกิน 1 มก./ล., โครเมียม ไม่เกิน 5 มก./ล., ปรอท ไม่เกิน 0.2 มก./ล. และตะกั่ว ไม่เกิน 5 มก./ล. จากผลการทดสอบจะเห็นว่า ค่าโลหะหนักบางชนิดมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้น กากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400๐ ซ, 800๐ ซ, และ 1,200๐ ซ จัดเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่งที่ต้องได้รับการบำบัดก่อนนำไปกำจัดด้วยวิธีที่ได้มาตรฐานต่อไป

ผลจากการทดสอบหาชนิดและสัดส่วนผสมของวัสดุประสานเบื้องต้น พบว่า ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมที่ทำให้ก้อนแข็งของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400๐ ซ, 800๐ ซ และ 1,200๐ ซ ผ่านเกณฑ์ทดสอบกำลังรับแรงอัด (14 กก./ตร.ซม.) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในน้ำชะละลาย โดยมีสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าในอัตราร้อยละ 50, 40 และ 20 ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนน้ำมันดิบที่นำมาทดสอบผสมกับวัสดุประสานทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปูนซีเมนต์และปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมต่อน้ำหนักกากตะกอนน้ำมันดิบ เท่ากับร้อยละ 110 และ 140 สามารถทำให้ก้อนแข็งที่ได้ผ่านเกณฑ์ทดสอบกำลังรับแรงอัด (14 กก./ตร.ซม.) ได้ แต่ในการทดสอบความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายกลับไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดพบว่า ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าเท่ากับร้อยละ 44, 34 และ 16 โดยน้ำหนัก สามารถทำให้ก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400๐ ซ, 800๐ ซ และ 1,200๐ ซ ผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัด (14 ก.ก./ตร.ซม.) และเกณฑ์การทดสอบโลหะหนักในน้ำชะละลายตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้โดยมีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นตั้งแต่ขั้นตอนการขนส่งกากตะกอนน้ำมันดิบจากโรงกลั่นไปเผา ขั้นตอนการทำเสถียรโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งจนถึงขั้นตอนการขนส่งก้อนแข็งไปฝังกลบยังหลุมฝังกลบเท่ากับ 5,182 บาท, 5,621 บาท และ 6,790 บาท ต่อน้ำหนักหนึ่งตันกากตะกอนน้ำมันดิบสำหรับอุณหภูมิเผาที่ 400๐ ซ, 800๐ ซ และ 1,200๐ ซ ตามลำดับ

จากผลการวิจัยประกอบกับการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการบำบัดและกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบตั้งแต่ต้นจนถึงขั้นสุดท้าย พบว่า วิธีการบำบัดและกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบที่มีประสิทธิภาพเหมาะสม และประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด คือ การนำกากตะกอนน้ำมันดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 400๐ ซ และทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานในอัตราส่วนร้อยละ 44 ต่อน้ำหนักขี้เถ้าก่อนที่จะนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐานต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C717829 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: CRUDE OIL MUD / SOLIDIFICATION / STABILIZATION
ATHAPOL PECHARAPLY : STABILIZATION OF CRUDE OIL MUD BY INCINERATION AND SOLIDIFICATION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUREE KHAODHIAN, THESIS CO-ADVISOR : BOONYONG LOHWONGWATANA, 202 pp. ISBN 974-638-429-5

This research was made to study the qualities of crude oil mud and ash incinerated at different temperatures of 400°C, 800°C and 1,200°C. The determination of the best kind of binders for the stabilization and solidification of the crude oil mud and the incinerated ash were also carried out.

The crude oil mud using in the study was collected from the bottom of a crude oil tank at about 5 years of accumulation and estimated that the amount of crude oil mud generated would increase to over 5 million litres a year. The binders used in this study were portland cement, lime, and a mixture of lime and portland cement at a ratio of 1 : 1 by weight. The muds and incinerated ashes, after leaching by the Department of Industrial Works's method showed that the mud had arsenic less than 0.01 mg/l., cadmium 2.64 mg/l., chromium 4.80 mg/l., mercury 10.95 mg/l., and lead 10.28 mg/l.; the incinerated ash at 400°C had arsenic less than 0.01 mg/l., cadmium 2.20 mg/l., chromium less than 0.2 mg/l., mercury 0.16 mg/l., and lead 6.20 mg/l.; the incinerated ash at 800°C had arsenic less than 0.01 mg/l., cadmium 1.82 mg/l., chromium less than 0.2 mg/l., mercury 0.14mg/l., and lead 3.40 mg/l.; and the incinerated ash at 1,200°C had arsenic less than 0.01 mg/l., cadmium 1.42mg/l., chromium less than 0.2 mg/l., mercury 0.10 mg/l., and lead 2.8 mg/l. According to the heavy metals standard in leaching solution of the Department of Industrial Works, arsenic, cadmium, chromium, mercury and lead should not be more than 5 mg/l., 1mg/l., 5 mg/l, 0.2 mg/l., and 5mg/l. respectively, and from the leachability test, some heavy metal contents exceeded the standard. Therefore, these crude oil mud and the incinerated ash are classified as hazardous wastes which should be treated before burying them in secure landfill.

The result of the trial tests indicated that portland cement was a suitable binder for ash incinerated at 400°C, 800°C or 1,200°C and the proportions of portland cement to ash were found to be 50, 40, and 20 percent by weight respectively, and they could pass both the compressive strength (14 kg./sq.cm.) and the content of heavy metals in leaching solution standards. For the crude oil mud, with three types of binders, it showed that only the crude oil mud mixed with portland cement, and with lime and portland cement (1:1 by weight) at 110 and 140 percent respectively could pass the compressive strength tests(14 kg./sq.cm.), but for the heavy metals in leaching solution, they did not meet the standard of the Department of Industrial Works.

In the optimization tests, the best proportions of portland cement to ash in this experiment were 44 percent; 34 percent and 16 percent for ash incinerated at 400°C, 800°C and 1,200°C respectively, and all of them could pass both the compressive strength (14 kg./sq.cm.) and the heavy metals standards. The costs for transportation, incineration, solidification and disposal were estimated at about 5,182, 5,621 and 6,790 Baht per ton of crude oil mud incinerated at 400°C, 800°C and 1,200°C respectively.

When taking the result of this research and the final disposal costs into considerations, the most suitable and economical process was a mixing of incinerated ash of 400°C with portland cement as a binder and at the ratio of 44 percent by weight of portland cement to ash before burying them in a landfill.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	**ลายมือชื่อนิสิต**
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**
ปีการศึกษา 2540	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้ข้อคิดเห็นตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัยส่วนหนึ่ง

ขอขอบคุณ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด คุณอภิจิตต์ เจริญเวชการ และคุณมนตรี คงวิญญ ที่เอื้อเฟื้อให้คำแนะนำและข้อมูล

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่อุดหนุนทุนสำหรับใช้ทำการวิจัยครั้งนี้บางส่วน

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้สนับสนุนทั้งด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ญ
สารบัญรูป		ฏ
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	3
2.1	วัตถุประสงค์	3
2.2	ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 3	ทบทวนเอกสาร	4
3.1	ของเสียที่เป็นอันตราย	4
3.1.1	ความหมายของของเสียที่เป็นอันตราย	4
3.1.2	ประเภทของของเสียที่เป็นอันตราย	5
3.1.3	การบำบัดและการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย	6
3.2	โลหะหนัก	8
3.3	น้ำมันดิบ และกากตะกอนน้ำมันดิบ	8
3.4	การทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง	10
3.4.1	ประเภทของเตาเผาของเสียที่เป็นอันตราย	11
3.4.2	ข้อดีและข้อเสียของการทำลายฤทธิ์ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง	12
3.5	การทำเสถียรของเสียที่เป็นอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง	12
3.5.1	วัตถุประสงค์ของการทำให้กากของเสียเป็นก้อนแข็ง	13
3.5.2	ประเภทของการทำให้เป็นก้อนแข็ง	14
3.5.3	การควบคุมคุณภาพของก้อนแข็ง	16
3.6	กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์	18
3.6.1	ข้อดีและข้อเสียของการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์	20
3.6.2	กลไกการยึดจับโลหะหนักในก้อนซีเมนต์แข็ง	20
3.7	ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	24
3.8	ปูนซีเมนต์และปูนขาว	24
3.9	การทดสอบการชะละลาย	27
3.10	เกณฑ์มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	28
3.11	การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย 43
4.1 การเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ 43
4.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย 43
4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 43
4.2 การศึกษาวิจัย 44
4.2.1 การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 44
4.2.2 การทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 47
4.2.3 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก 47
4.2.4 การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดการตะกอนน้ำมันดิบ 49
4.3 ขั้นตอนการทดลอง 49
4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 นำกากตะกอนน้ำมันดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 400๐, 800๐ และ 1,200๐ ซ 49
4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าหลังการเผา 50
4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 52
4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 56
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 58
5.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำมันดิบ 58
5.1.1 สมบัติทางกายภาพ 58
5.1.2 สมบัติทางเคมี 58
5.2 ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิสูง 59
5.2.1 สมบัติทางกายภาพ 59
5.2.2 สมบัติทางเคมี 60
5.3 ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 63
5.3.1 กากตะกอนน้ำมันดิบ 63
5.3.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400°ซ 69
5.3.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°ซ 76
5.3.4 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ 78
5.3.5 สรุปผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 80
5.4 ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 83
5.4.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400°ซ 83

สารบัญ (ต่อ)

5.4.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°ซ 88
5.4.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ 91
5.5 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก 94
5.5.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400°ซ 94
5.5.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°ซ 94
5.5.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ 94
5.6 การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบ 95
5.6.1 ค่าบริการขนส่งกากตะกอนน้ำมันดิบจากโรงกลั่น 95
5.6.2 ค่าใช้จ่ายในการเผากากตะกอนน้ำมันดิบ 95
5.6.3 ค่าใช้จ่ายในการทำขี้เถ้าให้เป็นก้อนแข็ง 96
5.6.4 ค่าขนส่งและขนย้ายไปยังหลุมฝังกลบ 96
5.6.5 ค่าฝังกลบ 97
5.6.6 สรุปการประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบ ด้วยวิธีการเผาแล้วทำให้เป็นก้อนแข็ง 97
5.7 สรุปผลการทดลอง 98
5.7.1 กากตะกอนน้ำมันดิบ 98
5.7.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400°ซ 99
5.7.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°ซ 99
5.7.4 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°ซ 100
5.8 การวิจารณ์ผลการทดลอง 101
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย 103
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม 105
รายการอ้างอิง 106
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) และ ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2531) 112
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลอง 123
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณ 149
ภาคผนวก ง. วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ 156
ภาคผนวก จ. ตารางแสดงข้อมูลอ้างอิง 162
ภาคผนวก ฉ. ภาพถ่ายจากการทดลอง 169
ประวัติผู้เขียน 189

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของกระบวนการทำให้กากของเสียอันตรายแข็งตัวตามวิธีต่างๆ 15

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติของของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวิธี Sealosafe 18

ตารางที่ 3.3 ประเภทของของเสียที่ไม่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ 19

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 26

ตารางที่ 3.5 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 26

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าสารมลพิษในน้ำสกัดเพื่อแยกประเภทระหว่างของเสียเป็นอันตรายกับของเสียเฉื่อย 30

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าหลังการเผากับวัสดุประสานชนิดต่างๆ สำหรับการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 46

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนผสมระหว่างขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ กับวัสดุประสานสำหรับการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 48

ตารางที่ 5.1 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติด้านกายภาพของกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ 61

ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของน้ำชะละลายกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ 61

ตารางที่ 5.3 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำมันดิบที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 65

ตารางที่ 5.4 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 ซ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 70

ตารางที่ 5.5 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 ซ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 77

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 ซ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น 79

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400๐ ซ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 86

ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800๐ ซ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 92

ตารางที่ 5.9 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200๐ ซ ที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 93

ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในการทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันดิบด้วยวิธีการเผาแล้วทำให้เป็นก้อนแข็ง 95

ตารางที่ 5.11 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันดิบ 98

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.1	แผนภาพจำแนกวิธีการทำเสถียรโดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง	14
รูปที่ 3.2	กราฟแสดงค่าพีเอช (pH) และค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) จากการทดสอบการชะละลายทั้ง 15 ครั้ง	21
รูปที่ 3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนัก ซิลิคอน กับค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายออกมาจากการทดสอบการชะละลายทั้ง 15 ครั้ง	22
รูปที่ 3.4	แผนภาพแสดงสถานะไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักที่ pH ต่างๆ	23
รูปที่ 3.5	แสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์	24
รูปที่ 5.1	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายกากตะกอนน้ำมันดิบและขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400, 800 และ 1,200 ซ	62
รูปที่ 5.2	กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ หลังการบ่มก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน	64
รูปที่ 5.3	ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะละลายของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานและสัดส่วนผสมต่างๆ กันในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น	71
รูปที่ 5.4	ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานและสัดส่วนผสมต่างๆ กัน ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น	72
รูปที่ 5.5	ความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะละลายของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานและสัดส่วนผสมต่างๆ กัน ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น	73
รูปที่ 5.6	ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานและสัดส่วนผสมต่างๆ กัน ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น	74
รูปที่ 5.7	ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าที่สัดส่วนผสมต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด	85
รูปที่ 5.8	ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าที่สัดส่วนผสมต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด	85
รูปที่ 5.9	ค่าความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำชะละลายก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าที่สัดส่วนผสมต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด	87

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.10 ค่าความเข้มข้นของปรอท ในน้ำชะละลายก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าที่สัดส่วนผสมต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 89

รูปที่ 5.11 ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว ในน้ำชะละลายก้อนตัวอย่างขี้เถ้าที่สัดส่วนผสมต่างๆ ในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด 90