

195

การทำเสถียรตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแร่สังกะสี



นาย ศักดา วรพิพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-883-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16456241

STABILIZATION OF WASTEWATER SLUDGE FROM A ZINC ROASTER PLANT

MR. SAKDA VORAPIPAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkon University

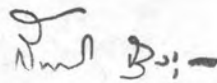
1995

ISBN 974-632-883-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การทำเสถียรตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแร่สังกะสี  
โดย                              นายศักดิ์ดา วรพิพัฒน์  
ภาควิชา                            วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      อาจารย์ บุญยง ไฉ่ห้วงศ์วัฒน์

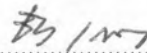


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ กงสุวรรณ)

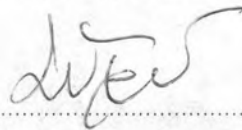
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



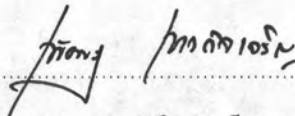
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)




.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ บุญยง ไฉ่ห้วงศ์วัฒน์)



.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ)



.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์)

ศักดา วรพิพัฒน์ : การทำเสถียรตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแร่สังกะสี  
(STABILIZATION OF WASTEWATER SLUDGE FROM A ZINC ROASTER PLANT)  
อ.ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อ.ที่ปรึกษาร่วม: อาจารย์ บุญยง  
โล่ห้วงศิวัดน, 172 หน้า. ISBN 974-632-883-2

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาถึงการทำลายฤทธิ์ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานแร่สังกะสี โดยกระบวนการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนด้วยวัสดุประสานประเภทซีเมนต์ ซึ่งได้แก่ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ และปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนที่ผ่านการทำลายฤทธิ์ ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นน้ำวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด และทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ อาร์เซนิก แคลเดียม โครเมียม โปรท ตะกั่ว และสังกะสี เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอน ทั้งนี้การสกัดสารใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม และพิจารณาเลือกวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ตะกอนได้ดีที่สุดในอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและประหยัด

จากการทดสอบสรุปได้ว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ตะกอนได้ดีกว่าวัสดุประสานอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษา ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้งสามารถทำให้ตะกอนแข็งตัวมีคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิภูลที่ผ่านการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนของกระทรวงอุตสาหกรรม ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดต่ำกว่ามาตรฐานสารพิษของกระทรวงอุตสาหกรรม สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบได้ ในการกำจัดตะกอนนี้ มีค่าใช้จ่ายเป็นค่าวัสดุประสาน ค่าขนส่ง ค่าฝังกลบ รวมประมาณ 775 บาทต่อตะกอนน้ำเสีย 1 ตัน หรือประมาณ 15 บาทต่อปริมาณสังกะสีออกไซด์ที่ผลิตได้ 1 ตัน



ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสาขาภิบาล .....  
ปีการศึกษา ..... 2538 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... *ดร. อนิ* .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... *Orn Gunn* .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... *Witai* .....



##C517609 : MAJOR SANITARY ENGINEERING  
KEY WORD: STABILIZATION/ SOLIDIFICATION/ WASTEWATER SLUDGE  
SAKDA VORAPIPAT : STABILIZATION OF WASTEWATER SLUDGE  
FROM A ZINC ROASTER PLANT.. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.  
WONGPUN LIMPASENI, MR. BOONYONG LOHWONGWATTANA. 172 pp.  
ISBN 974-632-883-2

A laboratory study was conducted to investigate the stabilization by solidification process of wastewater sludge generated from zinc ore roaster plant by using cementitious binders namely, lime, silica cement, portland cement and the mixture of silica cement and lignite fly ash. Physical properties including compressive strength, density, permeability and leachability of heavy metals such as As, Cd, Cr, Hg, Pb and Zn were studied to assess the effectiveness of the binders in retaining the hazardous constituents within their matrix. Leachability was determined by the Extraction Test procedure of the Ministry of Industry. And the most economical mixture of binders was also considered.

From the study, it is concluded that portland cement type 1 at a mixing ratio of 40% to the dry weight sludge, is the proper binder. It has higher efficiency in stabilization and solidification than other binders. And the stabilized product met the physical properties criteria promulgated by the Ministry of Industry. The concentrations of heavy metals in the leachate were lower than the standards. The stabilized product is suitable for final disposal in a secured landfill. The estimation cost for binder, transportation, and landfilling is about 775 baht per one metric ton of raw wastewater sludge or 15 baht per one metric ton of Zinc Oxide (ZnO) produced.

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมสุขาภิบาล  
ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิติ..... *ดร. วป*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Wongpun Limpaseni*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *Boonyong Lohwongwattana*



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ อ.บุญยง โฉมวงศ์วัฒน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้ความเมตตาอนุเคราะห์ ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ด้านวิชาการต่าง ๆ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์เทคโนโลยีอนุภาคไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และแผนกปฐพีวิทยาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทผาแดงอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ที่ได้ทำการจัดเตรียมตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ให้โอกาสผู้วิจัยลาเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาโท

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา อาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนให้การสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ



๗

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....  | ฉ    |
| สารบัญ .....   | ช    |
| สารบัญตาราง .....  | ญ    |
| สารบัญรูป .....  | ฐ    |
| บทที่ 1 บทนำ .....   | 1    |
| วัตถุประสงค์ .....   | 2    |
| ขอบเขตการวิจัย .....   | 2    |
| บทที่ 2 กระบวนการอย่างเร่งรังกะสี .....  | 4    |
| บทที่ 3 การทบทวนเอกสาร .....   | 10   |
| ของเสียที่เป็นอันตราย .....  | 10   |
| โลหะหนัก .....   | 11   |
| วิธีการบำบัดและกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย .....  | 14   |
| การทำลายฤทธิ์ของเสียที่เป็นอันตรายโดยการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน .....                           | 15   |
| วัตถุประสงค์ของการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน .....   | 22   |
| การทำให้แข็งตัวเป็นก้อนโดยการใช้วัสดุซีเมนต์ .....   | 23   |
| ปูนซีเมนต์ .....   | 26   |
| เก้าอี้ลอยลิกไนต์ .....  | 28   |
| ปูนขาว .....   | 29   |
| ปฏิกิริยาไฮเดรชัน .....  | 29   |
| การตรวจสอบคุณสมบัติของของเสียอันตรายที่ผ่านการ<br>ทำลายฤทธิ์โดยการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน ..... | 31   |

## สารบัญ



หน้า

|         |  |    |
|---------|--|----|
|         | เกณฑ์มาตรฐานและคุณสมบัติของของเสียที่ผ่านการทำให้<br>แข็งตัวเป็นก้อน .....                         | 35 |
|         | การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย .....   | 39 |
| บทที่ 4 | แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย .....  | 47 |
|         | วัสดุที่ใช้ในการวิจัย .....  | 47 |
|         | การดำเนินการวิจัย .....  | 49 |
|         | การทดสอบเบื้องต้น .....  | 51 |
|         | การทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่สุด .....  | 52 |
|         | การทดสอบการชะละลายในระยะยาว .....  | 54 |
|         | การตรวจสอบคุณสมบัติของตะกอนที่ผสมกับวัสดุประสาน<br>เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ ..... | 57 |
|         | การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนน้ำเสีย .....   | 58 |
|         | การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน .....   | 60 |
| บทที่ 5 | ผลการทดลองและวิจารณ์ .....   | 62 |
|         | คุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ .....   | 62 |
|         | ผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 .....  | 67 |
|         | สรุปผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 .....  | 77 |
|         | ผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 2 .....  | 79 |
|         | สรุปผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 2 .....  | 81 |
|         | ผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 3 .....  | 86 |
|         | สรุปผลการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 3 .....  | 89 |
|         | ผลการทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่สุด .....  | 92 |
|         | สรุปผลการทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่สุด .....  | 98 |



## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| ผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาว .....                                   | 101  |
| สรุปผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาว .....                               | 115  |
| การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนน้ำเสีย<br>โรงอย่างแร่สังกะสี ..... | 118  |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง .....  | 121  |
| บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม .....                           | 123  |
| รายการอ้างอิง .....   | 124  |
| ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง .....  | 128  |
| ภาคผนวก ข การเตรียมตะกอนน้ำเสีย .....                                 | 144  |
| ภาคผนวก ค ภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและตัวอย่างตะกอน .....     | 147  |
| ภาคผนวก ง ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) .....        | 156  |
| ประวัติผู้เขียน .....   | 172  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.1 รายละเอียดของกระบวนการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนตามวิธีการต่าง ๆ .....                                    | 19   |
| 3.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนในแต่ละวิธีการ .....                            | 20   |
| 3.3 กากของเสียที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อน .....                                      | 25   |
| 3.4 ออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ และสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ .....                              | 28   |
| 3.5 เปรียบเทียบวิธีการสกัดสาร .....   | 34   |
| 3.6 คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัดโดยการ<br>ทำให้แข็งตัวเป็นก้อน .....               | 36   |
| 3.7 มาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดสำหรับของเสีย<br>ที่ผ่านการบำบัดแล้ว .....                    | 38   |
| 4.1 สัดส่วนผสมของวัสดุประสานและวัสดุปรุงแต่งที่ใช้การทดสอบเบื้องต้น .....                               | 53   |
| 4.2 การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างจากการทดสอบทั้ง 3 ขั้นตอน .....   | 61   |
| 5.1 องค์ประกอบของตะกอนในรูปของออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ .....  | 62   |
| 5.2 องค์ประกอบของตะกอนในรูปของธาตุต่าง ๆ .....  | 63   |
| 5.3 ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตะกอนและโลหะละลายในน้ำสกัดของกะตอนดิบ .....                                    | 64   |
| 5.4 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 .....                                     | 71   |
| 5.5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการทำละลายฤทธิ์<br>จากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 ..... | 72   |
| 5.6 ความหนาแน่นของตัวอย่างจากการทดสอบเบื้องต้นชุดที่ 1 .....  | 75   |

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.7  | เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ป่ม<br>มาตรฐานกับก้อนตัวอย่างแห้ง .....          | 78  |
| 5.8  | กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 2 .....  | 79  |
| 5.9  | ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 2 .....                                       | 83  |
| 5.10 | ความหนาแน่นของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 2 .....   | 84  |
| 5.11 | กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 3 .....  | 87  |
| 5.12 | ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 3 .....                                       | 88  |
| 5.13 | ความหนาแน่นของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 3 .....   | 90  |
| 5.14 | กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจากการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด .....                                     | 94  |
| 5.15 | ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่าง จากการทดสอบ<br>หาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด .....                       | 96  |
| 5.16 | ความหนาแน่นของตัวอย่างจากการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด .....  | 100 |
| 5.17 | ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น<br>อัตราค่าความขีมน้ำของตัวอย่างที่อายุต่าง ๆ .....     | 103 |
| 5.18 | ปริมาณโลหะหนักในเนื้อตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ<br>การชะละลายในระยะยาว .....                                 | 105 |
| 5.19 | ปริมาณโลหะหนักในน้ำที่ขีมน้ำผ่านตะกอนที่ผ่านการทำลายฤทธิ์<br>จากการทดสอบชั้น Long Term Leaching Test ..... | 106 |
| 5.20 | ค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนน้ำเสียโรงงานแร่สังกะสี .....   | 120 |

## สารบัญรูป

| รูปที่!  | หน้า |
|--|------|
| 2.1 กระบวนการย่างแร่สังกะสี .....  | 6    |
| 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงย่างแร่สังกะสี .....  | 9    |
| 3.1 กระบวนการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน .....  | 17   |
| 4.1 ผังการศึกษาวิจัยการทำลายฤทธิ์ตะกอนน้ำเสียจากโรงย่างแร่สังกะสี .....  | 50   |
| 4.2 ขั้นตอนการทดสอบการชะละลายในระยะยาว .....   | 55   |
| 4.3 การทดสอบการชะละลายในระยะยาว .....  | 56   |
| 4.4 การทดสอบหาค่าความชื้นน้ำ .....   | 59   |
| 5.1 การกระจายขนาดคละของตะกอนน้ำเสีย .....  | 65   |
| 5.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 2 .....  | 80   |
| 5.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด pH ของน้ำสกัด ความหนาแน่น<br>กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง จากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 2 .....            | 85   |
| 5.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด pH ของน้ำสกัด ความหนาแน่น<br>กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง จากการทดสอบเบี่ยงตันชุดที่ 3 .....            | 91   |
| 5.5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด pH ของน้ำสกัด ความหนาแน่น<br>กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง จากการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ..... | 97   |
| 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ปริมาณโลหะหนักที่<br>ถูกชะละลายเทียบกับเวลา .....  | 107  |
| 5.7 X-ray diffraction diagram ของตะกอนดิบ .....  | 110  |
| 5.8 X-ray diffraction diagram ตะกอนผสมซีเมนต์อายุ 1 วัน .....  | 111  |



## สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.9  | X-ray diffraction diagram ตะกอนผสมซีเมนต์อายุ 7 วัน .....  | 112 |
| 5.10 | X-ray diffraction diagram ตะกอนผสมซีเมนต์อายุ 14 วัน ..... | 113 |
| 5.11 | X-ray diffraction diagram ตะกอนผสมซีเมนต์อายุ 28 วัน ..... | 114 |
| 5.12 | ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของตะกอนน้ำเสีย .....           | 116 |
| 5.13 | ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ของตะกอนน้ำเสียผสมซีเมนต์ ..... | 117 |