อิทธิพลของสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อการทำเป็นก้อนแข็งของตะกอนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

นายภัทร กฤตานุสรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4762-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21337433

EFFECT OF WATER CEMENT RATIO ON SOLIDIFICATION OF HEAVY METAL SLUDGE FROM INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT

Mr. Paht Krittanusorn

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 2003

ISBN 974-17-4762-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อการทำเป็นก้อนแข็งของตะกอนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
โดย	นายภัทร กฤตานุสรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ)

ภัทร กฤตานุสรณ์ : อิทธิพลของสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อการทำเป็นก้อนแข็งของตะกอนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. (EFFECT OF WATER CEMENT RATIO ON SOLIDIFICATION OF HEAVY METAL SLUDGE FROM INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT)
อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, 122 หน้า. ISBN 974-17-4762-4

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่ากำลังอัดของก้อนแข็งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในตะกอนแต่ละประเภท ความสัมพันธ์ของกำลังอัดของก้อนแข็งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของตะกอน ความสัมพันธ์ของกำลังอัดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมตะกอนกับซีเมนต์ และปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมตะกอนกับซีเมนต์ โดยทำการแปรผันค่าปริมาณน้ำในตะกอนตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง และสัดส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.75 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์ อ้างอิงมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่ากำลังอัด ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดและปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อก้อนแข็ง

ผลการทดลองพบว่า ตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนังมีโครเมียมในน้ำสกัด 15.33 มก./ล. ประกอบรถยนต์มีตะกั่วในน้ำสกัด 5.67 มก./ล. ผลิตแบตเตอรี่มีตะกั่วในน้ำสกัด 8.97 มก./ล. รีดเหล็กมีโครเมียมในน้ำสกัด 7.11 มก./ล. ผลิตจอภาพมีตะกั่วในน้ำสกัด 5.31 มก./ล. และผลิตสารกึ่งตัวนำมีตะกั่วในน้ำสกัด 6.52 มก./ล. ซึ่งเป็นปริมาณโลหะหนักที่เกินเกณฑ์ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 จัดเป็นของเสียอันตราย จึงนำมาหล่อเป็นก้อนแข็ง ค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมมีค่าร้อยละ 49 62 65 5 74 และ 55 ของน้ำหนักตะกอนแห้งตามลำดับ ค่าความดูดซึมน้ำของตะกอนที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งนำมาแทนปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมได้ ค่ากำลังอัดและความหนาแน่นของก้อนแข็งทุกตัวอย่างตะกอนผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ในขณะที่ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนแข็งอุตสาหกรรมฟอกหนังผ่านมาตรฐานที่ส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ 0.5:1 และ 0.75:1 ส่วนตะกอนอื่นนั้นผ่านมาตรฐานในทุกอัตราส่วนผสม การเพิ่มสัดส่วนตะกอนในก้อนแข็งทำให้กำลังอัดลดลง ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณซีเมนต์ในก้อนแข็งลดลงทำให้ความสามารถในการจับยึดโลหะหนักในก้อนแข็งลดลง และไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความหนาแน่นของตะกอน แต่อย่างไรก็ดีหากทำการแบ่งประเภทตะกอนตามกระบวนการผลิต ที่มาของตะกอน ชนิด ปริมาณของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตะกอน จะพบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความหนาแน่นของตะกอน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ภัทร

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546

4470451321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Solidification / Water-to-cement ratio / Sludge density / Binder / Compressive strength / Leachate extraction

PAHT KRITTANUSORN : EFFECT OF WATER CEMENT RATIO ON SOLIDIFICATION OF HEAVY METAL SLUDGE FROM INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.THARES SRISATIT, Ph.D., 122 pp. ISBN 974-17-4762-4

This research investigated relationships between compressive strength and moisture content in sludges from various industries, compressive strength and sludge density, compressive strength and sludge-to-cement ratio, heavy metals in leachate and sludge-to-cement ratio by varying the sludge moisture by weight of oven dry sludge from 0 to 100 percent and varying sludge-to-cement ratio from 0.5:1 to 1.75:1. In addition, Hazardous wastes were classified with leaching procedure and standards issued by Department of Industrial Works (Notification No. 6, 1997). The experiments were carried out to determine factors affecting the solidified matrices such as compressive strength of the matrices, heavy metals in the leachates and optimum moisture content of solidified sludge.

The concentrations of regulated heavy metals in the leachates are as follow: chromium in tanning sludge, 15.33 mg/l; lead in vehicle assembly sludge, 5.67 mg/l; lead in battery sludge, 8.97 mg/l; chromium in steel sludge, 7.11 mg/l; lead in display device sludge, 5.31 mg/l; and lead in semiconductor, 6.52 mg/l. According the standards, these sludges were hazardous wastes. The optimum moisture contents of the sludges were 49, 62, 65, 5, 74 and 55 percent by weight of dry sludge, respectively. It was found that absorption of sludge in saturated surface dry phase could be used in place of optimum moisture content of sludge. Compressive strengths and densities of all sludges passed the standards in all proportions. Heavy metals in leachate of solidified tanning industry sludge passed the standards with sludge-to-cement ratios of 0.5:1 and 0.75:1 while the others passed the standards in all proportions. Addition of sludges into the matrices decreased strength of the matrices and increased concentrations of heavy metals in the leachates. There was no relationship between compressive strength and sludge density. However, the compressive strength of matrices increased with higher sludge density when industry categories, types and quantity of organic and inorganic substances were classified.

Department Environmental Engineering Student's signature Paht

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature

Academic Year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งการช่วยตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดในการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับสำหรับข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณโรงงานฟอกหนัง ประกอบรถยนต์ ผลิตแบตเตอรี่ รีดเหล็ก ผลิตจอภาพ และผลิตสารกึ่งตัวนำ ย้อมผ้า และโรงบำบัดกลางนิคมอุตสาหกรรมที่อนุเคราะห์วัสดุสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการกำจัดขยะ และห้องปฏิบัติการคอนกรีตในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งคุณประพันธ์ ชื่นพระทัย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (ศูนย์เครือข่ายคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ ที่ได้ช่วยเหลืองานทดลองวิจัยและวิทยานิพนธ์ตลอดจนพี่น้องทุกคนในห้องปฏิบัติการที่คอยให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ทุนในการทำวิจัยบางส่วน ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือรวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญรูป		ฎ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2	ทบทวนเอกสาร	4
	2.1 คำนิยาม	4
	2.2 การหล่อเป็นก้อนแข็ง	5
	2.3 การทำของเสียอุตสาหกรรมเป็นก้อนแข็ง	5
	2.4 กลไกการจับยึดโลหะหนัก	6
	2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำก้อนแข็ง	8
	2.6 ซีเมนต์	9
	2.7 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำเป็นก้อนแข็ง	11
	2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	24
	3.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย	25
	3.1.1 วัตถุดิบ	25
	3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	25
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
	3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตะกอนโลหะหนัก	26
	3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการย่อยด้วยกรดไนตริก	26
	3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการหล่อก้อนแข็งและทดสอบกำลังรับแรงอัด	26
	3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.5 เครื่องมือวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด..... 27

3.3 การดำเนินการวิจัย..... 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล..... 32

4.1 ลักษณะสมบัติของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสีย..... 32

4.1.1 สมบัติทางด้านกายภาพ..... 32

4.1.2 สมบัติทางด้านเคมี..... 33

4.2 ผลการศึกษาการหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท..... 36

4.2.1 กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนปริมาณน้ำในตะกอนต่างๆ..... 36

4.3 ผลการศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัดและการทดสอบการสกัดสารสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท..... 43

4.3.1 กำลังรับแรงอัด..... 43

4.3.2 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง..... 50

4.3.3 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัด..... 52

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 63

บทที่ 6 ข้อเสนอแนะในการวิจัย..... 65

รายการอ้างอิง..... 66

ภาคผนวก..... 69

ภาคผนวก ก ภาพถ่ายตัวอย่างตะกอนและก้อนแข็ง..... 70

ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 76

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง..... 80

ภาคผนวก ง วิธีการทดลอง..... 95

ภาคผนวก จ ตัวอย่างการเปลี่ยนหน่วยปริมาณโลหะหนักในตะกอน..... 107

ภาคผนวก ฉ ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 109

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 122

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 มาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดสำหรับของเสียอันตรายที่ผ่านการบำบัดแล้ว..... 12

2.2 วิธีการทำลายฤทธิ์ของสิ่งปฏิกูลประเภทต่างๆ..... 13

4.1 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ..... 33

4.2ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม..... 34

4.3 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้วิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)..... 35

4.4 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์..... 36

4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมของตะกอนแต่ละประเภท..... 43

4.6 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ 44

4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ..... 49

4.8 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์..... 50

4.9 ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 53

4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 53

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 54

4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 54

4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 55

4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 55

4.15 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 56

4.16 การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนแข็งที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ..... 61

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ค่าพีเอชและความเป็นด่าง จากการทดสอบการชะละลาย..... 18

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายกับค่าความเป็นด่างและซิลิกอน จากการทดสอบการชะละลาย..... 19

2.3 pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมียมโครเมียมและตะกั่ว..... 19

3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลองที่ 1..... 30

3.2 ลำดับขั้นตอนการทดลองที่ 2..... 31

3.3 ลำดับขั้นตอนการทดลองที่ 3..... 31

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมฟอกหนัง..... 37

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์..... 37

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่..... 38

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมรีดเหล็ก..... 38

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ..... 39

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ..... 39

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนัง..... 44

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์..... 45

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่..... 45

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมรีดเหล็ก..... 46

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ..... 46

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ..... 47

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและค่าความหนาแน่นของตะกอนทั้งหกประเภท ในการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท..... 47

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและค่าความหนาแน่นของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ ผลิตแบตเตอรี่ และฟอกหนัง ในการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท..... 49

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อนแข็งที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างทั้งหกประเภท..... 51

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อนแข็งที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและความหนาแน่นของตะกอน 51

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์..... 56

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 57

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 57

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ อัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรม ผลิตแบตเตอรี่ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 58

4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ อัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตรีดเหล็ก ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 58

4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ อัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 59

4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ อัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรม ผลิตสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง..... 59