

การเปรียบเทียบการทำปอทซ์ไฟต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมแก้วลอยลิกไนต์
และปูนซีเมนต์ผสมชิลิกาฟูม

นางสาวดวงสมร ผดุงเกียรติวงศ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-193-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF MERCURY SULFIDE SOLIDIFICATION USING
CEMENT-LIGNITE FLY ASH AND CEMENT-SILICA FUME

Miss.Douangsamorn Padungkeittiwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environment Engineering

Department of Environment Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


Academic Year 1997

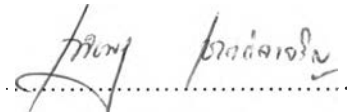
ISBN 974-638-193-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบการทำโปรทซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม
โดย นางสาวดวงสมร ผดุงเกียรติวงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ

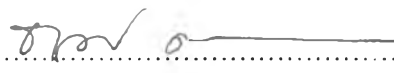
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตदानนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์)

ดวงสมร ผดุงเกียรติวงษ์ : การเปรียบเทียบการทำปรอทซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ้ง (COMPARISON OF MERCURY SULFIDE SOLIDIFICATION USING CEMENT-LIGNITE FLY ASH AND CEMENT-SILICA FUME) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ ;196 หน้า. ISBN 974-638-193-8

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีและกากหลอตฟลูออเรสเซนต์ให้คงตัวโดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปก่อนทำให้เป็นก้อน นอกจากนี้มีการทดสอบการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของ โครเมียม ปรอทและเหล็กซึ่งอยู่ในตะกอนรวมทั้งหาประสิทธิภาพในการทำให้คงตัวและประมาณค่าใช้จ่ายของตัวประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนโดยทำการศึกษาหาอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์และระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมสำหรับการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ้ง การทำกากหลอตฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ้ง การทำกากหลอตฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์

การทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ้ง จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคืออัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75 ซิลิกาฟุ้งเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาณทางทฤษฎีใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทและโครเมียมคงตัวเท่ากับ 96.89 และ 94.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดนี้ประมาณ 7,770 บาทต่อตันของตะกอน

การทำกากหลอตฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟุ้ง จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.50 ซิลิกาฟุ้งเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัวเท่ากับ 97.72 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดนี้ประมาณ 4,930 บาทต่อตันของตะกอน สำหรับการทำกากหลอตฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.50 โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยลิกไนต์เท่ากับ 1:1 ใช้ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎีใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัวเท่ากับ 97.77 % ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้ซิลิกาฟุ้งเป็นวัสดุประสานค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสานมีค่าประมาณ 2,610 บาทต่อตันของตะกอนซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้ซิลิกาฟุ้งเป็นวัสดุประสาน

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่อนิติกร.....ดวงสมร ผดุงเกียรติวงษ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....เพชรพร เชาวกิจเจริญ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม.....

C817886 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: STABILIZATION / SOLIDIFICATION / HEAVY METAL SLUDGE / LIGNITE FLY ASH / SILICA FUME
DOUANGSAMORN PADUNGKEITTIWONG: COMPARISON OF MERCURY SULFIDE SOLIDIFICATION USING CEMENT-LIGNITE FLY ASH AND CEMENT-SILICA FUME. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D. 196 pp. ISBN 974-638-193-8.

This research investigate the stabilization of heavy metal sludge from COD wastewater treatment and broken fluorescent lamp residue by adding sodium sulfide before solidification. In addition, the extraction tests on chromium, mercury and iron were also carried out. The efficiency on leachability reduction and cost estimation for binder also considered. This research investigate the optimum ratio of waste per binder, amount of sodium sulfide and curing time for heavy metal sludge from COD wastewater treatment solidification using cement-silica fume, broken fluorescent lamp residue solidification using cement-silica fume and broken fluorescent lamp residue solidification using cement-lignite fly ash.

The results for solidification of heavy metal sludge from COD wastewater treatment using cement mixed with silica fume indicated that the optimum conditions were waste/binder ratio of 0.75, 40% silica fume, sodium sulfide 0.5 time the stoichiometric amount and curing time of 7 days respectively. The stabilization efficiencies of mercury and chromium were 96.89% and 94.32% respectively. The estimation of treatment cost was about 7,770 baht per ton of dry heavy metal sludge.

The results for solidification of broken fluorescent lamp residue using cement mixed with silica fume indicate that the optimum condition were waste/binder ratio of 1.50, 20% silica fume, sodium sulfide 1.75 times the stoichiometric amount and curing time of 28 days respectively. The stabilization efficiency of mercury was about 97.72%. The estimation of the treatment cost about 4,930 baht per ton of heavy metal sludge. The results of solidification of broken fluorescent lamp residue using cement mixed with lignite fly ash indicated that the optimum condition were waste/binder ratio of 2.50, cement:lignite fly ash 1:1, sodium sulfide 1.75 times the stoichiometric amount and curing time of 28 days. The stabilization efficiency of mercury was equal to 97.77%. The estimation of the treatment cost was about 2,610 baht per ton of heavy metal sludge which lower than using silica fume as binder.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติกร *ดวงศมา พงษ์ประทีป*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *เพ็ชพร ชวักทิชเรอณ*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ



ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.เพ็ชรพร เขาวงกัจเจริญ ที่กรุณา
แนะนำให้คำปรึกษาในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมที่ให้ความเมตตาอนุเคราะห์ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ทางด้านวิชาการต่าง ๆ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรม
โยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายสำรวจของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ศูนย์กำจัด
กากอุตสาหกรรมแสมดำและบริษัทซิคาประเทศไทยจำกัด

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมูลนิธิชิน โสภณพานิชที่ให้
ทุนอุดหนุนในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณบิดามารดา ครู อาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนให้การสนับสนุน
และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร	3
โลหะหนัก	3
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	3
แก้วลอยลิกไนต์	6
ซิลิกาฟูม	8
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	8
ของเสียเสี่ยงอันตราย	10
การจัดการของเสียเสี่ยงอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน	12
การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์	17
กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์	18
ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อน	23
ความสามารถในการถูกชะละลาย	24
การตกตะกอนด้วยสารประกอบซัลไฟด์	24
การทดสอบการชะละลาย	25
เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน	28
การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	32
บทที่ 4 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย	49
การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย	49
เครื่องมือและอุปกรณ์	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การดำเนินการทดลอง	54
1) การพิจารณาเลือกอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสม	54
2) ศึกษาอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	56
3) ศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มตัวที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์	58
4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย	59
5) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการกำจัดปรอทซัลไฟด์	59
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	60
คุณลักษณะของตะกอนโลหะหนัก	60
1. ตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติ	60
2. กากหลอตฟลูออเรสเซนซ์	61
การศึกษาความสามารถในการทำตะกอนโลหะหนักให้คงตัวโดยการทำให้เป็น ก้อน	62
การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น	85
การศึกษาอัตราส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์	87
การพิจารณาเลือกสัดส่วนการเติมสารโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสม	103
การศึกษาระยะเวลาบ่มของคอนกรีต	104
การพิจารณาการเลือกระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม	118
ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว	119
การประมาณค่าใช้จ่ายในการทำของเสียให้เป็นก้อน	121
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	124
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม	126
รายการอ้างอิง	127
ภาคผนวก ก การเตรียมตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอติและผลการวิเคราะห์โลหะหนัก ในตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติและกากหลอตฟลูออเรสเซนซ์	130
ภาคผนวก ข การคำนวณหาปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์	133
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง การทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอติให้ เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม	136

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดลอง การทำกากหลอดฟูลออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม	152
ภาคผนวก จ ข้อมูลผลการทดลอง การทำกากหลอดฟูลออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ ปูนซีเมนต์ผสมแก้วลอยลิกไนต์	171
ภาคผนวก ฉ การการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว	189
ประวัติผู้เขียน	196

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	4
3.2	แสดงมาตรฐาน ASTM C618-8C ซึ่งเกี่ยวกับสารวัสดุซีเมนต์ธรรมชาติ..	7
3.3	องค์ประกอบทางเคมีของแก้วลอยลิกไนต์แม่เมาะและซิลิกาฟูม.....	7
3.4	แสดงผลการวิเคราะห์โลหะหนักในแก้วลอยลิกไนต์และในน้ำจากการ ทดลองแช่แก้วลอยลิกไนต์ในน้ำ	7
3.5	แสดงกระบวนการกำจัดของเสียเสียงอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน.....	13
3.6	แสดงข้อดี&ข้อเสียของกระบวนการทำให้เป็นก้อนทั้ง 7 วิธี.....	14
3.7	แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้ของกระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้กับของเสียที่ แตกต่างกัน	16
3.8	แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลาย	27
3.9	ค่า Threshold Value สำหรับสารเคมีต่าง ๆ	29
3.10	มาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดสำหรับของเสียอันตราย ที่ผ่านการบำบัดแล้ว	29
3.11	วิธีการทำลายฤทธิ์ของสิ่งปฏิภูลประเภทต่าง ๆ	31
3.12	แสดงอัตราส่วนผสมของวัสดุประสานที่ใช้ในการหาวัสดุประสานที่ดีที่สุด	43
5.1	ปริมาณโลหะหนักในตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของน้ำ เสียซีโอดี	60
5.2	คุณสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย	61
5.3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็น ก้อน	63
5.4	ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้ เป็นก้อน	64
5.5	ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำสกัด	65
5.6	ผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัด	66
5.7	ผลการวิเคราะห์ความเป็นต่างของน้ำสกัด	67
5.8	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด	68
5.9	ผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำสกัด	69
5.10	ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในน้ำสกัด	70
5.11	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกากหลอมฟูลอเรสเซนต์ที่ผ่านการ ทำให้เป็นก้อน	72

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.12	ผลการทดสอบความหนาแน่นของกากหลอตฟูลออเรสเซนต์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน	73
5.13	ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำสกัด	74
5.14	ผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัด	75
5.15	ผลการวิเคราะห์ความเป็นต่างของน้ำสกัด	76
5.16	ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในน้ำสกัด	76
5.17	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกากหลอตฟูลออเรสเซนต์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน	78
5.18	ผลการทดสอบความหนาแน่นของกากหลอตฟูลออเรสเซนต์ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน	80
5.19	ผลการวิเคราะห์พีเอชของน้ำสกัด	81
5.20	ผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัด	82
5.21	ผลการวิเคราะห์ความเป็นต่างของน้ำสกัด	83
5.22	ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในน้ำสกัด	84
5.23	ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุประสาน	86
5.24	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมซัลไฟด์	88
5.25	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย	90
5.26	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมซัลไฟด์	94
5.27	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย	95
5.28	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมซัลไฟด์	98
5.29	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย	100
5.30	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาบ่ม	105
5.31	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย	107
5.32	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาบ่ม	110
5.33	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย	111

สารบัญญัตินำ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.34	แสดงค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาบ่ม	114
5.35	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย	115
5.36	แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของตะกอนในการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนและเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา	122
5.37	แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของกากหลอจฟูลูออเรสเซนดีในการทำให้เป็นก้อน	122
5.38	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัวและอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อน	123
5.39	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัวและอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทำกากหลอจฟูลูออเรสเซนดีให้เป็นก้อน.....	123

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	กราฟแสดงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย..	19
3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายกับค่าความเป็นด่างและซัลไฟก่อนจากการทดสอบการชะละลาย.....	20
3.3	กราฟแสดง pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียมโครเมียมและตะกั่ว	21
3.4	กราฟแสดงความสามารถในการละลายของโลหะหนักไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์	26
3.5	แสดงผลของการทดสอบการชะละลายของ 0.15 M ของ buffered HAC leachate	33
3.6	แสดงผลของการทดสอบการชะละลายของ 0.30M ของ buffered HAC leachate	34
3.7	แสดงผลของการทดสอบการชะละลายของ 0.45M ของ buffered HAC leachate	35
4.1	ภาพวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง	50
4.2	ภาพของเสียที่มีปรอทปนเปื้อนที่ใช้ในการทดลอง	52
4.3	ภาพแบบหล่อซีเมนต์	53
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	63
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	64
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	66
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	67
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	68
5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กในน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	70
5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	71
5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	72
5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	73
5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	74
5.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	75
5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	77
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	77
5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	79
5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	80
5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	82
5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	83
5.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	84
5.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดกับอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก	85
5.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณการเติมโซเดียมซิลไฟด์	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	89
5.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	90
5.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	91
5.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	91
5.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	92
5.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	93
5.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	94
5.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	95
5.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	96
5.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	96
5.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	97
5.33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	97
5.34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	99
5.35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	100
5.36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	101
5.38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	102
5.39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดและปริมาณการเติมโซเดียมซัลไฟด์	102
5.40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและระยะเวลาบ่ม.....	105
5.41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและระยะเวลาบ่ม.....	106
5.42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม.....	107
5.43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและระยะเวลาบ่ม.....	107
5.44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและระยะเวลาบ่ม.....	108
5.45	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม	109
5.46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม	109
5.47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและระยะเวลาบ่ม.....	110
5.48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและระยะเวลาบ่ม.....	111
5.49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม.....	112
5.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและระยะเวลาบ่ม.....	112
5.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและระยะเวลาบ่ม.....	113
5.52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม.....	113
5.53	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและระยะเวลาบ่ม.....	114
5.54	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและระยะเวลาบ่ม.....	115
5.55	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม.....	116
5.56	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและระยะเวลาบ่ม.....	116
5.57	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและระยะเวลาบ่ม.....	117
5.58	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทในน้ำสกัดและระยะเวลาบ่ม.....	117