

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำเป็นก้อน
ด้วยปูนซีเมนต์



นางสาวรัชพร สิงขโรทัย
นางสาวลักษณา โรจน์พิบูลสถิตย์
นายสมศักดิ์ ทองสัมฤทธิ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 40055
วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544

.b.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDIES ON STABILIZATION OF HEAVY METAL BY USING PORTLAND
CEMENT SOLIDIFICATION PROCESS



A special Project Submitted in Partial Fulfillment of
the Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Major of Environmental Resource Chemistry
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut ' s Institute of Technology Ladkrabang
2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำเป็นก้อน
ด้วยปูนซีเมนต์

โดย

นางสาวรัชพร สิงขโรทัย

นางสาวลักษณา โรจน์พิบูลสถิตย์

นายสมศักดิ์ ทองสัมฤทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์

ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรคณะวิทยาศาสตร์บัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการสอบโครงการ



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

ประธานกรรมการ



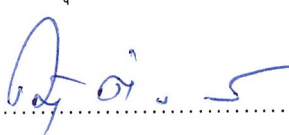
(ผศ.นงนุช เกตรานูวัฒน์)

กรรมการ



(อาจารย์ยุพา ตันทวี)

กรรมการ



(ผศ.คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์		
นักศึกษา	นางสาวรัชพร	สิงขโรทัย	
	นางสาวลักษณา	โรจน์พิบูลสถิตย์	
	นายสมศักดิ์	ทองสัมฤทธิ์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. คณิตา	ตั้งคณานุรักษ์	
ภาควิชา	เคมี		
สาขา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม		
ปีการศึกษา	2543		

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก 4 ชนิดคือ แมงกานีส, คอปเปอร์, ตะกั่ว, โครเมียม และโลหะหนักผสมทั้ง 4 ชนิดด้วยกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยซีเมนต์ แล้วศึกษาสมบัติ ทางกายภาพคือทดสอบกำลังรับแรงอัดและสมบัติทางเคมีคือทดสอบการชะละลาย

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ ศึกษาสัดส่วนผสมโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมโดยกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งแปรค่าสัดส่วน 0.00, 0.05, 0.1 และ 0.2 ใช้ระยะเวลาบ่มตัว 7 วันนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่า ที่สัดส่วน 0.00 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 290 กก./ตร.ซม. และเมื่อพิจารณาที่สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05, 0.1 และ 0.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของตะกั่วในเตรทมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ คอปเปอร์ในเตรท, โลหะหนักผสม, แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรทตามลำดับแต่ในสัดส่วนผสม 0.2 โลหะหนักในเตรทผสมหลายชนิด มีค่ามากกว่าคอปเปอร์ในเตรทซึ่งแนวโน้มของค่ากำลังรับแรงอัดจะมากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จากนั้นนำไปทดสอบการชะละลายพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.00, 0.05, 0.1 และ 0.2 จะมีแนวโน้มค่าความเข้มข้นของโลหะหนักจะเพิ่มมากขึ้นโดยในโลหะหนักตะกั่วมีความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยที่สุดตามด้วยคอปเปอร์, แมงกานีสและโครเมียมมากที่สุดและในโลหะหนักผสมก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันคือโลหะหนักตะกั่วน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนของค่ากำลังรับแรงอัดคือ 14 กก./ตร.ซม. และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดคือ 5 มก./ล. พบว่าที่สัดส่วน 0.1 ค่ากำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักไม่ต่ำและไม่สูงจนเกินไปอยู่ในช่วงที่เหมาะสมจึงพิจารณาเลือกสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.1 ในการทดลองขั้นต่อไป

ในการทดลองตอนที่ 2 โดยศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัวที่ 7, 14, 21 และ 28 วันตามลำดับพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัวที่เพิ่มขึ้น และค่าความเข้มข้นของโลหะหนักและโลหะหนักผสมมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาผลการวิจัยทั้งหมดพบว่า การเพิ่มสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทลงในวัสดุประสานจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าการชะละลายเพิ่มขึ้นโดยสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทที่เหมาะสมคือ 0.1 และพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาบ่มตัวจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นส่วนค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจะลดลงค่อนข้างคงที่เมื่อระยะเวลาบ่มตัวมากกว่า 14 วันขึ้นไปแต่ระยะเวลาบ่มตัวที่ดีที่สุดคือที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title **Studies on Stabilization of Heavy Metal by Using
Portland Cement Solidification Process**

Name Ms. Ratchaporn Singkarotai
 Ms. Luksana Rojpibulstite
 Mr. Somsak Thongsamrit

Advisor Ass. Prof. Kanita Tungkananuruk

Department Chemistry

Major Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2000

Abstract

This project investigate the stabilization of heavy metal are Manganese, Copper, Lead, Chromium and mixture of four heavy metal. The study used heavy metal nitrate. Test quality of physical is compressive property test and quality of chemical is leachate property test

This experiment divided for two part are study a heavy metal in cement show the ratio of nitrate heavy metal by using portland cement solidification process with the ratio are 0.00, 0.05 0.1 and 0.2 by 7 days of curing times. The compressive property test and density at ratio 0.00 is maximum value is 290 kg./cm². And lower density is 2.09 ton/m³ while considered the ratio of nitrate in cement 0.05, 0.1 and 0.2 the compressive property value and density value of lead nitrate are maximum, copper nitrate, mixture of heavy metal nitrate, manganese nitrate and chromium nitrate, respectively. the tendency of compressive value is decrease and density value is increase for extend ratio except the ratio of 0.2 compressive property value of mixture heavy metal nitrate highest than copper nitrate and the ratio of 0.05 density value of mixture heavy metal highest than manganese nitrate. Afterwards the result of leachate property test show that while increase ratio of 0.00, 0.05, 0.1 and 0.2 the tendency concentration of heavy metal to be extend. In lead nitrate is lower concentration, copper, manganese, chromium and mixture heavy metal are the same tendency. While compare with standard of department industry works show the compressive value is 14kg./cm². And concentration of heavy metal is 5mg./l at the ratio 0.1 the compressive and concentration value is appropriate, so choose the ratio of nitrate heavy metal at 0.1 for next experiment.

ค

In part two studies curing times at 7, 14, 21, 28 respectively show compressive value is increase while extend curing times and concentration of heavy metal are decrease. When consider this experiment show that while increase ratio in portland cement the compressive value and leachate value are extend. The ratio of 0.1 is appropriate and while increase curing times the compressive value is extend and concentration of heavy metal is decrease. The best appropriate curing times is 28 days



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ทางผู้วิจัยโครงการพิเศษจึงใคร่ขอ
ขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ยุพา ตันทวี และอาจารย์ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำ
แนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระ
บัง ที่กรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และเงินทุนในการทำโครงการพิเศษ

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน อีกทั้งบิดา
มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุกๆ ด้านตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีผลการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วารสารปริทัศน์	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย	5
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	8
2.1 โลหะหนัก	8
2.2 ปูนซีเมนต์	10
2.2.1 สารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	11
2.2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
2.2.3 ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ	15
2.3 ของเสียอันตราย	18
2.4 การกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน	36
2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	45
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	53
3.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย	53
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	60
3.3 การดำเนินการวิจัย	61
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของโลหะหนักโดยกระบวนการ ทำให้เป็นก้อนซีเมนต์	66
4.2 การศึกษาระยะเวลาบ่มตัวของโลหะหนักในปูนซีเมนต์ที่มี ผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของโลหะหนัก ที่ผ่านการทำเป็นก้อน	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผลการวิจัย	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	๙



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตินี้

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก	8
2.2 แสดงชื่อสารประกอบสูตรทางเคมีและชื่อย่อของสารประกอบในปูนซีเมนต์	11
2.3 ลักษณะของสารประกอบที่เกิดในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	12
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา	13
2.5 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา	15
2.6 ประเภทและปริมาณของเสียอันตราย	21
2.7 ปฏิกริยาออกซิเดชัน และปฏิกริยารีดักชันในการบำบัดของเสีย	28
2.8 การบำบัดสารอินทรีย์เคมีด้วยการไฮโดรไลซิส	30
2.9 ความสามารถในการละลายโลหะหนักซัลไฟด์เทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์	34
2.10 เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ	35
2.11 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน	37
2.12 แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทำให้เป็นก้อน	38
2.13 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้ของกระบวนการต่างๆที่ใช้กับของเสียที่แตกต่างกัน	40
2.14 สมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe	49
2.15 วิธีการทำลายฤทธิ์ของสิ่งปฏิภูลประเภทต่างๆ	51
4.1 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ที่มีสัดส่วนผสมของโลหะหนัก	67
4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แท่งที่มีสัดส่วนผสมของโลหะหนัก	69
4.3 แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดที่สัดส่วนผสมของโลหะหนัก	71
4.4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์แท่งที่ผสมโลหะหนักในเตรทที่ระยะเวลา	80
4.5 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แท่งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ	82
4.6 แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์	17
2.2 การจัดการของเสียอันตราย	22
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรดหรือด่าง	25
2.4 ความสามารถในการละลายโลหะหนักที่ค่า pH ต่างๆ	26
2.5 กระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า	29
2.6 ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์	32
2.7 ความสามารถในการละลายของโลหะซิลไฟด์	33
2.8 กราฟแสดงค่า pH และค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย	42
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลาย	44
2.10 กราฟแสดง pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม, โครเมียมและตะกั่ว	44
2.11 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัด	46
3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	53
3.2 ทราายและปูนที่ผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช	54
3.3 เครื่องชั่ง	55
3.4 แบบหล่อ	55
3.5 เครื่องผสมปูน	55
3.6 เหล็กกระทุ้ง	57
3.7 เกรียง	57
3.8 เครื่องทดสอบแรงอัด	58
3.9 ตะแกรงร่อน	58
3.10 น้ำสกัดที่ได้หลังจากผ่านการชะละลายแล้ว	59
3.12 ตัวอย่างที่หล่อเรียบร้อยแล้ว	62
3.13 อัตราส่วนของวัสดุซีเมนต์ และขั้นตอนการหล่อ	63
3.14 การทดสอบการชะละลายโลหะหนัก	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวไปสู่ประเทศอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และ อุตสาหกรรม ผลของการพัฒนาทั้งหลายนี้ทำให้เกิดปัญหามลพิษต่างๆต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษซึ่งเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม จากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นนั้นวัตถุมีพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งสิ่งของที่ใช้ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์นั้นส่วนใหญ่จะมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ และจะสลายตัวได้ยากในสภาพธรรมชาติจึงมีการสะสมเพิ่มในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ สารพิษเหล่านี้ได้มีการตรวจพบในปริมาณที่แตกต่างกันไป ถึงแม้ว่าปริมาณที่ตรวจพบส่วนใหญ่จะยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่การสะสมของสารพิษเหล่านี้ในชั้นดินตะกอน ในแหล่งน้ำและในอากาศจะก่อให้เกิดปัญหาร้ายแรงในอนาคต

ปัญหาโลหะหนักมีโลหะมีแต่ในอากาศ น้ำ ดิน เท่านั้นแม้แต่ในอาหารที่เราบริโภค ภาชนะที่ใช้บรรจุ ก็พบว่าปริมาณของโลหะหนักค่อนข้างสูง อันตรายของโลหะหนักจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์ โดยมักจะเกี่ยวกับระบบประสาท ทางเดินอาหาร กล้ามเนื้อ และอื่นๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทบทวนสถานการณ์ของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารพิษนี้ เช่น รัฐบาลต้องหามาตรการเพื่อควบคุม และป้องกันอันตรายจากโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม มีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องในรายละเอียดของโลหะหนักแต่ละชนิด วางมาตรฐานหรือปรับปรุงมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยเฉพาะน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักผสมอยู่ และ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของโลหะหนักในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ฉะนั้นจึงควรเร่งหาหนทางในการบำบัดของเสียเสียอันตรายเหล่านี้ให้หลุดรอดออกมาสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

โดยอาศัยหลักเกณฑ์ และวิธีการทำลายฤทธิ์ การกำจัดทิ้ง หรือการฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 6 (พ.ศ. 2540) การบำบัดของเสียเสียอันตรายมีหลายวิธีทั้งทางด้านเคมีและด้านกายภาพ ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกการบำบัดโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification process) โดยทำให้แข็งด้วยสารประสาน (cement based solidification) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้หนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถปรับสภาพหรือคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลและวัสดุไม่ใช้แล้ว นำมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Reuse/Recycle) ได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้การทำลายฤทธิ์ดังกล่าวยังมีประโยชน์ในด้านการขนส่งและการลดพื้นที่ผิวของเสียอีกด้วย

สำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์โดยทำการศึกษาผลของสัดส่วนโลหะหนักในเตรตแต่ละชนิด (Cr, Mn, Cu, Pb) โดยแปรค่าสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรตต่อวัสดุประสานและระยะเวลาบ่มตัว (Curing time) เพื่อให้ได้ของแข็งที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบจากกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และศึกษาความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability) ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนเพื่อเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วารสารปริทัศน์

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดของเสีย โดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์เป็นดังนี้

Poon, et al (1985) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับกลไกการยึดจับของโลหะหนัก 2 ชนิด คือ สังกะสีและปรอท ซึ่งทำการทดลองโดยทดสอบการชะละลาย, การส่องด้วย Scanning electron microscopy (SEM) , การวิเคราะห์ด้วย X - ray diffraction (XRD) , และการทดสอบหาการพูน (POROSIMETRY) โดยเตรียมการทดสอบด้วยการเตรียมสารละลายที่ละชนิด คือ สังกะสี (ที่มีความเข้มข้น 2% และ 6%) และปรอท (ที่มีความเข้มข้นเดียวกัน) เพื่อศึกษาการจับยึดในโครงสร้างของซีเมนต์ของโลหะหนักทั้งสองชนิด นอกจากนี้มีการเติมสารละลาย Na_2SiO_3 4% เป็นสารเคมีผสมเพิ่มให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสาร CHEMFIX ซึ่งใช้ในการทำให้เป็นก้อนในเชิงพาณิชย์ที่พบได้ทั่วไป จากนั้นนำไปบ่มในห้องที่มีความชื้นสูงเป็นเวลา 28 วัน ต่อมานำไปย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆแล้วเติมกรดอะซิติกเพื่อทดสอบการชะละลายของโลหะหนักทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งสามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

กลไกการยึดจับของสังกะสีในโครงสร้างซีเมนต์ควรเป็นแบบ CHEMFIX STABILIZATION จากการทดสอบการชะละลายพบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีที่ออกมาในน้ำชะละลายมีอยู่น้อยตลอดการทดลอง จากการวิเคราะห์ด้วย SEM และ XRD ไม่พบว่ามีผลึกของ ZINE SILICATE (ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันของ Zn^{2+} และ SiO_3^{2-}) และ CALCIUM ZINCATE (ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันของ Zn^{2+} และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์) แต่การที่ผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์หายไปในตัวอย่างที่มีสังกะสี ก่อนนำไปทดสอบการชะละลาย แสดงว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ อาจมีบทบาทสำคัญต่อการจับยึดกันของสังกะสีในโครงสร้างซีเมนต์ นอกจากนี้จากผลการทดสอบความพูน ของตัวอย่างนี้แสดงว่า ความพูนและความซึมน้ำนั้นไม่มีผลต่อการจับยึดของสังกะสี

ส่วนกลไกการจับยึดของปรอท เป็นแบบ PHYSICAL ENTRAPMENT จากผลการทดสอบการชะละลายของปรอทพบว่ามีความเข้มข้นของปรอทหลุดมาตลอดการทดลอง แต่จากการทดสอบความพูนของตัวอย่างพบว่ามีความพูนใกล้เคียงกับซีเมนต์ที่มีโซเดียมซิลิเกต ซึ่งแสดงว่าความพูนและความซึมน้ำอาจมีผลต่อการจับยึดของปรอท นอกจากนี้จากผลการทดสอบของ SEM และ XRD พบว่าปรอทไม่ได้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์หรือโซเดียมซิลิเกตเลย แสดงว่าผลึกของปรอทอาจติดอยู่อย่างหลวมๆกับโครงสร้างของซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อมีการชะละลายก่อตัวอย่างจึงมีความเข้มข้นของปรอทออกมามากในทันที จึงเป็นไปได้ว่าถ้ามีการเติมสารผสมที่บางชนิดลงไป เช่น เถ้าลอย หรือ ซิลิกาฟูมซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วได้ AMORPHOUS CALCIUM - SILICATE - HYDRATE เพื่อไปลดความพูนของซีเมนต์ลง

SHIVELY ET AL. (1986) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนัก โดยการทำให้เป็นก้อน และทดสอบการชะละลายโลหะหนักและกำลังรับแรงอัด โดยทดสอบโลหะหนัก 4 ชนิดคือ อารีซินิก, แคดเมียม, โครเมียม, และตะกั่ว นอกจากนี้มีการทดสอบการชะละลายน้ำ 15 ครั้ง ในโลหะหนักแต่ละชนิด และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสมกัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการทดสอบความเข้มข้นของน้ำสกัดจากของเสียทั้ง 4 ชนิด และของเสียผสมซึ่งผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์มาแล้ว พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA. ทังกรณีที่ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ (WATER / CEMENT RATIO, W/C) เท่ากับ 0.5 และ 1.0 โดยค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำจาก 0.5 เป็น 1.0 การละลายของโลหะหนักออกจากของเสียแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก เมื่อเริ่มสกัดโลหะหนักแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในซีเมนต์ทำหน้าที่ทำลายฤทธิ์ของกรดที่ใช้สกัดให้เป็นกลางซึ่งทำให้ค่า pH มีมากกว่า 10 และมีการละลายของสารประกอบในซีเมนต์เพียงเล็กน้อย ในช่วงที่สอง จะมีการละลายของโลหะหนักสูงที่สุดซึ่งค่า PH มีค่าน้อยกว่า 6 ในช่วงที่สาม เมื่อทำการสกัดต่อไปการละลายของโลหะหนักจะเริ่มน้อยลง และการละลายจากการสกัดแต่ละครั้งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโลหะหนักในของเสีย

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน พบว่าเมื่อใช้อารีซินิกและแคดเมียมมากำจัดโดยการทำให้เป็นก้อน จะทำให้กำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ลดลงทังกรณีที่ใช้ค่าอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และ 1.0 ของเสียผสมจะลดกำลังรับแรงอัดเฉพาะค่าอัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ส่วนโครเมียมและตะกั่ว นั้นจะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด

Bishop (1988) ได้ทำการศึกษากการชะละลายของโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ โดยทดสอบค่าความสามารถในการถูกชะละลาย ค่าความเป็นด่างจากก้อนของเสีย 15 ครั้ง สามารถหาค่า buffering capacity ของของเสียดังกล่าวได้ 18.3 meq/g และจากการศึกษาค่าความสามารถในการถูกชะละลายโลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เพื่อศึกษาถึงกลไกการยึดจับโลหะหนักในซีเมนต์แข็งตัว สรุปได้ว่า แคดเมียมจะอยู่ในรูปตะกอนไฮดรอกไซด์ และ แทรกตัวอยู่ตามรูพรุนหรือเกาะติดกับผนังของรูพรุนในซีเมนต์แข็งตัว ส่วนโครเมียมและตะกั่วมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ และเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิเกตเกิดเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกา

Shin และ คณะ (1988) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนผสมทรายต่อน้ำซีเมนต์ น้ำต่อน้ำซีเมนต์ ปริมาณของเสียและปริมาณตัวตกตะกอน (precipitation) พบว่า การชะละลายของโครเมียมและสังกะสีจะลดลง เมื่อลดอัตราส่วนทรายต่อน้ำซีเมนต์ น้ำต่อน้ำซีเมนต์ และเพิ่มปริมาณตัวตกตะกอน สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราส่วนทรายต่อน้ำซีเมนต์ น้ำต่อน้ำซีเมนต์ และ ปริมาณของเสียที่กำจัด แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ANALYSIS พบว่า อัตราส่วนทรายต่อน้ำซีเมนต์ จะมีผลต่อค่าความสามารถในการถูก

ชะละลายของโครเมียม สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อค่าความสามารถในการถูกชะละลาย ของสังกะสี และค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆเช่น ค่าใช้จ่าย ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโครเมียม และสังกะสีที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 PPM ของโครเมียมและสังกะสี และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์แท่งมีค่าสูงกว่า 10 กก/ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกากตะกอนแห้ง 30 กรัม ดังนี้คือ อัตราส่วนผสมทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ และปริมาตรตัวตกตะกอนเท่ากับ 1, 1.5, และ 1.075 กรัม ตามลำดับ

Chang, et al. (1989) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักด้วยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์และเถ้าจากแกลบ โดยมีการเปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้ซีเมนต์อย่างเดียว กับการใช้ซีเมนต์ผสมเถ้าจากแกลบที่มีอัตราส่วนผสมเท่ากับ 1:1 โดยใช้โลหะหนักจากการสังเคราะห์ซึ่งมีส่วนประกอบ ได้แก่โครเมียม , ทองแดง, และ ปรอท จากผลการวิจัยพบว่ากลไกการยึดจับโลหะหนักในซีเมนต์เป็นปัจจัยสำคัญในการใช้อธิบายพฤติกรรมของการชะละลาย พันธะการยึดจับโลหะหนักกับซีเมนต์ที่แตกต่างกันจะมีผลทำให้การชะละลายโลหะหนักแตกต่างกัน การชะละลายของโครเมียมในซีเมนต์ผสมเถ้าจากแกลบจะสูงกว่าในการใช้ซีเมนต์อย่างเดียวในขณะที่การชะละลายของทองแดงและปรอทในซีเมนต์อย่างเดียวสูงกว่าในซีเมนต์ผสมเถ้าจากแกลบ

ทองแดงและปรอทจะยึดจับกับซีเมนต์โดยอยู่ในรูพรุนหรือดูดติดกับผนังของรูพรุน การชะละลายของทองแดงและปรอทจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่าง จากผลการวิเคราะห์น้ำสกัดพบว่าค่าความเป็นด่างจะมีค่าสูงขึ้นตามค่าการชะละลายของทองแดงและปรอท จากการเปรียบเทียบสารที่ใช้กำจัดโลหะหนักทั้งสองวิธี พบว่าวิธีกำจัดโดยใช้ซีเมนต์อย่างเดียวจะเหมาะกับการกำจัดโครเมียม ส่วนวิธีกำจัดโดยใช้ซีเมนต์ผสมเถ้าจากแกลบเหมาะสำหรับการกำจัดทองแดงและปรอท

Cheeseman, et al. (1993) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำละลายฤทธิ์โดยการทำให้เป็นก้อนซึ่งตะกอนที่นำมาทดลองได้มาจากการทำตะกอน 3 แบบ คือ จากการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 M , สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ , และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ น้ำเสียที่นำมาทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์มีปรอท , แคดเมียม, ทองแดง, นิเกิล, ปรอท , และโครเมียม เมื่อได้ตะกอนโลหะหนักแล้ว นำมาทำให้เป็นก้อนโดยใช้สัดส่วนการผสมดังนี้คือ ใช้ตะกอนโลหะหนัก 35% , ปูนซีเมนต์ 15% , เถ้าลอย 15% , และน้ำ 35% โดยน้ำหนัก นำมาผสมกันแล้วหล่อในทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร เสร็จแล้วนำไปบ่ม 28 วัน และนำไปทดสอบการชะละลายต่อไป สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

อัตราการถูกชะละลายของโลหะหนักแปรผันไปตามชนิดของโลหะหนักและวิธีการทดสอบการชะละลาย ดังนั้นจึงยากต่อการเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ของผลการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ไฮดรอกไซด์, ซัลไฟด์, และซัลไฟด์ เป็นตัวทำเสถียรมาก่อน นอกจากนี้ยังสามารถกล่าวได้ว่าการถูกชะละลายของโลหะหนักชนิดหนึ่งๆไม่ขึ้นอยู่กับการมีอยู่ของโลหะหนักชนิดอื่นๆ ทั้งนี้พบว่าการทำให้ตะกอนซัลไฟด์เป็นก้อนเป็นวิธีทำให้อัตราการถูกชะละลายของโลหะหนัก (ยกเว้นปรอท) ออกมาต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าซัลไฟด์นี้ทำให้ของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนสามารถทนต่อการกัดได้มาก ในขณะที่ตะกอนที่ได้จากซัลไฟด์นั้นสามารถเก็บกักโลหะหนักได้ดีที่สุด ส่วนตะกอนที่มีปรอทปนอยู่ถ้าใช้ไฮดรอกไซด์หรือซัลไฟด์จะทำให้มีความสามารถในการเก็บกักต่ำ แต่ถ้าใช้ซัลไฟด์ในการทำให้เสถียรแล้วจะให้ผลดีกว่านั้น ไม่นอญูชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเตรทแต่ละชนิด และโลหะหนักในเตรทผสมโดยกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Cement Based Solidification)
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรท และโลหะหนักในเตรทผสมที่เหมาะสมในปูนซีเมนต์ ต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และ สมบัติการชะละลาย (Leaching Properties)
3. เพื่อศึกษาระยะเวลาบ่มตัวของโลหะหนักในเตรท และโลหะหนักในเตรทผสมที่เหมาะสมในปูนซีเมนต์ ต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และ สมบัติการชะละลาย (Leaching Properties)

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการทดสอบโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ โครเมียม , แมงกานีส, คอปเปอร์ และ ตะกั่ว ซึ่งจะใช้วัสดุประสาน คือ ปูนซีเมนต์ โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก ดังนี้ ;

1. สัดส่วนผสมของโลหะหนักและโลหะหนักผสมต่อวัสดุประสาน
2. ระยะเวลายบ่มตัวของก้อนซีเมนต์
3. ค่าความสามารถในการถูกชะละลายและความสามารถในการรับแรงอัดของของแข็งที่ถูกทำให้เป็นก้อนแล้ว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

1. จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความสามารถในการถูกชะละลายซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน และระยะเวลายบ่มตัว
2. จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก เพิ่มอีก 4 ชนิดซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาของเสียประเภทโลหะหนักต่อไป
3. ได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนัก
4. เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการของเสียอันตรายในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (Literature Survey)
2. ศึกษาทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย (Theoretical Framework)
3. วางแผน และเตรียมการทดลอง
4. จัดซื้อสารเคมี เตรียมอุปกรณ์ และติดต่อขอใช้ห้องปฏิบัติการ
5. ทำการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ
6. เก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง
8. สรุปผลการทดลอง
9. เขียนรายงานการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 - 92 ภายในคาบที่ 4 - 7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้า และ ความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรมากกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะหนักเหล่านี้ จะแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

โลหะหนักที่ทำการทดลอง ได้แก่ โครเมียม, แมงกานีส, ตะกั่ว และทองแดง ซึ่งอยู่ในรูปของเชิงสารประกอบเชิงซ้อนในเตรท มีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

โลหะหนัก	เลขอะตอม	น้ำหนัก โมเลกุล	ความหนาแน่น g/cm^3 (lb/in^3)	ความถ่วงจำเพาะ $\text{cal/g.}^\circ\text{C}$ (J/kg.k)	จุดเดือด ($^\circ\text{C}$)	จุดหลอมเหลว ($^\circ\text{C}$)
โครเมียม (Cr)	24	52.01	7.19 (0.260)	0.11 (460)	2665	1875
คอปเปอร์ (Cu)	29	63.54	8.96 (0.323)	0.092 (380)	2595	1083.0±0.1
แมงกานีส (Mn)	25	54.94	7.43 (0.268)	0.115 (481)	2150	1245
ตะกั่ว (Pb)	82	207.19	11.34 (0.4094)	0.0309 (481)	1725	327.425

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

➤ การสลายสารมลพิษประเภทโลหะหนัก (Transformation of metal pollutants)

โลหะบางกลุ่มมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ เช่น โซเดียมและโปแตสเซียม เป็นสารที่ช่วยควบคุมองค์ประกอบต่างๆ ในเซลล์เมมเบรน ขณะที่คอปเปอร์ แมงกานีส เป็นองค์ประกอบในเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการถ่ายเทอิเล็กตรอน แต่มีโลหะหนักบางชนิดที่มีพิษต่อจุลินทรีย์ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท โลหะเหล่านี้ย่อยสลายได้ยาก รวมทั้งจุลินทรีย์ไม่ต้องการนำไปสร้างเซลล์หรือเป็นองค์ประกอบของเซลล์ใหม่เหมือนสารประกอบคาร์บอน นอกจากนี้แล้วคาร์บอนบางส่วนสามารถระเหยสูบรรยากาศในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่จะพบโลหะในรูป Volatile หรือวิภาคแก๊สน้อยมาก ยกเว้น ปรอทและซีรีเนียม ที่มีจุลินทรีย์บางชนิดเปลี่ยนเป็นรูประเหยได้ แต่อย่างไรก็ตามโลหะเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ในสภาพแวดล้อมไม่ได้สูญหายหรือลดลงเหมือนกับคาร์บอน

ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นกับรูปของโลหะหนักที่ปรากฏ (FORM OF METAL) มากกว่าความเข้มข้น รูปของโลหะหนักทั้งหมด (TOTAL METAL CONCENTRATION) เช่น ในรูป (Hg^{2+} และ Pb^{2+}) มีความเป็นพิษสูงกว่าในรูปโลหะ (Hg^0 และ Pb^0) เช่นเดียวกันกับโลหะชนิดอื่นในรูปไอออน จะมีความเป็นพิษค่อนข้างมาก เช่น Cd, Cu, Ni, Mn เป็นต้น

➤ ผลของโลหะหนักต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์

อันตรกิริยาของโลหะหนักต่อจุลินทรีย์ค่อนข้างซับซ้อน ความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ พีเอช อุณหภูมิ ชนิดของดิน เช่น การสะสมโลหะที่ผิวดินจะมากขึ้นเมื่อ พีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนโลหะขึ้นกับพีเอช ที่ดีที่สุดคือ พีเอช 6.0 - 7.0 จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้ทนต่อความเป็นพิษของโลหะได้ ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับองค์ประกอบทางกายภาพ และชีวภาพ ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ระดับสารอาหาร การปรับตัวทางพันธุกรรมต่อการทนต่อความเป็นพิษของโลหะ ปัจจัยทางกายภาพ เช่น องค์ประกอบทาง ฟิสิกส์ - เคมี ของสิ่งแวดล้อมต่างๆ คือ พีเอช อุณหภูมิ และศักย์ออกซิเดชัน (REDOX POTENTIAL) ที่มีผลต่อการตกผลึก และการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนัก

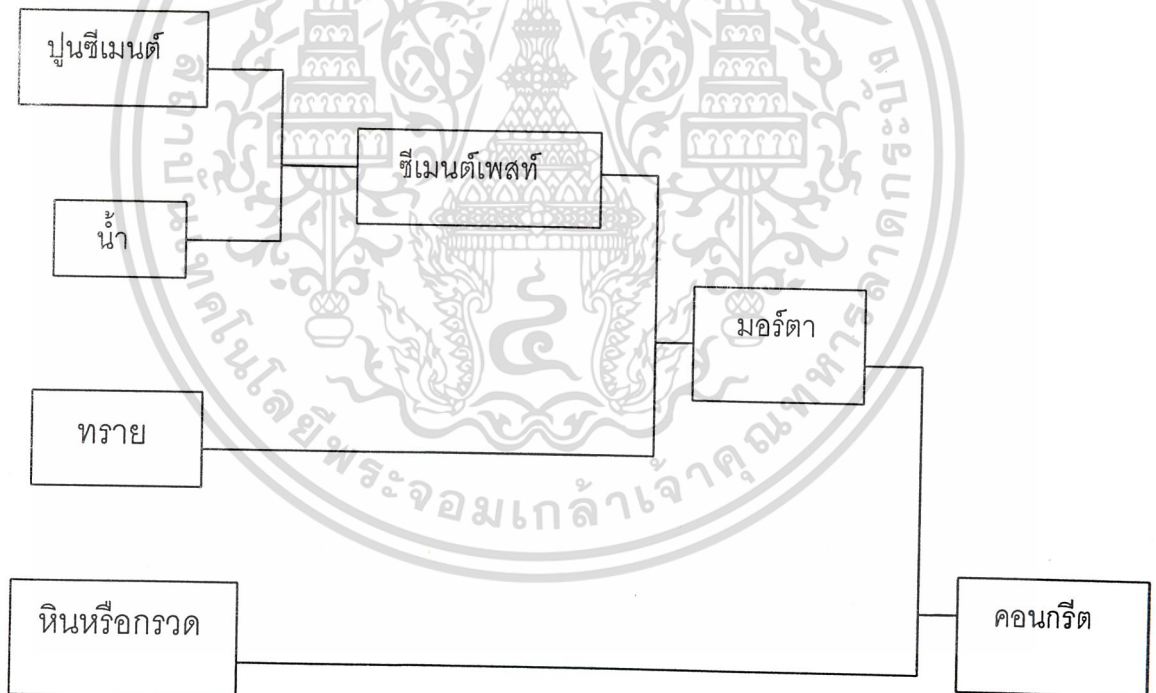
ผลของโลหะหนักต่อจุลินทรีย์โดยตรงคือ โลหะจะทำปฏิกิริยากับโปรตีน หรือกรดนิวคลีอิกที่ผนังเซลล์ เป็นลิแกนด์ โครงสร้างของลิแกนด์และขนาดของโลหะจะมีผลต่อการเชื่อม (binding) โลหะที่มีขนาดใหญ่ (Cu, Ag, Hg, Cd) จะเชื่อมต่อแบบโควาแลนต์บอนด์ ขณะที่โลหะที่มีประจุบวกมากๆ (HIGHLY ELECTROPOSITIVE; Al, Cr, Co, Fe, Zn) จะสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล ฟอสเฟต และกลุ่มอามิโน

2.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ (Cement) หมายถึง วัสดุยึดเกาะที่สามารถเกิดพันธะกับชิ้นส่วนหรือ อนุภาค ของสารที่เป็นของแข็งในสัดส่วนที่เหมาะสม (Soroka , 1979) การให้คำจำกัดความนี้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางของวัสดุหลายชนิด แต่วัตถุประสงค์ในเชิงวิศวกรรมและการก่อสร้าง ต้องการปูนซีเมนต์ที่ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต หรือปูนขาว เป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งโดยทั่วไปปูนซีเมนต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม

1. ปูนซีเมนต์ที่ไม่สามารถก่อตัว หรือแข็งตัวในน้ำ หรือไม่เสถียรในน้ำ เรียกว่า Non- Hydraulic Cement
2. ปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัว หรือแข็งตัวในน้ำ และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งซึ่งเสถียรในน้ำเรียกว่า Hydraulic Cement เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการวิจัยนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนผสมของปูนซีเมนต์ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ดังนั้นปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)



การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต

2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุที่สำคัญในทางวิศวกรรม โดยเมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หิน และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้คอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะทำให้ได้คอนกรีตที่แข็งแรงทนทาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1400 - 1500 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักได้ดังนี้

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
CaO	63.8
SiO ₂	20.2
Al ₂ O ₃	5.4
Fe ₂ O ₃	2.9
SO ₃	2.6
MgO	1.5
K ₂ O	0.5
Na ₂ O	0.3

เมื่อเผาส่วนผสมข้างต้นนี้ของปูนซีเมนต์ แล้วสารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม, ซิลิกา, อลูมินา และเหล็ก จะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต, ไดแคลเซียมซิลิเกต, ไตรแคลเซียมอลูมิเนต และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์

ตารางที่ 2.2 : แสดงชื่อสารประกอบสูตรทางเคมีและชื่อย่อของสารประกอบในปูนซีเมนต์

ชื่อสารประกอบ	สูตรทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	3CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₃ AF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุดม หงษ์ประธานพร (พ.ศ.2533) กล่าวถึง สารประกอบทั้ง 4 ชนิดซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไว้ดังนี้

- ไตรแคลเซียมซิลิเกต จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้เร็ว ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนมาก
- ไดแคลเซียมซิลิเกต จะทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้ช้าและเกิดความร้อนน้อย
- ไตรแคลเซียมอลูมิเนต จะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการก่อตัวทันทีที่ผสมกับน้ำ ให้ความร้อนสูง โดยจะทำให้กำลังรับแรงเล็กน้อยในวันแรกและจะไม่ให้กำลังเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่จะมีประโยชน์ ในการช่วยเร่งปฏิกิริยาของ ไตรแคลเซียมซิลิเกต
- เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ จะก่อตัวอย่างรวดเร็ว แต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียมอลูมิเนตเล็กน้อย ส่วนกำลังรับแรงอัดไม่เป็นที่ทราบแน่นอน

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบของ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) รวมกันประมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ CaO และ SiO_2 รวมกันมากกว่า 80 % ซึ่งสารประกอบทั้งสองนี้ เป็นสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของไตรแคลเซียมซิลิเกต และ ไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งจะทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีกำลังรับแรงสูง

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของสารประกอบที่เกิดในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (พิกพ, 2532)

คุณสมบัติที่เกิด	พฤติกรรมสัมพันธ์ของสารประกอบ			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_3AF
อัตราของปฏิกิริยา (Reaction)	ปานกลาง	ช้า	เร็ว	ช้า
ความร้อนต่อหน่วยของสารประกอบ	ปานกลาง	เล็กน้อย	มาก	เล็กน้อย
ค่าการยึดติด(Cementing) ต่อหน่วยสารประกอบ				
- ก่อน (early)	ดี	ไม่ดี	ดี	ไม่ดี
- หลังสุด (Ultimate)	ดี	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบพื้นฐานแต่ละชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการผลิตทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีลักษณะแตกต่างกันแบ่งได้ 5 ประเภทดังนี้คือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement)
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement)
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High - Early Strength Portland Cement)
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement)
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate - Resistant Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) หรือบางที่ เรียกว่า ปูนซีเมนต์มาตรฐาน (Standard Portland Cement) เนื่องจากปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐาน เพื่อจะได้ทราบถึงความแตกต่างของปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ที่เกิดขึ้นมาภายหลังเหมาะสำหรับใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องการความพิเศษ ปูนชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคเศียรเดียว ตราเพชรเม็ดเดียว ตราพญานาค 7 เศียร และตราปลาฉลาม เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 : คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิจ,2529 และ พิภพ,2523)

คุณสมบัติทางกายภาพ	มาตรฐาน	ตราเพชร *
1. ความละเอียด (Fineness) พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface) คร.ชม./ก. (เมื่อกวรีหาคสอบได้)		
1.1 ทดสอบด้วยเทอร์บูริมิเตอร์ (Turbidimeter Test, Wagner)		
- ค่าเฉลี่ยค่าสุด คร.ชม./ก.	1,600	3,000
- ค่าเฉลี่ยค่าสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง คร.ชม./ก.	1,500	2,800
1.2 ทดสอบด้วยแอร์เพอมีอะบิลิตี (Air Permeability Test, Blaine)		
- ค่าเฉลี่ยค่าสุด คร.ชม./ก.	2,800	-
- ค่าเฉลี่ยค่าสุดสำหรับตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่ง คร.ชม./ก.	2,600	-
2. ความอยู่ตัว (Soundness)		
การขยายตัว โคโยวีหรือออโตคลอว์ (Autoclave Expansion) สูงสุด (%)	0.80	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 : คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิจ,2529 และ พิภพ,2523) (ต่อ)

คุณสมบัติทางกายภาพ	มาตรฐาน	ตารางเพชร *
3. ระยะเวลาก่อตัว (Time of Setting) (เลือกวิธีทดสอบได้)		
3.1 ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)		
- การก่อตัวระยะต้น (Initial Set) ไม่น้อยกว่า (นาที)	60	-
- การก่อตัวระยะปลาย (Final Set) ไม่มากกว่า (นาที)	10	-
3.2 ทดสอบแบบไวคาล (Vicat Test)		
- การเริ่มก่อตัว ไม่น้อยกว่า (นาที)	45	2 ชม.
4. ปริมาณอากาศในมอร์ต้า (Air Content of Mortar)		
เมื่อเตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐาน โดยปริมาตรสูงสุด ไม่มากกว่า (%)	12	
5. ค่ารับแรงอัด (Compressive Strength)		
ค่ารับแรงอัดของก้อนตุ๊กมอร์ต้า (Mortar Cube) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐานที่ร่อนได้ขนาด (Graded Standard Sand) 2.75 ส่วนโดยน้ำหนัก เตรียมและทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนดตามเกณฑ์อายุข้างล่างนี้		
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	85	170
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	150	250
1 วันในอากาศชื้น 27 วันในน้ำ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	245	360
6. การก่อตัวผิดพลาด (False Set)		
ระยะจมตุ๊กท้าย (Final Penetration) สูงสุด (%)	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 : คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิจ,2529 และ พิภพ,2523)

คุณสมบัติทางเคมี	มาตรฐาน	ตราเพชร *
ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂) สูงสุด (%)		21.25
ปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃) สูงสุด (%)		5.77
ปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด (%)		3.13
ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สูงสุด (%)	5.00	1.08
ปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃) สูงสุด (%)		
- มี 3CaO, Al ₂ O ₃ 8% หรือน้อยกว่า	2.50	-
- มี 3CaO, Al ₂ O ₃ มากกว่า 8%	3.00	2.36
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) สูงสุด (%)	3.00	0.71
กากที่ไม่ละลายในน้ำ (Insoluble Residue) สูงสุด (%)	0.75	0.40

2.2.3 ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (HYDRATION OF CEMENT)

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบในปูนซีเมนต์กับน้ำก็จะเริ่มขึ้นเรียกว่า ปฏิกริยาไฮเดรชัน (HYDRATION) สารประกอบ C₂S และ C₃S ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์จะทำปฏิกริยากับน้ำได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (3CaO.SiO₂.3H₂O : C S H) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ดังสมการทางเคมีดังต่อไปนี้



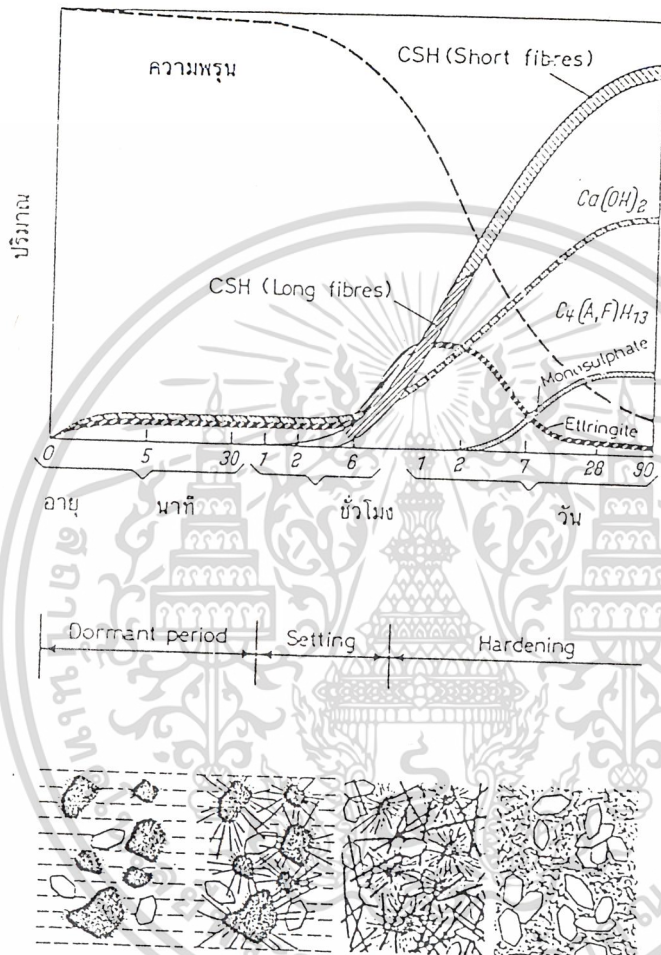
สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ทำให้ซีเมนต์เฟสท์เกิดเป็นก้อน(GEL) มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้ซีเมนต์เฟสท์มีคุณสมบัติเป็นด่างช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้อาจทำปฏิกริยาต่อไปอีกกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกาและอลูมินาผสมอยู่เช่น วัสดุปอซโซลาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ Ca จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีทันใด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการก่อตัวผิดปกติ (FALSE SET) แต่ในผงปูนซีเมนต์มียิบซัมผสมรวมอยู่ จึงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันช้าลงเช่นเดียวกับสารประกอบ C AF ที่จะทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ

ความร้อนที่ได้จากการที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า HEAT OF HYDRATION วัดเป็นแคลลอรี่ต่อกรัมของปูนซีเมนต์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาให้ความร้อนประมาณ 85-100 แคลลอรี่ต่อกรัม ตามระยะเวลาหลังการผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้บางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูง คอนกรีตอาจเสียความแข็งแรงได้ และความร้อนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงต่างๆภายในเนื้อคอนกรีตซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตที่บาง ความร้อนสามารถถ่ายเทออกไปได้ แต่โครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่และหนาเช่นเขื่อนจะต้องมีวิธีการออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตอาจทำได้โดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำ (ประมาณ 60-70 แคลลอรี่ต่อกรัม)

การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำระเหยหนีออกจากเพสท์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มซึ่ง เป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์ในสวนผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์ อุณหภูมิ และ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ สำหรับอัตราส่วนน้ำ ต่อ ซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับ การให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลา 1 เดือน โดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง จะพบว่าปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ตามสภาพในสนามคอนกรีตจะแห้งภายในเวลาไม่กี่วัน หลังจากนั้นปูนซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปโดยอาศัยน้ำที่ซึมจากใต้ดินหรือจากความชื้นในขณะฝนตกหรือความชื้นสูง ดังนั้นภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำจะยังคงมีต่อไปหลายปี



ภาพที่ 2.1 : แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ของเสียอันตราย (Hazardous waste)

ของเสียอันตราย หมายถึง ของเสียหรือสิ่งที่เจือปนด้วยของเสียที่เป็นของเหลว ของแข็งหรือก๊าซ ที่มีความเข้มข้น หรือคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีหรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการตายหรือการเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และกำจัด

ลักษณะของเสียอันตรายโดยทั่วไปแล้วขึ้นกับหลายปัจจัย คือ

1. ความไวในการติดไฟ (Lightibility)
2. การเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactivity)
3. การกัดกร่อน (Corrosivity)
4. ความเป็นพิษ (Toxicity)
5. การถูกชะล้างได้ (Leachability)
6. การทำให้เกิดโรค (Pathogenicity)

พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความของคำว่า " วัตถุอันตราย " (ซึ่งรวมถึงของเสียอันตราย) ว่า

1. วัตถุระเบิดได้
2. วัตถุไวไฟ
3. วัตถุออกซิไดส์ และวัตถุเปอร์ออกไซด์
4. วัตถุมีพิษ
5. วัตถุที่ทำให้เกิดโรค
6. วัตถุกัมมันตรังสี
7. วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
8. วัตถุกัดกร่อน
9. วัตถุก่อให้เกิดการระคายเคือง
10. วัตถุอย่างอื่น ไม่ว่าจะเป็เคมีภัณฑ์ หรือสิ่งอื่นใดที่ทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปการจำแนกสภาพของเสียอันตราย เริ่มต้นด้วยการทดสอบและตรวจสอบได้ 2 วิธี การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติในห้องปฏิบัติการตามลักษณะความเป็นอันตรายของของเสียเหล่านั้น ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ การจำแนกตามประกาศ ความเป็นพิษของของเสียประเภทต่างๆ ที่ถูกกำหนด โดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ เช่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ประกาศขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ง่ายและสะดวกต่อการจัดการ เช่นการเก็บกัก การรวบรวม การเก็บขน การบำบัด การนำกลับมาใช้ใหม่ และรวมทั้งการกำจัดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอีกต่อไป ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของของเสียอันตรายสามารถจำแนกได้ดังนี้ (ธเนศ , 2540)

- ⊗ การกัดกร่อน ได้แก่ ของเสียที่มีสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างอย่างแรง ที่สามารถจะกัดกร่อนวัตถุที่สัมผัสได้ทันที
- ⊗ จุดติดไฟ ได้แก่ ของเสียที่สามารถติดไฟได้ง่ายในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูงหรือสามารถเผาไหม้ด้วยตนเองได้ดี ทั้งที่อยู่ในรูปของของเหลวหรือของแข็ง
- ⊗ ทำปฏิกิริยาที่รุนแรงและอาจเกิดการระเบิดได้ ทั้งที่อยู่ในรูปของของเหลวหรือของแข็ง หรือการระเหย
- ⊗ มีความเป็นพิษในตัวเอง สามารถทำลายสิ่งมีชีวิตได้ด้วยตัวของมันเองในระดับที่รุนแรง อย่างทันทีทันใดหรือสามารถสะสมและใช้เวลานาน ระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือความเข้มข้นของเสียชนิดนั้น
- ⊗ มีเชื้อโรคปะปน มีเชื้อโรคที่พร้อมจะทำให้เกิดโรคร้ายหรือการระบาดได้อย่างรวดเร็ว หรือใช้เวลา

ในสภาพความเป็นจริง บางครั้งจะเป็นการยุ่งยากมากในการจำแนก หากได้เห็นเพียงสภาพทางกายภาพเท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นปัญหาในการจัดการอย่างมาก เพราะไม่สามารถจำแนกตามลักษณะสมบัติของของเสียที่เห็นอยู่ อย่างไรก็ตามการทดสอบง่ายๆ ก็คือ ตรวจวัดสภาพความเป็นกรด - ด่าง ($\text{pH} \leq 2$ หรือ ≥ 12.5) หรือ การทดสอบการติดไฟ แต่ถ้าหากต้องการทราบแน่ชัดก็จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะเพิ่มความมั่นใจในการจัดการแก่ของเสียอันตรายมากขึ้น

2.3.1 ประเภทของเสียที่เป็นอันตราย

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (เดิม) แบ่งประเภทของเสียอันตรายเป็น 14 ประเภทได้แก่

1. น้ำมัน (Oils) ได้แก่ ของเสียจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และพวกน้ำมันหล่อลื่น สารทำความเย็นของเครื่องจักร การสารอินทรีย์เหลว (Liquid organic residues) ของเสียเหลวจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และจากอุตสาหกรรม
2. อินทรีย์เคมี ซึ่งส่วนใหญ่มีสมบัติติดไฟได้ หรือสารพิษเฉียบ
3. ตะกอนและของแข็งสารอินทรีย์ (Organic sludges and solid) กากของเสียจากอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี ส่วนใหญ่ติดไฟได้ หรือมีโอกาสคายสารพิษได้ง่าย
4. ตะกอนและของแข็งสารอนินทรีย์ (Inorganic sludges and solid) กากของเสียจากอุตสาหกรรมอนินทรีย์เคมี (ยกเว้นโลหะหนัก) เช่น sulfur sludge , lime sludge , lime sludge , gypsum (CaSO_4) และ phosphate waste
5. ตะกอนและของแข็งโลหะหนัก (Heavy metal sludges and solids) ของเสียที่มีโลหะหนักเฉียบส่วนใหญ่มาจากระบบบำบัดน้ำเสีย หรือระบบฟอกอากาศ
6. ตัวทำละลาย (Solvents) ได้แก่ของเสียที่มีสารตัวทำละลาย ใช้ในการทำความสะอาดโรงงาน หรือซ่อมบำรุง ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น พลาสติก โยสังเคราะห์ ยา
7. ของเสียเป็นกรด (Acid wastes) มีค่า pH ต่ำกว่า 2 เช่นน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง , โรงงานชุบโลหะ ที่ใช้น้ำยากรดสำหรับทำความสะอาด รวมทั้งกรดที่ใช้แล้วในกระบวนการต่างๆ
8. ของเสียเป็นด่าง (Alkaline wastes) ของเสียที่มีค่า pH สูงกว่า 12.5 เช่น สารละลายโซดาไฟในการชุบโลหะ น้ำยาต่างสำหรับทำความสะอาด สารละลายแอมโมเนียที่ใช้แล้ว
9. ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน (Off - specification products) คือผลิตภัณฑ์ หรือวัตถุที่ไม่ได้มาตรฐานเสื่อมคุณภาพ หรือหมดอายุการใช้งาน
10. พีซีบี (Polychlorinated Biphenyl (PCB)) ของเสียที่มี PCB มากกว่า 50 ppm เช่นจากหม้อแปลงไฟ , capacitor
11. กากสารอินทรีย์น้ำ (Aqueous - organic residues) ของเสียที่มีสารอินทรีย์เคมีซึ่งเป็นพิษ เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม หรือจากการล้างน้ำยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช
12. น้ำเสียล้างอัดรูป (Photo wastes) ของเสียที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการถ่ายรูป ล้าง และอัดรูป ซึ่งมีน้ำยา Silver bromide และอื่นๆ
13. ขยะชุมชน (Municipal wastes) ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน สำนักงาน ร้านอาหาร เช่น ยาฆ่าแมลง สี น้ำยาล้างห้องน้ำ หลอดไฟ นีออน แบตเตอรี่ ยา เครื่องสำอาง ยาฟอกผ้าขาว
14. ขยะติดเชื้อ (Infectious wastes) ของเสียติดเชื้อ เช่น น้ำเลือด น้ำหนอง สิว ผื่น แผล เข็มฉีดยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม

ปัจจุบันของเสียอันตรายมีประมาณ 1 ล้านตันต่อปี โดยที่เกิดจาก กิจกรรมอุตสาหกรรมกว่า 80% และบริเวณที่ก่อให้เกิดมลพิษน้อยอยู่ในเขตกทม.และ ปริมาณพลประมาณ 70% ของปริมาณทั่วประเทศ กรมมลพิษได้จัดอันดับอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดของเสียอันตรายมากที่สุดพบว่า ได้แก่ ถลุงสังกะสี ตามตารางที่2.3

ตารางที่ 2.6 : ประเภทและปริมาณของเสียอันตราย

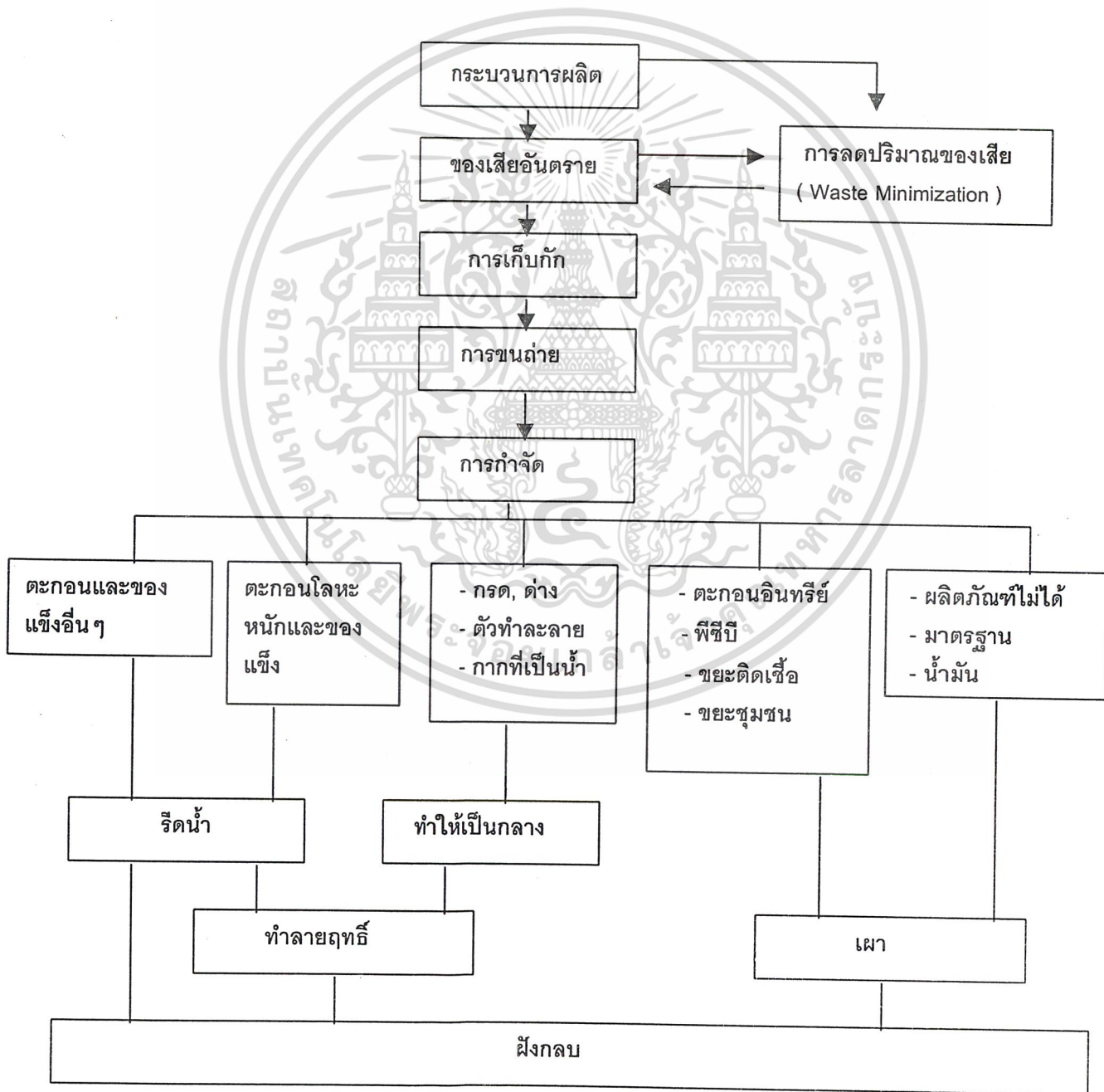
กิจกรรม	ปริมาณ (ตัน/ ปี) พ.ศ. 2534	ประเภท
การถลุงสังกะสี	474,619	โลหะหนัก ตัวทำละลาย กรดต่าง
การต่อเรือ และ การซ่อมเรือ	75,849	น้ำมัน โลหะหนัก ตัวทำละลาย กรด ต่าง
โรงพยาบาล	75,744	ขยะติดเชื้อ ตัวทำละลาย กรด ต่าง
การซ่อมรถยนต์/ จักรยานยนต์	45,094	น้ำมัน ตัวทำละลาย โลหะหนัก
การผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ไฟฟ้า	27,061	ตัวทำละลาย โลหะหนัก พีซีบี
การผลิตยารักษาโรค	19,017	ตัวทำละลาย กรด ต่าง กากอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน
การพิมพ์ การโฆษณา	18,873	ตัวทำละลาย กากสารอินทรีย์ น้ำมัน
การผลิตยานยนต์	17,952	ตัวทำละลาย น้ำมัน ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน พีซีบี
การผลิตโลหะภัณฑ์	16,708	โลหะหนัก น้ำมัน ตัวทำละลาย

ประเภทของเสียอันตรายที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ ตะกอน และของแข็งโลหะหนัก(58%) น้ำมัน(20%) และ ขยะติดเชื้อ (8%) ชนิดของโลหะหนักที่พบมากได้แก่ อารเซนิก แคดเมียม โครเมียม ไททานด์ ตะกั่ว พรอท และสังกะสี ซึ่งมาจากโรงงาน ถลุงโลหะ ชุบโลหะ ทำสี ทำแบตเตอรี่ เป็นต้น โลหะหนักมีผลกระทบต่อ ระบบประสาท ตับ ไต สามารถสะสมอยู่ในร่างกายจนมีปริมาณเพิ่มขึ้นในโลหิต และทำให้ถึงแก่ความตายได้ บางชนิดทำให้เป็นโรคมะเร็ง หรือเป็นอัมพาตได้ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระบบนิเวศน์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การจัดการของเสียอันตราย

ปัญหาในการจัดการของเสียอันตรายในปัจจุบัน มีสาเหตุมาจากการที่มักไม่มีการแยกของเสียอันตรายออกจากของเสียส่วนอื่น และมีการจัดการกันเองภายในโรงงาน โดยไม่มีการควบคุมในเรื่องความปลอดภัย เช่นในวิธีกองไว้ (Open Dumping) หรือเผาในที่แจ้ง (Open burning) ซึ่งทำให้ของเสียอันตรายสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย การจัดการของเสียอันตรายมีแสดงในรูปที่ 2.2 การลดปริมาณของเสีย โดยเฉพาะของเสียอันตรายนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่ออนุรักษ์สภาพแวดล้อมและป้องกันอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 2.2 การจัดการของเสียอันตราย
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในการจัดการของเสียอันตราย มีแนวทางในการทำกว้างๆ อยู่ 4 ขั้นตอน อันประกอบด้วย

- แหล่งกำเนิด (waste generation) อันเป็นที่เกิดของ ของเสียอันตราย หากทราบประเภทชนิด ความเป็นพิษ และอันตรายของของเสีย นั้น ก็ย่อมจะสามารถดำเนินการได้ง่าย เช่น การคัดแยก การจัดเก็บ การขนส่ง การทำลาย ณ. สถานที่กำจัด (On – Site treatment or disposal) หากไม่ทราบลักษณะสมบัติหรือความเป็นมา ย่อมเป็นการยากที่จะจัดการได้
- การนำกลับไปใช้ใหม่ (Recovery หรือ Recycling) เป็นกระบวนการที่สามารถนำของเสียอันตรายกลับไปใช้ใหม่ตามความเหมาะสมของคุณภาพ ปริมาณ และความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าของของเสียที่ไม่ต้องการ ดังนั้นขั้นตอนนี้ผู้จัดการจะต้องรับทราบข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในการดำเนินการที่ทำให้เกิดของเสียขึ้น ซึ่งอาจจะต้องใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Information Exchange) เช่น การแลกเปลี่ยนตัวทำลายลาย หรือ การฟื้นฟูน้ำมันเก่าที่ใช้แล้ว ให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ
- การบำบัด (treatment) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง คุณสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมี ของของเสีย อันตราย ให้ลดความรุนแรงของอันตรายลดลง หรืออาจจะหมดฤทธิ์ได้ อยู่ในสภาพที่ง่ายต่อการจัดการ ซึ่งวิธีบำบัดสามารถ ทำได้หลายวิธี เช่นการเผา การปรับเสถียรกากตะกอน การบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งการบำบัดจะเหลือกากตะกอน หรือเศษของเสียอันตราย จำเป็นต้องดำเนินการต่อไปอีกขั้นตอนหนึ่ง
- การกำจัด (Disposal) เป็นขั้นตอนสุดท้าย ของการจัดการของเสียอันตรายที่จะต้องกำจัดของเสียในรูปแบบต่างๆ ให้หมดไปหรือไปอยู่ในรูปที่ปลอดภัย ไม่ก่อความเดือดร้อน อีกต่อไป เช่น ในหลุมฝังกลบของเสียอันตราย (Secure landfill) ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

สำหรับในการกำจัดของเสียอันตรายที่เป็นการทำลายที่ไม่ถูกต้อง ได้แก่

- การทิ้งในทะเล โดยการบรรจุใส่เรือแล้วไปทิ้งที่กลางทะเล
- การเผาในเตาเผากลางทะเล โดยใช้วิธีการเผาในเรือเพื่อการกระจายมลภาวะ วิธีการนี้ก็ไม่เป็นที่ยอมรับ หากมีปริมาณของเสียจำนวนมาก ก็จะส่งผลกระทบต่อผู้อยู่บนฝั่งพื้นดินได้
- การนำส่งออกนอกประเทศ แล้วไปทิ้ง ณ. ประเทศที่ด้อยพัฒนาหรือประเทศที่กำลังพัฒนา เป็นต้น ซึ่งเป็นการย้ายที่ของของเสีย ดังเหตุการณ์ที่ทำเรือคลองเตย ที่ปรากฏของเสียจากประเทศอื่นจำนวนมาก จนทางรัฐต้องทำการขนไปกำจัดเอง
- การทิ้งหรือถ่ายเทลงในหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน หรือตามท่อระบายน้ำเสีย หรือการปล่อยระบายออกสู่อากาศ หรือระบายลงสู่แม่น้ำ ทะเลต่างๆ โดยไม่ผ่านการทำลายฤทธิ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ในการกำจัดของเสียอันตรายที่ดีและเหมาะสม จึงควรที่จะได้มีการทำลายฤทธิ์ หรือลดสภาพ ความรุนแรงของของเสียอันตรายก่อน แล้วจึงนำไปฝังกลบรวมกันไว้ ณ. สถานที่ที่ปลอดภัยที่สุด

ในขณะที่เป้าหมายของการลดของเสียให้น้อยที่สุด เป็นสิ่งที่ต้องการ และมีความจำเป็นมาก แต่โรงงานอุตสาหกรรมยังคงปล่อยของเสียที่ยากต่อการบำบัด และทำลายออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นเหตุให้มีอันตรายเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมได้ วิธีการบำบัดมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การบำบัดทางเคมี ฟิสิกส์ หรือชีววิทยา ในบางกระบวนการบำบัดอาจใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดขึ้น โดยนำกลับมาใช้อีก และช่วยลดปริมาณของเสียได้อีกด้วย ดังมีรายละเอียดดังนี้

➤ การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

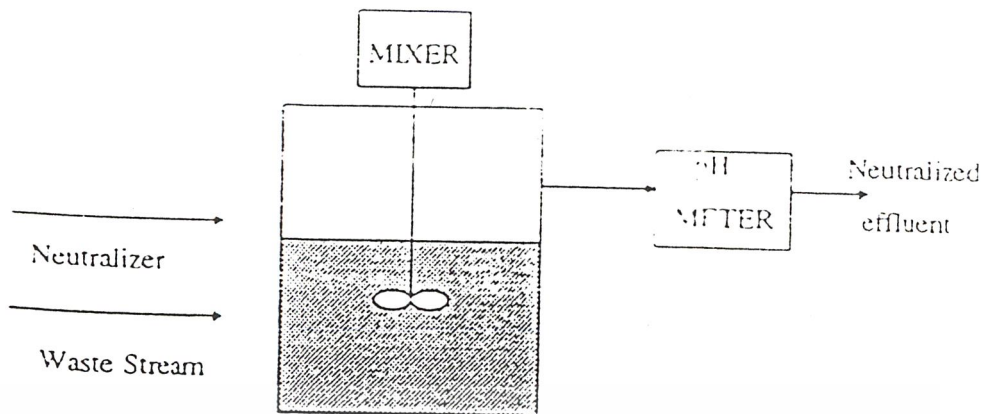
เป็นกระบวนการที่ใช้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำเสียให้มีอันตรายน้อยลง ซึ่งมีหลายวิธีการให้เลือกที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้จะใช้วิธีการใดจึงจะเหมาะสมสำหรับการบำบัดจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ ดังนี้ คือ คุณลักษณะของน้ำเสียก่อนการบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัดทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และการตรวจสอบคุณภาพ ความยากง่ายในการเดินระบบ และความปลอดภัย ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ สามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้ คือ

1. การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

โดยทั่วไป น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมักไม่เป็นกลาง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ผลิตรวดหรือต่าง ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานประเภทนี้ จะมีสารอนินทรีย์ปะปนอยู่ จะใช้การทำให้เป็นกลางโดยการปรับพีเอชด้วยกรด หรือด่างแล้วแต่กรณี ซึ่งจะสามารถปล่อยลงสู่แหล่งสาธารณะได้ โดยมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5 – 9 ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม (ธงชัย, 2525)

น้ำเสียที่เป็นกรดจะใช้ปูนขาว $[Ca(OH)_2]$ โซดาไฟ (NaOH) หรือโซดาแอช (Na_2CO_3) ในการทำให้เป็นกลาง ปูนขาวจะมีข้อดีที่ราคาถูกกว่าตัวอื่น ๆ และทำให้เกิดตะกอนของสารบางชนิดด้วย แต่มีข้อเสียคือ อาจทำให้เกิดตะกอนในเส้นท่อได้ ถ้าใช้ปูนขาวในรูปของสารละลายในขณะใช้งาน จะต้องมีการกวนตลอดเวลา เพื่อให้ปูนขาวละลายได้ดีและไม่ตกตะกอนอยู่กันถึง น้ำเสียที่เป็นด่าง จะทำให้เป็นกลางด้วยกรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Freeman, 1989) ระบบของการปรับค่าพีเอชนั้น จะประกอบด้วยถังผสม (Mixing Tank) เพื่อทำหน้าที่ผสมกรดหรือด่างให้เข้ากับน้ำเสียอย่างสมบูรณ์ที่สุด ดังนั้นผู้ควบคุมจะต้องคอยวัดค่าพีเอชเป็นระยะ ๆ หรือถ้าจะให้สะดวก ก็ควรใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ (pH Monitor) ซึ่งจะคอยควบคุมค่าพีเอชให้ได้ตามที่ต้องการ (ธงชัย, 2525) ดังภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 : ระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นกรด หรือด่าง

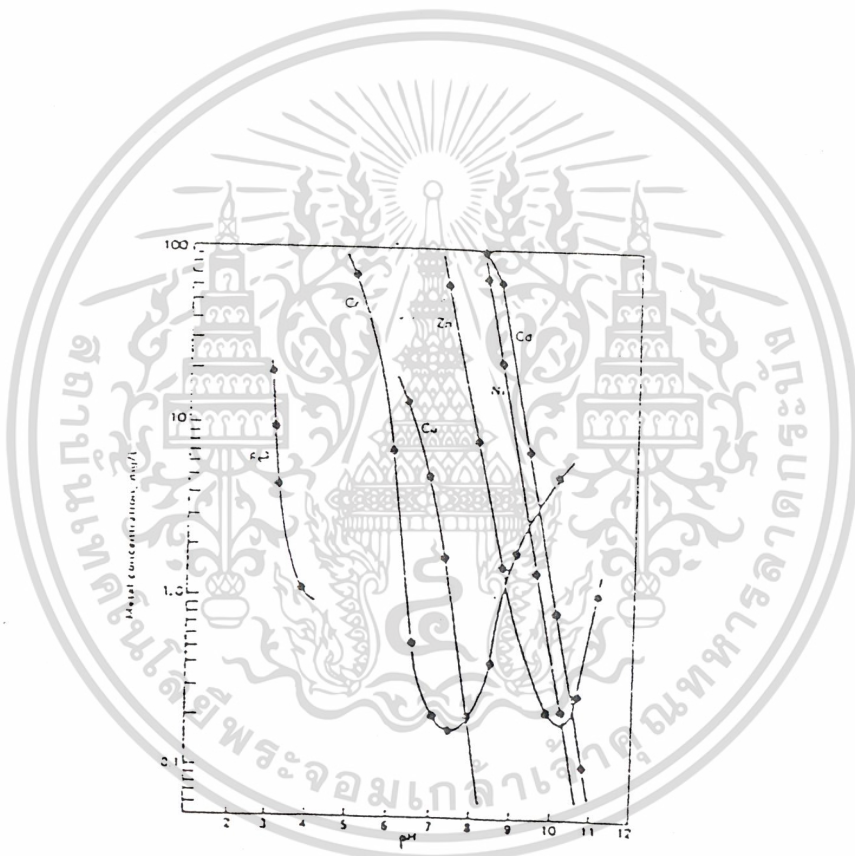
2. การตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation)

โลหะหนักที่ไม่พึงปรารถนาในน้ำเสีย มักอยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้ไม่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ ด้วยวิธีการตกตะกอน หรือกรองเพียงอย่างเดียว แต่การกำจัดโลหะหนักจำเป็นต้องทำการตกผลึกของแข็ง (Precipitation) ก่อน จากนั้นจึงทำให้ผลึกของแข็งรวมกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอค (Floc) เพื่อให้สามารถแยกออกจากน้ำโดยวิธีการตกตะกอนและวิธีการกรอง โลหะหนักแต่ละชนิดจะตกตะกอนผลึกที่พีเอชต่างกัน ขึ้นอยู่กับไอออนของโลหะนั้น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.4

ตัวเลือกของสารทำปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาเรื่องแรก คือ สามารถตกตะกอนผลึกโลหะหนัก เรื่องที่สองคือ เรื่องของการละลาย เมื่อตกตะกอนผลึก ตะกอนที่ได้ต้องไม่ละลายกลับและโลหะนั้นต้องแยกออกมาจากน้ำในโลหะหนักบางชนิดสามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูง จะแยกโลหะหนักออกได้ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ โลหะหนักสามารถแยกตกตะกอนแยกออกมา ดังนั้นอุณหภูมิจะมีอิทธิพลในการที่จะเลือกวิธีการบำบัด

สภาพที่มีประจุของโลหะก็มีความสำคัญในกระบวนการตกตะกอนผลึก ตัวอย่าง เช่น Fe^{2+} จะมีความสามารถในการละลายได้มากกว่า Fe^{3+} ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีตกตะกอนผลึกนี้ก็จะต้องใช้สารออกซิไดส์เปลี่ยน Fe^{2+} ให้เป็น Fe^{3+} ก่อนเช่นเดียวกับ Cr^{6+} ละลายน้ำได้มากกว่า Cr^{3+} จึงจำเป็นต้องลดประจุก่อนแล้วเอาออกในรูป Cr^{3+} ดังนั้นข้อที่ต้องพิจารณาอีกข้อหนึ่งคือ รูปของสารประกอบไอออนเชิงซ้อนในน้ำเสีย เช่น แอมโมเนีย ฟลูออไรด์ หรือ ไซยาไนต์ เหล็กสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนพวกเฟอร์โรไซยาไนด์ไอออน ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ และเหลืออยู่ในรูปสารเชิงซ้อนเล็กน้อยสามารถตกตะกอน โดยสารเคมีได้ (Manahan, 1993)

ประสิทธิภาพของการตกผลึกของโลหะหนักจะสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ หรือ โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (การเพิ่มของสารละลายซัลไฟด์จะต้องมีการควบคุม เนื่องจากอาจเกิดแก๊สพิษได้ คือ ในระหว่างการตกตะกอนซัลไฟด์จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงควรมีการควบคุม เป็นอย่างดี การลดอันตรายให้เหลือน้อยที่สุดโดยการใช้ต่างช่วย ดังนั้นในการควบคุมการบำบัดแบบนี้ จะต้องปรับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาให้เหมาะสม (Optimum Dose) เพราะถ้าใช้ปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ขุ่น และทำให้พีเอชเป็นต่างมากต้องใช้กรด เพื่อปรับพีเอชลงมาให้เป็นกลาง ก่อนจะปล่อยทิ้งหรือต้องนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่นต่อไป (ธงชัย, 2525)



ภาพที่ 2.4: ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่าง ๆ (Lanouette, 1997)

3. การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation)

ในน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำ แต่อณูภาคที่มีน้ำหนักของอนุภาคเอง ส่วนอนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนอยู่ในน้ำเสียต่างก็มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นประจุชนิดใด ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคนั้น ๆ เมื่อแต่ละอนุภาคซึ่งต่างก็มีประจุที่เหมือนกัน แขนวนลอยอยู่ ก็จะมีแรงผลึกที่เกิดจากประจุในน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคนั้นอยู่ทำให้ไม่สามารถรวมตัวได้เป็นอนุภาคใหญ่ จึงไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเองเช่นกัน การที่จะทำให้อนุภาคเหล่านั้นรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักพอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะสามารถจมตัวได้ วิธีดังกล่าวนี้ที่ใช้โดยทั่วไป คือ การเติมสารเคมี เพื่อไปเป็นตัวประสานให้อนุภาคขนาดเล็กมาจับรวมตัวกัน หรือถ้าในบางกรณีที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์นั้นจับตัวกัน ทำให้อนุภาคเล็ก ๆ จับตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ด้วยสารเคมีนี้ เรียกว่า *เคมีคัลโคแอกกูเลชัน* (Chemical Coagulation) สารเคมีที่ใช้เรียกว่า *โคแอกกูแลนต์* หรือ *ฟลอคคูแลนต์* (Coagulant or Flocculant) สารที่รู้จักกันดีและนิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ สารส้ม(Alum), ปูนไฮดรอกไซด์ (III) คลอไรด์ (ธงชัย, 2525)

ในการทำเคมีคัลโคแอกกูเลชัน เมื่อเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย จะต้องทำให้สารเคมีผสมไปในน้ำเสียอย่างรวดเร็วทันทีโดยการกวน เพื่อให้เกิดการสลายตัวและกระจายไปได้ทั่วในน้ำเสีย เมื่อเกิดอนุภาคเล็ก ๆ ลักษณะเหนียวหยุ่นขึ้นซึ่งเรียกว่า ฟลอค (Floc) ที่มองเห็นได้ชัด จะต้องเปลี่ยนจากการกวนอย่างรวดเร็วมาเป็น การกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ฟลอคที่เกิดขึ้นเกิดการแตกสลายและเพื่อให้ฟลอคที่เกิดขึ้นมีโอกาสได้จับตัวกับอนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสะเทินประจุที่ล้อมรอบแล้ว กลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักพอที่จะแยกหรือจมตัวออกจากน้ำทิ้งได้ โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการกวนอย่างรวดเร็วประมาณ 1 – 3 นาที และเวลาที่ใช้ในการกวนอย่างช้าๆประมาณ 12 – 30 นาที การใช้สารเคมีในการทำให้อนุภาคเหล่านี้รวมตัวกันได้ผลดีที่สุด จะต้องมีการควบคุมค่าความเป็นด่างโดยทั่วไปใช้วัดค่าพีเอช ค่าพีเอชสำหรับสารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ชนิดหนึ่ง ๆ มีค่าแตกต่างกันออกไป เช่น สารส้มมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5 – 6.5 ถ้าในน้ำเสียมีค่าพีเอชไม่อยู่ในพิสัยดังกล่าว ให้ปรับจนได้ค่าพีเอชแล้วจึงเติมสารส้มลงไป ในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กมากและอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการที่ เรียกว่า จาร์เทสต์ (Jar Test) เพื่อหาค่าความเป็นด่าง พีเอช และ ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดได้ประสิทธิภาพสูงสุด (มันสินม 2534)

การพัฒนาของโพลิเมอร์อินทรีย์ เพื่อใช้ในการสร้างตะกอน และสารรวมตะกอนเรียกว่า *โพลิอิเล็กโตรไลต์* (Polyelectrolyte) โพลิอิเล็กโตรไลต์ เป็นโพลิเมอร์อินทรีย์ขนาดใหญ่ละลายน้ำได้ เป็นอไอออนธรรมชาติ และเป็นสารช่วยให้เกิดตะกอนเม็ดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น

- มีแบบประจุบวก, ลบ และไร้ประจุ
- มักนิยมใช้แบบประจุลบสำหรับกระบวนการทำให้น้ำใส แต่จะใช้แบบประจุบวก สำหรับกระบวนการรีดน้ำออกจากสลัดจ์ (Sludge)
- ปริมาณที่ให้อยู่ในช่วง 0.5 – 2 มก./ล.
- ละลายน้ำยาก มีความหนืดสูง อาจไม่สะดวกต่อการใช้งานในบางโรงงานที่ไม่มีอุปกรณ์เติมสารเคมี (Feeder) วิธีการที่ทำให้ละลาย คือ ต้องละลายในน้ำอุ่น และกวนอย่างช้า ๆ ทำเป็นสารละลายเริ่มต้น (Stock Solution) เข้มข้นประมาณ 0.2 – 2 % แล้วค่อยสูบไปใช้งานต่อไป
- มีอายุการใช้งานด้วย ถ้าอยู่ในรูปผง มีอายุการใช้งานไม่เกิน 1 ปี ถ้าผสมเป็นสารละลาย จะใช้งานได้ไม่เกิน 1 – 2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

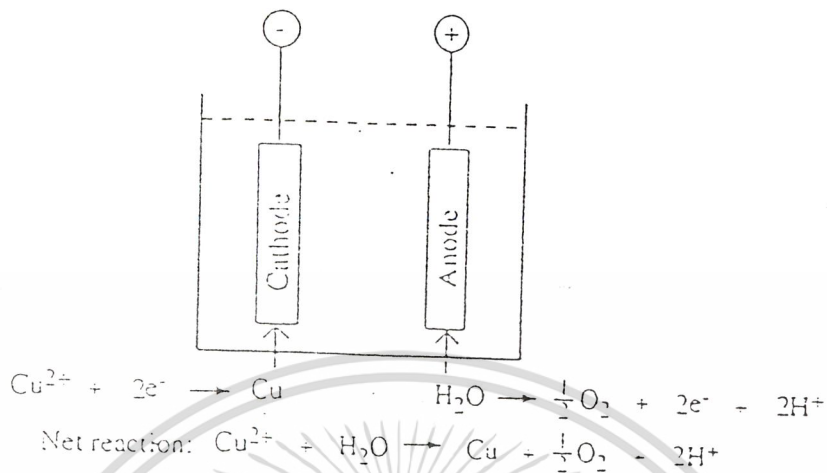
4. ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ ดังในตารางที่ 2.7 ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อให้ทำ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ รีดักชันกับสารที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษ หรือ ตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชันได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์มังกานีส โครเมตและไนเตรท ส่วนสารเคมีทำให้เกิดรีดักชัน ได้แก่ ไอร์ออน (II) ซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรีดักชัน คือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิกละลายปนอยู่ การบำบัดใช้ไอร์ออน (II) ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ปฏิกิริยานี้เกิดที่พีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟูริกไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนไลม์ลงไป เพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง การควบคุมวิธีการบำบัดแบบนี้ ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องปรับค่าพีเอชให้พอเหมาะ ปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ หรือถ้าใช้ไฮโปคลอไรต์ หรือปูนไลม์มากเกินไปพีเอชจะเป็นค่าสูง ต้องใช้กรดปรับพีเอชลงมาให้เป็นกลางก่อนที่จะปล่อยทิ้งไปการวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะที่ต้องการกำจัดก่อน หรือหลังการบำบัด จะเป็นการช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัด หรือปฏิกิริยาเคมีว่าเกิดขึ้นสมบูรณ์เพียงใด

ตารางที่ 2.7 : ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชันในการบำบัดของเสีย (Manahan, 1993)

Waste Substance	Reaction with Oxidant or Reductant
Oxidation of Organics	
Organic matter , {CH ₂ O}	$(CH_2O) + 2[O] \rightarrow CO_2 + H_2O$
Aldehyde	$CH_3CHO + [O] \rightarrow CH_3COOH(\text{acid})$
Oxidation of Inorganics	
Cyanide	$2CN^- + 5OCl^- + H_2O \rightarrow N_2 + 2HCO_3^- + 5Cl^-$
Iron(II)	$4Fe^{2+} + O_2 + 10H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+$
Sulfur dioxide	$2SO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$
Reduction of Inorganics	
Chromate	$2CrO_4^{2-} + 3SO_2 + 4H^+ \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 2H_2O$
Permanganate	$MnO_4^- + 3Fe^{2+} + 7H_2O \rightarrow MnO_2(s) + 3Fe(OH)_3(s) + 5H^+$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ โดยสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครโฮจิมินห์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5: กระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า (Manahan, 1993)

5. อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

จากรูปที่ 2.5 อิเล็กโทรไลซิสเป็นกระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้า โดยที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ ถูกลดอิเล็กตรอน และอีกขั้วให้อิเล็กตรอนเป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่ และจะมีการรวมตัวกับออกซิเจนที่นี้ ในของเสียอันตราย (Hazardous Waste) มีการใช้การแยกสารด้วยไฟฟ้ากันอย่างมากมาย เช่น แคดเมียม(Cd), ทองแดง(Cu), ทองคำ(Au), ตะกั่ว(Pb), เงิน(Ag) และสังกะสี (Zn) ในกรณีที่โลหะมีสารประกอบพวกไซยาไนด์เป็นองค์ประกอบจะนำกลับโดยวิธีการแยกสารด้วยไฟฟ้าค่อนข้างยาก เพราะสารมีความซับซ้อนมาก เช่น $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ (Manahan, 1993)

6. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ ซึ่งสามารถบำบัดสารเคมีอินทรีย์โดยไฮโดรไลซิสประกอบด้วยโลหะที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ เช่น โลหะคาร์ไบด์ ไฮไดรด์ เอไมด์ แอลโคไซด์ และเฮไลด์ (Manahan, 1993) ตัวอย่างการบำบัดดังตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 : การบำบัดสารอนินทรีย์เคมีด้วยการไฮโดรไลซิส (Manahan, 1993)

Class of Chemical	Reaction with Water
Active metals (calcium)	$\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$
Hydrides (sodium aluminum hydride)	$\text{NaAlH}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{NaOH} + \text{Al}(\text{OH})_3$
Carbides (calcium carbide)	$\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$
Amides (sodium amide)	$\text{NaNH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{NH}_3$
Halides (silicon tetrachloride)	$\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{HCl}$
Alkoxides (sodium ethoxide)	$\text{NaOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

7. การสกัดและการชะละลายทางเคมี (Chemical Extraction and Leaching)

การสกัดและการชะละลายทางเคมีในการบำบัดของเสียอันตราย โดยปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent) การละลายของเกลือโลหะหนักน้อยมาก สามารถสกัดโดยปฏิกิริยาของไอออนประจุลบด้วยไฮโดรเจนไอออนแสดงได้ดังนี้



เบสถูกสกัดด้วยกรด เช่น เอมีน และอะนินถูกสกัดด้วยกรด ถ้ามีไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ควรจะหลีกเลี่ยงเพื่อป้องกันการเกิดไฮโดรเจนไซยาไนด์ หรือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์

ไอออนโลหะหนักปนเปื้อนในดิน จะใช้การตกตะกอนร่วมในรูปสารที่ไม่ละลายน้ำของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ตามลำดับ ออกไซด์พวกนี้สามารถละลายโดยรีดิวซิงเอเจนท์ (Reducing Agent) เช่น สารละลายโซเดียมไดโธไนเตรตหรือ ไฮดรอกซิลลามีน ผลที่ได้คือ สารละลายเฟอร์ริอิกอน และแมงกานีสอิกอน และปล่อยอิกอนของโลหะหนัก เช่น แคดเมียมอิกอน หรือนิกเกิลอิกอน ละลายอยู่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

เทคนิคนี้อาจจะอาศัยเรซิน (Resin) เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลาย กับไอออนที่ผิวเรซินที่ใช้เป็นแคตไอออนแลกเปลี่ยนเรซิน (Cation Exchange Resin) เป็นพวกกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Organic Acid) ซึ่งอาจจะเป็นกรดซัลโฟนิก หรือกรดคาร์บอกซิลิก (Sulfonic or Carboxylic Acid) วิธีการนี้เหมาะสำหรับกำจัดโลหะที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย คือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อความมีประสิทธิภาพสูงสุด

การตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical Precipitation)

การตกตะกอนผลึกทางเคมี เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารที่ละลายได้ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การตกตะกอนผลึกโดยทั่วไปจะใช้เพื่อลดความกระด้างของน้ำ โดยเอาแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนออก ในการบำบัดของเสียอันตรายกระบวนการนี้สามารถนำไปใช้เพื่อกำจัดโลหะอันตรายออกจากน้ำเสีย

1 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation)

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ใช้ตัวตกตะกอนคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาว และโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ โดยเอาโลหะออกจากน้ำเกิดขึ้นตามสมการนี้



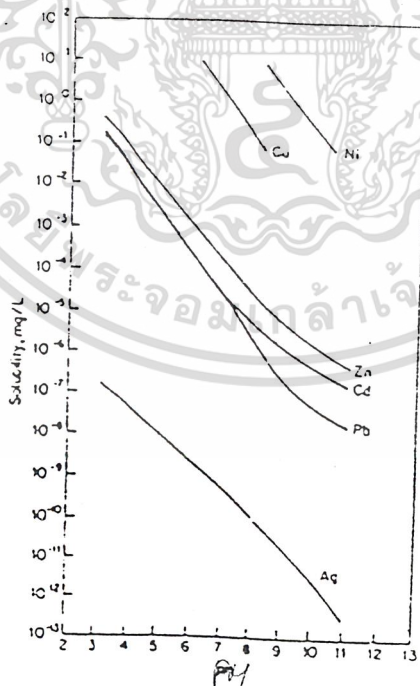
ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ผ่านการบำบัด จะมีค่าเท่าใดในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ขึ้นอยู่กับ

- ปริมาณโลหะที่มีอยู่ในน้ำ
- ชนิดของสารตกตะกอนที่ใช้
- สภาพที่เกิดปฏิกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าพีเอช
- สารเคมีอย่างอื่นที่มีอยู่ และตัวที่ยับยั้งการตกตะกอนผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำที่บำบัดแล้วมีค่า ต่ำกว่า 1.0 มก./ล. และ ในบางครั้งอาจต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ก็ได้ รายละเอียดแสดงดังรูป ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะไฮดรอกไซด์ จะเป็นพวกแอมโฟเทอริก(amphoteric)เช่นที่พีเอชสูง และ ต่ำกว่าสามารถเพิ่มการละลาย และ จุดของการละลายต่ำสุด(พีเอชเหมาะสมสำหรับการตกตะกอน) เกิดที่พีเอชต่างค่าสำหรับทุกโลหะ ที่พีเอชหนึ่งซึ่งความสามารถการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ตัวหนึ่งอาจสูงกว่าโลหะหนักตัวอื่น ในเกือบทุกกรณีค่าพีเอชที่ใช้ในการทำจาร์เทส (jar test) จะอยู่ระหว่าง 9-11 สำหรับน้ำทิ้งที่มีโลหะหลายชนิดปนกันอยู่ อาจมีระยะการตกตะกอนผลึกของโลหะแต่ละชนิดด้วยพีเอชแตกต่างกัน การที่จะควบคุมโลหะทุกออกจากน้ำเสียจนได้ระดับที่เราต้องการ อาจใช้การตกตะกอนผลึกอื่นที่อาจเป็นไปได้

การตกตะกอนโครเมียมเป็นโครมิกไฮดรอกไซด์ จะต้องทำโครเมียมให้อยู่ในรูปประจุ+3ก่อน เพราะโครเมียมประจุ+6ไม่สามารถถูกกำจัดได้โดยตรงด้วยการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ การบำบัดเริ่มต้นเพื่อเปลี่ยนโครเมียมประจุ+6ไปเป็น+3โดยให้ค่าพีเอชต่ำประมาณ 2-3 และใส่รีดิวซ์ซึ่งเอเจนต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂) โซเดียมไบซัลเฟต (Na₂S₂O₅) กระบวนการปฏิกิริยามีดังนี้

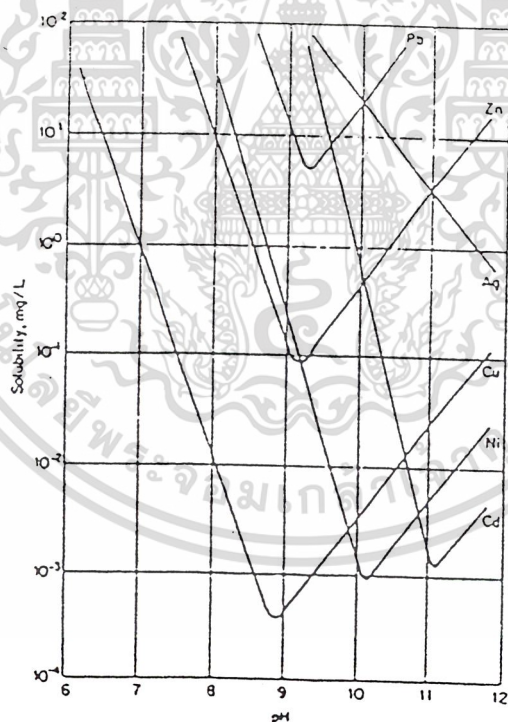


ภาพที่ 2.6 : ความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

เป็นการตกตะกอนที่มีประโยชน์มาก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์ แสดงดังภาพที่ 2.7 โลหะซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ดังตาราง โลหะซัลไฟด์ไม่มีคุณสมบัติแอมโฟเทอริก และโคโรเมียมประจุ +6 สามารถตกตะกอนด้วยกระบวนการนี้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการรีดักชัน กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับ การรวมไอออนโลหะหนักด้วยซัลไฟด์เรดิคัล มีแผนภาพแสดงปฏิกิริยาของโลหะหมู่ 2 กับ Na_2S หรือ โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และ เฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งละลายได้เล็กน้อย ข้อเสียของการตกตะกอนซัลไฟด์คือ จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงควรทำที่ที่เอชให้มากกว่า 8 เพื่อป้องกันไฮโดรเจนซัลไฟด์ ข้อเสียอีกข้อคือ จะมีปริมาณซัลไฟด์ไอออนมากเกินไปในน้ำทิ้งที่จะปล่อยออก ซึ่งทำให้ต้องมีการบำบัดในขั้นสุดท้ายก่อนปล่อยน้ำทิ้งด้วย



ภาพที่ 2.7 : รูป ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 : ความสามารถในการละลายโลหะหนักซัลไฟด์เทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ (Talbot, 1984)

อ็อกไซด์โลหะหนัก	ความสามารถในการละลาย (mg/l)	
	โลหะไฮดรอกไซด์	โลหะซัลไฟด์
Cadmium (Cd^{++})	2.3×10^{-5}	6.7×10^{-10}
Chromium (Cr^{+++})	8.4×10^{-4}	ไม่ตกตะกอน
Cobalt (Co^{++})	2.2×10^{-1}	1.0×10^{-5}
Copper (Cu^{++})	2.2×10^{-2}	5.8×10^{-15}
Iron (Fe^{++})	8.9×10^{-1}	3.4×10^{-5}
Lead (Pb^{++})	2.1	3.8×10^{-9}
Manganese (Mn^{++})	1.2	2.1×10^{-3}
Mercury (Hg^{++})	3.9×10^{-4}	9.0×10^{-29}
Nickle (Ni^{++})	6.9×10^{-3}	6.9×10^{-8}
Silver (Ag^{+})	13.3	7.4×10^{-12}
Tin (Sn^{++})	1.1×10^{-7}	3.8×10^{-15}
Zinc (Zn^{++})	1.1	2.3×10^{-11}

3. การตกตะกอนคาร์บอเนต (Carbonate precipitation)

สำหรับโลหะบางตัว เช่น แคดเมียมและตะกั่ว การตกตะกอนคาร์บอเนตทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นโลหะหนักต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ที่พีเอชต่ำกว่า และสามารถกรองตะกอนได้มากกว่า โดยเปรียบเทียบกับ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม และตะกั่ว ที่พีเอช 10 หรือมากกว่าการตกตะกอนคาร์บอเนต ที่พีเอช 7.5 - 8.5 การตกตะกอนโลหะใช้โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาแอช ดังสมการ

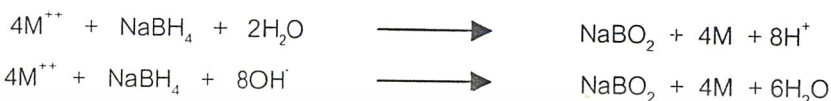


กระบวนการนี้ไม่เหมาะสมกับโลหะหนักทุกชนิด Paterson et al. (1984) บ่งชี้ว่า คุณภาพน้ำที่ปล่อยออกมาไม่ต่างกับน้ำที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ ในการปรับพีเอชหรือปริมาณตะกอนจะมากกว่าการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ในโลหะสังกะสี และนิเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride Precipitation)

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซิงเอเจนท์ สามารถใช้ตกตะกอนโลหะได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับค่าพีเอชแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ในช่วงพีเอช 8 – 11 ที่พีเอชต่ำกว่า 8 การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ปริมาณเพิ่มขึ้น โดยการไฮโดรไลซิสของโบโรไฮไดรด์ ขณะที่พีเอชมากกว่า 11 อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง พีเอชที่เหมาะสมถูกกำหนด โดยการทดสอบความสมดุลการใช้โบโรไฮไดรด์กับระยะเวลาทำปฏิกิริยาและคุณภาพของน้ำที่ปล่อยออก

การตกตะกอนโซเดียมโบโรไฮไดรด์มีประโยชน์ สำหรับการนำกลับโลหะจากน้ำเสีย และการเอาตะกั่วปรอท นิเกิล ทองแดง แคดเมียม และโลหะมีค่า เช่น ทอง เงิน แพลตตินัม ออกจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปริมาณตะกอนลดลง 50 % หรือมากกว่า การศึกษาพบว่า สำหรับโซเดียมโบโรไฮไดรด์มีตะกอนน้อยกว่าการตกตะกอนปูนขาว โซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถนำมาช่วยเป็นตัวกระตุ้น หรือสารละลายของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในโซดาไฟ(Freeman,1989)

สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละประเภทจะใช้ปริมาณที่แตกต่างกัน รวมถึงราคาของแต่ละสารจะมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 : เปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ

การตกตะกอน	ไฮดรอกไซด์	ซัลไฟด์	คาร์บอเนต	โบโรไฮไดรด์
ข้อดี	1. ราคาถูก	1. โลหะซัลไฟด์มีค่าการละลายน้ำต่ำ 2. ตกตะกอน Cr6+ โดยไม่ต้องผ่านการรีดักชัน 3. ตกตะกอนพวก chelating agent ได้ 4. เอน้ำออกจากตะกอนได้มากกว่าไฮดรอกไซด์	1. เมื่อใช้กับ Cd และ Pb ทำปฏิกิริยาที่ pH ต่ำกว่าไฮดรอกไซด์ 2. สามารถกรองได้มากกว่า	1. ใช้กับการนำกลับของโลหะ 2. ตะกอนน้อยกว่าไฮดรอกไซด์
ข้อเสีย	1. มีคุณสมบัติถึงโลหะไฮดรอกไซด์ละลายกลับได้เมื่อ pH เปลี่ยน 2. เกิดตะกอนมาก 3. ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีพวก chelating agent	1. เกิดก๊าซ H ₂ S 2. มีกลิ่นของซัลไฟด์เกิดขึ้น 3. โลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปคอลลอยด์	1. ใช้ได้กับโลหะได้ไม่ทุกชนิด 2. เกิดตะกอนมากกว่าไฮดรอกไซด์	1. ใช้ได้กับช่วง pH ล้นคือ 8 – 11 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน (STABILIZATION / SOLIDIFICATION OF HAZADOUS WASTES)

การทำให้คงตัว(STABILIZATION) หมายถึง กระบวนการที่ของเสียถูกเปลี่ยน ทางเคมี ให้มีความคงตัวมากขึ้น ทั้งนี้รวมทั้งการทำให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถละลายได้ ซึ่งจะกักธาตุหรือสารประกอบ ที่เป็นพิษไว้ใน โครงสร้างทางผลึกของสารที่ทำให้เกิดความคงตัว แต่ไม่เหมือนกับการทำให้สลัดจ์ที่เกิดจากการบำบัดคงตัว ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันแต่กระบวนการต่างกัน

การทำให้เป็นก้อน(SOLIDIFICATION) หมายถึง กระบวนการที่มีการเติมสาร บางชนิดลงในของเสียเพื่อให้ได้ของแข็งที่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้มีลักษณะทางกายภาพดีขึ้น และมีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งทำให้มวลสารพร้อมที่จะถูกจัดการ หรือขนส่งต่อไป

การทำให้คงตัว และการทำให้เป็นก้อน เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อป้องกันการละลาย ของสารเคมีที่เป็นของเสีย ี่เสียอันตราย และการปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นวัตถุประสงค์พื้นฐานของการทำให้คงตัว และการทำให้เป็นก้อนมีดังนี้

- ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของของเสียให้เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายของเสียนั้น
- การลดพื้นที่ผิวของของเสียเพื่อป้องกันหรือลดการรั่วไหลของสารพิษ
- การจำกัดการละลายของสารมลพิษ
- การกำจัดสารมลพิษออกจากของเสีย

ตารางแสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน ประเภทต่างๆ 7 วิธี ซึ่งการเลือกวิธีการบำบัดของเสียดังกล่าวควรเลือกให้เหมาะกับของเสียประเภทต่างๆ โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติเฉพาะของของเสีย

RIJAL (1990) สรุปข้อดีและข้อเสียสำหรับกระบวนการทำให้เป็นก้อนทั้ง 7 วิธีไว้

ตารางที่ 2.11 : แสดงกระบวนการกำจัดของเสียเสี่ยงอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน

กระบวนการทำให้เป็นก้อน (solidification)	รายละเอียด
1. Cement Based	ของเสียจะถูกผสมลงไปในซีเมนต์ น้ำ และส่วนผสม อย่างอื่น ๆ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2. Pozzolanic (Lime Based)	ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาว และวัสดุที่มีคุณสมบัติ เป็นปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย, ผงซีเมนต์ที่เตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้ แห้งตัว
3. Thermoplastic	นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมให้ กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น bitumen, paraffin หรือ polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัว ลงและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสียในขั้นแรกจะถูกผสมกับสารโพลิเมอร์ (gelling agents หรือ formaldehyde) และเติมสารคะตะลิสต์ ผสมให้เข้ากันก่อนที่สารโพลิเมอร์แข็งตัว
5. Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวกันแน่น แล้วเคลือบผิวนอก ของของเสียที่ถูกบดอัดด้วยสารเจือยเช่น polyethylene หรือ organic resins
6. Self – cementing	สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซิล เฟต และซิลิเนียมซิลไฟด์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสีย จากอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ได ออกไซด์ สามารถนำมาใช้ผสมกับตะกอนของเสียเพื่อ หล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อ การเคลื่อนย้ายและมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้กลายเป็น ส่วนผสมของแก้ว หรือ synthetic silicate mineral เพื่อป้องกันการไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วย น้ำ สามารถนำไปกำจัดต่อไปโดยไม่ต้องมีกระบวนการ การหุ้มหรือบรรจุครั้งที่ 2

ที่มา Engineering and Science (1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 : แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทำให้เป็นก้อนทั้ง 7 วิธี

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
1.Cement Based	Chemical fixation solidification	แห้งหรือเปียก (โดยทั่วไปเหมาะกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์)	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - มีความทนทานต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี - กำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดี - เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนามาดีแล้ว 	<ul style="list-style-type: none"> - ของเสียที่เป็นสารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์ - ซีเมนต์และของเสียที่แข็งตัวแล้วถูกชะล้างได้ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ - เพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย และเพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการกลบฝัง
2. Lime Based	Chemical fixation solidification	แห้งหรือเปียก (โดยทั่วไปเหมาะกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์)	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนามาดีแล้ว - การใช้ได้หลายมาเป็นส่วนผสมเป็นการกำจัดของเสีย 2 ชนิด โดยใช้กระบวนการเดียวกัน 	<ul style="list-style-type: none"> - เหมือนกับกระบวนการประเภท Cement based
3.Thermoplastic Based	Physical fixation	แห้ง (เหมาะกับสารอินทรีย์)	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้เป็นอย่างดี - สารละลายที่ชะล้างมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพง และต้องใช้แรงงานที่มีความชำนาญ - ของเสียชนิดเปียกจะลดประสิทธิภาพของกระบวนการ - ไม่สามารถใช้กำจัดสารพวก Strong oxidants, dehydrated salts
4. Organic Polymer Process	Physical fixation	แห้งหรือเปียก (สารอินทรีย์ที่เป็นพิษ)	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้สารปริมาณน้อยในการทำให้เกิด polymer's matrix - ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 	<ul style="list-style-type: none"> - ของเสียจะถูกยึดไว้ในโพลีเมอร์อย่างหลวม - สารที่มีพีเอชต่ำจะทำให้โลหะละลายออกมาได้มากขึ้น - การย่อยสลายทางชีวภาพของสารโพลีเมอร์บางชนิดทำให้เกิดปัญหาในการฝังกลบ
5. Encapsulation	Chemical containment	แห้งหรือเปียก	<ul style="list-style-type: none"> - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี - ไม่มีการชะล้างของของเสียออกมา เมื่อสารที่หุ้มห่ออยู่ไม่ถูกทำลาย - ค่าใช้จ่ายในรอบการใช้งานต่ำกว่าวิธีอื่น 	<ul style="list-style-type: none"> - การชะล้างของเสียจะเกิดขึ้นหากสารที่หุ้มถูกทำลาย - ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ต้องกำจัดของเสียจำนวนมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 : แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการการทำให้เป็นก้อนทั้ง 7 วิธี (ต่อ)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
6. Self Cementing	Chemical fixation	แห้งหรือเปียก	- กระบวนการนี้ต้องการสารเติมในส่วนผสมซึ่งจะช่วยให้ซีเมนต์แข็งตัวเร็วมาก	- สารอินทรีย์บางชนิดจะทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์ - ส่วนผสมของซีเมนต์และของเสียที่ไม่ได้มีการห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ
7. Glassification	Physical fixation	แห้ง	- ของเสียที่ถูกหลอมด้วยแก้วจะถูกชะล้างได้น้อยมาก - การบรรจุหุ้มหรืออยู่ในแกนที่ดี - ใช้วัสดุที่มีราคาถูก	- อุณหภูมิสูงอาจทำให้มีของเสียอื่นระเหยออกมา - ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากสำหรับการให้ความร้อนแก่อุปกรณ์และต้องการผู้ชำนาญเฉพาะ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการกำจัดของเสียทุกชนิด ยกเว้นสารกัมมันตรังสี และสารที่มีพิษมาก ๆ

ที่มา Rijal (1990)

ดังนั้นจะเห็นว่ากระบวนการบำบัดโดยทำให้เป็นก้อนมีหลายวิธีและแต่ละวิธีสามารถใช้ได้กับของเสียที่แตกต่างกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.9 ซึ่งเป็นการแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้กับกระบวนการต่างๆที่ใช้กับของเสียที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13: แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้ของกระบวนการต่างๆที่ใช้กับของเสียที่แตกต่างกัน

ประเภทของเสีย	Cement Based	Lime Based	Thermoplastic Encapsulation	Thermosetting Micro Encapsulation	Macro Encapsulation
สารอินทรีย์ - สารละลายที่เป็นสารอินทรีย์และน้ำมัน	จะมีการขัดขวางการก่อตัวซึ่งจะออกจากคอนกรีตในรูปสารระเหย	จะมีการขัดขวางการก่อตัวซึ่งจะออกจากคอนกรีตในรูปสารระเหย	สารอินทรีย์อาจจะระเหย ออกมาขณะที่ทำการให้ความร้อน	อาจจะหน่วงเหนี่ยวการก่อตัวของโพลีเมอร์	จะถูกดูดเข้าไปในโครงสร้างของมวลของแข็ง
สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็ง (เช่น เส้นใยพลาสติก)	มักจะเป็นผลดีต่อการเพิ่มความทนทาน	มักจะเป็นผลดีต่อการเพิ่มความทนทาน	มักใช้เป็นตัวสุดท้ายในการผสม (binding agent)	อาจจะหน่วงเหนี่ยวการก่อตัวของโพลีเมอร์	สามารถเข้าได้ดีกับวัสดุที่ใช้เป็นตัวผนึกที่เป็นพลาสติก
สารอนินทรีย์ของเสียที่เป็นกรด	ซีเมนต์จะทำการสะเทินให้เป็นกลาง	สามารถเข้ากันได้ดี	ต้องมีการทำการสะเทินก่อนการทำผลึก	สามารถเข้ากันได้ดี	ต้องมีการทำการสะเทินก่อนการทำผลึก
ประเภทของเสีย	Cement Based	Lime Based	Thermoplastic Encapsulation	Thermosetting Micro Encapsulation	Macro Encapsulation
Oxidizers	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี	อาจจะทำให้โครงสร้างของแข็งที่ก่อตัวแล้วพังทลายได้	อาจจะทำให้โครงสร้างของแข็งที่ก่อตัวแล้วพังทลายได้	อาจจะทำให้วัสดุที่ทำการผนึกตัวเสียหายได้
Sulphates	อาจเป็นการหน่วงเหนี่ยวการก่อตัวถ้าไม่ใช่ซีเมนต์ที่มีลักษณะพิเศษ	สามารถเข้ากันได้ดี	อาจเกิดการสูญเสีย น้ำมากเกินไปจนทำให้เกิดการแยกตัวของมวลและซีเมนต์	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี
Halides	สามารถถูกชะละลายออกจากซีเมนต์ได้ง่ายและอาจจะหน่วงการก่อตัว	สามารถถูกชะละลายออกจากซีเมนต์ได้ง่ายและอาจจะหน่วงการก่อตัว	อาจเกิดการสูญเสีย น้ำมากเกินไป	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี
โลหะหนัก	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี	พีเอชที่เป็นกรดจะทำให้เกิดการละลายกลับมาใหม่ของโลหะไฮดรอกไซด์	สามารถเข้ากันได้ดี
สารกัมมันตภาพรังสี	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี	สามารถเข้ากันได้ดี

ที่มา - Khomgrit Leangon (1993)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ (Cement-based Technique)

กระบวนการที่ทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ประกอบด้วย การผสมของเสียกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และสารผสมเพิ่มอื่นๆ ได้แก่ เถ้าลอย, ซิลิกา, ซัลไฟด์, เป็นต้น โลหะหนักหลายชนิดในของเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และซิลิเกตที่ไม่ละลายน้ำในสภาพแวดล้อมซึ่งมีความเป็นด่างสูงมากในปูนซีเมนต์และจะถูกจับไว้ในช่องว่างของโครงสร้างของส่วนผสมซีเมนต์ (Bishop, 1988) สรุปข้อดีข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดี

1. สารที่เติมในส่วนผสมสามารถหาได้ง่าย
2. เทคนิคการผสมซีเมนต์ไม่ยุ่งยาก
3. วิธีการนี้สามารถทนต่อสารเคมีหลายชนิดในตะกอนของแข็งได้เป็นอย่างดี
4. เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการมีอยู่ทั่วไปหาได้ง่าย
5. ความแข็งแรงและความสามารถในการน้ำซึมผ่านของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแข็งตัวสามารถปรับได้ โดยการควบคุมปริมาณปูนซีเมนต์ที่เติมลงในของเสีย
6. วัสดุที่ใช้มีราคาถูก

ข้อเสีย

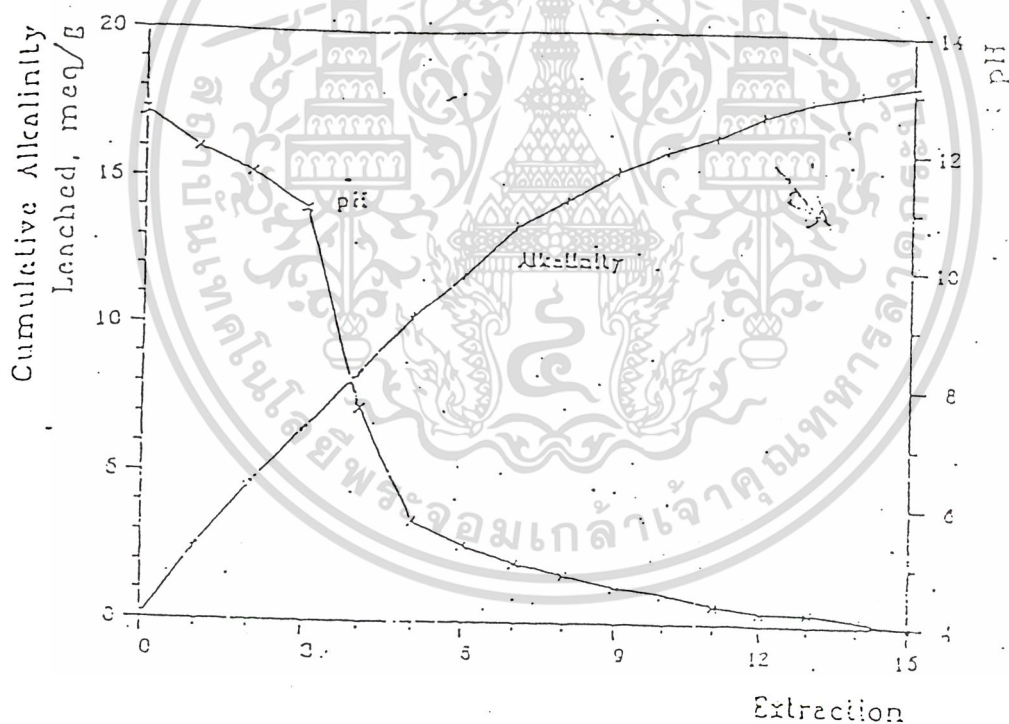
1. ไม่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิดที่จะทำลายกลไกการแข็งตัวของซีเมนต์
 2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถถูกชะละลายได้ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ
 3. การเพิ่มน้ำหนักของของเสียโดยการหล่อด้วยซีเมนต์จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสียไปกำจัดเพิ่มขึ้น
- 2.4.2 กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์

ได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์หลายท่านดังต่อไปนี้

Bishop(1988) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการชะละลายโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้ของเสียสังเคราะห์ที่เป็น โลหะไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียมและตะกั่ว โดยได้ศึกษาถึงbuffer capacity ของวัสดุที่แข็งตัวจากการกำจัดโลหะหนักของโลหะหนักชนิดต่างๆในของเสียที่ถูกทำให้เป็นก้อนสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์(buffer capacity)

จากการทดสอบการชะละลาย กับของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์โดยการชะละลายของเสียที่แข็งตัวด้วยกรดอะซิติก แล้วทำการชะละลายติดต่อกันอีกเป็นจำนวน15ครั้งนำมาตรวจวัดค่าพีเอช และค่าความเป็นด่าง (alkalinity) แล้วนำไปเขียนกราฟดังแสดงในรูป จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อทำการชะของเสียที่แข็งตัวหลายๆครั้งพบว่า ค่าพีเอชของกรดที่ผ่านการชะละลายแล้วจะลดลงเรื่อยๆจนเกือบคงที่ ในครั้งที่15 ส่วนค่าความเป็นด่างสะสม (cumulative alkalinity) จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยในครั้งที่15ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายได้จะเหลือน้อยมากซึ่งมีค่าประมาณ1.7%ของค่าความเป็นด่างสะสมทั้งหมด โดยค่าความเป็นด่างจะถูกชะละลายออกมามากในช่วงต้นและลดลงตามลำดับจนถึงครั้งที่15ค่าความเป็นด่างสะสมถึงการชะละลายในครั้งที่15มีค่าเท่ากับ18.3meq/gซึ่งถือว่าเป็นค่า buffering capacity ของของเสียแข็งตัวค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายออกมาแต่ละครั้งนี่ จะเป็นตัวควบคุมพีเอชของการชะละลายโดยการสะเทินกรดอะซิติกที่ใช้ในการทดลองให้เป็นกลาง



ภาพที่ 2.8: กราฟแสดงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย

2. กลไกการยึดจับโลหะหนัก (mechanism of fixation)

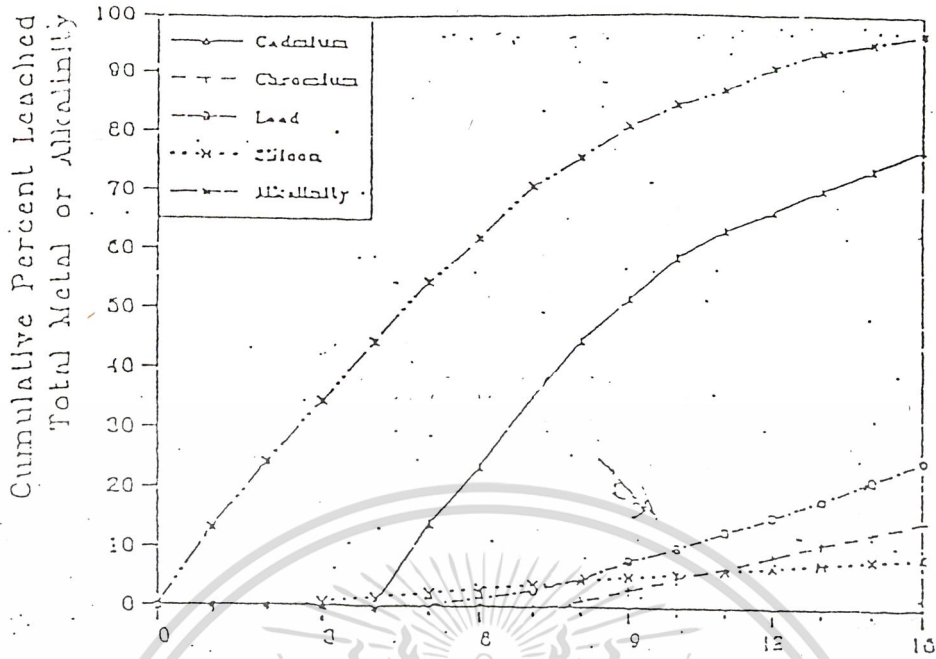
จากกราฟรูป 2.9 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะที่ถูกชะละลาย(แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว)กับค่าความเป็นด่างและซิลิกอนซึ่งจะถูกชะละลายมากขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 6.0 จากการทดลองที่ผ่านมามากมายครั้งทำให้ทราบว่าโลหะหนักอาจจะอยู่ในโครงสร้างของของเสียแข็งตัวในรูปต่างๆ เช่นอยู่ในรูพรุนของโครงสร้างภายในของของเสียที่แข็งตัว ถูกเกาะติดกับผนังรูพรุน และทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบในซีเมนต์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคดเมียมจะถูกชะละลายออกมาได้มากกว่าโครเมียมและตะกั่วซึ่งถูกชะละลายออกมาได้น้อย

กรณีที่โลหะหนักถูกล้อมอยู่ในของแข็งหรืออยู่ในรูพรุนหรือเกาะติดผิวรูพรุนแล้ว โลหะหนักเหล่านั้นควรจะถูกชะละลายออกมามากคล้ายกับการชะละลายของค่าความเป็นด่าง(alkalinity)จากรูป 2.9 ที่เส้นกราฟของแคดเมียมสะสมถูกชะละลายออกมาจะคล้ายคลึงกับเส้นกราฟของค่าความเป็นด่างสะสมที่ถูกชะละลายออกมาดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าแคดเมียมอาจจะอยู่ในของเสียที่แข็งตัวอยู่ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ โดยอยู่ตามรูพรุนและเกาะติดอยู่กับผนังของรูพรุน

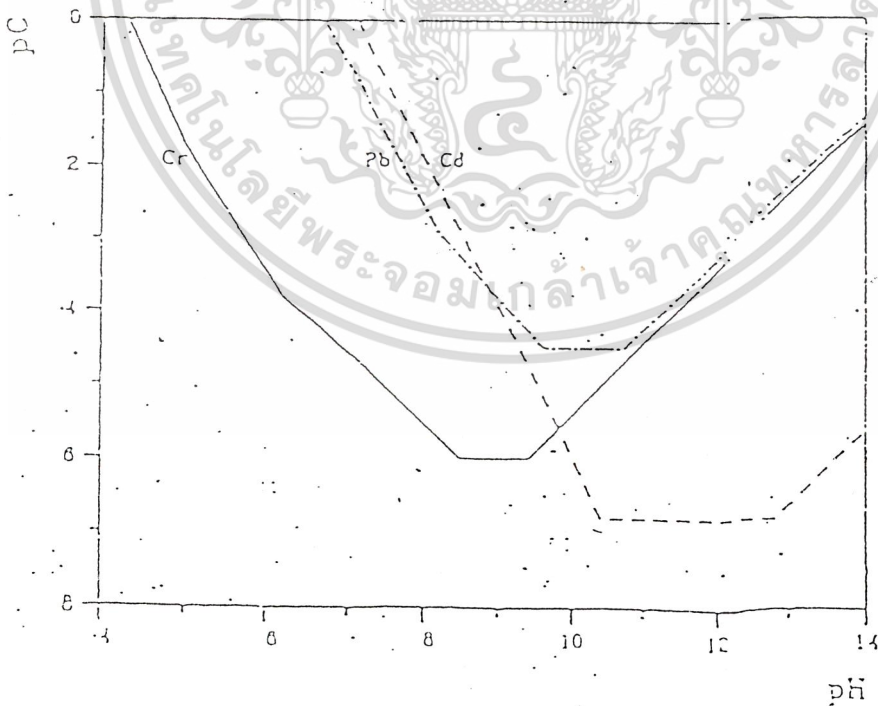
สำหรับโครเมียมและตะกั่วนั้นเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟแล้วจะมีรูปแบบของการถูกชะละลายคล้ายกับการชะละลายของซิลิกอนซึ่งเป็นสารที่อยู่ในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และทราย ดังนั้นจึงเชื่อว่าโครเมียมและตะกั่วจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนมากกว่าเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูพรุน การชะละลายของโครเมียมและตะกั่วค่อนข้างยากที่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่พีเอชต่ำๆและต่ำกว่าพีเอชในการชะละลายแคดเมียม อัตราการชะละลายของโลหะหนักทั้งสองนี้มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับอัตราการชะละลายที่คาดคะเนจากการชะละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ แสดงว่าโลหะทั้งสองนี้จะเกาะติดกันอย่างแข็งแรงภายในโครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกาและถูกชะละลายออกมาเมื่อโครงสร้างของซิลิกานี้ถูกทำลาย

รูปที่ 2.10 แสดงถึงกราฟ pc-pH diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ ของแคดเมียม โครเมียมและตะกั่วในสารละลายที่มีค่าionic strength 0.75 โมลาร์ พบว่าในขณะที่เริ่มผสมปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่นๆค่าพีเอชจะมีค่าสูงประมาณ 12-13 ซึ่งทำให้แคดเมียมส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำและอยู่ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งที่อยู่ในรูพรุนของปูนซีเมนต์ และเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิเกต จากสาเหตุดังกล่าวนี้จึงอธิบายได้ว่าแคดเมียมจะถูกชะละลายออกมาเช่นเดียวกับค่าความเป็นด่างส่วนโครเมียมและตะกั่วจะถูกชะละลายออกมาโดยขึ้นกับการละลายของซิลิเกต

ภายหลังการทดสอบการชะละลายได้วิเคราะห์น้ำหนักแห้งของสารทั้งหมดพบว่าหลังจากการทดลองการชะละลาย 15 ครั้ง ปริมาณสารที่ถูกชะละลายออกไปประมาณ 50-70% ของปริมาณทั้งหมดก่อนการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามโลหะหนักเหลืออยู่โดยมีแคดเมียม โครเมียมและตะกั่วเหลืออยู่ 50, 85 และ 75% ตามลำดับ และมีโลหะที่เป็นสารประกอบโดยปกติในซีเมนต์ได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกอนเหลืออยู่ 90, 80 และ 98 % ตามลำดับ และแคลเซียมเหลืออยู่ 8% ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์ที่แข็งตัวสามารถยึดติดกับโลหะหนักได้ดี และยากที่จะทำการชะละลายโลหะหนักออกจากซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วดังกล่าว



ภาพที่ 2.9 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายกับค่าความเป็นด่างและซิลิกอนจากการทดสอบการชะละลาย



เอกสารนี้ เป็นลิขสิทธิ์ของ... ภาพที่ 2.10 : กราฟแสดง pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม, โครเมียมและตะกั่ว ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของซีเมนต์

2.5.1 กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตที่ยังอยู่ในสภาพของเหลวมีความสำคัญในขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่สมบัติคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะ จะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดี จะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว มีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ

1. กำลังมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยขึ้นกับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration ซึ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

การเปลี่ยนแปลงสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่างๆ จะส่งผลต่อกำลังคอนกรีตไม่มากนัก

2. กำลัง และโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

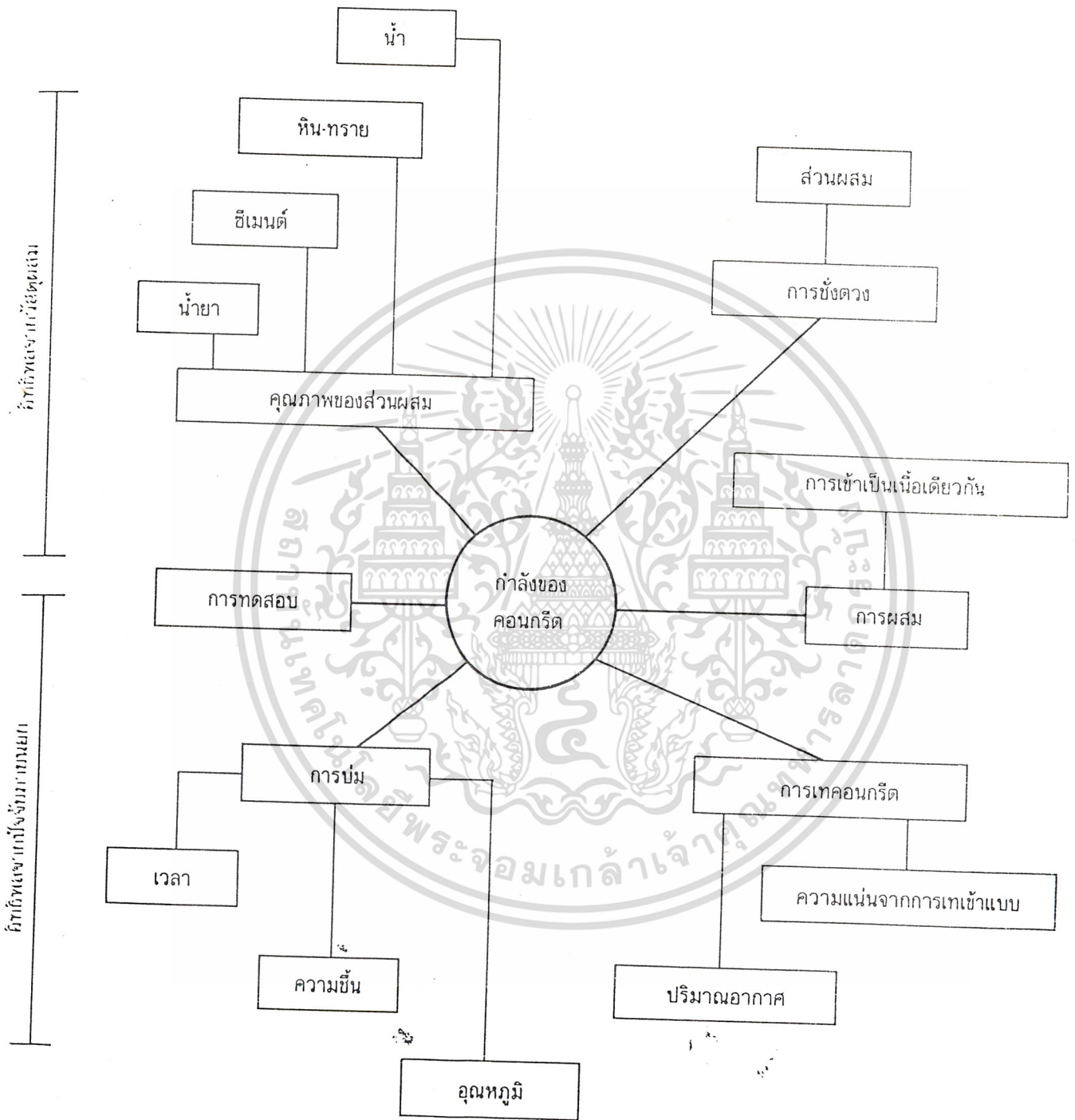
สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ ความสามารถต้านแรงคอนกรีตจะขึ้นกับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ซึ่งเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในหินขนาดใหญ่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง เนื่องจากเกิดน้ำในหินได้มากขึ้น และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลาง ขนาดของมวลรวมจะส่งผลต่อ กำลังของคอนกรีตมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง รวมทั้งการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมก็ทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นด้วย

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยวขึ้นกับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง ปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆ นอกจากนี้ ทิศทางในการหล่อ และทิศทางในการให้น้ำหนัก ก็มีผลต่อกำลังรับแรงอัดเช่นกัน เนื่องจากจะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้าต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11: สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการคือ

1. ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต
2. รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลัง และความทนทาน
2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของ น้ำให้น้อยที่สุด

การบ่ม อาจหมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้ อาจทำให้เกิดผลเสียในระยะยาว

2.5.3 การผันแปรของกำลังอัดคอนกรีต

การผันแปรของกำลังอัดคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรืออาจเป็น การผสมกันของหลายๆสาเหตุได้แก่

1. ใช้สัดส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม
2. ควบคุมปริมาณน้ำไม่ดีพอ
3. ควบคุมปริมาณฟองอากาศไม่ดี
4. การผสมไม่ดีพอ
5. มีสารอินทรีย์ต่างๆมากเกินไปเกินข้อกำหนด
6. ใช้หินทรายที่สกปรก
7. ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ
8. ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม
9. การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
10. การบ่มไม่เพียงพอ
11. การลำเลียง และการทดสอบไม่ถูกต้อง
12. อุณหภูมิผันแปรไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ความเสียหายของคอนกรีต

คอนกรีตในโครงสร้างต่างๆ อาจเกิดความเสียหายหรือขาดความทนทานอันเนื่องจากสภาพแวดล้อมหรือสภาพการใช้งานที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ความเสียหายอาจเกิดขึ้นเมื่อ เริ่มใช้งานหรือบางครั้งอาจเกิดขึ้นหลังจากใช้งานโครงสร้างคอนกรีตนั้นไปแล้วช่วงเวลาหนึ่ง และความเสียหายนี้อาจเกิดมาจากสาเหตุภายในหรือภายนอกเนื้อคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 สาเหตุคือ

ด้านกายภาพ เช่น ความเสียหายเนื่องจากความร้อน ความเย็น การเปียกและแห้งสลับกัน น้ำหนักบรรทุกมากเกินไป ความล้า อุบัติเหตุ

ด้านเคมี เช่น การซึมผ่านของสารเคมีเข้ามากัดกร่อนคอนกรีต และสนิมเหล็ก การกระทำของแบคทีเรีย

ด้านกล เช่น การเสียดสีจนเกิดความเสียหาย การกัดกร่อนโดยแรงลม

ขอบเขตของความเสียหายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเฉพาะที่มาเกี่ยวข้องอันได้แก่ คุณภาพของคอนกรีต ความหนาแน่นของคอนกรีต และความรุนแรงของสภาพแวดล้อม เป็นต้น

2.5.3 การลดความเสียหาย

ความเสียหายของคอนกรีตในโครงสร้างต่างๆ สามารถลดได้โดยพิจารณาสภาพแวดล้อมสภาพการใช้งานของโครงสร้างนั้นอย่างละเอียดก่อนการออกแบบ จากนั้นควรเลือกออกแบบและใช้ข้อกำหนดของคอนกรีตที่เหมาะสมในขั้นตอนการออกแบบ ส่วนในขั้นตอนการก่อสร้างจำเป็นต้องมีการควบคุมเป็นอย่างดี ทั้งขั้นตอนการผสม การเขย่า การแต่งผิว และการบ่ม รวมทั้งการบำรุงรักษา

2.6 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำเป็นก้อน

SollarsและPerry (1989) ได้กล่าวถึงการประเมินคุณภาพของของเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อนซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของการบำบัด ได้แก่ ปัจจัยต่างๆ เช่น การปรับปรุงให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงมั่นคง, การลดพื้นที่ผิว, และการกำจัดการละลายของสารที่เป็นอันตรายเมื่อสัมผัสกับการชะละลาย ในช่วงดังกล่าวนี้ในประเทศอังกฤษยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานอย่างเป็นทางการสำหรับคุณภาพของเสียที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีข้างต้น แต่ได้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเช่น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดของเสีย (Waste Disposal Authority) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติงาน ในการบำบัดของเสีย โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัด , การซึมได้ของน้ำ และความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนักแสดงดังตารางที่ 2.14 ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดของสมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการ Sealosafe จากโรงบำบัดของเสียที่เมือง West Thurrock

ตารางที่ 2.14 : สมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe (Sollars และ Parry, 1989)

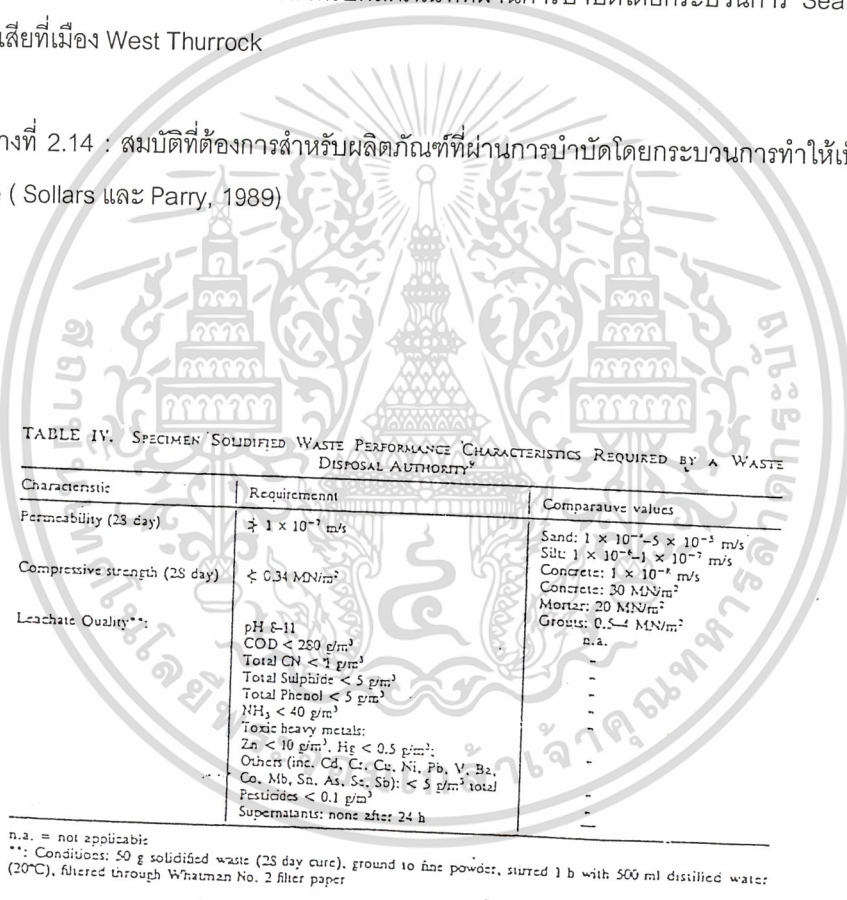


TABLE IV. SPECIMEN SOLIDIFIED WASTE PERFORMANCE CHARACTERISTICS REQUIRED BY A WASTE DISPOSAL AUTHORITY*

Characteristic	Requirement	Comparative values
Permeability (28 day)	$\leq 1 \times 10^{-7}$ m/s	Sand: 1×10^{-4} - 5×10^{-3} m/s Silt: 1×10^{-4} - 1×10^{-7} m/s
Compressive strength (28 day)	≥ 0.34 MN/m ²	Concrete: 1×10^{-4} m/s Concrete: 50 MN/m ² Mortar: 20 MN/m ² Grout: 0.5-4 MN/m ²
Leachate Quality**:	pH 8-11 COD < 250 g/m ³ Total CN < 1 g/m ³ Total Sulphide < 5 g/m ³ Total Phenol < 5 g/m ³ NH ₃ < 40 g/m ³ Toxic heavy metals: Zn < 10 g/m ³ , Hg < 0.5 g/m ³ ; Others (inc. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Ba, Co, Mn, Sn, As, Se, Sb): < 5 g/m ³ total Pesticides < 0.1 g/m ³ Supernatants: none after 24 h	n.a. - - - -

n.a. = not applicable
** Conditions: 50 g solidified waste (28 day cure), ground to fine powder, stirred 1 h with 500 ml distilled water; (20°C), filtered through Whatman No. 2 filter paper

บริษัท Engineering - Science , บริษัท Thai DCI และบริษัท Systems Engineering (1989) ได้ดำเนินการศึกษา และจัดทำแผนการจัดการของเสียอันตรายของประเทศไทย (National Hazardous Waste Management Plan) ได้กล่าวถึงการทดสอบการชะละลายและเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อนโดยแบ่งการทดสอบได้เป็น 2 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ 1 การทดสอบการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เช่น โลหะหนักและสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ เป็นต้น โดยกำหนดค่า threshold value สำหรับสารเคมีต่างๆ ที่ถูกชะละลายออกมาจากของเสียนั้นขึ้นมา ถ้าค่าที่ทดสอบนั้นสูงกว่าค่า threshold value แสดงว่าของเสียนั้นเป็นอันตราย เกณฑ์ในการกำหนดค่า threshold value โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 100 เท่าของมาตรฐานน้ำดื่ม ถ้าสารเคมีดังกล่าวถูกชะละลายและเจือจางในธรรมชาติได้มากกว่า 100 เท่า จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแหล่งน้ำใช้ของมนุษย์ การทดสอบการชะละลายของสารเคมีจากของเสียที่ผ่านการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อนจะเป็นการประเมินความสามารถและประสิทธิภาพของระบบบำบัดของเสีย ค่า threshold value สำหรับสารเคมีต่างๆได้กำหนดไว้ ดังนี้

Arsenic	5.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Barium	100.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Cadmium	1.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Chromium	5.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Mercury	0.2	มิลลิกรัม/ลิตร
Selenium	1.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Silver	5.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Aldrin	0.02	มิลลิกรัม/ลิตร
Lindane	0.4	มิลลิกรัม/ลิตร
Methoxychlor	10.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Toxaphene	0.5	มิลลิกรัม/ลิตร
2,4 - D	10.0	มิลลิกรัม/ลิตร
2,4,5 - TP Silvex	1.0	มิลลิกรัม/ลิตร

วิธีที่ 2 เป็นวิธีการทดสอบความเป็นพิษของสารที่ถูกชะละลายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (bioassay)

โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลที่เกิดจากการทดลองใช้ค่า threshold value (การทดลองนี้ใช้น้ำกลั่นเป็นสารชะละลาย) ถ้าค่าความเป็นพิษของสารชะละลายเกินค่าที่กำหนดซึ่งได้เลือกไว้สำหรับการเจือจางในสิ่งแวดล้อมแล้ว ของเสียนั้นจะเป็นของเสียอันตรายโดยกำหนดค่า 24 - hour LC 50 เมื่อน้ำสกัดมีการเจือจางน้อยกว่า 20 %

U.S.EPA. (1992) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับของเสียที่สามารถนำไปทิ้งโดยการฝังกลบหรือของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยการทดสอบของเสียดังกล่าวด้วยวิธีการสกัดสาร (Extraction Procedure) และการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (extract solution) มาตรฐานของ U.S.EPA. ได้กำหนดความเข้มข้นของโลหะหนักซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสารเป็นพิษตามประเภทของของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ.2531) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับลักษณะและสมบัติของของเสีย หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงฯ ฉบับที่ 25 โดยกำหนดสมบัติของสารมีพิษซึ่งเมื่อนำมาทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร (Extraction Procedure) และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจะมีค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้

Arsenic	>5.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Cadmium	>1.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Chromium	>5.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Mercury	>0.2	มิลลิกรัม/ลิตร
Lead	>5	มิลลิกรัม/ลิตร

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ.2531) ได้ออกประกาศกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 เรื่องกำหนดวิธีการเก็บ, การทำลายฤทธิ์, การกำจัด, การฝัง, การทิ้ง, การเคลื่อนย้าย, และการขนส่งของเสียหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว สามารถสรุปมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

1. วิธีการทำลายของเสียหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วก่อนนำไปทิ้งหรือนำไปฝัง (ตารางที่ 2.15)

ตารางที่ 2.15 : วิธีการทำลายฤทธิ์ของสิ่งปฏิกูลประเภทต่างๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2531)

ประเภทของสิ่งปฏิกูล	วิธีการทำลายฤทธิ์
1. กากตกตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อน	นำกากตะกอนผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็น ปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน โดยผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพ หรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเดิม ผสมลงไปด้วย
2. กากจากการผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีสารปรอทปนเปื้อน	นำกากที่ต้องผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนเพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยาเคมีได้ทั่วถึง มาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน โดยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพ หรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเดิม ผสมลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของสิ่งปฏิภูล	วิธีการทำลายฤทธิ์
3. กากตะกอน หรือฝุ่นที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และแมงกานีส	ใช้สารละลายต่าง เช่นปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผสมกับกากตะกอนให้ทั่ว จนสารโลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบของ เกลือไฮดรอกไซด์ที่มีค่า pH ของของผสมประมาณ 11 แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ในกรณีที่เป็นกากตะกอน หรือฝุ่นที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียม (Cd) จะต้องทำให้เป็นก้อน ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์
4. กากตะกอน หรือวัสดุไม่ใช่แล้วที่มียาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช หรือยากำจัดเชื้อราปนเปื้อน	เติมสารละลายต่าง เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในปริมาณที่สามารถจะทำลายพิษของตัวยาแต่ละชนิดให้หมดไป

2. ของเสียที่ผ่านการทำเป็นก้อน (Solidification) จะต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้

- น้ำซึมผ่านได้ในอัตราที่ต่ำกว่า 1×10^6 เซนติเมตรต่อวินาที
- สามารถรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
- มีลักษณะแข็งคล้ายหิน ไม่ไหม้ไฟ ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัยการเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัยวัสดุที่ใช้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเพชร
2. ทราช ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร
3. น้ำ ใช้น้ำประปา



ภาพที่ 3.1 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 : ทRAY และปูนซีเมนต์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช

สารเคมี

1. สารมาตรฐาน $Pb(NO_3)_2$, $Cr(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2$ และ $Mn(NO_3)_2$
2. น้ำกลั่น
3. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.5 N
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N
5. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 N
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์

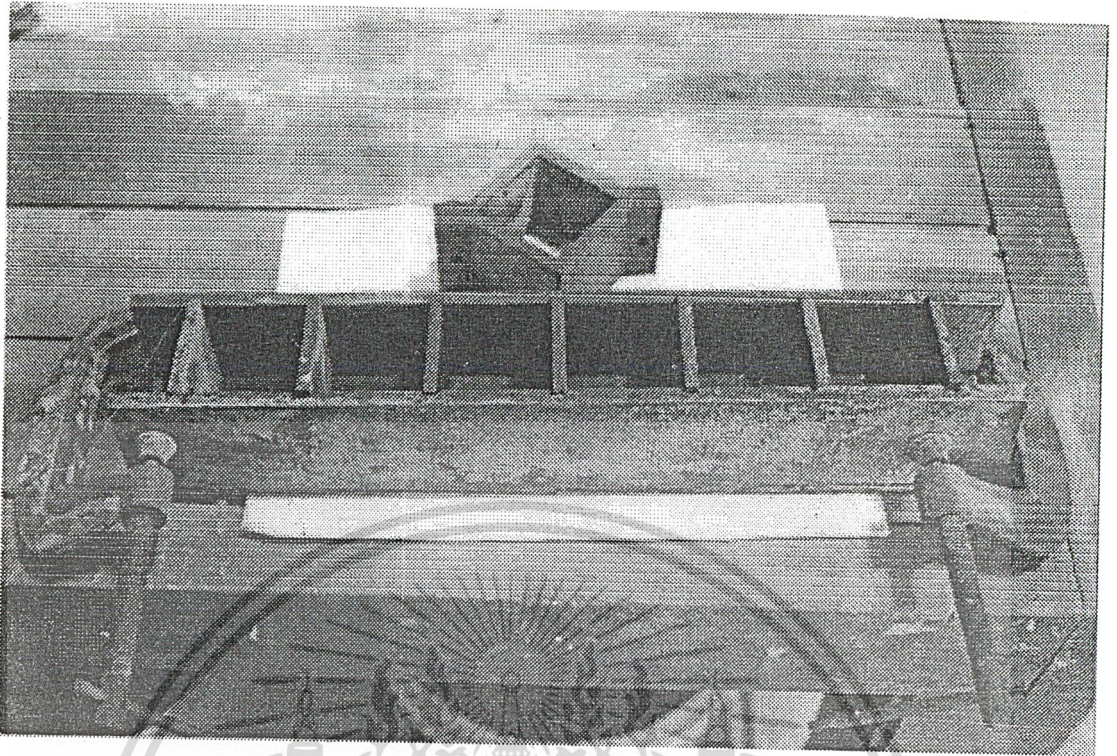
1.การทดลองหล่อซีเมนต์และการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. เครื่องชั่ง 2000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.2 กรัม
2. กระบอบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
3. แบบหล่อขนาด 5×5×5 ลบ.ซม.
4. เครื่องผสมปูนซีเมนต์ หรือแผ่นกระจกสำหรับผสมด้วยมือ
5. เหล็กกระทุ้ง (Tamper) ขนาดหน้าตัด $\frac{1}{2} \times 1$ นิ้ว มีความยาว 5 - 6 นิ้ว ปลายตัดเรียบและหน้าตัดตั้งฉากกับแกนของมือจับซึ่งทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ
6. เกียงขนาดหน้ากว้างของใบ 4 - 6 นิ้ว
7. เครื่องทดสอบแรงอัด
8. กระดาษอินดิเคเตอร์

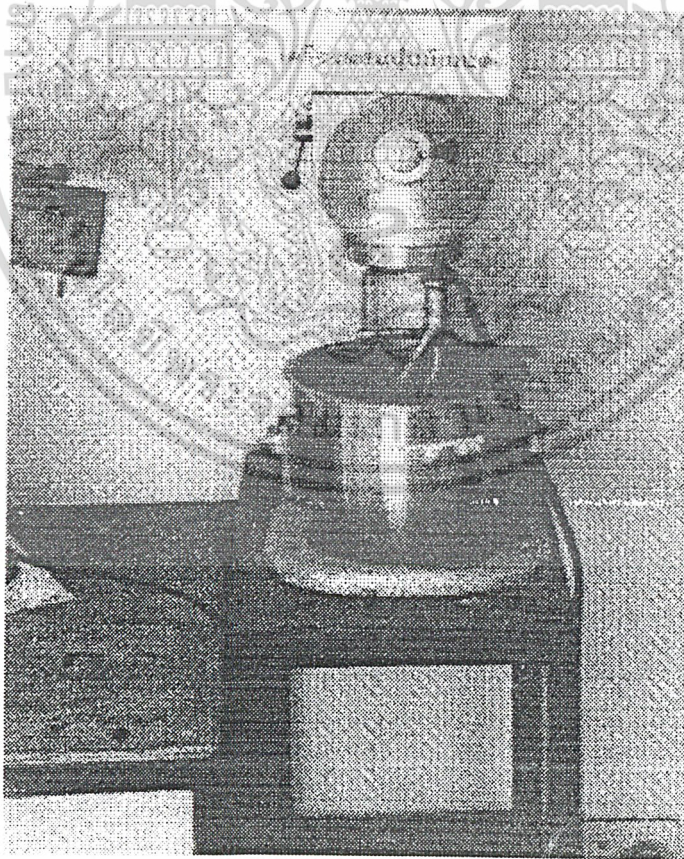


ภาพที่ 3.3 : เครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

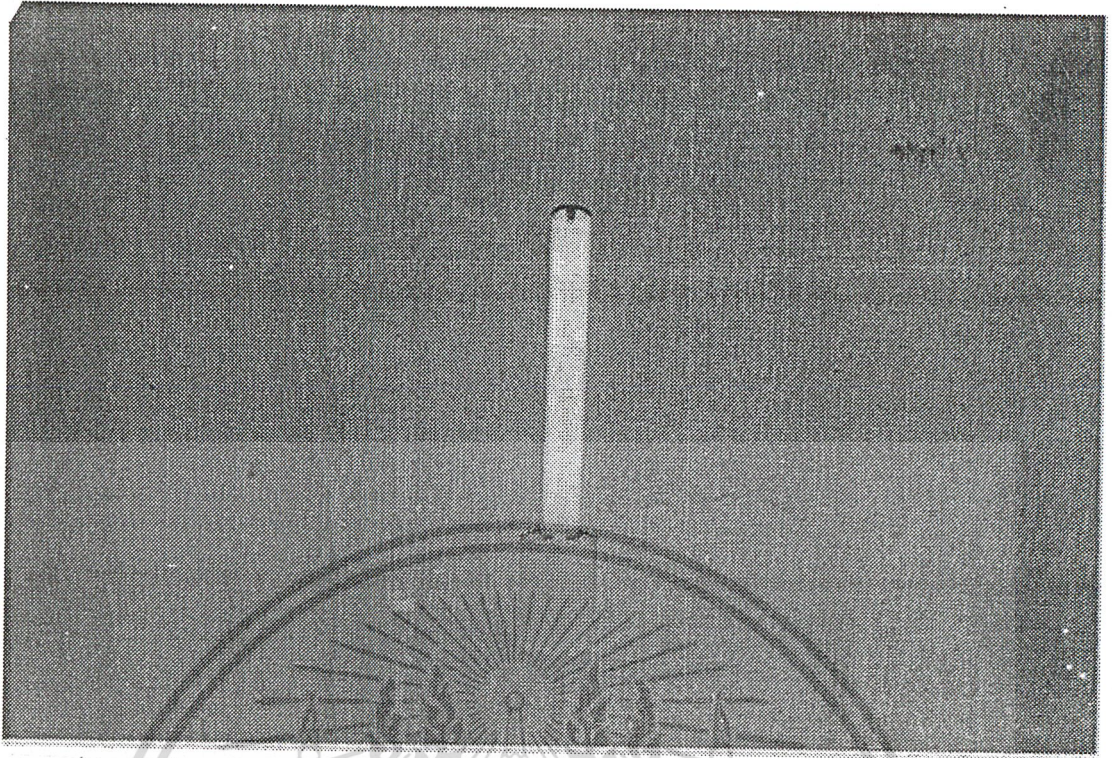


ภาพที่ 3.4 : แบบหล่อขนาด 5*5*5 ลบ.ซม.จ

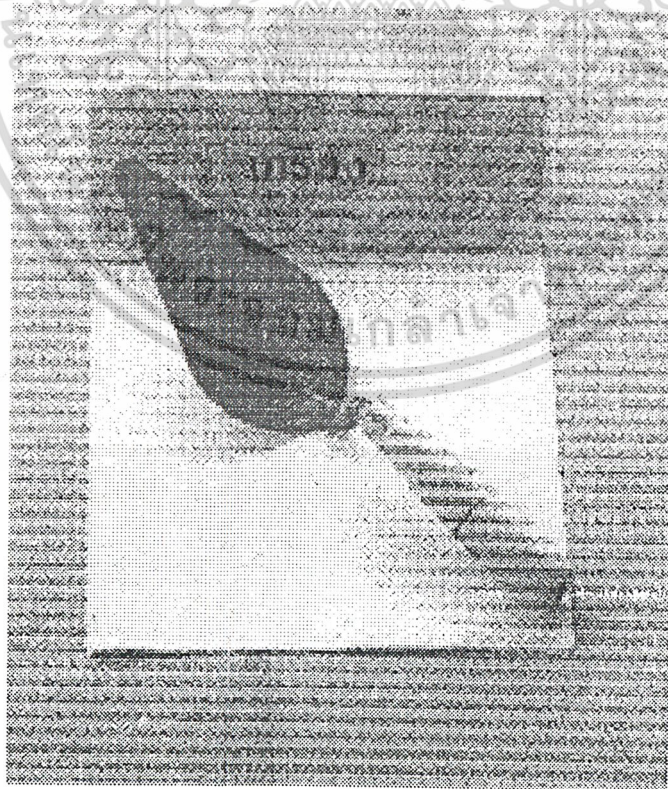


ภาพที่ 3.5 : เครื่องผสมปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

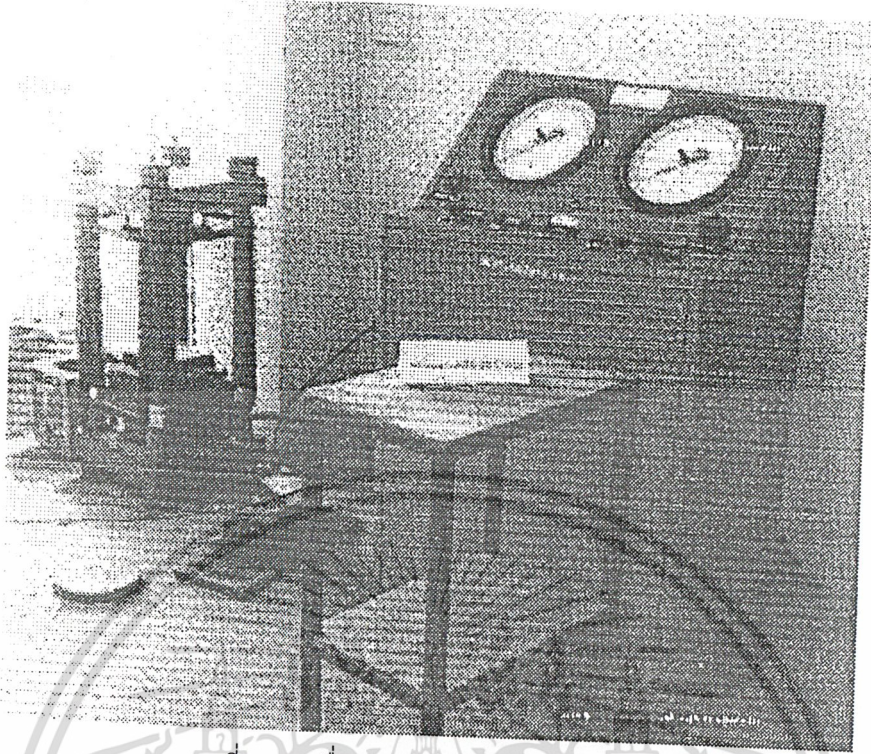


ภาพที่ 3.6 : เหล็กกระทิง



ภาพที่ 3.7 : เกรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 : เครื่องทดสอบแรงอัด

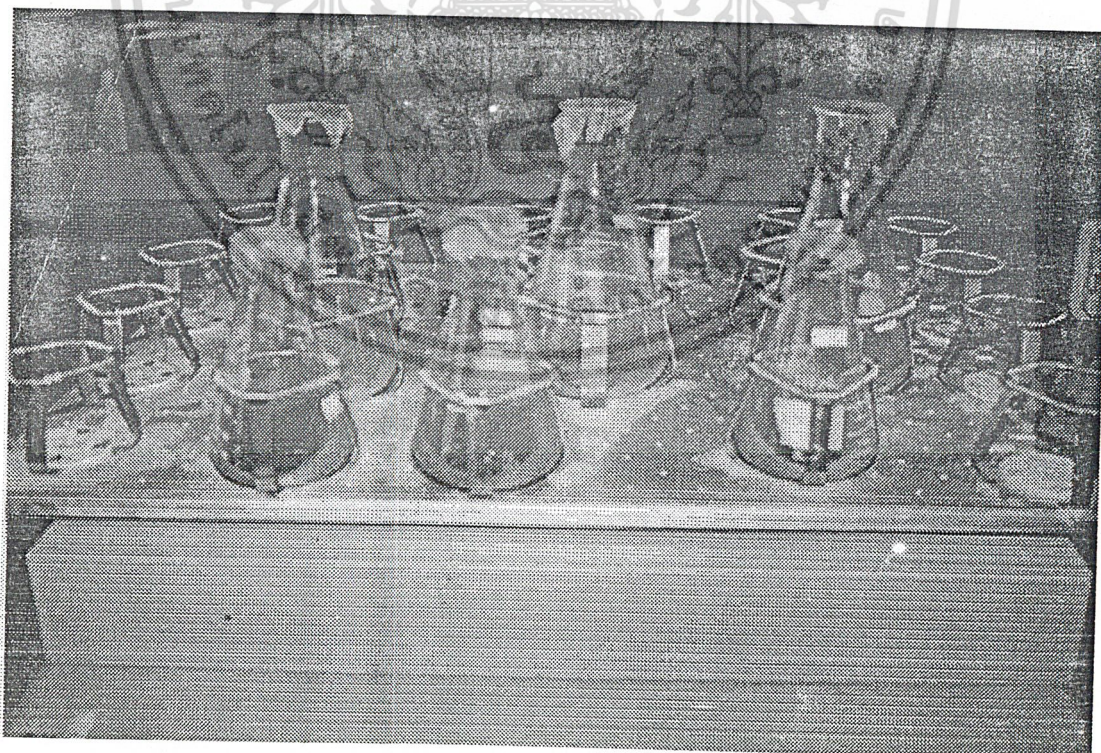


ภาพที่ 3.9 : ตะแกรงร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

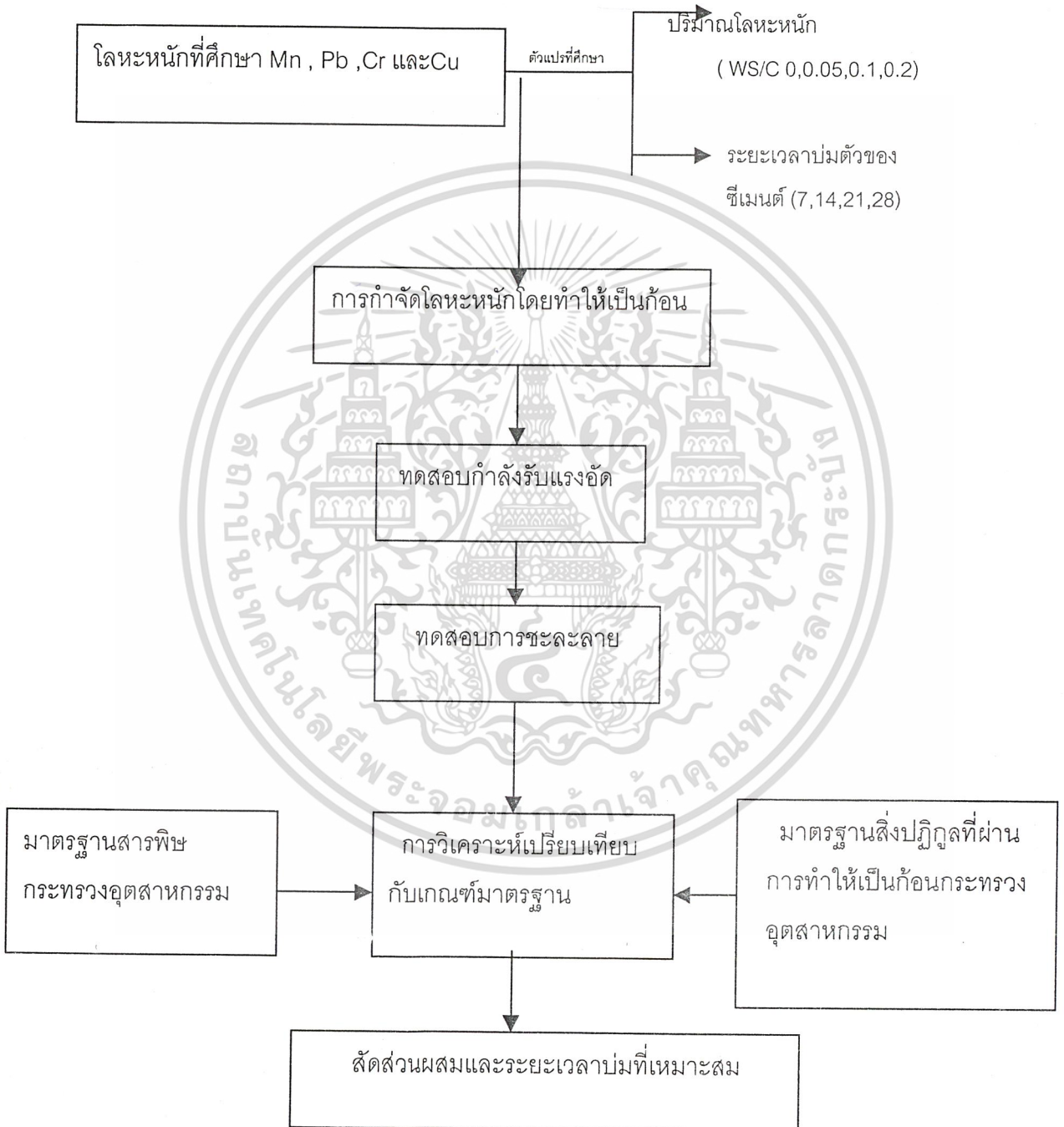
1. ตะแกรงขนาด 0.5-5 มิลลิเมตร
2. ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
3. เครื่องชั่งขนาด 1000 กรัม
4. กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิเมตร
5. เครื่องเขย่า (Horizontal shaker) 200 รอบ/นาที
6. กระดาษกรองใยแก้วขนาด 0.45 ไมโครเมตร
7. เครื่องวัดพีเอช
8. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductometer)
9. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Atomic Absorption Spectrophotometer)
10. ขวดวัดปริมาตร
11. บีเปต
12. กรวยกรอง
13. ขวดเขย่าพร้อมฝา
14. ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างพร้อมฝา



เอกสารนี้เป็นเอกสารภาพที่ 3.10 : น้ำสกัดที่ได้หลังจากผ่านการชะละลายแล้ว อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง ตลอดจนตัวแปรที่ทำการศึกษาโดยการทดลองแบ่งตัวแปรที่ศึกษาเป็น 2 ชุดทดลอง



ภาพที่ 3.11 : แสดง ตัวแปรที่ศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของโลหะหนักต่อตัวประสานที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อน

ก. การเตรียมก้อนซีเมนต์

1. ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์ตามมาตรฐานของ ASTM C 109 - 86 ในแบบหล่อขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. โดยใช้อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : น้ำ : หยาบ เท่ากับ 100 : 50 : 200 และทดลองแปรค่าอัตราส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน (WS/C) เท่ากับ 0 , 0.05, 0.1 ,0.2 ตามลำดับ ในการผสมใช้จำนวนตัวอย่างครั้งละ 2 ตัวอย่าง
2. ผสมปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่นๆในเครื่องผสม (Mixer) จนเข้ากันดี
3. เทซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อมอร์ตาร์ ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 นาที หลังการผสมเสร็จ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 2.50 แล้วใช้เหล็กกระทุ้ง (Tamber) กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดยใน 8 ครั้งแรก จะมีทิศทางตั้งฉากกับใน 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณ และเท่ากันโดยตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมซีเมนต์ชั้นที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้องกันที่ทำการกระทุ้ง 16 ครั้ง เช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อเสร็จแล้วใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกลักษณะคล้ายเลื่อย
4. หลังจากเทหล่อแบบเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันทีและถอดแบบที่เวลา 24 ชั่วโมง ปมตัวอย่างต่อจนครบ 7 วัน โดยใช้ผ้ากระสอบชุบน้ำคลุมทับ
5. ทำเช่นเดียวกับ ข้อ 1 - 4 โดยเปลี่ยนชนิดของโลหะหนัก

ข. ทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดจะทำให้ทราบว่าคอนกรีตที่ได้นั้นมีความสามารถและเหมาะสมเพียงใดในการใช้งาน

ตัวอย่างจาก ข้อ ก. ไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยเครื่อง Test Machine ด้วยวิธีการ

ดังนี้

1. นำก้อนตัวอย่างที่จะทดสอบซึ่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณความหนาแน่น โดยหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง
2. วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกดโดยใช้ด้านที่สัมผัสกับแบบหล่อ
3. เช็ดผิวหน้าทั้งสองด้าน
4. ทำความสะอาดพื้นผิวของแท่นกดเครื่องทดสอบ
5. วางตัวอย่างทดสอบโดยวางให้ตรงแนวศูนย์กลางของแท่นกดแท่นบน และแท่นล่าง
6. ใช้แรงกดทับแท่งตัวอย่างในเวลา 20 -80 วินาที โดยเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการเพิ่มแรงกดควรเพิ่มด้วยอัตรา 140 ต่อ ตร.ซม. ต่อนาที อย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรปรับอัตราการเพิ่มแรงกดในระหว่างที่แท่งตัวอย่างถึงบริเวณใกล้เคียงจุดคราก จนถึงจุดวิบัติ
7. ทำการกดจนกระทั่งแท่งคอนกรีตตัวอย่างวิบัติ พร้อมบันทึกค่าแรงสูงสุดไว้

8. ทำเช่นเดียวกับ ข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนชนิดของโลหะหนัก

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 : ตัวอย่างที่หล่อเรียบร้อยแล้ว

ค. การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

การทดลองนี้ใช้มาตรฐานการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก โดยวิธีสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ดังรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้

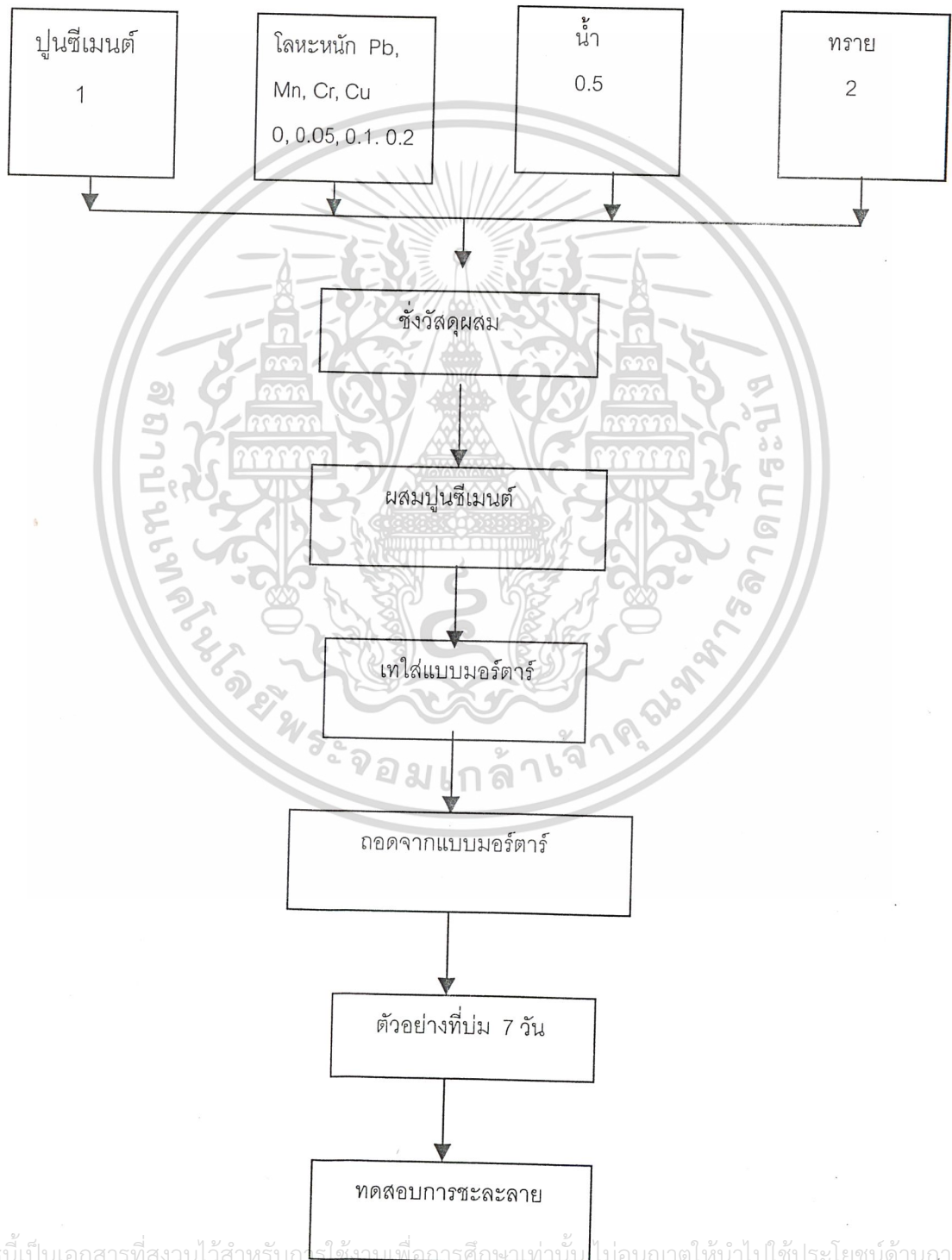
1. บดตัวอย่างซีเมนต์ที่แข็งตัวให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง 0.5 -5 มิลลิเมตร
2. ชั่งตัวอย่างในข้อ 1 มา 50 กรัม ใส่ในถ้วยทำละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่น ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จนมีค่าความเป็นกรด - ด่าง 5.8 ถึง 6.3 โดยให้มีปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร) เป็น 10 เท่าของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างสารที่ชั่งมา

เอกสารนี้ 3. นำตัวอย่างในเครื่องเขย่า เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่า ชนิด 200 รอบ/นาที

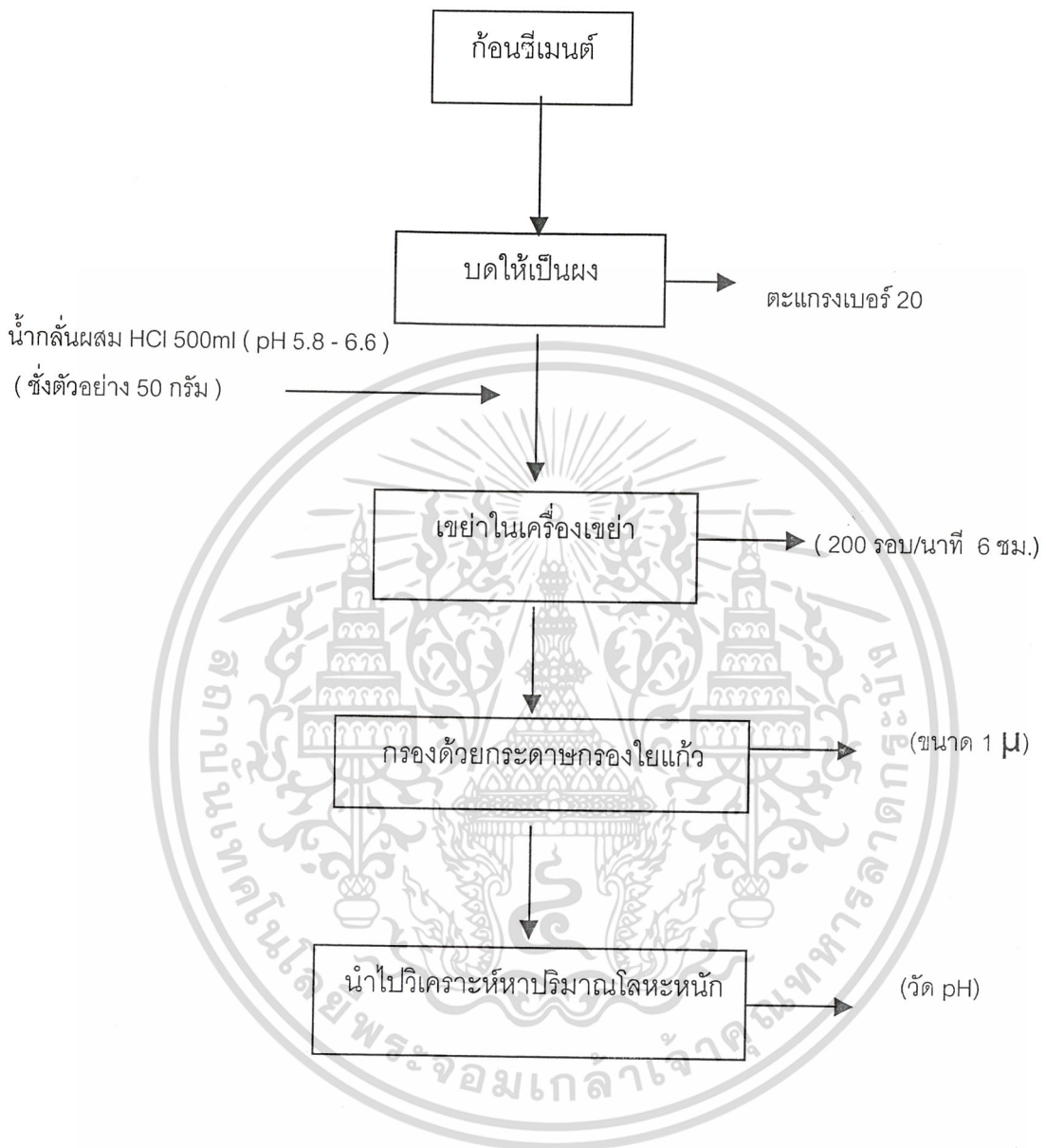
4. นำไปวัดค่าพีเอช ค่าสภาพนำไฟฟ้า และ ค่าความเป็นด่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
6. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer
7. ทำเช่นเดียวกับ ข้อ 1 - 6 โดยเปลี่ยนชนิดของโลหะหนัก

สรุปเป็นแผนภาพแสดงสัดส่วนของวัสดุซีเมนต์ และ ขั้นตอนการหล่อซีเมนต์ และแสดงการทดสอบการชะละลาย โลหะหนัก ดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ภาพที่ 3.13 : อัตราส่วนของวัสดุซีเมนต์ และขั้นตอนการหล่อซีเมนต์ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 ; การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มตัวที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์

การบ่มคอนกรีต (Curing of concrete) เป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้น (น้ำ) ระเหยออกไปจากคอนกรีตเร็วเกินไป เพื่อให้ น้ำกับปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยา (Hydration) ต่อเนื่องกันตลอดเวลาป้องกันการแตกร้าว ทำให้กำลังคอนกรีตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในช่วงแรกของการบ่มกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อยๆช้าลงในเวลาต่อมาระยะเวลาในการบ่มส่วนมากจะคิดเป็น 7, 14 , 21 และ 28 วัน แล้วแต่ว่าจะบ่มกี่วัน ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์นี้ตรวจวัดที่คอนกรีตมีความชื้นอยู่ก็จะทำปฏิกิริยาต่อไป แม้ว่าจะผ่านไปเป็นปีก็ตาม

1. จากผลการศึกษาในการทดลองที่ 1 เลือกอัตราส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมและเปลี่ยนตัวแปรในการทดสอบเป็นระยะเวลาในการบ่มตัวในการหล่อซีเมนต์ 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ
2. ทดสอบความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว
3. นำตัวอย่างที่ผ่านการบ่มแล้ว ไปทดสอบการชะละลายตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม เสร็จแล้วนำน้ำสกัดมาทดสอบหาค่า พีไอช , ความเป็นด่าง , และค่าสภาพนำไฟฟ้า และหลังจากนั้น นำน้ำสกัดไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักโดยใช้เครื่อง AAS

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของโลหะหนักโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์

ในการทดลองส่วนนี้ได้ทำการศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของโลหะหนักในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งการศึกษาถึงผลของโลหะหนักในเตรตแต่ละชนิดโดยแปรค่าสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็น 0.00, 0.05, 0.10, 0.20 และใช้ระยะเวลาป่มตัว 7 วัน จากนั้นนำโลหะหนักในเตรตแต่ละชนิดที่เป็นก้อนซีเมนต์ไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ คือ การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านเคมี คือ การชะละลาย แล้วนำไปเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ เลือกสัดส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดลองต่อไป

4.1.1 สมบัติทางกายภาพของแต่ละสัดส่วนของโลหะหนักที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์

1. กำลังรับแรงอัด

ผลของการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของโลหะหนักในเตรตที่ทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ เมื่อมีสัดส่วนผสมของโลหะหนักเป็น 0.00, 0.05, 0.10, 0.20 ตามลำดับ แสดงได้ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 : แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ที่มีสัดส่วนผสมของโลหะหนัก

ชนิดของโลหะหนักในเตรต	กำลังรับแรงอัด (กก. / ตร.ซม.)			
	สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน			
	0.00	0.05	0.1	0.2
แมงกานีสในเตรต	290	184	108	28
คอปเปอร์ในเตรต	290	204	140	36
ตะกั่วในเตรต	290	232	188	98
โครเมียมในเตรต	290	176	92	8
โลหะหนักในเตรตผสม	290	200	112	40

หมายเหตุ : เกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการเป็นก้อนซีเมนต์มีค่าสูงกว่า 14 กก/ตร.ซม.

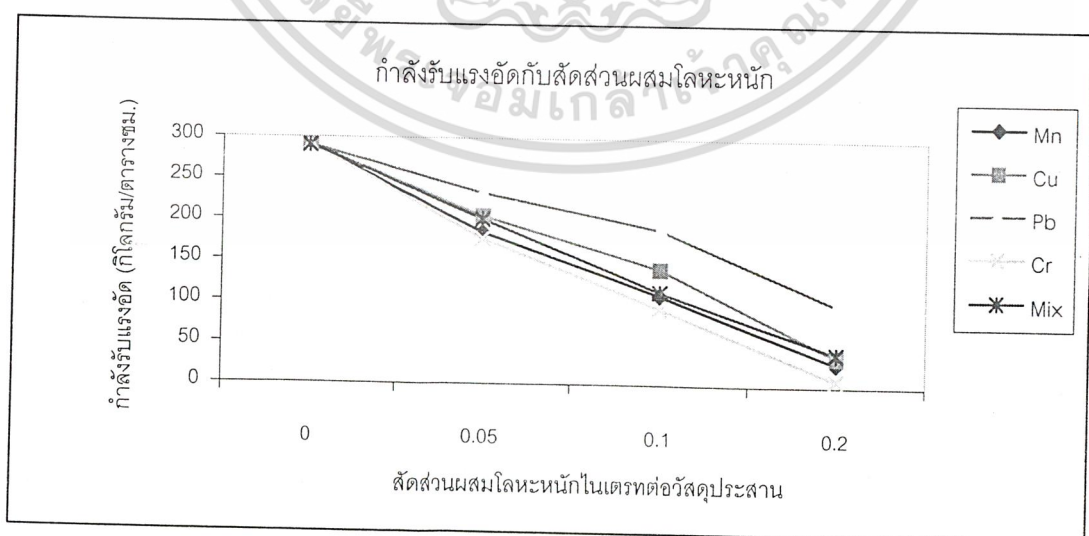
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานต่างกัน พบว่าซีเมนต์แท่งที่ไม่มีส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเจือปนอยู่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 290 กก./ตร.ซม.

สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็น 0.05, 0.10, 0.20, พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของโลหะหนักในเตรทแต่ละชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาซีเมนต์แท่งที่มีสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05, 0.10, 0.20 พบว่าซีเมนต์แท่งที่มีตะกั่วในเตรทผสมอยู่ มีค่ากำลังรับแรงสูงสุดโดยเทียบกับโลหะหนักในเตรทชนิดอื่นที่สัดส่วนผสมเดียวกัน คือมีค่า 232, 188, 98 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ส่วนซีเมนต์แท่งที่มีส่วนผสมของคอปเปอร์ในเตรท, โลหะหนักในเตรทผสมหลายชนิด, แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรท เมื่อเปรียบเทียบกับที่สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเดียวกัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงตามลำดับ ยกเว้นที่สัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็น 0.20 ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์แท่งที่มีคอปเปอร์ผสมอยู่มีค่าน้อยกว่า ซีเมนต์แท่งที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทผสมในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็น 0.05, 0.10, 0.20 กับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์แท่งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ทั้งสามสัดส่วน มีค่าสูงกว่า 14 กก./ตร.ซม. ยกเว้นแท่งซีเมนต์ที่มีสัดส่วนของโครเมียมในเตรทต่อวัสดุประสาน 0.20 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด ต่ำกว่า 14 กก./ตร.ซม. โดยมีค่าเท่ากับ 8 กก./ตร.ซม. แสดงได้ดังกราฟที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับสัดส่วนผสมโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ค่าความหนาแน่น

ผลการคำนวณความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตาผสมในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็น 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, ตามลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 : แสดงค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีสัดส่วนผสมของโลหะหนัก

ชนิดของโลหะหนักในเตา	ความหนาแน่น (ตัน / ลบ.ม.)			
	สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน			
	0.00	0.05	0.1	0.2
แมงกานีสในเตา	2.09	2.15	2.18	2.25
คอปเปอร์ในเตา	2.09	2.16	2.22	2.28
ตะกั่วในเตา	2.09	2.19	2.24	2.36
โครเมียมในเตา	2.09	2.11	2.15	2.21
โลหะหนักในเตาผสม	2.09	2.12	2.21	2.27

หมายเหตุ : เกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์มีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน /ลบ.ม.

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของแห้งซีเมนต์ที่มี โลหะหนักในเตาผสมอยู่ พบว่า ซีเมนต์แห้งที่ไม่มีส่วนผสมของโลหะหนักในเตาผสมอยู่มีค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ คือ 2.09 ตัน / ลบ.ม.

สำหรับซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตาผสมอยู่ในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 , 0.10 , 0.20 พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตาผสมอยู่ในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักแต่ละชนิดในสัดส่วนเดียวกัน พบว่าซีเมนต์แห้งที่มี ตะกั่วในเตาผสมอยู่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเป็น 2.19 ตัน / ลบ.ม. ส่วนซีเมนต์แห้งที่มีส่วนผสมของ คอปเปอร์ในเตา , แมงกานีสในเตา , โลหะหนักในเตาหลายชนิดผสมกัน และโครเมียมในเตา พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามลำดับคือ 2.16 , 2.15 , 2.12 , และ 2.11 ตัน / ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักแต่ละชนิดในสัดส่วนเดียวกัน พบว่าซีเมนต์แห้งที่มีตะกั่วในเตรทผสมอยู่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเป็น 2.24 ตัน/ลบ.ม. ส่วนซีเมนต์แห้งที่มีส่วนผสมของ คอปเปอร์ในเตรท , โลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน , แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรท พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามลำดับคือ 2.22 , 2.21 , 2.18 และ 2.15 ตัน/ลบ.ม.

เมื่อพิจารณาซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.20 เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักแต่ละชนิดในสัดส่วนเดียวกัน พบว่าซีเมนต์แห้งที่มีตะกั่วในเตรทผสมอยู่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเป็น 2.36 ตัน/ลบ.ม. ส่วนซีเมนต์แห้งที่มีส่วนผสมของ คอปเปอร์ในเตรท , โลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน , แมงกานีสในเตรท และ โครเมียมในเตรท พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามลำดับคือ 2.28 , 2.27 , 2.25 และ 2.21 ตัน/ลบ.ม.

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 , 0.10 และ 0.20 กับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน พบว่า ค่าความหนาแน่นของแห้งซีเมนต์ที่ผสมโลหะหนักในเตรททั้งสามสัดส่วนนี้ มีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน/ลบ.ม. แสดงได้ดังรูปกราฟที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีแต่ละสัดส่วนผสมของโลหะหนักที่ผ่านกระบวนการทำให้ เป็นก้อนซีเมนต์

เป็นการศึกษาเพื่อทดสอบค่าการชะละลายของโลหะหนักที่ผ่านกระบวนการทำเป็นก้อนซีเมนต์ โดยหลังจากที่ผ่านกระบวนการทดสอบทางกายภาพแล้ว นำซีเมนต์แห้งมาทดสอบค่าการชะละลายด้วยการ นำน้ำสกัดมาหา ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของการชะละลาย ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบซีเมนต์แห้งที่มีสัดส่วนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน เป็น 0.00 , 0.05 , 0.1 และ 0.2 แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 : แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดที่สัดส่วนผสมของโลหะหนัก

ชนิดของโลหะหนักในเตรท	สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน	สมบัติของน้ำสกัด	
		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)
Mn(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	11.79	0.676
	0.10	12.39	0.818
	0.20	12.80	1.395
Cu(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	10.24	0.247
	0.10	13.97	0.731
	0.20	13.18	0.868
Pb(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	8.67	0.295
	0.10	13.17	0.519
	0.20	14.53	0.626
Cr(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	12.36	1.372
	0.10	14.83	1.461
	0.20	16.04	1.825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 : แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดที่สัดส่วนผสมของโลหะหนัก

ชนิดของโลหะหนักในเตรท	สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน	สมบัติของน้ำสกัด	
		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล.)
Mix Mn(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	7.25	0.292
	0.10	10.67	0.357
	0.20	13.23	0.513
Mix Cu(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	7.25	0.195
	0.10	10.67	0.206
	0.20	13.23	0.276
Mix Pb(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	7.25	0.073
	0.10	10.67	0.101
	0.20	13.23	0.142
Mix Cr(NO ₃) ₂	0.00	6.33	ND
	0.05	7.25	0.419
	0.10	10.67	0.473
	0.20	13.23	0.507

1. ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำสกัดในสัดส่วนผสมของโลหะหนัก ต่อวัสดุประสาน 0.00, 0.05, 0.1 และ 0.2

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm) ของซีเมนต์แห้งที่มี แมงกานีสในเตรท คอปเปอร์ในเตรท , ตะกั่วในเตรท , โครเมียมในเตรท และโลหะหนักในเตรทที่ผสมหลายชนิด ที่สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.00, 0.05, 0.1 และ 0.2 ที่ตามลำดับจากหน้านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกรค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

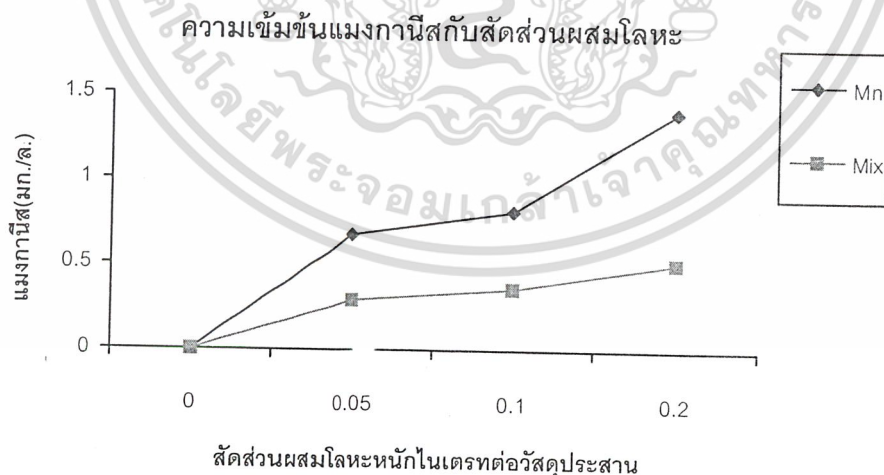
แสดงให้เห็นว่า เมื่อสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าของแมงกานีสในเตรท , คอปเปอร์ในเตรท , ตะกั่วในเตรทและโครเมียมในเตรท จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีภาระละลายโลหะหนักออกมามากขึ้น และในส่วนของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทที่ผสมกันหลายชนิด จากตาราง เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมโลหะหนัก พบว่า มีแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าการนำไฟฟ้าของ แมงกานีสในเตรท , คอปเปอร์ในเตรท , ตะกั่วในเตรท และโครเมียมในเตรท แต่ในซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่หลายชนิดจะมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าในซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมเพียงชนิดเดียว

2. ความเข้มข้น

แสดงความเข้มข้นของการชะละลายโลหะหนักในเตรทแต่ละชนิดได้ดังนี้

2.1 โลหะหนักแมงกานีสในเตรท

จากการทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของแมงกานีส ที่สัดส่วนของโลหะในเตรท ต่อวัสดุประสาน 0.00 , 0.05 , 0.1 และ 0.2 โดยวัดค่าความเข้มข้นได้เท่ากับ 0, 0.676 , 0.818 และ 1.395 มก. / ล. โดยแสดงดังกราฟที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำสกัด

กับสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน

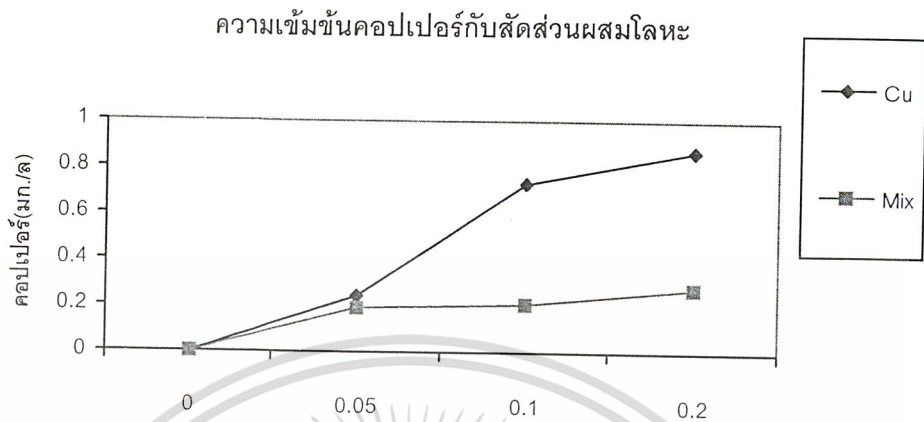
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักแมงกานีสกับสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะเห็นว่า แนวโน้มของเส้นกราฟ มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเพิ่มสัดส่วนผสมของโลหะหนักลงในส่วนผสมซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีส เพิ่มขึ้น เช่นกัน ซึ่งในสัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.00 จะให้ค่าความเข้มข้น 0.00 มก. / ล. ใน สัดส่วน 0.05 ให้ค่าความเข้มข้น 0.676 มก. / ล. ในสัดส่วน 0.1 ให้ค่าความเข้มข้น 0.818 มก./ล. และในสัดส่วน 0.2 จะให้ค่าความเข้มข้นที่ 1.395 มก. / ล. ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์แห้งที่สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักแมงกานีสที่ถูกชะละลายออกมาได้ดีกว่าที่สัดส่วน 0.1 และที่สัดส่วน 0.1 ก็ดีกว่าที่สัดส่วน 0.2 ตามลำดับ เนื่องจากมีการเกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ กับโลหะได้ดีกว่าเช่นกัน

เมื่อทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทที่ผสมหลายชนิด จากกราฟจะเห็นว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแนวโน้มของก้อนซีเมนต์ที่มีแต่แมงกานีสในเตรทเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 กราฟ จะเห็นว่าในก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะในเตรทที่ผสมหลายชนิด จะมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะแมงกานีสอย่างเดียว

2.2 โลหะหนัก คอปเปอร์ในเตรท

จากการทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรท ที่สัดส่วนของโลหะต่อวัสดุประสาน 0.00 , 0.05 , 0.1 และ 0.2 โดยวัดค่าความเข้มข้นได้เท่ากับ 0, 0.247 , 0.731 และ 0.868 มก. / ล. โดยแสดงดังกราฟ 4.4



สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในน้ำสกัดกับสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน

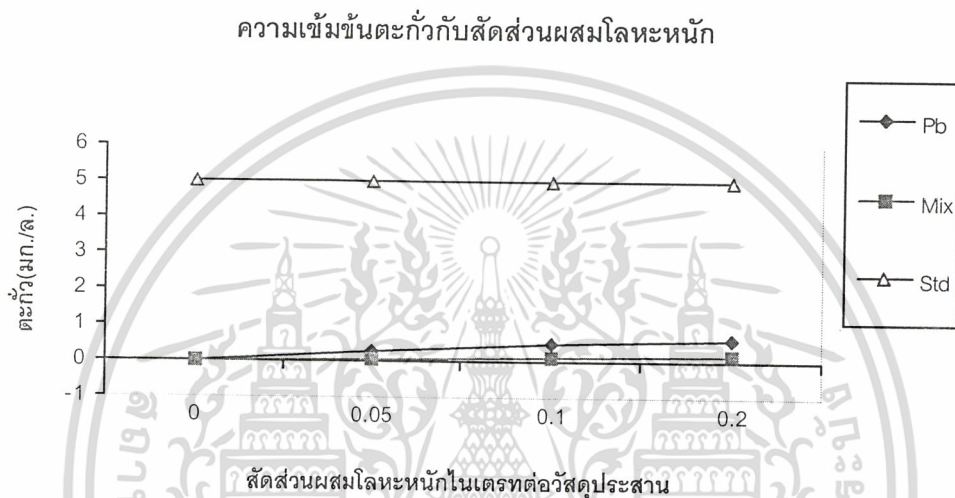
จากกราฟที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักคอปเปอร์ในเตรทกับสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะเห็นว่า แนวโน้มของเส้นกราฟ มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการเพิ่มสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทลงในส่วนผสมซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรท เพิ่มขึ้น เช่นกัน ซึ่งในสัดส่วนผสมโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน 0.00 จะให้ค่าความเข้มข้น 0.00 มก./ล. ใน สัดส่วน 0.05 ให้ค่าความเข้มข้น 0.247 มก. / ล. ในสัดส่วน 0.1 ให้ค่าความเข้มข้น 0.731 มก. / ล. และในสัดส่วน 0.2 จะให้ค่าความเข้มข้นที่ 0.868 มก. / ล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซีเมนต์แท้ที่สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก คอปเปอร์ในเตรทที่ถูกชะละลายออกมาได้ดีกว่าที่สัดส่วน 0.1 และที่สัดส่วน 0.1 ก็จะได้ดีกว่าที่สัดส่วน 0.2 ตามลำดับ เนื่องจากมีการเกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ กับโลหะได้ดีกว่าเช่นกัน

เมื่อทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนัก ในเตรทหลายชนิดผสมกัน ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแนวโน้มของก้อนซีเมนต์ที่คอปเปอร์ในเตรทเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 กราฟ จะเห็นว่าในก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะในเตรทหลายชนิดผสมกัน จะมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะคอปเปอร์ในเตรทอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โลหะหนักตะกั่วในเตรท

จากการทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของตะกั่วในเตรท ที่สัดส่วนของโลหะ ต่อวัสดุ ประสาน 0.00 , 0.05 , 0.1 และ 0.2 โดยวัดค่าความเข้มข้นได้เท่ากับ 0 , 0.295 , 0.519 และ 0.626 มก./ล.โดย แสดงดังกราฟ 4.5



ภาพที่ 4.5: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดกับ สัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน

จากกราฟที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วในเตรทกับสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อ วัสดุประสาน จะเห็นว่า แนวโน้มของเส้นกราฟ มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเพิ่มสัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรท ลงในส่วนผสมซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในเตรท เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งในสัดส่วนผสมโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน 0.00 จะให้ค่าความเข้มข้น 0.00 มก./ล. ใน สัดส่วน 0.05 ให้ค่าความเข้มข้น 0.295 มก./ล. ในสัดส่วน 0.1 ให้ค่าความเข้มข้น 0.519 มก./ล.และในสัดส่วน 0.2 จะให้ค่าความเข้มข้นที่ 0.626 มก./ล. ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าซีเมนต์แท้ที่สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์ โลหะหนัก ตะกั่วในเตรทที่ถูกชะละลายออกมาได้ดีกว่าที่สัดส่วน 0.1 และที่สัดส่วน 0.1 ก็ดีกว่าที่สัดส่วน 0.2 ตามลำดับ เนื่องจากมีการเกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ กับโลหะได้ดีกว่าเช่นกัน

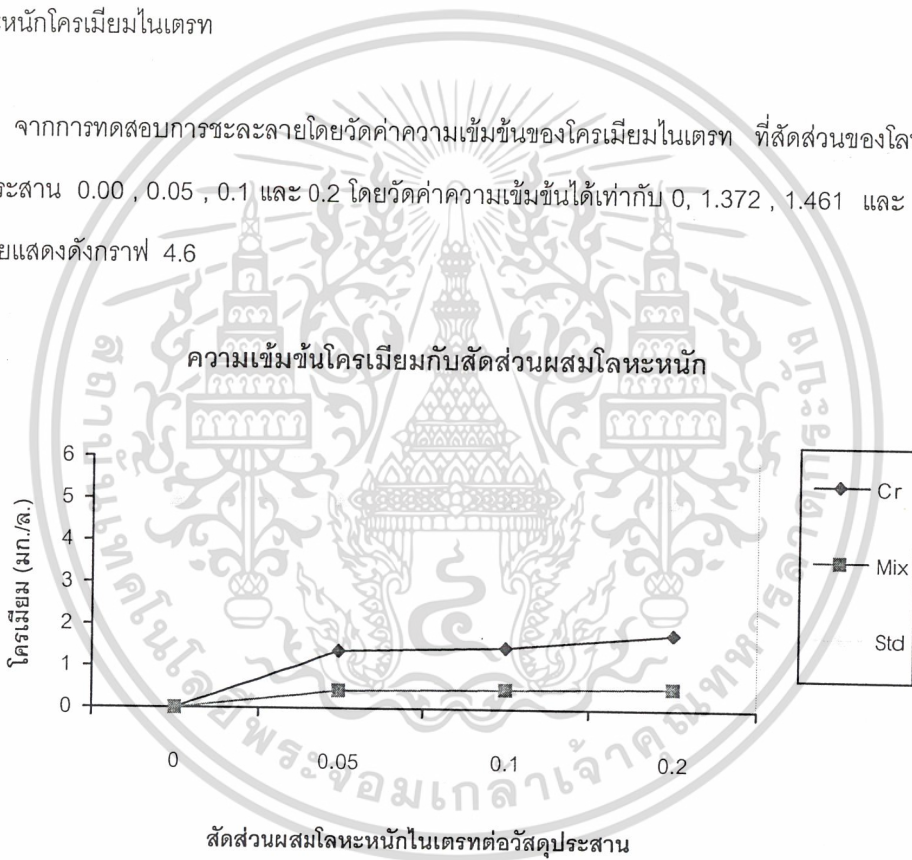
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน อยู่ จากกราฟจะเห็นว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแนวโน้มของก้อนซีเมนต์ที่มีแต่ตะกั่วในเตรทเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 กราฟ จะเห็นว่าในก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะในเตรทหลายชนิดผสมกัน จะมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะตะกั่วในเตรทอย่างเดียว

ซึ่งจากกราฟทั้ง 2 ก็ให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมตั้งไว้ในเรื่องของสารพิษจากการชะละลาย

2.3 โลหะหนักโครเมียมในเตรท

จากการทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของโครเมียมในเตรท ที่สัดส่วนของโลหะในเตรท ต่อวัสดุประสาน 0.00 , 0.05 , 0.1 และ 0.2 โดยวัดค่าความเข้มข้นได้เท่ากับ 0, 1.372 , 1.461 และ 1.825 มก./ล. โดยแสดงดังกราฟ 4.6



ภาพที่ 4.6 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับ สัดส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสาน

จากกราฟที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมไนเตรทกับสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะเห็นว่า แนวโน้มของเส้นกราฟ มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเพิ่มสัดส่วนผสมของโลหะหนักไนเตรทลงในส่วนผสมซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของโครเมียมไนเตรท เพิ่มขึ้น เช่นกัน ซึ่งในสัดส่วนผสมโลหะหนักไนเตรทต่อวัสดุประสาน 0.00 จะให้ค่าความเข้มข้น 0.00 มก./ล. ใน สัดส่วน 0.05 ให้ค่าความเข้มข้น 1.372 มก./ล. ในสัดส่วน 0.1 ให้ค่าความเข้มข้น 1.461 มก./ล. และในสัดส่วน 0.2 จะให้ค่าความเข้มข้นที่ 1.825 มก./ล. ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์แห้งที่สัดส่วนผสมโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก โครเมียมไนเตรทที่ถูกชะละลายออกมาได้ดีกว่าที่สัดส่วน 0.1 และที่สัดส่วน 0.1 มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก โครเมียมไนเตรทได้ดีกว่าที่สัดส่วน 0.2 เช่นเดียวกัน

เมื่อทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักไนเตรทหลายชนิดผสมกัน จากกราฟจะเห็นว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแนวโน้มของก้อนซีเมนต์ที่มีแต่โครเมียมไนเตรทเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 กราฟ จะเห็นว่าในก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะไนเตรทหลายชนิดผสมกัน จะมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะโครเมียมไนเตรทอย่างเดียว

ซึ่งจากกราฟทั้ง 2 ก็ให้ค่าความเข้มข้นของโครเมียมต่ำกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมตั้งไว้ในเรื่องของสารพิษจากการชะละลาย

4.1.3 การพิจารณาเลือกสัดส่วนที่เหมาะสม

การพิจารณาเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสานจะพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิภูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนโดยกำหนดสมบัติทางกายภาพให้มีกำลังรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 14 กก./ตร. ซม. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 กก./ลบ.ม. ส่วนสมบัติทางด้านเคมีคือมีค่ามาตรฐานน้ำชะละลายของโลหะหนักไม่เกิน 5 มก./ลิตร

เมื่อพิจารณาตารางแสดง ค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น ค่าการชะละลาย ของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักไนเตรทผสมในสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสานในสัดส่วน 0.05 , 0.10 , 0.20 พบว่าทุกสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การทดสอบกำลังรับแรงอัด เกณฑ์ค่าความหนาแน่น และเกณฑ์การชะละลาย ดังกล่าว ยกเว้น ส่วนผสมของโครเมียมไนเตรทที่มี สัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.20 มีค่ากำลังรับแรงอัด 8 กก./ตร.ซม. ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ทำการวิจัยได้พิจารณาเลือกส่วนผสมโลหะหนักในเตรทที่มีสัดส่วนของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 ไว้เป็นตัวแทนในการทดลองตัวแปรต่อไป เนื่องจากที่สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 นี้ เป็นสัดส่วนที่เมื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแล้ว สามารถให้ค่ากำลังรับแรงอัดได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานในระดับที่เหมาะสม และมีส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทอยู่ในปริมาณที่ไม่สูงและต่ำมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับที่สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 และ 0.20 โดยที่สัดส่วนผสม 0.05 พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของโลหะหนักที่สัดส่วนผสมนี้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มากเกินไป ซึ่งสามารถที่จะเพิ่มส่วนผสมของโลหะหนักในเตรทลงไปได้อีก ส่วนที่สัดส่วนผสม 0.20 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของโลหะหนักที่สัดส่วนผสมนี้มีโลหะหนักบางชนิดมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยที่สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.05 , 0.10 , 0.20 มีค่าความหนาแน่น และค่าการชะละลายผ่านเกณฑ์มาตรฐานอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และไม่มีมีความแตกต่างกันมากนัก

4.2 เป็นการศึกษาระยะเวลาบ่มตัวของโลหะหนักในปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

การทดลองในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัวในกระบวนการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ โดยใช้สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 โดยทำการแปรค่าระยะเวลาในการบ่มตัวที่ 7 , 14 , 21 และ 28 ตามลำดับ จากนั้นนำซีเมนต์แห้งที่ได้จากการบ่มไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีซึ่งได้ผลดังนี้

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์แห้งในสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 , 14 , 21 และ 28 วัน

1. กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดของโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 , 14 , 21 และ 28 วัน ตามลำดับแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 : แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์แห้งที่ผสมโลหะหนักในเตรทที่ระยะเวลาบ่มตัวต่างๆ

ชนิดโลหะหนักในเตรท	กำลังรับแรงอัด (กก./ ตร.ซม.)			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
แมงกานีสในเตรท	108	220	248	321
คอปเปอร์ในเตรท	140	327	384	420
ตะกั่วในเตรท	188	376	404	448
โครเมียมในเตรท	92	205	326	260
โลหะหนักในเตรทผสม	112	264	288	344

หมายเหตุ : เกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์มีค่าสูงกว่า 14 กก. / ตร. ซม.

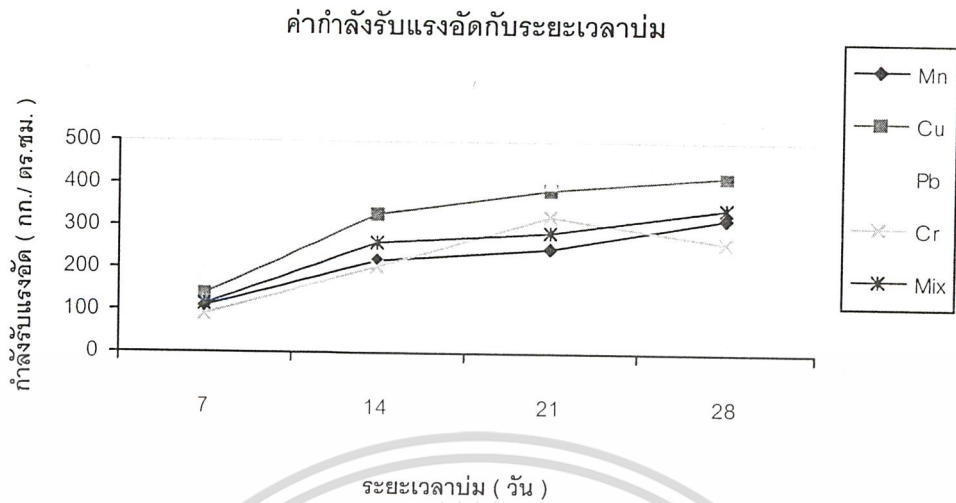
จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ระยะเวลาบ่มตัวต่างๆ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มตัวเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบซีเมนต์แห้งที่ผสมของโลหะหนักในเตรทต่างชนิดกันที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ พบว่าซีเมนต์แห้งที่มีตะกั่วในเตรทผสมอยู่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของในแต่ละระยะเวลาการบ่มตัวโดยมีค่า 188 , 376 , 404 และ 448 กก. / ตร. ซม. ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัวต่างๆของซีเมนต์แห้งที่มี คอปเปอร์ในเตรท , โลหะหนักในเตรทผสมหลายชนิด , แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรท พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทแต่ละชนิดผสมเพียงอย่างเดียวกับซีเมนต์แห้งที่มี โลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกันที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่มี ตะกั่วในเตรท และคอปเปอร์ในเตรทผสมอยู่อย่างเดียว มีค่าสูงกว่าค่ากำลังรับแรงอัด ของแห้งซีเมนต์ที่มีโลหะหนักหลายชนิดผสมกันอยู่ และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่มี แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรทผสมอยู่อย่างเดียว มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของแห้งซีเมนต์ที่มีโลหะหนักหลายชนิดผสมกันอยู่ ที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ

จากค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่โลหะหนักในเตรทผสมอยู่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า สามารถให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า 14 กก. / ตร. ซม. แสดงดังกราฟที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาการบ่มตัว

2. ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แท่งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมในกระบวนการทำเป็นก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่มตัว 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 : แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แท่งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ

ชนิดของโลหะหนัก	ความหนาแน่น (ตัน / ลบ.ม.)			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
แมงกานีสในเตรท	2.18	2.23	2.25	2.26
คอปเปอร์ในเตรท	2.22	2.26	2.28	2.29
ตะกั่วในเตรท	2.24	2.30	2.33	2.34
โครเมียมในเตรท	2.15	2.20	2.21	2.23
โลหะหนักในเตรทผสม	2.21	2.24	2.26	2.26

หมายเหตุ : เกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการเป็นก้อนซีเมนต์มีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน/ลบ.ม.

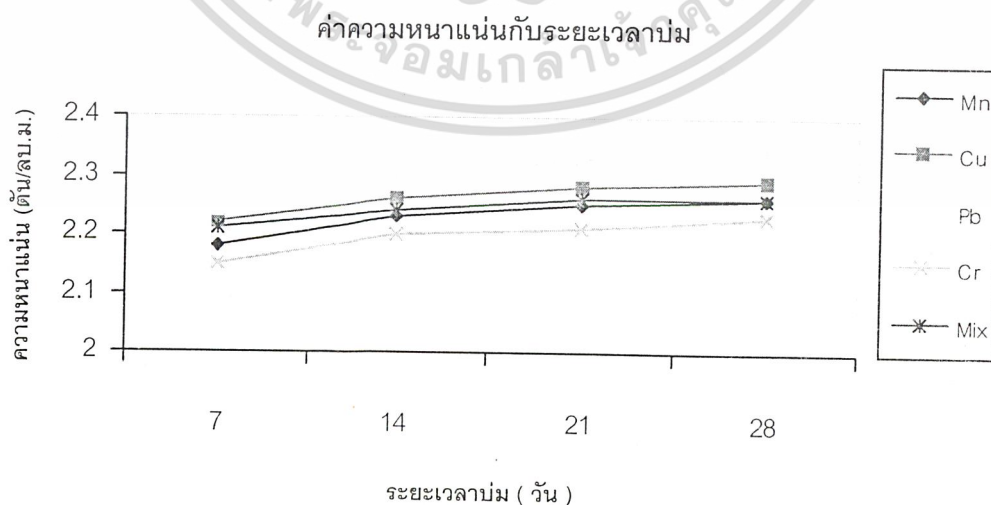
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มตัวเพิ่มขึ้นเป็น 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่ผสมโลหะหนักในเตรทต่างชนิดกันที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ พบว่าซีเมนต์แห้งที่มีตะกั่วในเตรทผสมอยู่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดในแต่ละระยะเวลาของการบ่มตัว โดยมีค่าความหนาแน่น 2.24, 2.30, 2.33 และ 2.34 ตัน / ลบ.ม. ที่ระยะเวลาการบ่มตัวเป็น 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่มตัวต่างๆของซีเมนต์ที่มี คอปเปอร์ในเตรท , โลหะหนักในเตรทผสมหลายชนิด , แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรท พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามลำดับ ยกเว้น ที่ระยะเวลาการบ่มตัว 28 วัน พบว่าค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มี แมงกานีสในเตรทผสมอยู่มีค่าเท่ากับซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมหลายชนิดผสมกัน ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.26 ตัน / ลบ.ม.

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทแต่ละชนิดผสมเพียงอย่างเดียว กับซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน ที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ พบว่าซีเมนต์แห้งที่มีตะกั่วในเตรท และ คอปเปอร์ในเตรท ผสมอยู่อย่างเดียว มีแนวโน้มของค่าความหนาแน่นสูงกว่า ซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน ส่วนซีเมนต์แห้งที่มี แมงกานีส และ โครเมียมผสมอยู่อย่างเดียว มีแนวโน้มของค่าความหนาแน่นต่ำกว่าซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกัน

จากค่าความหนาแน่นของซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรทผสมอยู่ที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าความหนาแน่นสูงกว่า 1.04 ตัน / ลบ.ม. ดังแสดงดังกราฟที่ 4.8



ภาพที่ 4.8: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระยะเวลาการบ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สมบัติทางเคมีของซีเมนต์แห้งในสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 ที่ระยะเวลาบ่มตัว 7, 14, 21 และ 28 วัน

เป็นการศึกษาเพื่อทดสอบค่าการชะละลายของโลหะหนักที่ผ่าน กระบวนการทำเป็นก้อนซีเมนต์ โดยหลังจากที่ผ่านกระบวนการทดสอบทางกายภาพแล้ว นำซีเมนต์แห้งมาทดสอบค่าการชะละลายด้วยการนำน้ำสกัดมาหา ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของการชะละลาย ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบซีเมนต์แห้งที่มีโลหะหนักในเตรผสมอยู่ในสัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.10 ที่ระยะเวลาการบ่มตัว 7, 14, 21 และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 : แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ

โลหะหนัก ไนเตรท	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	สมบัติของน้ำสกัด		
		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของ โลหะหนัก (มก./ล.)
Mn(NO ₃) ₂	7	12.39	27.35	0.818
	14	11.47	26.70	0.603
	21	10.75	26.20	0.582
	28	10.21	26.35	0.510
Cu(NO ₃) ₂	7	13.97	26.55	0.731
	14	12.35	26.30	0.577
	21	12.11	26.45	0.531
	28	11.63	26.15	0.489
Pb(NO ₃) ₂	7	13.17	27.15	0.519
	14	12.29	26.75	0.394
	21	11.78	26.05	0.308
	28	11.51	26.55	0.278
Cr(NO ₃) ₂	7	14.83	27.20	1.461
	14	13.09	26.85	1.284
	21	11.78	26.40	1.163
	28	11.52	26.45	1.047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 : แสดงสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ

โลหะหนัก ไนเตรท	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	สมบัติของน้ำสกัด		
		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของ โลหะหนัก (มก./ล.)
Mix Mn(NO ₃)	7	10.67	26.85	0.357
	14	11.84	26.05	0.241
	21	13.51	25.60	0.208
	28	15.45	25.75	0.183
Mix Cu(NO ₃) ₂	7	10.67	26.85	0.206
	14	11.84	26.05	0.102
	21	13.51	25.60	0.093
	28	15.45	25.75	0.058
Mix Pb(NO ₃) ₂	7	10.67	26.85	0.101
	14	11.84	26.05	0.065
	21	13.51	25.60	0.051
	28	15.45	25.75	0.014
Mix Cr(NO ₃) ₂	7	10.67	26.85	0.473
	14	11.84	26.05	0.376
	21	13.51	25.60	0.364
	28	15.45	25.75	0.286

1. ค่าการนำไฟฟ้า

หลังจากทำการบ่มตัวของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะแมงกานีสไนเตรท , คอปเปอร์ไนเตรท , ตะกั่วไนเตรท , โครเมียมไนเตรท และโลหะหนักไนเตรทหลายชนิดผสมกัน โดยบ่มตัวตั้งแต่ 7, 14, 21 และ 28 วัน นำน้ำสกัดมาวัดค่าการนำไฟฟ้า

จากตาราง เป็นค่าการนำไฟฟ้าของโลหะ แมงกานีสไนเตรท , คอปเปอร์ไนเตรท , ตะกั่วไนเตรท , โครเมียมไนเตรท และโลหะหนักหลายชนิดผสมกัน กับระยะเวลาบ่มตัว (วัน) ตั้งแต่ 7, 14 และ 28 วัน ตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ให้นำไปใช้เป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ พบว่า โลหะหนักแต่ละชนิด มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการบ่มตัวที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้เป็นเพราะสามารถที่จะมีการเกิดการตกตะกอนไฮดรอกไซด์กับโลหะหนักได้มากขึ้นจึงทำให้จำนวนอนุภาคลิษระของโลหะหนักที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลง ส่วนโลหะหนักหลายชนิดผสมกัน มีแนวโน้มค่าการนำไฟฟ้าลดลงเช่นเดียวกันกับโลหะหนักแต่ละชนิด

2. ความเข้มข้น

แสดงความเข้มข้นของการชะละลายโลหะหนักในเตรทแต่ละตัวที่มีระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ ได้ดังนี้

2.1 โลหะหนักแมงกานีสในเตรท

ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในเตรทที่ได้จากการบ่มตัวของซีเมนต์แห้งที่สัดส่วน 0.10 เป็นระยะเวลา 7 , 14 , 21 และ 28 วัน แสดงดังกราฟ 4.9



ภาพที่ 4.9 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำสกัด
กับระยะเวลาการบ่มตัว

จากภาพที่ 4.9 แสดงระยะเวลาบ่มตัวที่ 7 , 14 , 21 และ 28 วัน และความเข้มข้นของแมงกานีสในเตรท (มก. / ล.) จะเห็นว่า กราฟมีแนวโน้มลดลงจากวันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 ซึ่งแนวโน้มค่าการลดลงมีความแตกต่างกันไม่มากในช่วงตลอดระยะเวลาบ่มตัวตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 โดยค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในเตรท ที่ตรวจพบในวันที่ 28 มีค่ามีค่าน้อยลงแสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นได้ดี

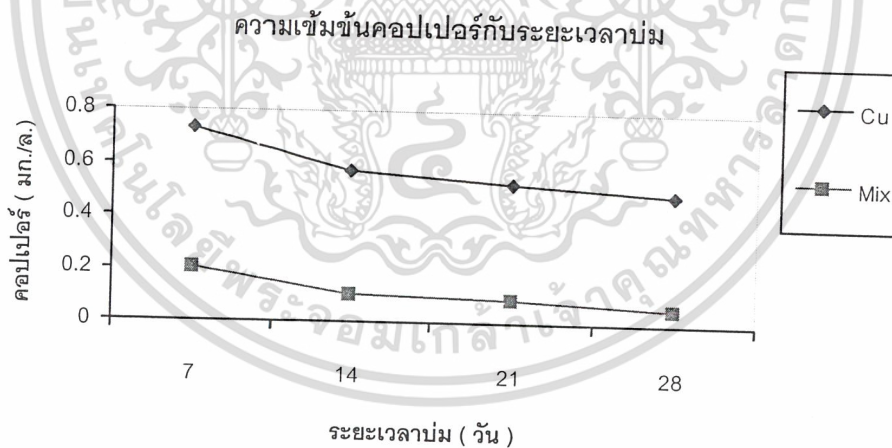
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกราฟของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกันอยู่แนวโน้มของกราฟก็ลดลงเช่นกันตามระยะเวลาบ่มตัวที่เพิ่มขึ้น จนถึง 28 วัน ซึ่งจะพบความเข้มข้นของแมงกานีสในเตรทมีค่าน้อยที่สุด นั่นแสดงว่าที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน เป็นระยะเวลาบ่มตัวที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในเตรทของก้อนซีเมนต์ทั้ง 2 กราฟ ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ปรากฏว่า ความเข้มข้นของแมงกานีสในเตรทที่ตรวจพบตลอดระยะเวลาการบ่มตัว มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยถ้าการเพิ่มระยะเวลาบ่มตัวมากขึ้นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่จะตรวจพบก็จะลดลงและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

2.2 โลหะหนักคอปเปอร์ในเตรท

ค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรทที่ได้จากการบ่มตัวของซีเมนต์แห้งที่สัดส่วน 0.10 เป็นระยะเวลา 7 , 14 , 21 และ 28 วัน แสดงดังกราฟ 4.10



ภาพที่ 4.10 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในน้ำสกัด กับระยะเวลาบ่มตัว

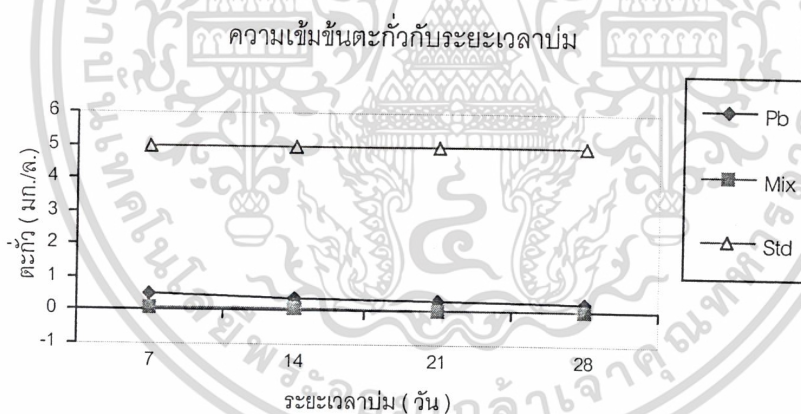
จากกราฟที่ 4.10 แสดงระยะเวลาบ่มตัวที่ 7 , 14 , 21 และ 28 วันและความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรท มก. / ล จะเห็นว่า กราฟมีแนวโน้มลดลงจากวันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 ซึ่งแนวโน้มค่าการลดลงมีความแตกต่างกันไม่มากในช่วงตลอดระยะเวลาบ่มตัวตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 โดยค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรท ที่ตรวจพบในวันที่ 28 มีค่ามีค่าน้อยลงแสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นได้ดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ เมื่ออยู่ในมือผู้ใดแล้ว กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกราฟของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรตหลายชนิดผสมกันอยู่แนวโน้มของกราฟก็ลดลงเช่นกันตามระยะเวลาบ่มตัวที่เพิ่มขึ้น จนถึง 28 วัน ซึ่งจะพบความเข้มข้นของ คอปเปอร์ในเตรตมีค่าน้อยที่สุดนั้นแสดงว่าที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน เป็นระยะบ่มตัวที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ของก้อนซีเมนต์ทั้ง 2 กราฟ ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ปรากฏว่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ในเตรตที่ตรวจพบตลอดระยะเวลาการบ่มตัว มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยในการเพิ่มระยะเวลาการบ่มตัวมากขึ้นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่จะตรวจพบก็จะลดลงและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

2.3 โลหะหนักตะกั่วในเตรต

ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในเตรตที่ได้จากการบ่มตัวของซีเมนต์แห้งที่สัดส่วน 0.10 เป็นระยะเวลา 7 , 14 , 21 และ 28 วัน แสดงดังกราฟ 4.11



ภาพที่ 4.11: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดกับระยะเวลาการบ่มตัว

จากกราฟที่ 4.11 แสดงระยะเวลาบ่มตัวที่ 7 , 14 , 21 และ 28 วัน และความเข้มข้นของตะกั่วในเตรตมก./ล จะเห็นว่า กราฟมีแนวโน้มลดลงจากวันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 ซึ่งแนวโน้มค่าการลดลงมีความแตกต่างกันไม่มากในช่วงตลอดระยะเวลาบ่มตัวตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 โดยค่าความเข้มข้นของตะกั่วในเตรต ที่ตรวจพบในวันที่ 28 มีค่ามีค่าลดน้อยลงแสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นได้ดี

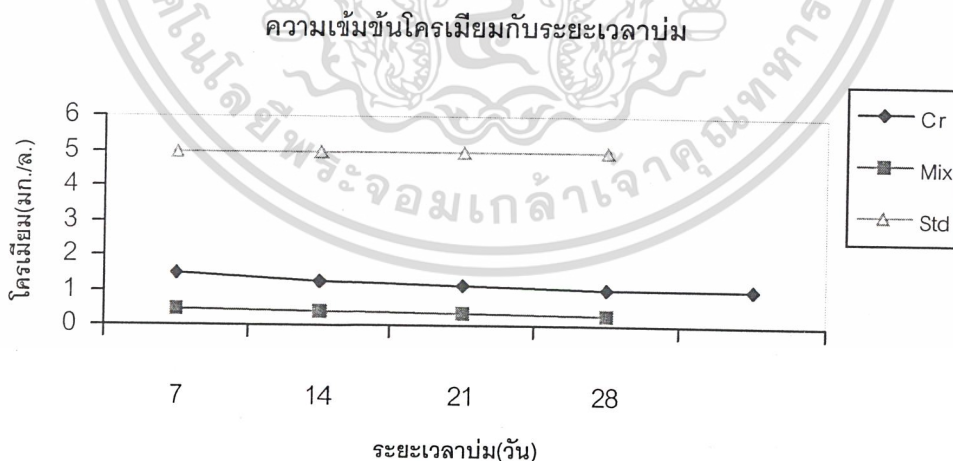
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกราฟของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกันอยู่แนวโน้มของกราฟก็ลดลงเช่นกันตามระยะเวลาบ่มตัวที่เพิ่มขึ้น จนถึง 28 วัน ซึ่งจะพบความเข้มข้นของ ตะกั่วในเตรทลดลงมีค่าน้อยที่สุด นั่นแสดงว่าที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน เป็นระยะบ่มตัวที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วในเตรทของก้อนซีเมนต์ทั้ง 2 กราฟ ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ปรากฏว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในเตรทที่ตรวจพบตลอดระยะเวลาการบ่มตัว มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยถ้าการเพิ่มระยะเวลาบ่มตัวมากขึ้นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่จะตรวจพบก็จะลดลงและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

2.4 โลหะหนักโครเมียมในเตรท

ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในเตรทที่ได้จากการบ่มตัวของซีเมนต์แห้งที่สัดส่วน 0.10 เป็นระยะเวลา 7 , 14 , 21 และ 28 วัน แสดงดังกราฟ 4.12



ภาพที่ 4.12 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัด ระยะเวลาการบ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 4.12 ที่แสดงระยะเวลาบ่มตัวที่ 7 , 14 , 21 และ 28 วัน และความเข้มข้นของโครเมียมไนเตรท มก./ล จะเห็นว่า กราฟมีแนวโน้มลดลงจากวันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 ซึ่งแนวโน้มค่าการลดลงมีความแตกต่างกันไม่มากในช่วงตลอดระยะเวลาบ่มตัวตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 28 โดยค่าความเข้มข้นของโครเมียมไนเตรท ที่ตรวจพบในวันที่ 28 มีค่ามีค่าลดน้อยลงแสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นได้ดี

ส่วนกราฟของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทหลายชนิดผสมกันอยู่แนวโน้มของกราฟก็ลดลงเช่นกันตามระยะเวลาบ่มตัวที่เพิ่มขึ้น จนถึง 28 วัน ซึ่งจะพบความเข้มข้นของโครเมียมไนเตรทมีค่าน้อยที่สุดนั้นแสดงว่าที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน เป็นระยะบ่มตัวที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของโครเมียมของก้อนซีเมนต์ทั้ง 2 กราฟ ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ปรากฏว่า ความเข้มข้นของโครเมียมไนเตรทที่ตรวจพบตลอดระยะเวลาการบ่มตัว มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยถ้าการเพิ่มระยะเวลาบ่มตัวมากขึ้น ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่จะตรวจพบก็จะลดลงและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก โดยโลหะหนักที่ใช้ในการศึกษามี 4 ชนิดคือ แมงกานีส , คอปเปอร์ , ตะกั่ว , โครเมียม และโลหะหนักผสมโดยอยู่ในรูปในเตรท ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพคือกำลังรับแรงอัด , ความหนาแน่นและสมบัติทางเคมีคือความเข้มข้นของโลหะหนัก , ค่าการนำไฟฟ้าสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากขั้นตอนแรกเป็นการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมพบว่า

1. จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น เมื่อเพิ่มสัดส่วนโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสานพบว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นส่วนค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลง
2. จากการทดสอบการชะละลายโดยวัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก , ค่าการนำไฟฟ้า เมื่อเพิ่มสัดส่วนโลหะหนักในเตรทต่อวัสดุประสานพบว่าค่าความเข้มข้น ของโลหะหนักและค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน
3. จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดที่สัดส่วนผสมของโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.00 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด และมีความหนาแน่นต่ำสุด ที่สัดส่วน 0.05, 0.1 และ 0.2 ตะกั่วในเตรทมีค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นมากที่สุดตามด้วย คอปเปอร์ในเตรท , โลหะหนักผสม , แมงกานีสในเตรท และโครเมียมในเตรท ยกเว้นที่สัดส่วนผสม 0.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของโลหะหนักในเตรทผสมมีค่ามากกว่าคอปเปอร์ในเตรท
4. จากการทดสอบการชะละลายที่สัดส่วน 0.05 , 0.1 และ 0.2 โลหะหนักตะกั่วมีความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยที่สุดตามด้วย คอปเปอร์ , แมงกานีส , โครเมียมและในโลหะหนักผสม ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน
5. เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานในส่วนของคุณสมบัติของค่ากำลังรับแรงอัดคือ 14 กก./ตร.ซม. และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดคือ 5มก./ล. พบว่าที่สัดส่วน 0.1 ค่ากำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักมีความเหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มตัวพบว่า

6. จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มตัวที่เพิ่มขึ้น โดยตะกั่วมากที่สุด ตามด้วยคอปเปอร์, โลหะผสม,แมงกานีส และโครเมียมตามลำดับ
7. จากการทดสอบการชะละลายพบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักและโลหะหนักผสมมีค่าลดลง โดยโครเมียมมากที่สุดตามด้วยแมงกานีส,คอปเปอร์และตะกั่ว ตามลำดับ
8. ระยะเวลาบ่มตัวที่ดีที่สุดคือที่28วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยนี้ควรนำไปประยุกต์ใช้ให้กับของเสียที่เป็นโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการ
2. ผลลิตภณที่ได้จากกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์นำไปใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้ว
3. การเปลี่ยนไปศึกษาโลหะหนักชนิดอื่นจะทำให้ทราบข้อมูลมากขึ้น
4. การศึกษาข้อมูลของโลหะหนักรวมถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นจะเป็นผลดีต่อความเข้าใจและการป้องกันอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สัดส่วนผสมโดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์

ตารางที่ ก 1 : แสดงสัดส่วนผสมโดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ สำหรับโลหะหนัก

องค์ประกอบ	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)			
	สัดส่วนผสมโลหะหนัก / วัสดุประสาน			
	0.00	0.05	0.10	0.20
น้ำหนักโลหะหนักแมงกานีส	0	5	10	20
น้ำหนักแมงกานีสในเตรท	0.00	16.20	32.50	65.05
ปูนซีเมนต์	100	100	100	100
ทราย	200	200	200	200
น้ำ	50	50	50	50
น้ำหนักโลหะหนักคอปเปอร์	0	5	10	20
น้ำหนักคอปเปอร์ในเตรท	0.00	14.76	29.50	59.05
ปูนซีเมนต์	100	100	100	100
ทราย	200	200	200	200
น้ำ	50	50	50	50
น้ำหนักโลหะหนักตะกั่ว	0	5	10	20
น้ำหนักตะกั่วในเตรท	0.00	7.99	15.99	31.98
ปูนซีเมนต์	100	100	100	100
ทราย	200	200	200	200
น้ำ	50	50	50	50
น้ำหนักโลหะหนักโครเมียม	0	5	10	20
น้ำหนักโครเมียมในเตรท	0.00	16.92	33.80	67.69
ปูนซีเมนต์	100	100	100	100
ทราย	200	200	200	200
น้ำ	50	50	50	50

* สำหรับการหล่อซีเมนต์ขนาด 5*5 ตร.ซม. จำนวน 1 ก้อน

ตารางที่ ก 2 : แสดงส่วนผสมโดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์สำหรับโลหะหนักผสม

องค์ประกอบ	ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)			
	สัดส่วนผสมโลหะหนัก / วัสดุประสาน			
	0.00	0.05	0.10	0.20
น้ำหนักโลหะหนักแมงกานีส	0.00	1.25	2.50	5.00
น้ำหนักแมงกานีสในเตรท	0.00	4.07	8.14	16.27
น้ำหนักโลหะหนักคอปเปอร์	0.00	1.25	2.50	5.00
น้ำหนักคอปเปอร์ในเตรท	0.00	3.70	7.38	14.76
น้ำหนักโลหะหนักตะกั่ว	0.00	1.25	2.50	5.00
น้ำหนักตะกั่วในเตรท	0.00	2.00	4.00	7.99
น้ำหนักโลหะหนักโครเมียม	0.00	1.25	2.50	5.00
น้ำหนักโครเมียมในเตรท	0.00	4.23	8.46	16.92
ปูนซีเมนต์	100	100	100	100
ทราย	200	200	200	200
น้ำ	50	50	50	50

* สำหรับการหล่อซีเมนต์ขนาด 5*5*5 ตร.ซม. จำนวน 1 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. การศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์

ตารางที่ ข.1 : แสดงคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ที่สัดส่วนต่างๆ ที่ระยะเวลาการบ่มตัว 7 วัน

สัดส่วนผสม	ชนิดโลหะหนัก	กำลังรับแรงอัด (กก. / ตร.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน / ลบ.ม.)			ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)		
		1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0.00	control	305.00	275.00	290.00	2.20	1.98	2.09	9	9	9
0.05	Mn(NO ₃) ₂	195.00	173.00	184.00	2.19	2.11	2.15	9	9	9
	Cu(NO ₃) ₂	217.00	191.00	204.00	2.22	2.10	2.16	10	10	10
	Pb(NO ₃) ₂	218.00	246.00	232.00	2.14	2.24	2.19	10	10	10
	Cr(NO ₃) ₂	159.00	193.00	176.00	2.03	2.19	2.11	9	9	9
	Mix(NO ₃) ₂	211.00	189.00	200.00	2.14	2.12	2.13	9	9	9
0.10	Mn(NO ₃) ₂	118.00	98.00	108.00	2.22	2.14	2.18	9	9	9
	Cu(NO ₃) ₂	136.00	144.00	140.00	2.19	2.25	2.22	10	10	10
	Pb(NO ₃) ₂	173.00	203.00	188.00	2.17	2.31	2.24	10	10	10
	Cr(NO ₃) ₂	99.00	85.00	92.00	2.17	2.13	2.15	9	9	9
	Mix(NO ₃) ₂	115.00	109.00	112.00	2.23	2.19	2.21	9	9	9
0.20	Mn(NO ₃) ₂	33.00	23.00	28.00	2.50	2.00	2.25	9	9	9
	Cu(NO ₃) ₂	30.00	42.00	36.00	2.25	2.31	2.28	10	10	10
	Pb(NO ₃) ₂	104.00	92.00	98.00	2.39	2.33	2.36	10	10	10
	Cr(NO ₃) ₂	-	8.00	8.00	2.18	2.24	2.21	9	9	9
	Mix(NO ₃) ₂	38.00	42.00	40.00	2.25	2.29	2.27	9	9	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 2 : แสดงคุณสมบัติทางกายที่ระยะเวลาการบ่มตัวต่างๆ

ระยะเวลา บ่มตัว(วัน)	ชนิดโลหะ	กำลังรับแรงอัด (กก. / ตร.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน / ลบ.ม.)		
		1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
7	Control	277.00	303.00	290.00	2.01	2.17	2.09
	Mn(NO ₃) ₂	122.00	94.00	108.00	2.21	2.15	2.18
	Cu(NO ₃) ₂	153.00	127.00	140.00	2.26	2.18	2.22
	Pb(NO ₃) ₂	191.00	185.00	188.00	2.25	2.23	2.24
	Cr(NO ₃) ₂	89.00	95.00	92.00	2.13	2.17	2.15
	Mix(NO ₃) ₂	108.00	116.00	112.00	2.20	2.22	2.21
14	Control	405.00	379.00	392.00	2.28	2.22	2.25
	Mn(NO ₃) ₂	201.00	239.00	220.00	2.20	2.26	2.23
	Cu(NO ₃) ₂	331.0033	323.00	327.00	2.27	2.25	2.26
	Pb(NO ₃) ₂	86.00	366.00	376.00	2.33	2.27	2.30
	Cr(NO ₃) ₂	214.00	196.00	205.00	2.22	2.18	2.20
	Mix(NO ₃) ₂	281.00	247.00	264.00	2.30	2.18	2.24
21	Control	425.00	451.00	440.00	2.26	2.36	2.31
	Mn(NO ₃) ₂	239.00	257.00	248.00	2.23	2.27	2.25
	Cu(NO ₃) ₂	382.00	386.00	384.00	2.27	2.29	2.28
	Pb(NO ₃) ₂	414.00	394.00	404.00	2.36	2.30	2.33
	Cr(NO ₃) ₂	239.00	233.00	236.00	2.22	2.20	2.21
	Mix(NO ₃) ₂	276.00	300.00	288.00	2.22	2.30	2.26
28	Control	480.00	472.00	476.00	2.36	2.34	2.35
	Mn(NO ₃) ₂	318.00	324.00	321.00	2.24	2.28	2.26
	Cu(NO ₃) ₂	399.00	441.00	420.00	2.25	2.33	2.29
	Pb(NO ₃) ₂	458.00	438.00	448.00	2.35	2.33	2.34
	Cr(NO ₃) ₂	241.00	279.00	260.00	2.19	2.27	2.23
	Mix(NO ₃) ₂	339.00	349.00	344.00	2.24	2.28	2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม " รายงานผลการปฏิบัติงานของคณะกรรมการ
การสืบค้นปัญหาอันเนื่องมาจากสารเป็นพิษ และจัดอันดับความสำคัญ ปี
2526-2527 " สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กรุงเทพฯ 2527.
- กระทรวงอุตสาหกรรม " ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) ออกตาม
ความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2521 เรื่อง "หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการ
โรงงาน." กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ 2521 .
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม " ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลาย
ฤทธิ์ กำจัด ฝังทิ้ง เคลื่อนย้าย และขนส่งสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ฉบับที่ 1)
พ.ศ. 2531 " กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ 2531.
- นฤมิต คินิมาน " การทำตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซีโอไซด์ให้เป็นก้อนด้วย
ปูนซีเมนต์ และเกลืออลูมิเนียม " วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาค
วิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2538.
- พิภพ สุนทรสมัย " วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง " สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),
2532.
- วินิต ช่อวิเชียร " คอนกรีตเทคโนโลยี " ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2529.
- American Society for Testing and Materials. " Standard Method of Testing for
Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2 - in or 50 - mm
Cube Specimens). " C 109 - 86 , Annual Book of ASTM Standard ,
Section 4, Vol.04.02 , pp. 74-79 , 1986.
- Bishop, P.L. " Leaching of Inorganic Hazardous Costituents from Stabilized /
Solidified Hazardous Wastes " Hazardous Wastes and hazardous Material
Vol 5 pp. 129-143, 1988.
- Chang, C.L. " Solidification of Heavy Metals Using Cement and Rice Husk ash "
Master ' s Thesis , Engineering , Asian Instituted of Technology , 1989.
- Chang, K.Y. and Bishop, P. " Metal Distribution in Solidified / Stabilized Waste
Forms after Leaching " Hazardous Wastes and Hazardous Materials , Vol 9
pp. 163-171 , 1992 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้