

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาการกำจัดฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีดูดซับด้วยถ้ำแกลบดำ
และการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
b.....
i.....

Studies on Stabilization of Heavy metal by black ash husk rice and Using Portland
Cement Solidification



A special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Degree of
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาการกำจัดฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีการดูดซับด้วยเส้นใยเซลลูโลสและการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์

นักศึกษานางสาวอสมานัยวิริยะ
นางสาวณิชรรัตน์ มะลิมาศ
นายวีรพงศ์ วุฒิวัฒนากุล

ภาควิชาเคมี

สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณิตา ตั้งคณานุรักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.นงนุช เกตุรานุวัฒน์	
กรรมการ	ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ	อาจารย์ยุพา ตันทวี	
กรรมการ	ผศ. คณิตา ตั้งคณานุรักษ์	
กรรมการ	อาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาการกำจัดฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีการดูดซับด้วยเถ้าแกลบดำและ การทำให้เป็นก้อนซีเมนต์
นักศึกษา	นางสาวอสมานัย วิริยะ นางสาวณิชรรัตน์ มะลิมาศ นายวีรพงศ์ วุฒิวัฒนากุล
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์พรทิพย์ ศัพทพันธ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการกำจัดฤทธิ์ของโลหะหนัก 3 ชนิดคือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่วจากน้ำเสียล้างคราบที่ โดยวิธีการดูดซับด้วยเถ้าแกลบดำ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมากในประเทศไทย จากนั้นนำตะกอนเถ้าแกลบดำที่ดูดซับโลหะหนักมาทำเป็นก้อนซีเมนต์ เพื่อทำการกำจัดฤทธิ์โลหะหนักอีกครั้งและนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับนั้นได้สภาวะที่เหมาะสมมีความเร็วเท่ากับ 5 ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 120 นาที ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที และความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับ 20 ppm ในการดูดซับโครเมียมที่มีความเข้มข้น 20 มก./ล. ให้มีความเข้มข้นเหลือ 1.325 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 93.34 เปอร์เซ็นต์ แคดเมียมที่มีความเข้มข้น 20 มก./ล. ให้มีความเข้มข้นเหลือ 0.083 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 99.54 เปอร์เซ็นต์ ตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มก./ล. ให้มีความเข้มข้นเหลือ 0.071 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 99.66 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำตะกอนเถ้าแกลบดำที่ได้ไปทำเป็นก้อนซีเมนต์ ให้มีอัตราส่วนผสมตะกอนเถ้าแกลบดำต่อปูนซีเมนต์เป็น 10 : 90, 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, และ 50 : 50 โดยให้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัสดุประสานนั้นคงที่ ที่ระยะเวลาบ่มตัว 28 วัน พบว่าเมื่ออัตราส่วนตะกอนเถ้าแกลบดำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง และสมบัติการระคายคายพบว่าไม่พบความเข้มข้นของโครเมียมและแคดเมียม แต่สามารถพบความเข้มข้นของตะกั่วเพียงเล็กน้อย โดยอัตราส่วนผสมตะกอนเถ้าแกลบดำต่อซีเมนต์ทั้งหมดนั้นให้ผลการศึกษาที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Studies on Stabilization of Heavy metal by black ash husk
rice and Using Portland Cement Solidification

Name Miss Asama Naiwiriya
 Miss Nitcharat Malimat
 Mr. Weerapong Wuttiwattanakul

Department Chemistry

Program Environmental Resource of Chemistry

Academic Year 2003

Special Project Advisor Asst.Prof. Kanita Tangkananurak

Special Project co-advisor Ajarn Porntip Saptanan

ABSTRACT

This project studied on removal of chromium, cadmium, and lead from synthetic wastewater by using the adsorption and stabilization by using cement solidification process. Optimum condition can remove chromium from 20 mg/L to 1.325 mg/L and efficiency 93.34 percent ; cadmium from 20 mg/L to 0.083 mg/L and efficiency 99.54 percent , lead from 20 mg/L to 0.071 mg/L and efficiency 99.66 percent , at pH 5, settling time at 120 minutes, agitated at 200 rpm, and the concentration of the synthetic wastewater at 20 ppm. After that the adsorption was solidified by Portland Cement. The ratio of rice husk ash to cement are 10 : 90, 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, and 50 : 50 at 28 days of curing time. For cement waste properties, the compressive strength is slightly decrease as rice husk ash to cement ratio increase; while chromium and cadmium concentration of leachate can not be found, but lead concentration of leachate can be found in a little amount. All the ratios were effective results compared with standard of cement waste properties set by Department of Industry.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษเรื่องการศึกษา กำจัดฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีการดูดซับด้วยเถ้า
 แกลบดำและการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องขอ
 ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์ และอาจารย์พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ อาจารย์ที่
 ปรีक्षाโครงการพิเศษฉบับนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ รวม
 ทั้งยังเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสานวิชาความรู้ทั้งทางด้านทฤษฎีและด้าน
 ปฏิบัติแก่ทางคณะผู้จัดทำจนกระทั่งโครงการพิเศษสัมฤทธิ์ผลด้วยดีทุกประการ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีที่คอยให้ความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์ต่าง ๆ และ
 การใช้ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความสะดวก
 ในเรื่องการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในภาคปฏิบัติ

นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ
 ที่เกี่ยวข้องโครงการพิเศษไว้ ณ ที่นี้

อสมมา นัยวิริยะ
 นิษรัตน์ มะลิมาศ
 วีรพงศ์ วุฒิวัฒนกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 โลกะหนัก	4
2.1.1 โครเมียม	4
2.1.2 ตะกั่ว	6
2.1.3 แคดเมียม	7
2.2 เล้าเกลบดำ	9
2.2.1 การแบ่งประเภทของเล้าเกลบ	9
2.2.2 คุณสมบัติทั่วไปของเล้าเกลบดำ	10
2.3 การดูดซับ	11
2.3.1 หลักการดูดซับ	12
2.3.2 ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี	13
2.3.3 กลไกการดูดซับ	13
2.3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	14
2.3.5 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ	16
2.3.6 การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและการศึกษาค่าคงที่	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปูนซีเมนต์	19
2.4.1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์	20
2.4.2 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ	22
2.4.3 วัสดุผสม	24
2.4.4 กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์	24
2.4.5 ช่องว่างระหว่างCement Paste	28
2.4.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย	35
3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าแกลบดำ	35
3.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม	35
3.1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสม	36
3.1.3 การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม	36
3.1.4 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ	37
3.2 การศึกษาอัตราส่วนของภาคตะกอนต่อดังประสานที่เหมาะสม ในการทำให้เป็นก้อน	41
3.2.1 การเตรียมก้อนซีเมนต์	42
3.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	42
3.2.3 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	44
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าแกลบดำ	44
4.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม	44
4.1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสม	48
4.1.3 การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม	51
4.1.4 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ	54
4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์	58
4.3 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test)	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	61
5.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าแกลบดำ	61
5.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบการชะละลาย	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. คำมาตรฐาน	65
ภาคผนวก ข. การเตรียมสารละลาย	69
ภาคผนวก ค. ข้อมูลจากการทดลอง	71
ภาคผนวก ง. การผลิตซีลีกาจากเถ้าแกลบดำ	75
ภาคผนวก จ. กำลังรับแรงอัด	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 Bulk Density ของถ้ำแกลบชนิดต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของถ้ำแกลบ	10
ตารางที่ 2.3 ชนิดและคุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับที่นิยมใช้	11
ตารางที่ 2.4 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	20
ตารางที่ 2.5 ลักษณะของสารประกอบที่เกิดในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	21
ตารางที่ 2.6 Specimen Solidified Waste Performance Characteristics Required by A Waste Disposal Authority	30
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการดูดซับโครเมียม ที่พีเอชต่าง ๆ	44
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่พีเอชต่าง ๆ	45
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่พีเอชต่าง ๆ	46
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการดูดซับโครเมียมที่ระยะเวลาในการเขย่าต่างกัน	48
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ระยะเวลาในการเขย่าต่างกัน	49
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ระยะเวลาในการเขย่าต่างกัน	49
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการดูดซับโครเมียม ที่ความเร็วรอบในการเขย่าต่างกัน	51
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ความเร็วรอบในการเขย่าต่างกัน	52
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ความเร็วรอบในการเขย่าต่างกัน	53
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน	54
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน	55
ตารางที่ 4.12 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน	56
ตารางที่ 4.13 แสดงคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์ที่ทดลองในอัตราส่วนต่างๆ	58
ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบการชะละลาย	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แร่โครเมียม	5
รูปที่ 2.2 แร่ตะกั่ว	6
รูปที่ 2.3 แคลเซียม	8
รูปที่ 2.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์	16
รูปที่ 2.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบFreundlich	18
รูปที่ 2.6 แสดง breakthrough curve ของการทดสอบแบบคอลัมน์	19
รูปที่ 2.7 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในCement Paste	22
รูปที่ 2.8 แสดงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย	25
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกละลายกับค่าความเป็นด่างและซีลีคอนจากการทดสอบการชะละลาย	26
รูปที่ 2.10 แสดง pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียมโครเมียมและตะกั่ว	27
รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของ Cement Paste	28
รูปที่ 2.12 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต	31
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมและค่าพีเอช	45
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคลเซียมและค่าพีเอช	46
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกั่วและค่าพีเอช	47
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักและค่าพีเอช	47
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมและเวลาในการเขย่า	48
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคลเซียมและเวลาในการเขย่า	49
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกั่วและเวลาในการเขย่า	50
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆและเวลาในการเขย่า	50
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมและความเร็วรอบในการเขย่า	51
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคลเซียมและความเร็วรอบในการเขย่า	52
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกั่วและความเร็วรอบในการเขย่า	53
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆและความเร็วรอบในการเขย่า	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมและความเข้มข้น
ของโครเมียมเริ่มต้น 55

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมและความเข้มข้น
ของแคดเมียมเริ่มต้น 56

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและความเข้มข้น
ของตะกั่วเริ่มต้น 57

รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักและความเข้มข้น
เริ่มต้นต่างๆ 57

รูปที่ 4.17 แสดงน้ำหนักของซีเมนต์ในอัตราส่วนเคลือบต่อซีเมนต์ต่างๆ 58

รูปที่ 4.18 แสดงความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ในอัตราส่วนเคลือบต่อซีเมนต์ต่างๆ 59

รูปที่ 4.19 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ในอัตราส่วนเคลือบต่อซีเมนต์ต่างๆ 59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ในปัจจุบันประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการทางด้านอุปโภคและบริโภคมากขึ้น รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ก้าวหน้าและทันสมัย จึงทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นอย่างมากมาย เป็นผลให้มีการปล่อยมลพิษทั้งในรูปของแข็ง ของเหลวและแก๊สออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก มลพิษเหล่านี้จะถูกสะสมและปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ในอากาศ รวมทั้งในชั้นดินตะกอน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในระยะยาว โดยเฉพาะโลหะหนักก็เป็นสารมลพิษที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาโลหะหนัก คือ โครเมียม แคดเมียมและตะกั่ว ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ส่วนใหญ่จะได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานฟอกย้อมสี โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น โลหะหนักเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมหากมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้รับจะเกิดการสะสมในร่างกายและเป็นอันตรายต่อชีวิต ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงพิษของโลหะหนักและทำการกำจัดอย่างถูกต้องเหมาะสม เพื่อลดปริมาณโลหะหนักเหล่านี้ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

การบำบัดโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification process) โดยทำให้แข็งด้วยสารประสาน (Cement based solidification) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดของเสีย ซึ่งสามารถปรับสภาพหรือคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลและวัสดุไม่ใช้แล้วนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Reuse/Recycle) ได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้การทำลายฤทธิ์ดังกล่าวยังมีประโยชน์ในด้านการขนส่งและการลดพื้นที่ผิวของเสียได้อีกด้วย

การดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับที่มีคุณสมบัติการดูดซับที่ดีก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพราะวิธีนี้เป็นวิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีประสิทธิภาพและเป็นการนำเอาสารดูดซับที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์และมีมากมาทำให้เกิดประโยชน์อีกด้วย ตัวดูดซับที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่ดี หาได้ง่ายและมีราคาถูกที่นิยม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์, เปลือกหอยแครง, ชี้แฉ่ำลอย, ใต้อาบน้ำ เป็นต้น

สำหรับการวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยการดูดซับ (ในที่นี้ใช้ใต้อาบน้ำ หรือ rice husk ash เป็นตัวดูดซับ) ควบคู่ไปกับกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนเอนกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์ โดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดโลหะหนักเหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการดูดซับ การทดสอบจากกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) และศึกษาความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability) ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูล เพื่อทำการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรมาดูดซับโลหะหนัก
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยเถ้าแกลบดำ โดยกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Cement Based Solidification)
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยการผสมตัวดูดซับ (เถ้าแกลบดำ) ที่ดูดซับโลหะหนักแล้วลงในปูนซีเมนต์
4. เพื่อศึกษาสัดส่วนผสมและระยะเวลาบ่มตัวที่เหมาะสมในปูนซีเมนต์ ต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และสมบัติการชะละลาย (Leaching Properties)

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักโดยใช้เถ้าแกลบดำ ปัจจัยที่ทำการศึกษาดังนี้
 - 1.1 ศึกษาพีเอช โดยแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ในช่วงพีเอช 3 ถึง 5
 - 1.2 ศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแปรเปลี่ยนค่าเวลาเป็น 30 ,60 และ 120 นาที
 - 1.3 ศึกษาอัตราการบ่มกวนที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแปรเปลี่ยนค่าการบ่มกวนเป็น 50, 100 , 150 และ 200 รอบ/นาที
 - 1.4 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโดยแปรค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเป็น 5 ,10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ศึกษาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยวัสดุประสาน ดังนี้
 - 2.1 ศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดของของแข็งที่ถูกทำให้เป็นก้อนแล้ว
 - 2.2 ค่าความสามารถในการถูกชะละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง												
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	←→												
ตั้งวัตถุประสงค์และขอบเขต		←→											
จัดทำเค้าโครงงานวิจัย		←→											
เสนอเค้าโครงงานวิจัย			←→										
เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี			←→										
ทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ			←→										
ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์											←→		
รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง											←→		
สรุปผลและวิจารณ์											←→		
ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม											←→		
จัดทำรูปเล่มรายงาน											←→		
เตรียมเสนอโครงงานพิเศษ											←→		
เสนอโครงงานวิจัย												←→	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักเข้าไปทดแทนซีเมนต์ที่ใช้ในกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
2. ลดต้นทุนในการผลิตก้อนซีเมนต์
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการของเสียอันตรายในระยะยาวได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็งยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีแผ่บาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Te และ Zn และกลุ่มที่แนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U

ความเป็นพิษของโลหะหนักกลุ่มเหล่านี้ เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่างกัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาสำคัญของโลหะเหล่านี้ก็คือกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลิตผลจากการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

2.1.1 โครเมียม

โครเมียมเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome iron (FeOCr_2O_3) ที่มีอยู่ประมาณ 0.037% ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมาก ๆ จนถึง 2.4 % ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001 - 0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เลขออกซิเดชันของโครเมียมมีตั้งแต่ -2 ถึง +6 ในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก กระจก วัสดุ สีทา สีย้อม สารยืดอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการฟอกหนัง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แร่โครเมียม (www.extension.iastate.edu/.../Chromium.html)

ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียมเมื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดอาการเป็นพิษดังนี้

1. แผลจากโครเมียมจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยถลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือตามข้อที่นิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็น แผลวงกลมขอบค่อนข้างเรียบ บวมเล็กน้อย ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่าซึ่งจะมองคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากเวลากลางคืน ต่อไปอาจเกิดการติดเชื้อขึ้นและอาจลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหลังควหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้ใกล้เคียงกัน
2. ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ขา ใบหน้า และหน้าอก อาจเกิดเมื่อสัมผัสโครเมียมมาแล้ว 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมากและอาจเจ็บแสบด้วย
3. ผื่นคันโพรงจมูกอาจถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมจะได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละอองของโครเมียมเป็นประจำ จะทำให้ผื่นคันรูจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้ตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือตั้งจมูกแบนลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มะเร็งปอดอาจเกิดขึ้นกับผู้ที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำและเป็นเวลานาน ซึ่งจะเป็นอันตรายมาก

2.1.2 ตะกั่ว

ตะกั่วมีเลขออกซิเดชัน 0, +2, +4 ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วย ความหนาแน่น 11.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส การนำไฟฟ้าดี ออกไซด์ของตะกั่วอยู่ในรูป PbO , PbO_2 และ Pb_2O_4 ซึ่ง Pb^{4+} จะเสถียรกว่า Pb^{2+} ของตะกั่ว +2 โดยทั่วไปจะไม่ละลายน้ำ ยกเว้น อะซิเตตและไนเตรดเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวอย่างอิสระให้อิออน Pb

รูปที่ 2.2 แร่ตะกั่ว (www.deqp.go.th/data_envir/south/mineral/lead)

ความเป็นพิษของตะกั่ว

การได้รับพิษเฉียบพลัน

ผู้ที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น มักจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้องอย่างรุนแรง รวมทั้งมีอาการทางประสาท ได้แก่ ความคิดสับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานงานกัน สูญเสียทักษะที่เคยทำได้บางอย่าง ชัก หมดสติ และมีอาการทางสมอง ซึ่งพบได้ในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ ส่วนระดับตะกั่วในเลือดของผู้ป่วยดังกล่าว มักสูงกว่า 100 มดก./ดล. แต่มีรายงานอาการดังกล่าวในผู้ป่วยที่มีระดับตะกั่ว 70 มดก./ดล. เช่นกัน

การได้รับพิษเรื้อรัง

ในผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วที่มีปริมาณน้อยกว่าที่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันเป็นเวลานาน มักก่อให้เกิดอาการเป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งมีอาการตามระบบต่าง ๆ ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนรอบ ระบบทางเดินอาหาร ระบบการสร้างเม็ดเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการทางระบบประสาทส่วนกลางมักเริ่มด้วยอาการเซื่องซึม ความคิดช้า ปวดศีรษะ มีนศีรษะ เวียนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี เหนื่อย และหงุดหงิด ถ้าอาการรุนแรงขึ้นมักมีอาการสั้นไหวเวลาเคลื่อนไหว ซึมหลับ ชัก หมดสติ นอกจากนี้ อาจพบมีประสาทตาฝ่อ และความผิดปกติในการทำงานของกล้ามเนื้อ

อาการต่อระบบประสาทส่วนรอบและกล้ามเนื้อ มักมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อที่ใช้กระดูกข้อมือทำให้กระดูกข้อมือไม่ได้ ซึ่งอาจเป็นข้างเดียวหรือสองข้างก็ได้ อาการของระบบประสาทส่วนรอบมักเป็นอาการเคลื่อนไหวเป็นหลัก นอกจากนี้อาจมีปลายประสาทอักเสบ ทำให้มีอาการชาได้ แต่พบไม่บ่อยนัก

อาการทางระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยอาจมีอาการเบื่ออาหาร อาเจียน ปวดท้อง แบบลำไส้บิดตัว ซึ่งอาการสับสนกับไส้ติ่งเฉียบพลันได้ นอกจากนี้อาจมีอาการท้องผูกและท้องเดินได้ และส่วนมากมักมีน้ำหนักลดลง

ในการสร้างเม็ดเลือด มักพบมีอาการซีด โดยทั่วไปมักพบลักษณะเม็ดเลือดมีขนาดเล็ก เช่นเดียวกับการขาดธาตุเหล็ก และอาจพบเป็นแบบรูปร่างเม็ดเลือดปกติได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ อาจมีอาการเม็ดเลือดแดงแตกเฉียบพลันได้ การตรวจดูโดยใช้สไลด์เล็กที่เจาะจากปลายนิ้ว อาจพบ basophilic stippling ในเม็ดเลือดแดง และพบในสภาวะที่ติดเชื้อมีเม็ดเลือดขาวได้

ในผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วาน ๆ มักเกิดภาวะกรดยูริกคั่งในร่างกายจึงอาจทำให้เกิดภาวะไตวายเรื้อรัง หรือมีอาการของโรคเก๊าท์ได้ นอกจากนี้ยังมีลักษณะหนึ่งที่พบได้เช่น lead line ซึ่งเป็นเส้นสีน้ำเงินเทาเข้มที่เห็นอกเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว อาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยรอบต่อไปที่ได้รับตะกั่วสะสมมาเป็นเวลานาน แต่ค่อนข้างแยกจากโรคปริทันต์ได้ยาก

2.1.3 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีอยู่น้อยในธรรมชาติ ส่วนมากมักเกิดปนอยู่กับแร่สังกะสี ทองแดง และดีบุก ปกติในธรรมชาติ แคดเมียมจะรวมตัวกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulfide) ในทางอุตสาหกรรม แคดเมียมมีความสำคัญและมีประโยชน์หลายประการ เช่นใช้ในการชุบโลหะ ทำยาง พลาสติก โลหะผสม แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม ผสมเซลล์เย็บทำสี เป็นส่วนผสมของน้ำมันเครื่อง เป็นต้น

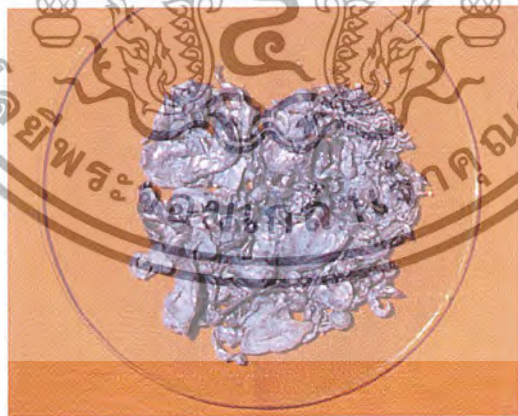
เมื่อร่างกายได้รับพิษเนื่องจากการสูดดมหรือหายใจเอาควันที่มีแคดเมียมเข้าไป อาการพิษที่เกิดขึ้นคือ คอแห้ง ระคายคอ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ เมื่อได้รับแคดเมียมมากขึ้นจะมีอาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หายใจไม่ออก ไอ ถ้ายังคงได้รับแคดเมียมเข้าไปอีกก็อาจตายได้ ส่วนอาการที่เกิดจากการกินอาหารหรือน้ำที่มีแคดเมียมเจือปนอยู่ คือ อาเจียน ท้องร่วง การได้รับพิษแบบเรื้อรังจะทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต (Itai-itai disease) ทำให้ผู้ได้รับพิษได้รับความเจ็บปวดและทรมานมาก เพราะเกิดอาการกระดูกและไตพิการ ระยะแรกผู้ป่วยจะมีอาการปวดบริเวณสะโพก แขนและขา ส่วนในกรณีของผู้ป่วยที่ได้รับแคดเมียมสะสมมานานจะมีอาการรุนแรงมากคือ ทำให้เส้นเลือดฝอยตีบ มีผลกระทบต่อภูมิคุ้มกัน ลดระดับวิตามินดี หลดเลือดแข็ง ความดันโลหิตสูง โลหิตจาง ปวดข้อ ผม่วง ผิวแห้ง ถ้าได้รับมาก ๆ อาจทำให้เป็นโรคถุงลมโป่งพอง มีอาการเจ็บปวดทั่วร่างกาย เช่น ปวดขา ปวดหลัง สูญเสียแคลเซียมในกระดูก ทำให้เป็นโรคกระดูกบาง แรกกดของน้ำหนักตัวที่มีต่อกระดูกสันหลังทำให้ร่างกายเตี้ยหรือค่อมลง ลูกอ้วนทะลุทำลาย และมีการวิจัยว่าเป็นสารก่อมะเร็ง ในระยะสุดท้ายผู้ป่วยจะสูญเสียแคลเซียมออกทางปัสสาวะมาก จนกระดูกพุกร่อนและเสียชีวิตไปในที่สุด

นอกจากนี้ ถ้าได้รับสารแคดเมียม 1300 ไมโครกรัม/วัน จะเป็นพิษ เกิดการกลายพันธุ์ และทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ความดันโลหิตสูง อายุสั้นลงด้วย

ส่วนการแก้พิษนั้น ถ้าแก้พิษโดยใช้ BAL จะไม่ได้ผลเหมือนโลหะตัวอื่น กัดบจะเป็นพิษมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะขับสารพิษแคดเมียมออกจากร่างกาย



รูปที่ 2.3 แคดเมียม (drake.marin.k12.ca.us/.../hev%20met/hevmet.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ถ้ำแกลบดำ

ถ้ำแกลบดำ เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงสีข้าว สีขาวเปลือก 16 กิโลกรัม จะได้แกลบประมาณ 4 กิโลกรัม และถ้าแกลบจำนวนนี้จะเป็นถ้ำบดได้ถ้ำประมาณ 1 กิโลกรัม ปีหนึ่ง ๆ โรงสีต่าง ๆ ทั่วประเทศสีข้าว 10 กว่าล้านเมตริกตัน จึงได้แกลบไม่น้อยกว่า 2.5 ล้านเมตริกตัน แกลบส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำของโรงสีนั้น ๆ นอกนั้นใช้เผาอิฐ เคี้ยวน้ำตาล หรือมิฉะนั้นก็เผาทิ้งไป ฉะนั้นในปีหนึ่ง ๆ จะมีถ้ำแกลบไม่น้อยกว่า 5 แสนเมตริกตันทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

2.2.1 การแบ่งประเภทของถ้ำแกลบ

การเผาแกลบที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันจะได้ถ้ำแกลบที่มีสีและคุณสมบัติต่าง ๆ กัน ถ้ำแกลบขาว ได้จากการคั่ว ๆ แกลบที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีความชื้นพอประมาณหรือได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิต่ำจนได้สีเทา แล้วคั่ว ๆ แกลบที่อุณหภูมิสูง 1000 องศาเซลเซียส จนเปลี่ยนเป็นสีขาว ส่วนถ้ำแกลบเทาได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส และถ้ำแกลบดำได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เช่น ได้จากการเผาแกลบเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีข้าว

ถ้ำแกลบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำและมีความชื้นพอประมาณ ซิลิกาจะอยู่ในรูปของ amorphous แต่ถ้ำได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำแล้วไปเผาที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง จะอยู่ในรูปของ amorphous เป็นจำนวนน้อย และอยู่ในรูปของ cristobalite มาก ส่วนถ้ำแกลบเทาจะอยู่ในรูปของ morphous และถ้ำแกลบดำจะอยู่ในรูปของ cristobalite เป็นส่วนมาก (cristobalite เป็น polyamorphous)

จากการหา bulk density ถ้ำแกลบขาวจะมี bulk density น้อยกว่าถ้ำแกลบเทา และถ้ำแกลบเทาจะมี bulk density น้อยกว่าถ้ำแกลบดำ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 Bulk Density ของถ้ำแกลบชนิดต่าง ๆ

ชนิด	ลักษณะการเผา	Bulk Density (gm./ml.)
1. ถ้ำแกลบดำ	- เผาที่อุณหภูมิต่ำ	0.5876
	- เผาที่อุณหภูมิต่ำจนได้เป็นสีเทา แล้วจึงปรับอุณหภูมิให้สูง	0.8126
2. ถ้ำแกลบเทา	- เผาที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส	0.7573
3. ถ้ำแกลบขาว	- เผาแกลบจากโรงสีข้าว	0.8837

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติทั่วไปของถ้ำเกลบดำ

ถ้ำเกลบดำประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่มีประมาณร้อยละ 70 – 95 และมีคาร์บอนอยู่ประมาณร้อยละ 5 – 30 โครงสร้างของซิลิกาเป็นโพรง ซึ่งทำหน้าที่ในการกรองได้ดี การมีถ่านปนอยู่ด้วยจะช่วยในการฟอกสีและดูดกลิ่นได้ด้วย คุณสมบัติทางเคมีของเกลบ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ซิลิกาในถ้ำเกลบแตกต่างกับทรายมากตรงที่เบาและแตกง่ายเพราะเป็นก้อนพรุน

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของถ้ำเกลบ

คุณสมบัติ	ถ้ำเกลบ
1.Silicon dioxide	91.16
2.Aluminium oxide	0.51
3. Ferric oxide	0.86
4. Calcium oxide	0.57
5. Magnesium oxide	0.24
6. Sulphur oxide	Trace
7. Sodium oxide	0.07
8.Potassium oxide	2.88
9.Loss of ignition	0.24

ประโยชน์ของถ้ำเกลบดำ

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง
- ดูดสีและกลิ่น
- ใช้เป็นผงขัดภาชนะต่าง ๆ
- ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ชนิดและคุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับที่นิยมใช้กัน

Material	Shape	Size (mesh)	ϵ_p	ρ_b	r_p	A_s	Commercial Products
Aluminas Active aluminas	G	V	0.25-0.3	50	35-45	235	Alcoa F-1 Reynolds RA-1,RA-3
	S	3.8	0.5-0.6	47-50	40-50	400	Alcoa H-151 Kaiser KA-201
Catalytic - alumina	S	V	0.62	47	45	300	Pechiney CR
Chromatographic - alumina	G	80-200	0.3	58	45	225	Alcoa F-20
Silicas Alumino-silicates	C	4-12	0.4	40	-	770	Davidson
	S	-	0.55	55	-	-	3A,4A,5A
Magnesia-silica gel	P	-	-	-	-	-	13X,700
	G	V	0.33	30	-	300	Florisil
Silica gel	G	V	V	27-45	V	300-800	Davidson silica gel
	S	1/8 in	0.34-0.51	41-52	21-28	650-700	Cecagel Mobil Sorbead R,H
Carbons Shell-base	G	V	0.5-0.6	27-34	20	800-1100	Cochranex FCB
	P	-	0.6-0.8	20-22	30	1200	Barnebey-Cheney JF,JU,YF
Wood-based	G	5-7	-	24	5-10	1400	Supersorbon W
	P	V	-	27-29	3-10	750-900	Brilonit

2.3 การดูดซับ

การดูดซับจะมีความสามารถในการกำจัดสิ่งที่เป็นพิษในน้ำเสียทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี สารฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุม มีประสิทธิภาพที่ดีและระบบมีความทนต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพคือต้องการพื้นที่น้อยและไม่มีการปนเปื้อนที่ น่ารังเกียจ

2.3.1 หลักการดูดซับ (Concept of adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มายังผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า "ตัวถูกดูดซับ" ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับเรียกว่า "ตัวดูดซับ"

การดูดซับด้วยของแข็งอย่างเช่น คาร์บอน จะขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสของของแข็ง การดูดซับจะเกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ และทางเคมี การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในวัฏภาคแก๊ส (gas phase) หรือวัฏภาคของเหลว (liquid phase) ยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่พื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซนั้น

การดูดซับทางกายภาพ (physisorption) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive force) อย่างอ่อนๆ ซึ่งเรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับถูกทำให้เกาะติดแน่นอยู่กับโมเลกุลของสารดูดซับ โดยวิธีทางกายภาพซึ่งจะทำให้เกิดเป็นหลาย ๆ ชั้นซ้อนทับกันโดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดก่อน โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวละลายซึ่งจำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การดูดซับทางกายภาพนี้ทำให้เกิดส่วนที่หนา และผันกลับได้ การผันกลับของการดูดซับทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดนี้มีค่าน้อยการหลุดออกของสารดูดซับ (desorption) สามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมี (chemisorptions) จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าของพลังงานพันธะเคมี จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ ส่วนการดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะผันกลับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงของแรงดึงดูสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับ โดยการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล

2.3.2 ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหรือใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน
2. การดูดซับทางกายภาพไม่จำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
3. ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ มีค่าเท่ากับความร้อนของการกลายเป็นของเหลว เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางเคมี ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แต่ค่าความร้อนของการดูดซับก็ไม่ใช่ค่าที่สำคัญในการพิจารณา
4. การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อมีการเกิดชั้นที่ 1 แล้ว ซึ่งบางครั้งการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้
5. การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที (เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกัน แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นด้วย

เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของการดูดซับ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นของเหลวและถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพ โดยจะมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีไม่มากนัก พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นและที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมนั้นเป็นการดูดซับทางกายภาพ

2.3.3 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การแพร่ภายนอก เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ
2. การแพร่ภายใน เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ปฏิกิริยาพื้นผิว เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากกระบวนการนี้จึงละลายได้

External Diffusion

ขั้นตอนนี้เป็นการส่งมวลของสารที่ถูกดูดซับจากสารละลายไปยังบริเวณพื้นผิวของสารดูดซับหรือที่ทางเข้ารูพรุนของสารดูดซับ มวลสารที่ถ่ายโอนเป็นไปตามสมการนี้

$$\frac{dq}{dt} = k_f S (c - c^*) \quad (2.1)$$

q = ปริมาณของสารดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ

t = ระยะเวลา

k_f = mass transfer coefficient (external)

S = พื้นที่ผิวของสารดูดซับ

C = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในสารละลาย

C^* = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่บริเวณพื้นผิวหน้าของของแข็ง

Internal Diffusion

คือการถ่ายโอนมวลสารจากมวลสารที่ถูกส่งถ่ายเข้ามาสู่บริเวณพื้นผิวรอบ ๆ ของสารดูดซับเข้าสู่ภายในรูพรุนซึ่งมีพื้นผิวเป็นจำนวนมากสำหรับการดูดซับ

$$\frac{dq}{dt} = K_d a_v (q - q^*) \quad (2.2)$$

q^* = ปริมาณของสารดูดซับที่สมดุลกับ C^*

a_v = พื้นผิวของสารดูดซับที่เกิดการส่งถ่ายมวลสารของสารที่ถูกดูดซับ

2.3.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.3.4.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ

ความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวดูดซับ

2.3.4.2 ลักษณะของสารดูดซับ

สิ่งที่สำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่งก็คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

2.3.4.3 ความปั่นป่วน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งของโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบถ้ามีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้น การแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.3.4.4 เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง

2.3.4.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับ ต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลื้อยู่ ณ จุดสมดุล เพื่อคัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์

2.3.5.1 Langmuir Isotherm

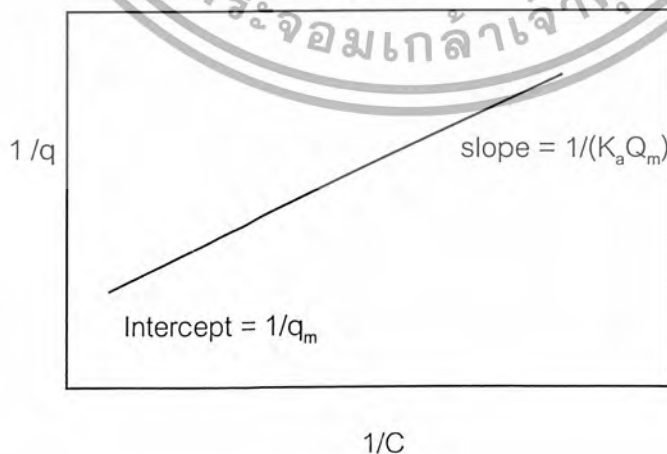
การดูดซับแบบแลงเมียร์เป็นพื้นฐานของการดูดซับแบบอื่น ๆ ซึ่งมีการสมมติฐานว่าการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับโมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ มีพลังงานของการดูดซับคงที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบพื้นผิวตัวดูดซับ

$$Q = \frac{Q_m K C}{1 + K C} \quad (2.3)$$

เมื่อ Q = จำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักที่ความเข้มข้น C
 Q_m = จำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียว (monolayer) บนพื้นผิวตัวดูดซับ
 C = ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (mg/l)
 K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงาน

จัดเป็นสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{K Q_m C} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Suzuki, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.2 Freundlich Isothem

การดูดซับแบบ Freundlich นี้ เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกับหลายชั้นด้วยพันธะอ่อน ๆ

$$q_c = \frac{X}{M} = KC \quad (2.5)$$

- เมื่อ q_c = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/l)
 X = ปริมาณของสารที่ดูดซับ (mg)
 M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)
 C = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับ (mg/l , M)
 K = ค่าคงที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
 $1/n$ = ค่าคงที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย (concentration dependence)

สมการ Freundlich เมื่อเขียนกราฟค่า X/M และ C จากการทดลองลงบนกราฟ Log-Log จะได้ดังสมการ

$$\log\left(\frac{X}{M}\right) = \log K = \frac{1}{n} \log C \quad (2.6)$$

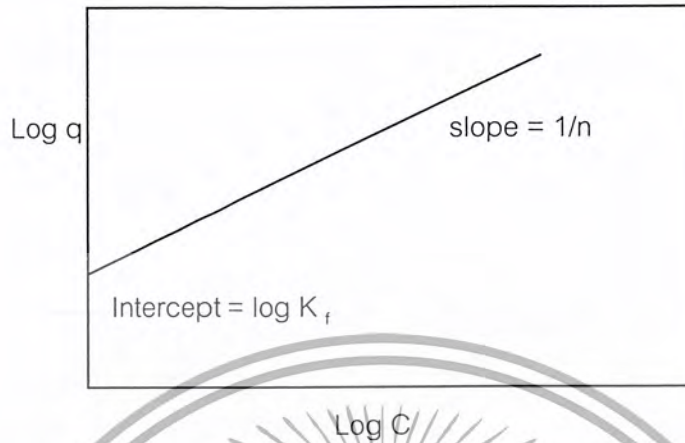
สามารถหาค่า K และ $1/n$ ได้โดยที่

$1/n$ = ความชันของกราฟ

K = ค่า X/M ที่ค่า $C = 1$

หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ แสดงว่า ความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นกับความเข้มข้น เช่น หากความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงข้ามกัน เมื่อความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



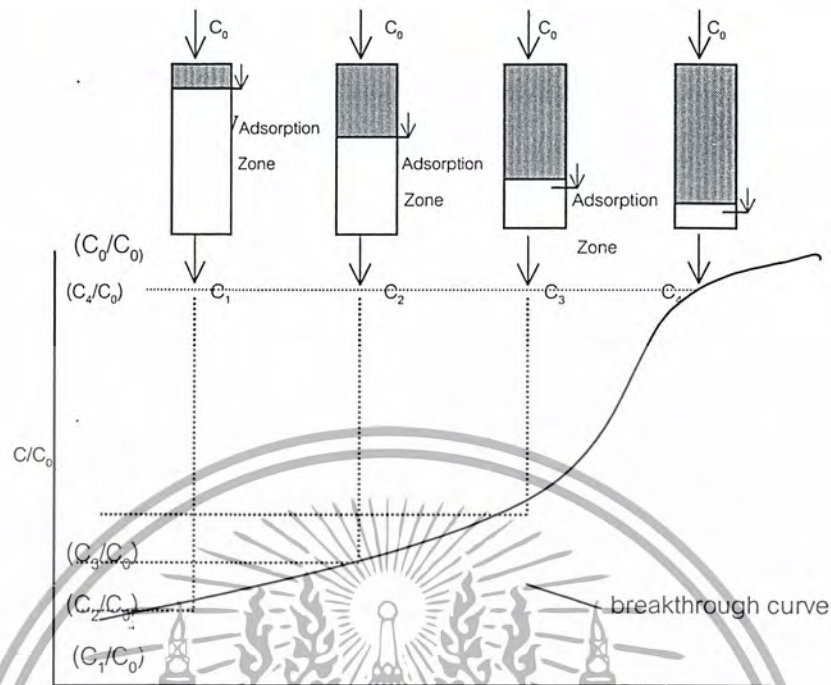
รูปที่ 2.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich (Suzuki, 1990)

การทำไอโซเทอร์มการดูดซับนั้น กระทำได้โดยการนำตัวดูดซับที่บดละเอียดปริมาณที่แตกต่างกัน มาเขย่ากับน้ำที่มีสารปนเปื้อน จนถึงจุดสมดุลของการดูดซับ จากนั้นแยกน้ำใส่ออกมาวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือ ผลการทดสอบที่ได้นำไปใช้คัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสมในการใช้งานนั้น ๆ

2.3.6 การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและการศึกษาค่าคงที่

การศึกษาในขั้นนี้กระทำได้โดยการผ่านน้ำที่ปนเปื้อนอย่างต่อเนื่องเข้าสู่คอลัมน์ ซึ่งบรรจุตัวดูดซับ เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นตัวดูดซับเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะมีสารปนเปื้อนเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับค่อย ๆ หมดประสิทธิภาพตามปริมาณน้ำที่ค่อย ๆ ไหลผ่านชั้นตัวถูกดูดซับ ดังนั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านการดูดซับจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 2.3 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของปริมาณน้ำทั้งที่ผ่านชั้นตัวถูกดูดซับแล้วต่อความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับปริมาตรที่ใช้เรียกว่า breakthrough curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดง breakthrough curve ของการดูดซับแบบคอลัมน์ (Metcalf and Eddy , 1972)

2.4 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ (cement) หมายถึง วัสดุยึดเกาะที่สามารถเกิดพันธะกับชิ้นส่วนหรืออนุภาคของสารที่เป็นของแข็งในสัดส่วนที่เหมาะสม (Soroka, 1979) การให้คำจำกัดความนี้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางของวัสดุหลายชนิด แต่วัสดุในเชิงวิศวกรรมและกากรก่อสร้าง ต้องการปูนซีเมนต์ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (Calaarous Cement) หรือปูนขาวเป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งโดยทั่วไปปูนซีเมนต์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ที่ไม่สามารถก่อตัวหรือแข็งตัวในน้ำหรือไม่เสถียรในน้ำ เรียกว่า Non-Hydraulic Cement

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ที่สามารถอัดหรือแข็งตัวในน้ำและให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งซึ่งเสถียรในน้ำเรียก Hydraulic Cement เช่น ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) ดังนั้นปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้คือ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ คือวัสดุซีเมนต์ที่ได้มาจากการผสมเข้าด้วยกันของสารที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต หรือวัสดุปูนขาวทันทานอื่น ๆ พร้อมทั้งสารที่ประกอบด้วยดินเหนียว (Argillaceous) และ/หรือวัสดุอื่น ๆ เช่น ซิลิกา อลูมินา หรือเหล็กออกไซด์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นไปตามความต้องการ จากนั้นทำการเผาจะเกิดปฏิกิริยาเคมีและรวมตัวเป็นสารประกอบได้ปูนซีเมนต์หรือปูนเม็ด (clinker) แล้วจึงลดอุณหภูมิให้เหมาะสม (clinking temperature) โดยการทิ้งไว้หรือใช้เครื่องทำให้เย็น (clinker cooling) ก่อนนำไปบดให้ละเอียด (grinding) ให้สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200 ได้หมด

2.4.1.1 สารประกอบในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

สารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มีด้วยกัน 4 ชนิด คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium Silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) และไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ ((tricalcium Aluminoferrite) ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (วินิต, 2539)

ชื่อสารประกอบ	สูตรประกอบทางเคมี	ตัวย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
ไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์	$4\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	CaAF

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ คือ MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O , และ Na_2O ซึ่งปะปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูน โดยสารประกอบแต่ละชนิดจะแสดงพฤติกรรมของสมบัติแตกต่างกันดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ลักษณะของสารประกอบที่เกิดในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (วินิต,2539)

สมบัติที่เกิด	พฤติกรรมสัมพันธ์ของสารประกอบ			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	CaAF
อัตราของปฏิกิริยา	ปานกลาง	ช้า	เร็ว	ช้า
ความร้อนต่อหน่วยของสารประกอบ	ปานกลาง	เล็กน้อย	มาก	เล็กน้อย
ค่าการยึดติด (cementing) ต่อหน่วยสารประกอบ				
- ก่อน (Early)	ดี	ไม่ดี	ดี	ไม่ดี
- หลังสุด (Ultimate)	ดี	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี

2.4.1.2 ประเภทของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (ประณต,2538)

จำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบพื้นฐาน แต่ละชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการผลิต ทำให้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มีลักษณะแตกต่างกัน แบ่งได้ 5 ชนิดคือ

1.ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สามารถใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและสำหรับใช้ในการก่อสร้างโดยทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว

2.ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น ทนการสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินหนา ๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

3.ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งแรง (High – Early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่า ชูปเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนและโดยการเตรียมสารอื่น โดยการบดละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับคอนกรีตที่ต้องการใช้เร็วหรือรีบแบบเร็ว เช่น เสาค้ำคอนกรีต ถนน พื้นและอาคารที่ต้องการถอดแบบ เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราเพชรสามเม็ด

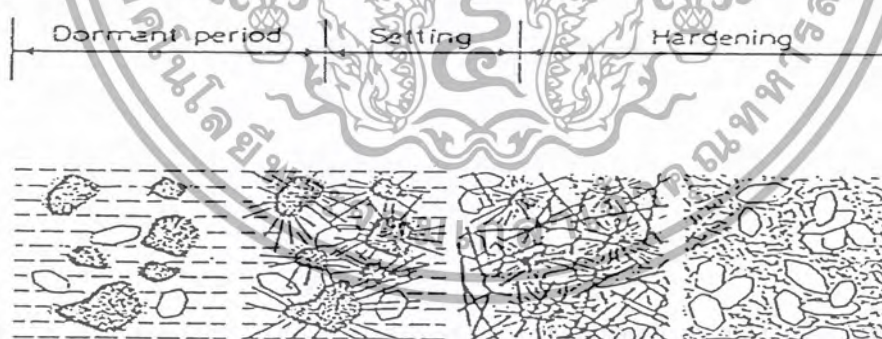
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low – heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำให้ความร้อนต่ำที่สุด ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าชนิดอื่น ขณะแข็งตัว

5. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ต้านซัลเฟตได้สูง (Sulfate – Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดต้านซัลเฟตได้สูง สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในที่ที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีค่าสูง มีระยะเวลาการแข็งตัวน้อยกว่าประเภทอื่น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

2.4.2 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

การเติมน้ำในปูนซีเมนต์ผงจะทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เรียกส่วนผสมส่วนนี้ว่า Cement Paste ซึ่งในช่วงเวลา 2 นาที หลังจากเติมน้ำจะเกิดผลึกคล้ายเข็มของแคลเซียมซัลไฟไฮดรอกไซด์ โดยจะมีเวลาเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เรียกว่าการทำให้ Cement Paste แข็งตัว (Stiffening) นี้ว่า การตกตัว (Setting) และเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงจะเริ่มเกิดเมื่อผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขนาดใหญ่ และแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) ขนาดเล็ก โดยมีน้ำกระจายเข้าไปในโครงผลึก และรอบ ๆ เรียกว่าการยัด (Harding) แสดงดังภาพที่ 2.7 ซึ่งกำลังแรงอัดของ Paste จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการยัด



รูปที่ 2.7 ปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใน Cement Paste (Means, 1995)

โดยปฏิกริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ไฮเดรชัน (Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียว และเกาะแน่นกับวัสดุผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยา เรียกว่า Heat of เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydration วัตเป็นแคลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ ซึ่งบางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูงจะทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรง และเกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ภายในเนื้อคอนกรีตเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าว

ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)



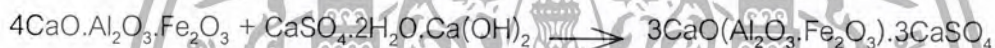
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต



3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)



4. ไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอไรท์ ($CaAF$)



จากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะก่อให้เกิดสภาพต่างในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีความสามารถในการทำให้เป็นกลาง โดยการตกตะกอนแคลเซียมซิลิเกตที่ไม่ละลายในรูปของแม่พิมพ์ซีเมนต์ เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมมากกว่า 100 มก./ล. และพีเอชมากกว่า 11 ซึ่ง Cement Paste ที่มีความเป็นด่างสูงด้วยผิวซิลิกา และออกซีไฮดรอกไซด์สามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อม สำหรับการตกตะกอนโลหะที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเป็นด่าง และปฏิกิริยาการดูดซับ (Adsorption) เชิงซ้อน พบว่า โลหะหนักจะถูกดูดซับบนผิวซิลิกาและเหล็กออกซีไฮดรอกไซด์ โดยแคลเซียมซิลิเกตมีความสามารถในการดูดซับโลหะสูง แต่ Cement Paste อาจไม่ก่อตัวเป็นสารประกอบเนื่องจากการไม่ละลายของปูนขาว และอลูมินาบางส่วน ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ กับน้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่ แต่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับสารละลายกรด กลไกคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของแร่ที่มีความเข้มข้นของซิลิกาอยู่มากในสิ่งแวดล้อม ในวัสดุที่เป็นซีเมนต์อื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน คือ เกิดปฏิกิริยาคลายคลึงกัน แต่จะมีความแตกต่างในส่วนประกอบทำให้ Stoichiometry ของผลิตภัณฑ์มีหลายชนิด

การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำหนีออกจาก Cement Paste หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มตัวจึงเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีต ที่สำคัญ เวลาใช้เพื่อให้การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์ขึ้นกับปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิด

ของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์ และอุณหภูมิโดยรอบ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับกาให้น้ำจากภายนอกด้วย

2.4.3 วัสดุผสม

หินย้อย กรวด และทราย รวมเรียกว่า วัสดุผสม ซึ่งเป็นพวกแร่ธาตุที่เฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยา อาจได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินอัคนี หินชั้น และหินแปร หรือทำเทียมขึ้น เช่นวัสดุผสม ตะกรันเตา ถลุงในเนื้อคอนกรีตจะมีส่วนผสมอยู่สามในสี่ส่วน

การเลือกใช้วัสดุผสมนี้ มีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้ได้คอนกรีตที่ดีกล่าวคือ คุณสมบัติของ หินและทรายจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต/สัดส่วนของการผสม

วัสดุผสมละเอียด หมายถึง ทรายซึ่งเป็นวัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. วัสดุผสมที่เล็กกว่านี้เรียกว่าฝุ่น

วัสดุผสมหยาบ เป็นวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ซึ่งได้แก่ กรวด หรือหินย้อยหรือหินโม

2.4.4 กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์

ได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์หลายท่านดังต่อไปนี้ Bishop (1988) ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการชะละลายโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ (Cement-based Solidification) โดยใช้ของเสียสังเคราะห์ที่เป็นโลหะไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยได้ศึกษาถึง buffering capacity ของวัสดุที่แข็งตัวจากการกำจัดโลหะหนัก และกลไกการยึดจับโลหะหนักของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในของเสียที่ถูกทำให้เป็นก้อน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

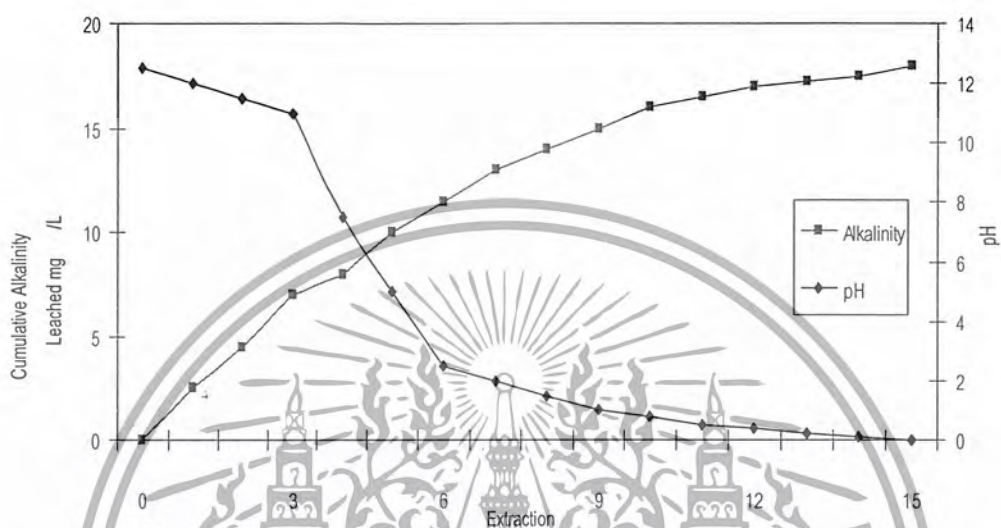
1.ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (buffering capacity)

จากการทดสอบ leaching test กับของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์ โดยการชะละลายของแข็งที่แข็งตัวด้วยกรดอะซิติก และทำการชะละลายติดต่อกันอีกเป็นจำนวนทั้งหมด 15 ครั้ง นำมาตรวจวัดค่าพีเอช และค่าความเป็นด่าง (alkalinity) และนำไปเขียนกราฟ

ดังแสดงในภาพที่ 2.3 จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อทำการชะละลายของเสียที่ทำการชะละลายของเสียที่แข็งตัวหลาย ๆ ครั้ง พบว่าค่าพีเอชของกรดที่ผ่านการชะละลายแล้วมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเกือบคงที่ในครั้งที่ 15 ส่วนค่าความเป็นด่างสะสม (cumulative alkalinity) จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยในครั้งที่ 15 ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายได้จะเหลือน้อยมากซึ่งมีค่าประมาณ 1.7% ของค่าความเป็น

เป็นด่างที่สะสมทั้งหมด โดยความเป็นด่างจะถูกชะละลายออกมามากในช่วงต้น และลดลงตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่น ๆ ทั่วทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับในครั้งที่ 15 มีค่าเท่ากับ 18.3 มก./ก. ซึ่งถือว่าเป็นค่า buffering capacity ของของเสียแข็งตัว ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายออกมาแต่ละครั้งนี้จะเป็นตัวควบคุมพีเอชของการชะละลาย โดยการสะท้อนกรดอะซิติกที่ใช้ในการทดลองให้เป็นกลาง



รูปที่ 2.8 แสดงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย (Bishop, 1988)

2.กลไกการยึดจับโลหะ (mechanism of fixation)

จากกราฟ ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะที่ถูกชะละลาย (แคดเมียม, โครเมียมและตะกั่ว) กับค่าความเป็นด่าง และซิลิกอน ซึ่งจะถูกระบายออกมาเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 6.0 จากการทดลองที่ผ่านมาหลาย ๆ ครั้ง ทำให้ทราบว่าโลหะหนักอาจจะอยู่ในโครงสร้างของของเสียที่แข็งตัวในรูปแบบต่าง ๆ เช่นอยู่ในรูพรุนของโครงสร้างภายในของของเสียที่แข็งตัว ถูกเกาะติดกับผนังรูพรุน และทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบในซีเมนต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคดเมียมจะถูกชะละลายออกมาได้มากกว่าโครเมียม และตะกั่วซึ่งถูกระบายออกมาได้น้อย

กรณีที่โลหะถูกล้อมอยู่ในของแข็งหรืออยู่ในรูพรุน หรือเกาะติดผิวรูพรุนแล้ว โลหะหนักเหล่านั้นควรจะถูกระบายออกมาคล้ายกับการชะละลายออกมาของค่าความเป็นด่าง จากรูปที่ 2.8 เส้นกราฟของแคดเมียมสะสมถูกระบายออกมาคล้ายคลึงกับเส้นกราฟของค่าความเป็นด่างสะสมที่ถูกชะละลายออกมา ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าแคดเมียมอาจจะอยู่ในของเสียที่แข็งตัวในรูปแบบแคดเมียมไฮดรอกไซด์ โดยอยู่ตามรูพรุนและเกาะติดอยู่กับผนังของรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครเมียมและตะกั่วเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟแล้วจะมีรูปแบบของการถูกชะละลายคล้ายกับการชะละลายของซิลิกอน ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และทราย ดังนั้นจึงเชื่อว่าโครเมียมและตะกั่วจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนมากกว่าเป็นโลหะไฮ-

ดรอกไซด์ที่อยู่ในรูปหิน การชะละลายของตะกั่วและโครเมียมค่อนข้างยากที่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่เอชต่ำ ๆ และต่ำกว่าที่เอชในการชะละลายแคลเซียม อัตราการชะละลายของโลหะหนักทั้งสองน้ำมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการชะละลายที่คาดคะเนจากการชะละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ แสดงว่าโลหะทั้งสองนี้จะเกาะติดอย่างแข็งแรงภายในโครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกา และการชะละลายออกเมื่อโครงสร้างของซิลิกานี้ถูกทำลาย



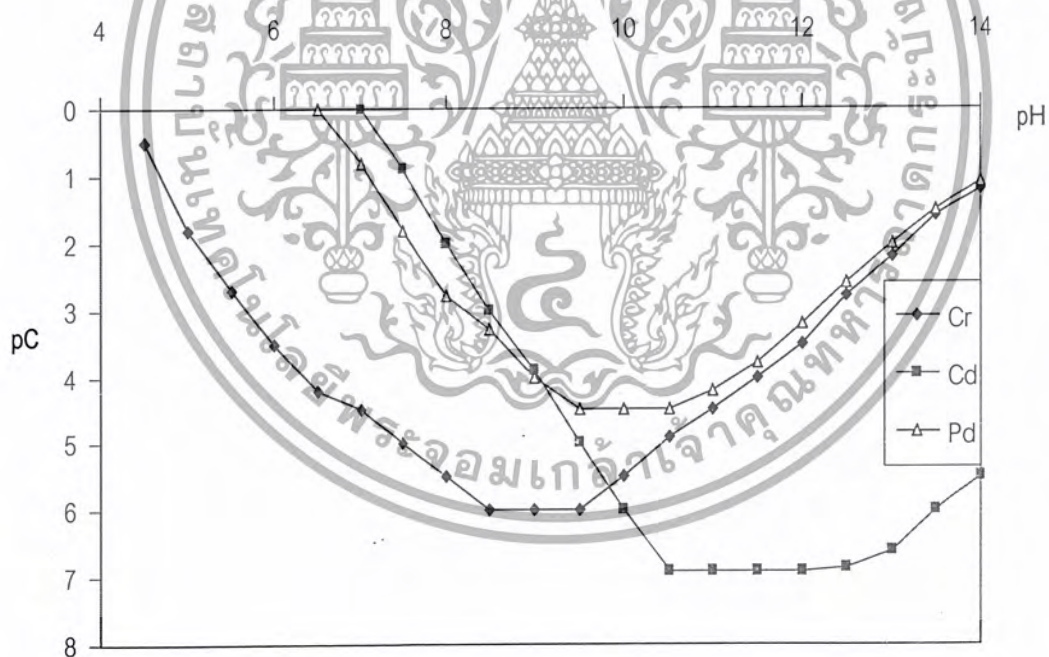
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกละลายกับค่าความเป็นด่างและซิลิกอนจากการทดสอบการชะละลาย (Bishop, 1988)

รูปที่ 2.9 แสดงถึงกราฟ pC-pH diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม โครเมียม และตะกั่วในสารละลายมีค่า ionic strength 0.75 โมลาร์ พบว่าในขณะที่เริ่มผสมปูนซีเมนต์และส่วน ผสมอื่น ๆ ค่าที่เอชมีค่าสูงประมาณ 12-13 ซึ่งจะทำให้แคลเซียมส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ และอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งซึ่งอยู่ในรูปของซีเมนต์ ส่วนโครเมียมและตะกั่วจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายน้ำได้ และมีส่วนในปฏิกิริยาการก่อตัวของซีเมนต์ และเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับซิลิเกต จากสาเหตุดังกล่าวนี้จึงอธิบายได้ว่าแคลเซียมจะถูกชะละลายออกมาเช่นเดียวกับค่าความเป็นด่าง ส่วนโครเมียมและตะกั่วจะถูกชะละลายออกมาโดยขึ้นอยู่กับ การละลายของซิลิเกต

ภายหลังการทดลอง leaching test ได้วิเคราะห์น้ำหนักแห้งของสารทั้งหมดพบว่า ภายหลังจากการทดลองชะละลาย 15 ครั้ง ปริมาณสารที่ถูกชะละลายออกไปประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณทั้งหมดก่อนการทดลอง แต่อย่างไรก็มีโลหะหนักเหลืออยู่ในโดยมีแคลเซียม โครเมียมและตะกั่วเหลืออยู่ 50,85 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีโลหะที่เป็นสารประกอบโดยปกติในซีเมนต์ ได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกอนเหลืออยู่ 90,98 และ 80เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแคลเซียมเหลืออยู่ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์ที่แข็งตัวสามารถยึดติดกับโลหะหนักได้ดี และยากที่จะทำการชะละลายโลหะหนักออกจากซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วดังกล่าว

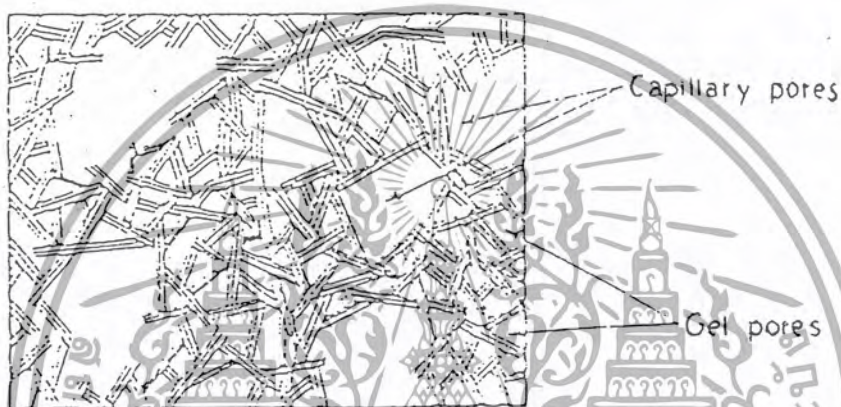


รูปที่ 2.10 แสดง pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม โครเมียมและตะกั่ว(Bishop,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ช่องว่างระหว่างCement Paste

Cement Paste ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจะประกอบด้วย น้ำ รูพรุนซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่มอย่างเห็นได้ชัดเจน คือ รูพรุนเจล (Gel Pores) และรูพรุนขนาดเล็ก (Capillary Pores) แสดงดังรูปข้างล่าง โดยรูพรุนเกิดขึ้นในรูปของอนุภาคขนาดคอลลอยด์ มีลักษณะเป็นรูพรุนประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำเริ่มต้น ส่วนปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนเจลจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เริ่มต้นและระดับเริ่มต้นของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์และน้ำ



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของCement Paste (Soroka,1979)

2.4.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของซีเมนต์

2.4.6.1 กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความสำคัญในขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติ สมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การที่จะได้สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดีต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ (ธีระชาติ,2543)

1.กำลังมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยขึ้นกับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration ซึ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ ปริมาณกำลัง ลักษณะผิวขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ ความสามารถด้านแรงคอนกรีตจะขึ้นกับกำลังของ หินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ซึ่งเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในหินขนาดใหญ่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับ มอร์ต้าลดลง เนื่องจากเกิดน้ำในหินได้มากขึ้น และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลาง ขนาด ของมวลรวมจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง รวมทั้งการเพิ่ม ปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมก็ทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นด้วย

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยวขึ้นกับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะของผิวมวลรวม กับ ลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ นอกจากนี้ ทิศทางในการ หล่อและทิศทางในการให้น้ำหนักก็มีผลต่อกำลังรับแรงอัดเช่นกัน เนื่องจากจะเกิดช่องว่างทำให้ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้าต่ำลง

2.4.6.2 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่ง จะส่งผลให้เกิดการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำได้โดยให้น้ำแก่ คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

หน้าที่สำคัญของกรบ่มคอนกรีตมี 2 ประการคือ

1. ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากเนื้อคอนกรีต

2. รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตคือ

1. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและมีความทนทาน

2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมและลดการ ระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่ม อาจหมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิสูงจะเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียในระยะยาว

2.4.6.3 การแปรผันของกำลังคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแปรผันของกำลังอัดคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรืออาจเป็นการผสมผสานกันหลาย ๆ สาเหตุ ได้แก่

1. ใช้ส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม
2. ควบคุมปริมาณน้ำไม่พอดี
3. ควบคุมปริมาณอากาศไม่พอดี
4. การผสมไม่ดีพอ
5. มีการใช้สารอินทรีย์ต่าง ๆ มากเกินข้อกำหนด
6. ใช้หินทรายที่สกปรก
7. ใช้น้ำยากลอรีนที่ไม่มีประสิทธิภาพ
8. ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม

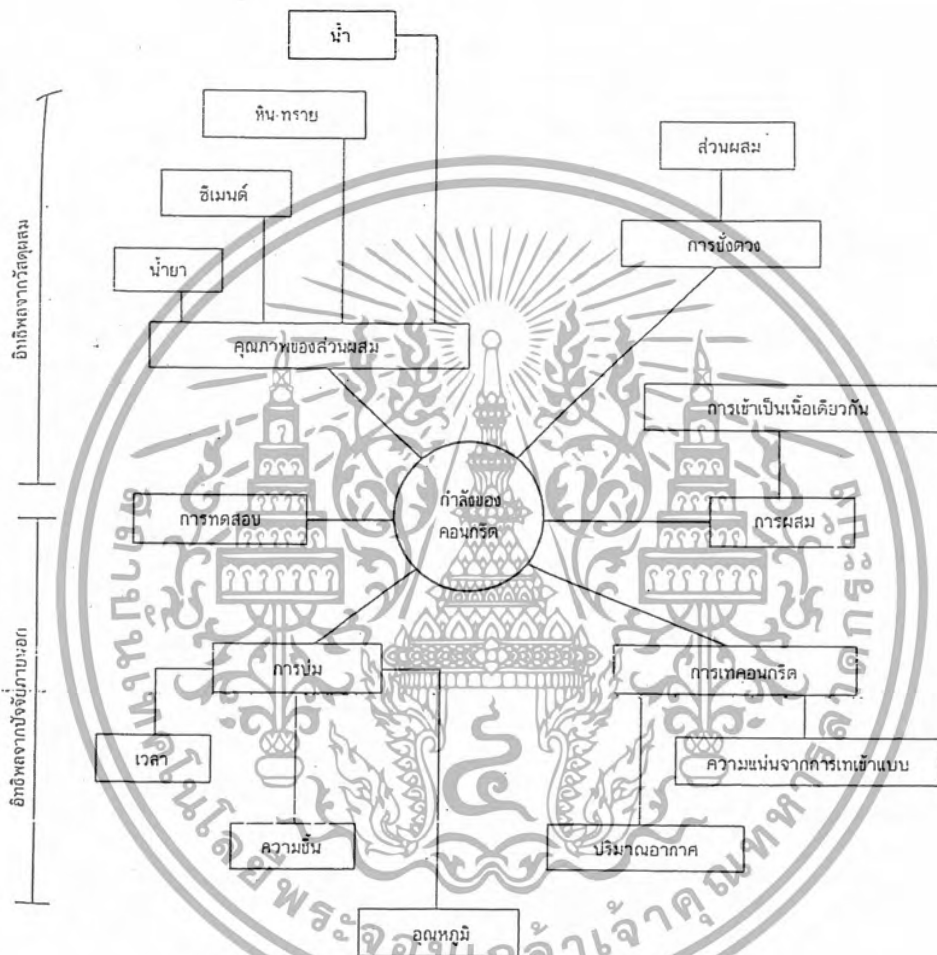
ตารางที่ 2.6 Specimen Solidified Waste Performance Characteristics Required by A Waste Disposal Authority (พ.ต.ร.ศ.2542)

Characteristic	Requirements	Comparative values
Permeability (28 day)	$> 1 \times 10^{-7}$ m/s	Sand : 1×10^{-4} - 5×10^{-5} m/s Silt : 1×10^{-6} - 1×10^{-7} m/s Concrete : 1×10^{-2} m/s
Compressive Strength (28 day)	> 0.34 MN/m ²	Concrete : 30 MN/m ² Mortar : 20 MN/m ² Grouts : 0.5 MN/m ²
Leachate Quality **	pH 8-11 COD < 280 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 metal: Zn < 10 g/m ³ , Hg < 0.5 g/m ³ Others (inc. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ba, V, Co, Mb, Sn, As, Se, Sb): < 5 g/m ³ Total pesticides > 0.1 g/m ³ Supernatants : non after 24 hr.	n.a. - - - - - - - -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n.a = not applicable

** Conditions : 50 g solidified waste (28 days cure).ground to fine powder stirred 1 hr. with 500 ml. distilled water (20 °C) filtered through Whatman NO. 2 filter paper



รูปที่ 2.12 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดของเสีย โดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์เป็นดังนี้

Shively และคณะ (1986) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนัก 4 ชนิด คือ อาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยการทำให้เป็นก้อนจากนั้นจึงทดสอบกำลังแรงอัด (Compressive Strength) และการชะละลาย (Leaching Tests) ของโลหะหนักแต่ละชนิดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสมกัน จากผลการทดสอบกำลังแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 14 วัน พบว่า เมื่อใช้อาร์เซนิกและแคดเมียมในการกำจัดโดยการทำให้เป็นก้อน จะทำให้กำลังแรงอัดของแท่งซีเมนต์ลดลงทั้งกรณีที่ใช้ค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 และ 1.0 ของเสียผสมจะลดกำลังแรงอัดเฉพาะค่า W/C 0.5 ส่วนโครเมียมและตะกั่วจะไม่มีผลต่อกำลังแรงอัด สำหรับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสม พบว่าความเข้มข้นของน้ำสกัดโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA ทั้งกรณีที่ใช้ W/C 0.5 และ 1.0 โดยค่าความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำสกัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม W/C จาก 0.5 เป็น 1.0

Shin และคณะ (1988) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนผสมทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณของเสียและปริมาณตัวตกตะกอน (Precipitator) พบว่า การชะละลายของโครเมียมและสังกะสีจะลดลง เมื่อลดค่าอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์และเพิ่มปริมาณตัวตกตะกอน สำหรับค่ากำลังแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่มตัว 14 วัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ และปริมาณของเสียที่กำจัด และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Anova Analysis พบว่า อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโครเมียม สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสังกะสี และค่ากำลังแรงอัดของแท่งซีเมนต์ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่าย ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโครเมียมและสังกะสีที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 ppm ของโครเมียมและสังกะสี และค่ากำลังแรงอัดของซีเมนต์แท่งมีค่าสูงกว่า 10 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกากตะกอนแห้ง 30 กรัม ดังนั้นคือ อัตราส่วนผสมทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ และปริมาณตัวตกตะกอน เท่ากับ 1, 1.5 และ 1.075 กรัมตามลำดับ

พัตรยศ และโกคิน (2542) ได้ทำการศึกษาการทำลายฤทธิ์ของโลหะหนัก 4 ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ โลหะหนักนิกเกิล สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ โดยใช้โลหะหนักในเตรทและโลหะหนักในเตรทผสมทั้ง 4 ชนิด ต่อวัสดุประสานที่สัดส่วน 0.25 และ 0.5 ทำการบ่มซีเมนต์เป็นระยะเวลา 7 วัน และจากการทดสอบกำลังแรงอัดของโลหะหนักในซีเมนต์ก้อน พบว่าที่สัดส่วนของโลหะหนักในเตรทเพิ่มขึ้นจาก 0.25 เป็น 0.5 กำลังแรงอัดจะลดลง และเมื่อเพิ่มเวลาบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน กำลังแรงอัดจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกเล็กน้อย โดยกำลังแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ช่วง 17-158 กก./ตร.ซม. , มาตรฐาน 14 กก./ตร.ซม.)

เมื่อนำมาศึกษาสมบัติการชะละลาย (กนกพร และวรวิทย์ , 2542) พบว่าค่าการชะละลายของโลหะหนักในก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของโลหะในเตรท และค่าการชะละลายของโลหะในเตรทลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน โดยค่าการชะละลายของโลหะหนักทุกชนิดทุกตัวอยู่ในมาตรฐานน้ำชะของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้น $Zn(NO_3)_2$ ที่สัดส่วน W/C 0.5 เวลาบ่ม 7 วัน มีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐาน

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ของเสียเป็นโลหะหนักผสมหลายชนิด เพื่อให้แน่ใจว่า โลหะทุกชนิดจากน้ำชะในก้อนซีเมนต์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน จึงเลือกใช้ W/C 0.25 โดยใช้เวลาบ่ม 7 วัน ในการทดลองนี้ของเสียที่ใช้เป็นตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์

สุวรรณ (2536) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดสี สารแขวนลอย และซีโอดีในน้ำเสียจากกองขยะอ่อนนุชที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มมาแล้วด้วยขี้เถ้าแกลบ โดยใช้ถังกรองทรายซึ่งภายในบรรจุขี้เถ้าแกลบเป็นตัวกรอง ซึ่งมีความลึกของชั้นกรอง 20, 40 และ 60 เซนติเมตร พบว่า ที่อัตราการกรอง 0.1 ลบ.ม./ตร.ม.-ซม. มีประสิทธิภาพในการลดสีได้ 18.67, 36.38 และ 39.29% ส่วนสารแขวนลอยลดได้ 32.31, 70.75 และ 74.62% และลดค่าซีโอดีได้ 17.47, 21.46 และ 21.68% ตามลำดับ ส่วนที่อัตราการกรอง 0.4 ลบ.ม./ตร.ม.-ซม. สามารถลดสีได้ 17.30, 21.21 และ 24.84% ส่วนสารแขวนลอยสามารถลดได้ 28.01, 52.51 และ 65.53% และลดค่าซีโอดีได้ 10.32, 14.84 และ 18.39% ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า

1) ที่อัตราการกรอง 0.1 ลบ.ม./ตร.ม.-ซม. มีประสิทธิภาพในการลดสีสารแขวนลอยและซีโอดีได้ดีกว่าอัตราการกรอง 0.4 ลบ.ม./ตร.ม.-ซม. ในทุกๆค่าความลึกของชั้นกรอง

2) ความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 20 เซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพในการลดสีสารแขวนลอยและซีโอดีได้น้อยกว่าความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 40 เซนติเมตร

3) ความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 60 เซนติเมตร ไม่พบความแตกต่างในการลดสีสารแขวนลอยและซีโอดี เมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของชั้นกรองที่ระดับ 40 เซนติเมตร

นภวรรณ (2538) ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกรองเหล็ก ซึ่งมีความเข้มข้น 5, 10 และ 14 มิลลิกรัม/ลิตร ออกจากน้ำบาดาลสังเคราะห์โดยใช้ตัวกรองเป็นทรายไม่คัดขนาด ถ่านถั่วแกลบ ซึ่งมีความหนาของชั้นกรอง 50 เซนติเมตร และตัวกรอง 3 ชั้น ชั้นของถ่านหนา 10 เซนติเมตร ชั้นของถั่วแกลบหนา 20 เซนติเมตร และชั้นของทรายไม่คัดขนาดหนา 20 เซนติเมตร โดยใช้อัตราการกรอง 1 และ 2 แกลลอน/ตร.ฟุต-นาที่ ผลการศึกษาพบว่าในทุกความเข้มข้นและทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรากรอง ตัวกรองที่เป็นถ้ำแกลบมีประสิทธิภาพในการกรองเหล็กได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ตัวกรอง 3 ชั้น ทราายไม่คัดขนาด และถ่านตามลำดับ แต่ในแง่ของอายุการกรอง พบว่า ถ่านมีอายุการกรองที่นานที่สุด รองลงมาได้แก่ ตัวกรอง 3 ชั้น ทราายไม่คัดขนาด และถ้ำแกลบซึ่งมีอายุการกรองที่สั้นที่สุด ดังนั้น ตัวกรองที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวกรอง 3 ชั้น เนื่องจากสามารถกรองเหล็กในน้ำบาดาลสังเคราะห์ ซึ่งมีความเข้มข้นของเหล็ก 5 ,10 และ 14 มิลลิกรัม/ลิตร ให้เหลือน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก โดยมีอายุการกรองที่นานที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าแกลบดำ อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Shimudzu รุ่น AA - 680
2. เครื่องเขย่า (Orbital Shaker) Gallenkamp รุ่น A 007452
3. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) รุ่น 215 pH Meter
4. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด Precisa 205 A
5. กรวย
6. ชุดกรองบุชเนอร์
7. ขวดรูปชมพู่
8. ปิเปต
9. บีกเกอร์
10. ขวดวัดปริมาตร

สารเคมี

1. เถ้าแกลบดำที่ผ่านการทำความสะอาดและอบไล่ความชื้น
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรดไฮโดรคลอริก
4. สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะ 3 ชนิดผสมกันอยู่ โดยแต่ละชนิดมีความเข้มข้น 5 ,10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

การดำเนินการวิจัย

3.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม

1. ปิเปตน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 4 ขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับพีเอชของสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้เท่ากับ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ เติมแก้ว
เกลบด้าลงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ 2 กรัม
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการเขย่าแล้วกรองผ่านกรวยกรองบุชเนอร์ โดยนำสารละลายส่วนที่
กรองได้ใส่ขวดรูปชมพู่
5. นำสารละลายส่วนที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณ โคโรเนียม แคดเมียม และตะกั่วที่
เหลืออยู่ ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 3
ครั้ง

3.1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสม

1. ปิเปิดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน
ขวดรูปชมพู่
2. ปรับพีเอชของสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้เท่ากับค่าพีเอชที่ได้จากการทดลอง 3.1.1
เติมแก้วเกลบด้าลงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ 2 กรัม
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาทีตามลำดับ
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการเขย่าแล้วกรองผ่านกรวยกรองบุชเนอร์ โดยนำสารละลายส่วนที่
กรองได้ใส่ขวดรูปชมพู่
5. นำสารละลายส่วนที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณ โคโรเนียม แคดเมียม และตะกั่วที่
เหลืออยู่ ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 3
ครั้ง

3.1.3 การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสม

1. ปิเปิดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน
ขวดรูปชมพู่
2. ปรับพีเอชของสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้เท่ากับค่าพีเอชที่ได้จากการทดลอง 3.1.1
เติมแก้วเกลบด้าลงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ 2 กรัม
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาที่ได้จากการ
ทดลองที่ 3.1.2
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการเขย่าแล้วกรองผ่านกรวยกรองบุชเนอร์ โดยนำสารละลายส่วนที่
กรองได้ใส่ขวดรูปชมพู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายส่วนที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่วที่เหลืออยู่ ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.1.4 การศึกษาความสามารถในการดูดซับ

1. ปิเปตน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักเข้มข้น 5 ,10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
2. ปรับพีเอชของสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้เท่ากับค่าพีเอชที่ได้จากการทดลอง 3.1.1 เติมแก้วกลบด้าลงในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ 2 กรัม
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.3 โดยใช้เวลาเท่ากับการทดลองที่ 3.1.2
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการเขย่าแล้วกรองผ่านกรวยกรองบุชเนอร์ โดยนำสารละลายส่วนที่กรองได้ใส่ขวดรูปชมพู่ และเก็บภาคตะกอนไว้
5. นำสารละลายส่วนที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียม แคดเมียม และ ตะกั่วที่เหลืออยู่ ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



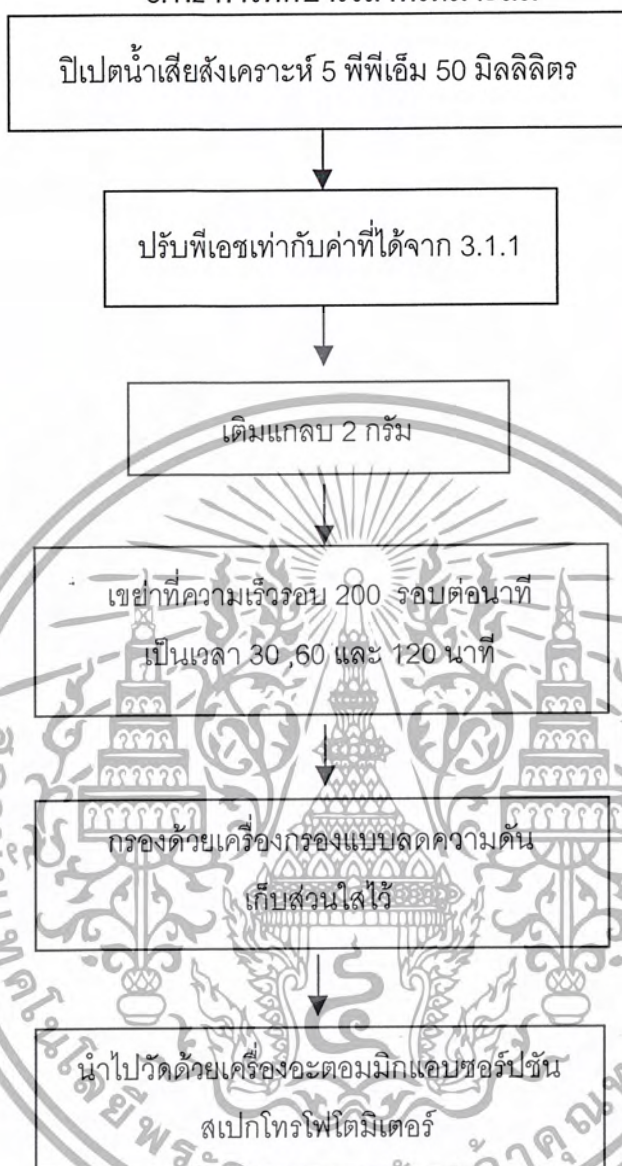
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม



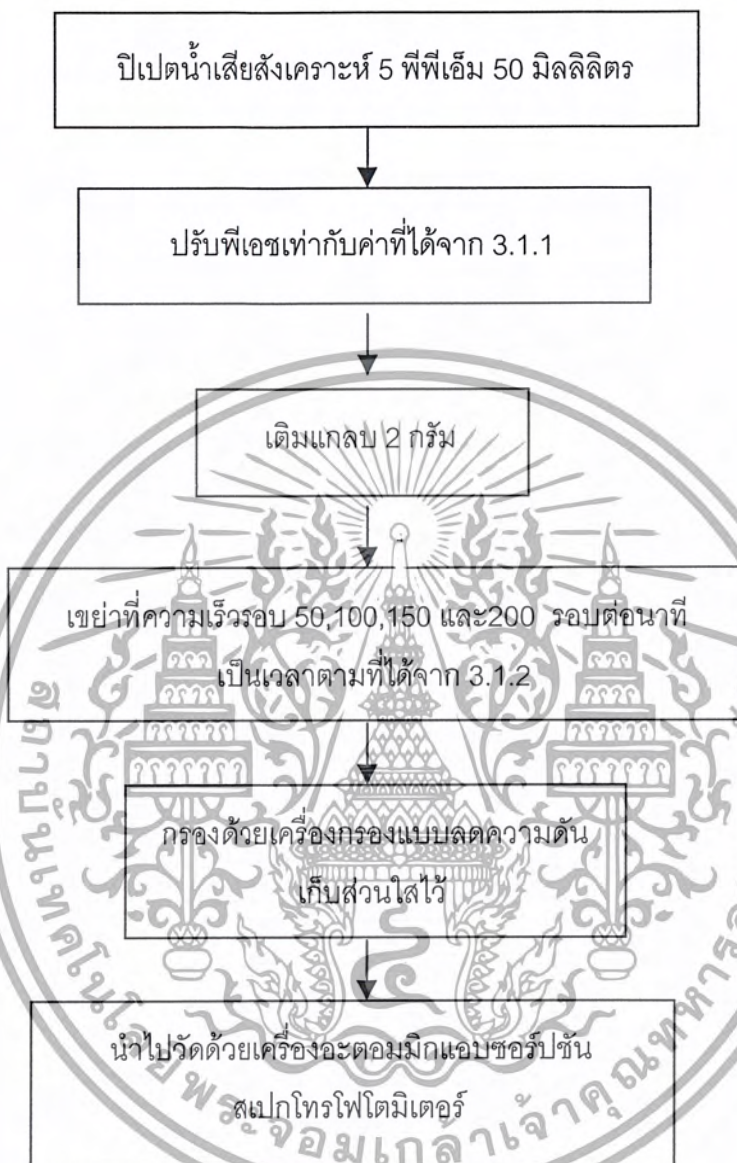
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การศึกษาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาอัตราส่วนของภาคตะกอนต่อตัวประสานที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อน

อุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับการหล่อซีเมนต์และการทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราช้าง
2. ทราयर้อนผ่านตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร
3. น้ำ
4. เครื่องชั่ง 2000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.2 กรัม
5. กระบอบตวงขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
6. แบบหล่อขนาด 5x5x5 ลบ.ซม.
7. เครื่องผสมปูนซีเมนต์ หรือแผ่นกระจกสำหรับผสมด้วยมือ
8. เหล็กกระทุ้ง ขนาดหน้าตัด 0.5 นิ้ว x 1 นิ้ว มีความยาว 5-6 นิ้ว ปลายตัดเรียบและหน้าตัดตั้งฉากกับแกนของมือจับซึ่งทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ
9. เกรียงขนาดหน้ากว้างของใบ 4-6 นิ้ว
10. เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด
11. กระดาษอินดิเคเตอร์

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

1. ตะแกรงขนาด 0.5 - 5 มิลลิเมตร
2. ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
3. เครื่องชั่งขนาด 1000 กรัม
4. กระบอบตวงขนาด 500 มิลลิเมตร
5. เครื่องเขย่า
6. กระดาษกรองใยแก้วขนาด 0.45 ไมโครเมตร
7. เครื่องวัดพีเอช
8. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง AAS
9. ขวดวัดปริมาตร
10. บีเปต
11. กรวยกรอง
12. ขวดเขย่าพร้อมฝา
13. ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างพร้อมฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมก้อนซีเมนต์

1. ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์ตามมาตรฐานของ ASTM C 109-86 ในแบบหล่อขนาด 5x5x5 ลบ.ซม. โดยใช้อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : น้ำ : ทราย เท่ากับ 100 : 50 : 200 และทดลองแปรค่าอัตราส่วนผสมโดยแทนส่วนผสมของปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0,10 ,20 ,30 ,40 และ 50 กรัม ตามลำดับ โดยในการผสมใช้จำนวนตัวอย่างครั้งละ 3 ตัวอย่าง
2. ผสมปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่น ๆ ในเครื่องผสมจนเข้ากันดี
3. เทซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อมอร์ตา ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาทีหลังการผสมเสร็จ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้นโดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 2.50 ซม. แล้วใช้เหล็กกระทุ้งกระทุ้งชั้นละ 16 ครั้งโดยใน 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับใน 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณ และเท่ากันโดยตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมซีเมนต์ชั้นที่ 2 ให้เลเยขอบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้อนขณะที่ทำการกระทุ้ง 16 ครั้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อเสร็จแล้วใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกลักษณะคล้ายพื้นเลื่อย
4. หลังจากเทหล่อแบบเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันทีและถอดแบบที่เวลา 24 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างต่อจนครบ 28 วัน โดยใช้ผ้ากระสอบชุบน้ำคลุมทับ

3.2.2 การทดสอบกำลังแรงอัด

1. นำก้อนตัวอย่างที่จะทดสอบซึ่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณความหนาแน่น โดยหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง
2. วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกดโดยใช้ด้านที่สัมผัสกับแบบหล่อ
3. ตรวจสอบผิวหน้าทั้งสองด้าน
4. ทำความสะอาดพื้นผิวของแท่นกดเครื่องทดสอบ
5. วางตัวอย่างทดสอบโดยวางให้ตรงแนวศูนย์กลางของแท่นกดแท่นบนและแท่นล่าง
6. ใช้แรงกดทับแท่งตัวอย่างในเวลา 20-80 วินาที โดยเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการเพิ่มแรงกดควรเพิ่มด้วยอัตรา 140 ก.ก ต่อ ตร.ซม. ต่อนาที อย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรปรับอัตราการเพิ่มแรงกดในระหว่างที่แท่งตัวอย่างถึงบริเวณใกล้เคียงจุดครากจนถึงจุดวิบัติ
7. ทำการกดจนกระทั่งแท่งคอนกรีตตัวอย่างวิบัติ พร้อมบันทึกค่าแรงสูงสุดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

1. บดตัวอย่างซีเมนต์ที่แข็งตัวให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20
2. ชั่งตัวอย่างในข้อ 1 มา 20 กรัม ใส่ในตัวทำละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่น ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.8 ถึง 6.3 โดยให้มีปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร) เป็น 10 เท่าของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่างสารที่ชั่งมา
3. เขย่าตัวอย่างในเครื่องเขย่า เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 rpm
4. กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยมีขีดจำกัดของตะกั่วเท่ากับ 0.3-25.0 ไมโครกรัม/มล. แคดเมียมเท่ากับ 0.03-3.0 ไมโครกรัม/มล. โครเมียมเท่ากับ 0.5-20.0 ไมโครกรัม/มล.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ

ในการทดลองส่วนนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ ดังนี้คือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ หลังจากได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเขย่า หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการเขย่า แล้วหลังจากนั้นจึงนำสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำที่ได้จากการทดลองนั้นนำไปเตรียมตะกอนเพื่อสำหรับใช้ในการผสมซีเมนต์ต่อไป

4.1.1 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ

ในการทดลองทำการดูดซับโลหะหนัก ใช้สารละลายที่มีโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วเข้มข้นอย่างละ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชให้มีค่า 3, 4, และ 5 ตามลำดับโดยทำซ้ำทั้งหมดพีเอชละ 3 ซ้ำ จากนั้นเติมถ้ำแกลบดำ 2 กรัม นำไปเขย่าเป็นเวลา 60 นาที โดยให้ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

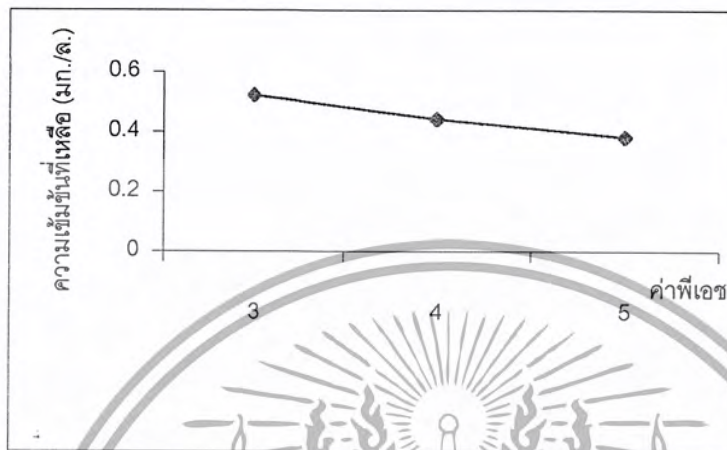
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการดูดซับโครเมียมที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
3	0.520	89.73
4	0.440	91.31
5	0.381	92.48

จากข้อมูลพบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นของโครเมียมจะลดต่ำลงจนถึงที่ค่าพีเอช 5 ซึ่งมีความเข้มข้นโครเมียมเป็น 0.381 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นโดยที่ค่าพีเอช 5 จะดูดซับได้มากที่สุด ดังนั้นค่าพีเอช 5 จึงเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมของถ้ำเกลบดำ แสดงดังรูปที่ 4.1



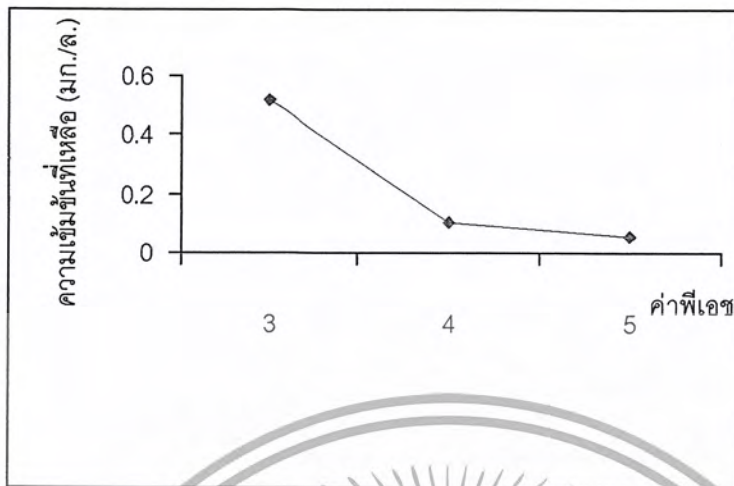
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมและค่าพีเอช

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
3	0.518	83.32
4	0.099	96.81
5	0.055	98.23

จากข้อมูลพบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นของแคดเมียมจะลดต่ำลงจนถึงที่ค่าพีเอช 5 ซึ่งมีความเข้มข้นแคดเมียมเป็น 0.055 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากค่า พีเอชที่เพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นโดยที่ค่าพีเอช 5 จะดูดซับได้มากที่สุด ดังนั้นค่าพีเอช 5 จึงเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมของถ้ำเกลบดำ แสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



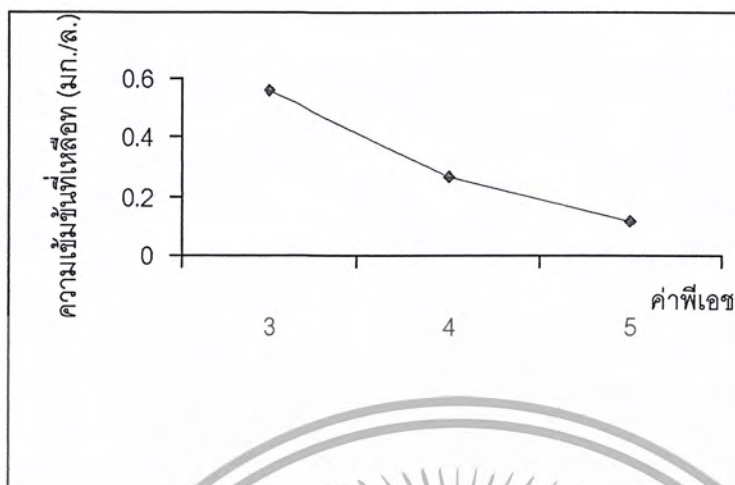
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมและค่าพีเอช

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
3	0.561	89.96
4	0.266	95.24
5	0.116	97.92

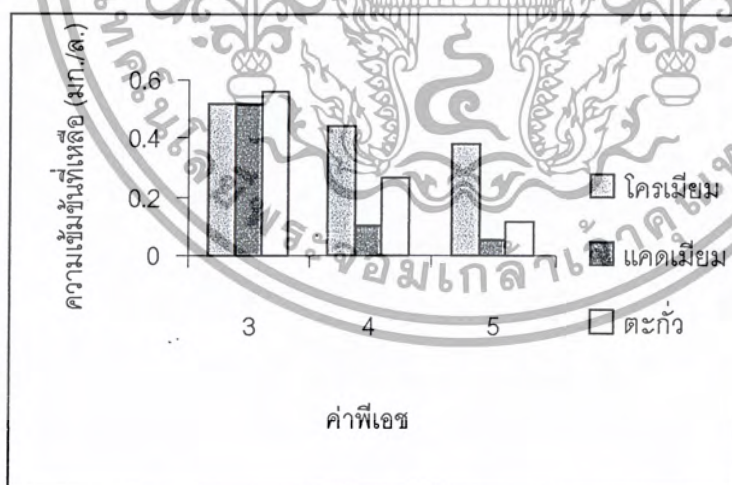
จากข้อมูลพบว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะลดต่ำลงจนถึงที่ค่าพีเอช 5 ซึ่งมีความเข้มข้นตะกั่วเป็น 0.116 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นโดยที่ค่าพีเอช 5 จะดูดซับได้มากที่สุด ดังนั้นค่าพีเอช 5 จึงเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วของเถ้าแกลบดำ แสดงดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกั่วและค่าฟิช

จากข้อมูลผลการทดลองข้างต้นพบว่า ที่ค่าฟิชเท่ากับ 5 ความเข้มข้นที่เหลือของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดคือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว จะเหลือความเข้มข้นน้อยที่สุด ดังนั้นที่ฟิชเท่ากับ 5 จึงเป็นฟิชที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักและค่าฟิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

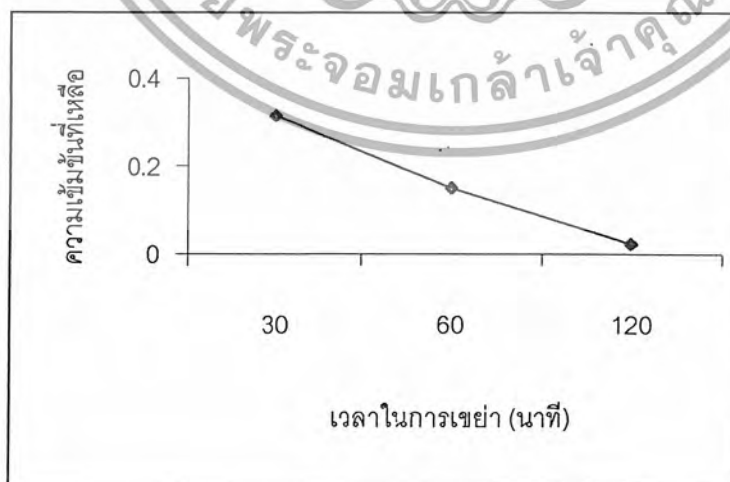
4.1.2 การศึกษาระยะเวลาการแช่ยาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ

ในการทดลองทำการดูดซับโลหะหนัก ใช้สารละลายที่มีโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วเข้มข้นอย่างละ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้มีค่าพีเอช 5 จากนั้นเติมถ้ำแกลบดำ 2 กรัม นำไปแช่เป็นเวลา 30, 60, และ 120 นาที โดยให้ความเร็วรอบในการแช่เท่ากับ 200 รอบต่อนาที แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการดูดซับโครเมียมที่ระยะเวลาในการแช่ต่างกัน

เวลาในการแช่ (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
30	0.315	93.78
60	0.152	97.00
120	0.021	99.58

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่เป็น 120 นาที ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลือในน้ำนั้นมีค่าลดลง ซึ่งแตกต่างกันอย่างค่อนข้างเห็นได้ชัดกับเวลาที่น้อยกว่า ดังนั้นระยะเวลาในการแช่ 120 นาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมของถ้ำแกลบดำ แสดงดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมและเวลาในการแช่

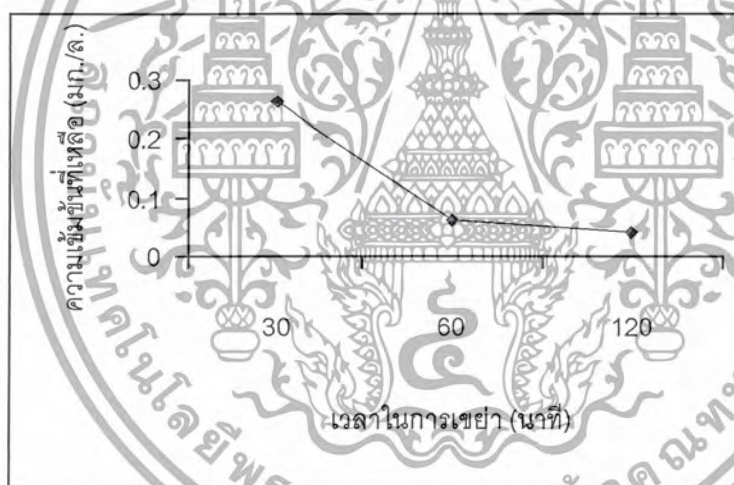
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ระยะเวลาในการเขย่าต่างกัน

เวลาในการเขย่า (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
30	0.264	91.50
60	0.062	98.00
120	0.042	98.65

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเขย่าเป็น 120 นาที ความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในน้ำนั้นมีค่าลดลง ซึ่งแตกต่างกันอย่างค่อนข้างเห็นได้ชัดกับเวลาที่น้อยกว่า ดังนั้นระยะเวลาในการเขย่า 120 นาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมของเถ้าแกลบดำ แสดงดังรูปที่

4.6



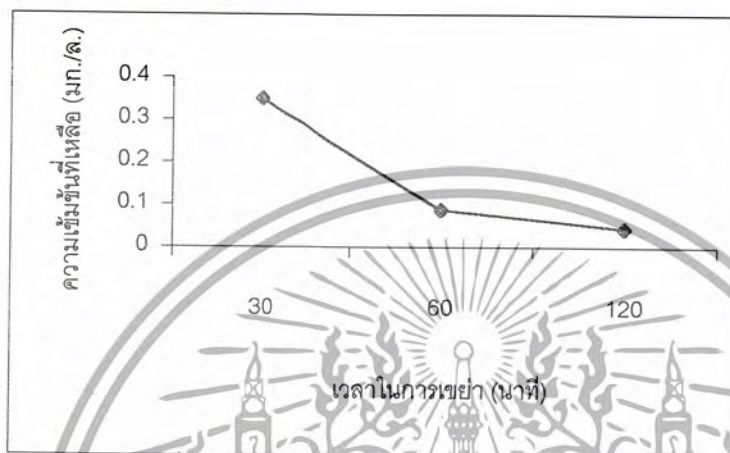
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมและเวลาในการเขย่า

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ระยะเวลาในการเขย่าต่างกัน

เวลาในการเขย่า (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
30	0.349	93.75
60	0.086	98.46
120	0.043	99.23

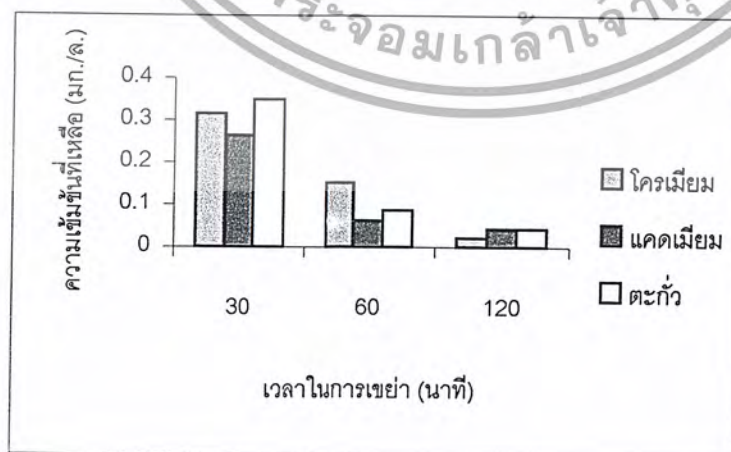
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเขย่าเป็น 120 นาที ความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในน้ำมีค่าลดลง ซึ่งแตกต่างกันอย่างค่อนข้างเห็นได้ชัดกับเวลาที่น้อยกว่า ดังนั้นระยะเวลาในการเขย่า 120 นาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วของเจ้าเกลบดำ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกั่วและเวลาในการเขย่า

จากข้อมูลผลการทดลองข้างต้นพบว่า ที่ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 120 นาที ความเข้มข้นที่เหลือของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดคือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว จะเหลือความเข้มข้นน้อยที่สุด ดังนั้นที่ระยะเวลาในการเขย่าเท่ากับ 120 นาที จึงเป็นระยะเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักต่าง ๆ และเวลาในการเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

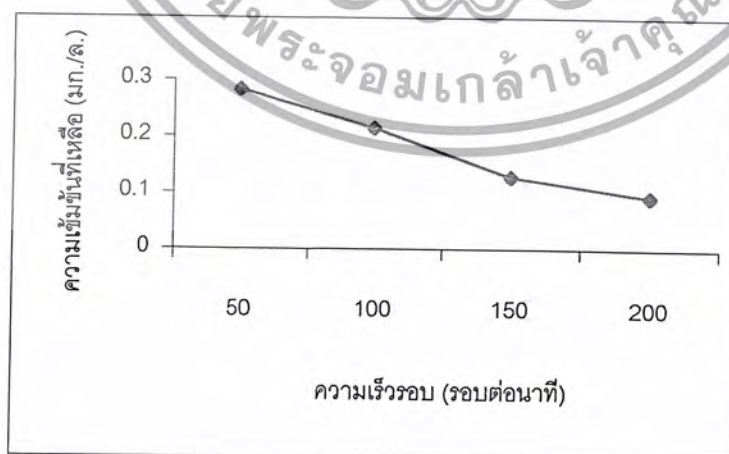
4.1.3 การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ

ในการทดลองทำการดูดซับโลหะหนัก ใช้สารละลายที่มีโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วเข้มข้นอย่างละ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณที่เอชของสารละลายให้มีค่าพีเอช 5 จากนั้นเติมถ้ำแกลบดำ 2 กรัม นำไปเขย่าเป็นเวลา 120 นาที โดยให้ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 50, 100, 150, และ 200 รอบต่อนาที แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการดูดซับโครเมียมที่ความเร็วรอบในการเขย่าต่างกัน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
50	0.282	94.43
100	0.214	95.77
150	0.127	97.49
200	0.092	98.18

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการเขย่าเป็น 200 รอบต่อนาที ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลือในน้ำมีค่าลดลง ดังนั้นความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมของถ้ำแกลบดำ แสดงดังรูปที่ 4.9



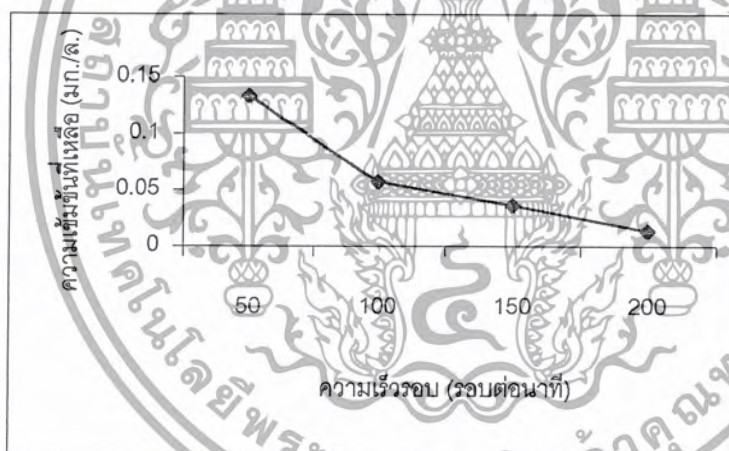
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโครเมียมและความเร็วรอบในการเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ความเร็วรอบในการเขย่าต่างกัน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
50	0.133	95.72
100	0.057	98.61
150	0.036	98.84
200	0.013	99.58

จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการเขย่าเป็น 200 รอบต่อนาที ความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในน้ำนั้นมีค่าลดลง ดังนั้นความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมของถ้ำเกลือดำ แสดงดังรูปที่ 4.10



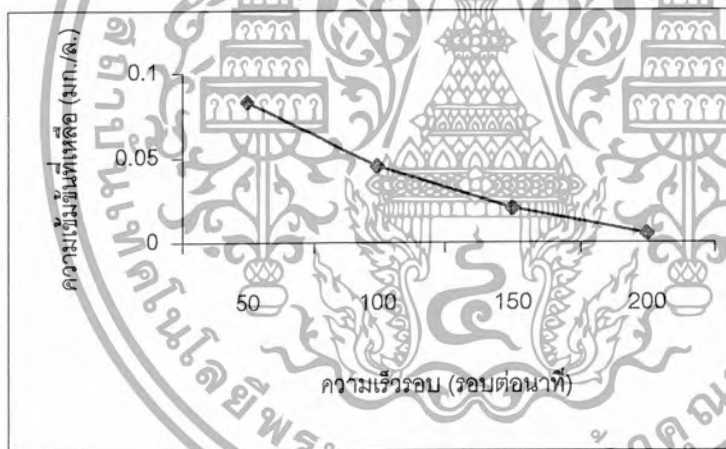
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคดเมียมและความเร็วรอบในการเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ความเร็วรอบในการเขย่าต่างกัน

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
50	0.083	98.51
100	0.045	99.19
150	0.020	99.64
200	0.005	99.91

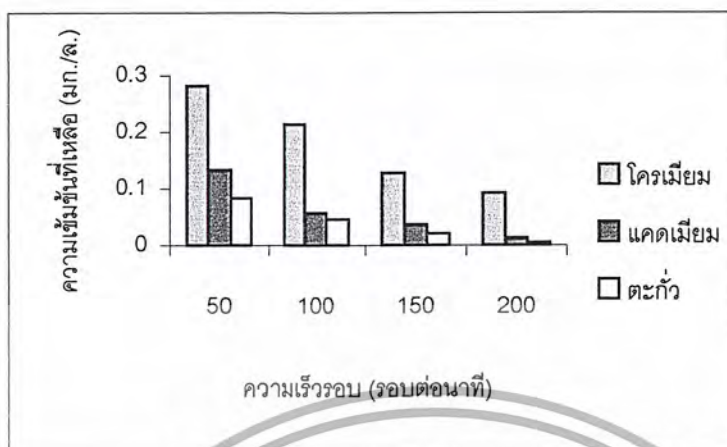
จากข้อมูลพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการเขย่าเป็น 200 รอบต่อนาที ความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในน้ำนั้นมีค่าลดลง ดังนั้นความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วของเจ้าเกลือ แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นตะกั่วและความเร็วรอบในการเขย่า

จากข้อมูลผลการทดลองข้างต้นพบว่า ที่ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที ความเข้มข้นที่เหลือของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดคือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว จะเหลือความเข้มข้นน้อยที่สุด ดังนั้นที่ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที จึงเป็นความเร็วรอบในการเขย่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักและความเร็วรอบในการเขย่า

4.1.4 การศึกษาหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของแก้วแกลบดำ

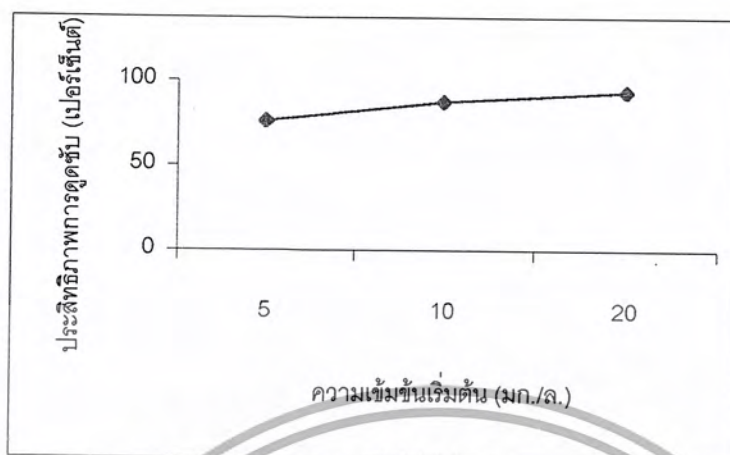
ในการทดลองทำการดูดซับโลหะหนัก ใช้สารละลายที่มีโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วเข้มข้นอย่างละ 5, 10, 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้มีค่าพีเอช 5 จากนั้นเติมแก้วแกลบดำ 2 กรัม นำไปเขย่าเป็น 120 นาที โดยให้ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักที่เหลือในน้ำเสีย ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
5	1.232	75.67
10	1.287	87.29
20	1.325	93.34

จากข้อมูลพบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมของแก้วแกลบดำนั้นมีประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 93.34 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับโครเมียมของแก้วแกลบดำคือความเข้มข้นโครเมียมเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อแก้วแกลบดำ 2 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

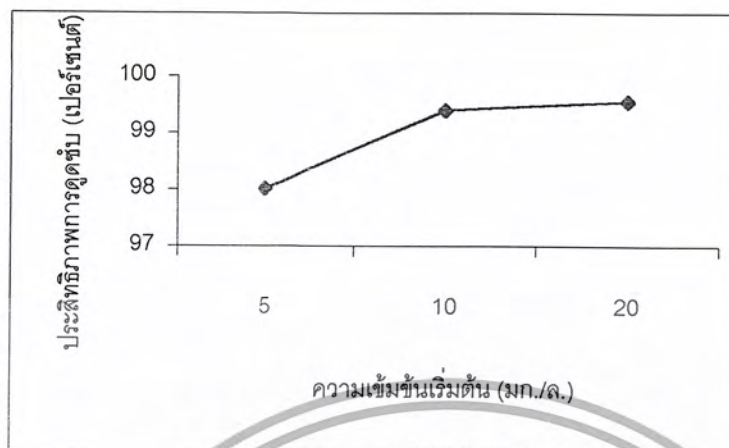


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมและความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการดูดซับแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
5	0.062	98.00
10	0.054	99.39
20	0.083	99.54

จากข้อมูลพบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมของถ้ำเกลบดำนั้นมีประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 99.54 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของถ้ำเกลบดำคือความเข้มข้นแคดเมียมเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อถ้ำเกลบดำ 2 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.14



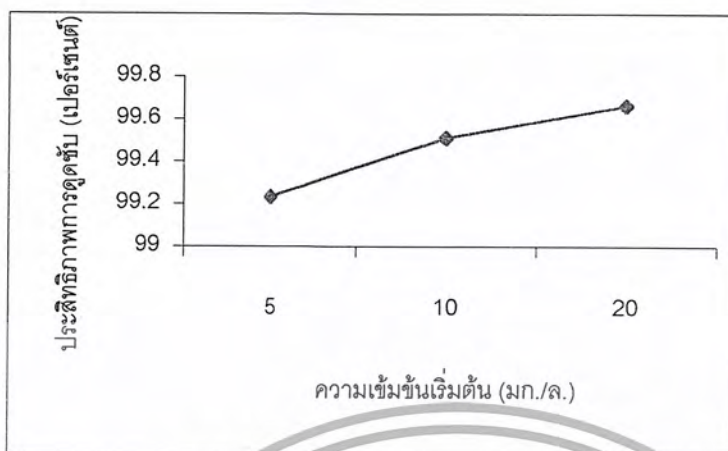
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมและความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
5	0.043	99.23
10	0.056	99.51
20	0.071	99.66

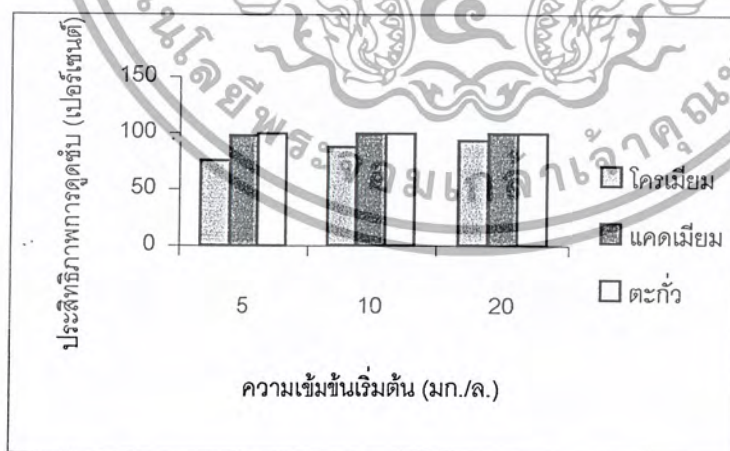
จากข้อมูลพบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของถ้ำเกลบดำนั้นมีประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดคือ 99.66 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นความสามารถในการดูดซับตะกั่วของถ้ำเกลบดำคือความเข้มข้นตะกั่วเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อถ้ำเกลบดำ 2 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วและความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น

จากข้อมูลผลการทดลองข้างต้นพบว่า ที่ความเข้มข้นโลหะหนักเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดคือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังนั้นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงเป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักและความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

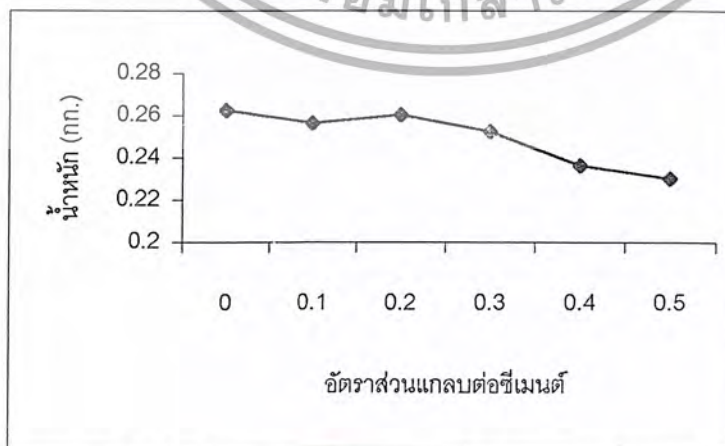
4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์

จากการทดลองทำการบ่มซีเมนต์โดยให้อัตราส่วน ซีเมนต์ : น้ำ : หยาบ คงที่เท่ากับ 100 : 50 : 200 โดยทำการแปรอัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์เท่ากับ 0 : 100, 10 : 90 , 20 : 80 , 30 : 70 , 40 : 60 , 50 : 50 ทำการบ่มซีเมนต์ทิ้งไว้เป็นเวลา 28 วันซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นจึงนำซีเมนต์ที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนักและทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ ซึ่งพบว่าได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์ที่ทำการทดลองในอัตราส่วนต่างๆ

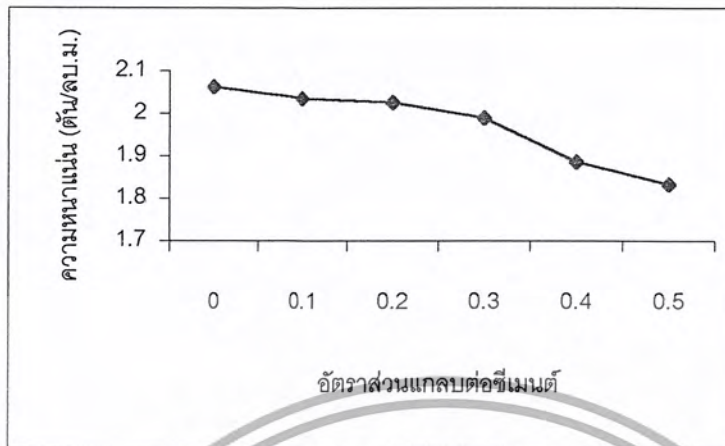
Ratio	Cross Section (cm ²)	Height (cm)	Volume (x10 ⁶ m ³)	Weight (kg)	Density (ton/m ³)	Ultimate Load (kn)	Comp Strenght (KSC)
0:100	25.17	5.05	127.01	0.262	2.060	64.23	260.19
10:90	25.08	5.03	126.17	0.256	2.034	52.20	212.22
20:80	25.10	5.12	128.43	0.260	2.025	41.20	167.36
30:70	25.22	5.02	126.59	0.252	1.988	35.83	144.86
40:60	25.05	5.01	125.58	0.236	1.885	21.36	86.95
50:50	25.00	5.02	125.58	0.230	1.832	16.03	65.38

จากตารางข้างต้นสามารถนำค่าที่ได้ขึ้นไปสร้างกราฟ น้ำหนัก ความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวต่ออัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์ดังนี้

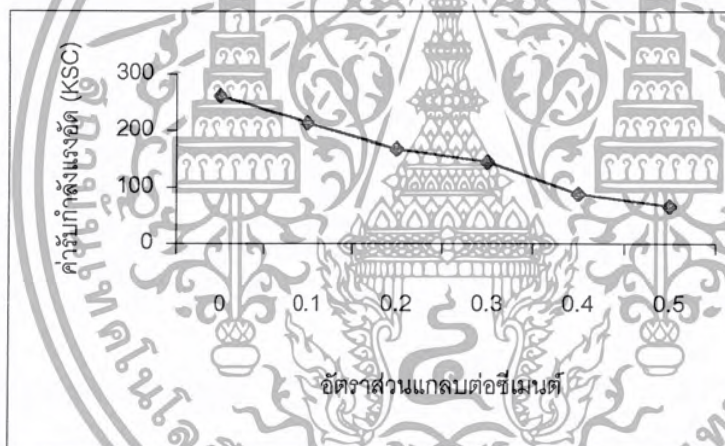


รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของซีเมนต์และอัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์ต่าง ๆ

จากตารางผลการทดลองและรูปร่างต้นทั้งหมดนั้นสามารถอธิบายได้ว่า น้ำหนัก ความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่ทำการทดลองได้จากซีเมนต์ที่นำไปผสมเป็นอัตราส่วนต่าง ๆ และทำการบ่มไว้เป็นเวลา 28 วันนั้นพบว่า ทั้งน้ำหนักของซีเมนต์ ค่าความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์นั้นมีความสัมพันธ์กันคือ จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของแกลบต่อซีเมนต์นั้นเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้พบว่าทั้งน้ำหนัก ความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัดที่ทำการทดลองได้นั้น ค่าที่ได้ทั้งสิ้นยังอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test)

หลังจากการนำก้อนซีเมนต์ที่ทำการผสมและบ่มไว้เป็นเวลา 28 วันและทำการชั่งน้ำหนักและทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จึงนำซีเมนต์ที่ได้นั้นทำการทดสอบการชะละลายตามมาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทดสอบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ผสมอยู่ในซีเมนต์นั้นมีความเข้มข้นเกินมาตรฐานหรือไม่ โดยได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบการชะละลาย

อัตราส่วนเกลบต่อซีเมนต์	ความเข้มข้นโครเมียม (มก./ล.)	ความเข้มข้นแคดเมียม (มก./ล.)	ความเข้มข้นตะกั่ว (มก./ล.)
10 : 90	Non-detect	0.003	0.978
20 : 80	Non-detect	Non-detect	0.877
30 : 70	Non-detect	Non-detect	0.986
40 : 60	Non-detect	Non-detect	1.124
50 : 50	Non-detect	Non-detect	1.694

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักคือ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว ในสารละลาย ที่ทำการชะโลหะหนักดังกล่าวออกมาจากซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ นั้น พบว่า ตะกั่วจะถูกชะละลายออกมามากที่สุด โดยที่โครเมียมและแคดเมียมนั้นอาจถือได้ว่าไม่ถูกชะละลายออกมาเลย แต่อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นที่ชะออกมาได้ต่ออัตราส่วนต่าง ๆ นั้นยังอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าแกลบดำ แล้วจึงนำสภาวะที่ดีที่สุดนั้นมาทำการเตรียมตะกอน เพื่อนำตะกอนที่ได้นั้นไปทำการผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ แล้วจึงทำการทดสอบคุณสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่ได้จากการเตรียมดังกล่าว หลังจากนั้นจึงนำซีเมนต์ที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเรียบร้อยแล้วทำการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักที่อาจจะละลายออกมา ได้ผลดังนี้

5.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าแกลบดำ

1.1 เมื่อทำการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วของเถ้าแกลบดำในค่าพีเอชต่าง ๆ กันนั้นพบว่า ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5 เถ้าแกลบดำนั้นจะทำการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด คือความเข้มข้นของโลหะหนักหลังการดูดซับนั้นเหลือน้อยที่สุด

1.2 เมื่อทำการศึกษาระยะเวลาในการเขย่าที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วของเถ้าแกลบดำในระยะเวลาที่ต่าง ๆ กันนั้นพบว่า ที่ระยะเวลาในการเขย่าเป็นเวลา 120 นาที เถ้าแกลบดำนั้นจะทำการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด คือความเข้มข้นของโลหะหนักหลังการดูดซับนั้นเหลือน้อยที่สุด

1.3 เมื่อทำการศึกษาความเร็วรอบในการเขย่าที่เหมาะสม ในการดูดซับโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วของเถ้าแกลบดำในความเร็วรอบในการเขย่าที่ต่าง ๆ กันนั้นพบว่า ที่ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที เถ้าแกลบดำนั้นจะทำการดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด คือความเข้มข้นของโลหะหนักหลังการดูดซับนั้นเหลือน้อยที่สุด

1.4 เมื่อทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วของเถ้าแกลบดำในความเข้มข้นโลหะหนักที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ กันนั้นพบว่า ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น เถ้าแกลบดำจะทำการดูดซับโลหะหนักที่ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

5.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์

จากการทำการผสมแกลบลงในปูนซีเมนต์เป็นอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำการบ่มทิ้งไว้ เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าที่อัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์เท่ากับ 10 : 90 นั้นทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์นั้นมีค่าที่ดีที่สุด ซีเมนต์นั้นมีน้ำหนักมากที่สุด และมีความหนาแน่นมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ที่อัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์ที่อัตราส่วนอื่น ๆ ค่ารับกำลังแรงอัด น้ำหนัก และความหนาแน่นที่ทำการทดสอบได้ ก็ยังอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของแกลบดำซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกาประกอบอยู่

5.2 การทดสอบการชะละลาย

จากการทดสอบการชะละลายโลหะหนักที่อยู่ในแกลบดำซึ่งอาจจะละลายออกมาได้ โดยทำการทดสอบการชะละลายนั้นพบว่า ไม่สามารถพบปริมาณโครเมียม และแคดเมียมปะปนอยู่ในสารละลายในทุก ๆ อัตราส่วนแกลบต่อซีเมนต์ที่ทำการผสมลงไป แต่สามารถพบปริมาณตะกั่วปะปนอยู่ในน้ำชะละลายเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด โดยสาเหตุที่ไม่สามารถพบปริมาณโครเมียม และแคดเมียมนี้เนื่องมาจากว่า ปริมาณโลหะหนักนั้นถูกแกลบดำดูดซับมาก่อนแล้ว หลังจากนั้นจึงถูกซีเมนต์ยึดเกาะและตรึงไว้ จึงเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถพบปริมาณโลหะหนักดังกล่าวได้

บรรณานุกรม

- กนกพร ชัยวุฒิกุล และ วรวิทย์ ชัยวรรณ. 2542. การศึกษาการชะละลายของซีเมนต์ที่มี
โลหะหนักเจือปนในปริมาณสูง. ปรินญาณพนธ์ ปรินญาณวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาค
วิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- จิราพร กิ่งขจี และนุชรี ชาญด้วยกิจ. 2529. อดัณฐานชิลิกาจากแคลบ. Senior project ปรินญา
บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์ และคณะ. 2544. การดูดซับตะกั่วโดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จาก
เปลือก หอยแครง. ปรินญาณพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธิดิมา รักธรรมดี และคณะ. 2544. การดูดซับโครเมียมในน้ำเสียด้วยชานอ้อยที่กระตุ้นด้วย
ซิงค์คลอไรด์. ปรินญาณพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2543. คุณสมบัติความเค้นความเครียดของวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วย
ซีเมนต์ภายใต้การทดสอบกำลังรับแรงอัดแนวตั้ง. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนา
งานทางกรรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม.
- ประณต กุลประสูตร. 2538. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง
แอนด์พับลิชชิ่ง.
- พัทธยศ สมวงษ์ และโกดิน พันธุ์นิม. 2542. การศึกษาสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่มี
โลหะหนักเจือปนในปริมาณสูง. ปรินญาณพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.
- ภาสกร สว่างวุฒิธรรม และคณะ. 2543. การดูดซับตะกั่วและโครเมียมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และ
ซีเมนต์ลอย. ปรินญาณพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วินิต ช่อวินิจ. 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- โสภณ เรืองสำราญ , สุพิน ต่างวิวัฒน์ และศรีใจ ชุณห. 2540. การผลิตชิลิกาเจลดูดความชื้น
จากซีเมนต์แคลบ. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bishop, P.L. 1988. Leaching of Inorganic Hazardous Constituents from Stabilized / Solidified Hazardous Waste. Haz. Waste. Vol.5 : 129-143
- Mean, J.L. et al. 1995. The Application of Solidification/Stabilization to Waste Materials. Boca: Lewis
- Metcalf and Eddy, B. 1972. Wastewater Engineering : Collection, Treatment, Disposal. New York : McGraw-Hill
- Shin, H.S. and Sujiwattana, P. 1988. Factor Affecting Solidification of Hazardous Materials. Hazardous Waste Detection Control Treatment : 1549-1560
- Soroka, I. 1979. Portland cement paste and Concreat. New York : Chemical
- <http://drake.marin.k12.ca.us/.../hev%20met/hevmet.html>
- http://www.deqp.go.th/data_envir/sou:th/mineral/lead
- <http://www.extension.iastate.edu/.../Chromium.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางผนวกที่ ก.1 ชนิดของโลหะหนักที่พบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Dean และ คณะ , 1972)

Type of industries	Al	Ag	As	Cd	Cr	Cu	F	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sb	Sn	Zn
Pulp,paper mills, paperboard ,building paper ,board mills					•	•			•		•	•			•
Organic chemical, petrochemicals	•		•	•	•	•	•	•	•		•			•	•
Alkalis, chlorine, inorganic chemicals	•		•	•	•	•	•	•	•		•			•	•
Fertilizers	•		•	•	•	•	•	•	•		•				•
Petroleum refining	•		•	•	•	•	•	•	•		•				•
Basic steel work, foundries	•		•	•	•	•	•	•	•		•		•	•	•
Basic non-works, foundries	•		•	•	•	•	•	•	•		•		•		•
Motor vehicles, aircraft- plating,finishing	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•			
Flat glass , cement, asbestos products					•										
Textile mill products					•										
Leather tanning					•										
Steam generation power plants					•										•

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. (ต่อ)

เกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิภูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนของกระทรวงอุตสาหกรรม

1. สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) แล้วจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1.1 สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย

1.2 มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

1.3 มีปริมาณของความเข้มข้นสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิภูลและวัสดุที่ไม่ใช่แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ ตามวิธีการที่ได้ระบุในข้อ 2 ก่อนการนำไปฝังกลบ

2. การสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

2.1 การสกัดสารเพื่อทดสอบหาปริมาณสารที่ถูชะล้างได้ (Leachable) จากสิ่งปฏิภูลและวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว และเพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิภูลและวัสดุที่ไม่ใช่แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

2.1.1 หากตัวอย่างสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเป็นของเหลวหรือมีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ให้กรองตัวอย่างนั้นด้วยแผ่นกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.2

2.1.2 หากตัวอย่างสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเป็นมีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.5 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

(2) นำตัวอย่างที่ได้จาก (1) หนัก 100 กรัม เติมน้ำสกัด หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกั้นผสมสารละลายของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จากค่าความเป็นกรดต่างพีเอชของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

(3) เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

(4) กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

(5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 2.2

2.2 การวิเคราะห์หาค่าสารอันตรายต่าง ๆ ในของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วจากข้อ 2.1.1 หรือข้อ 2.1.2 ให้ใช้วิธีมาตรฐาน US EPA SW 846 หรือวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539 ในกรณีที่เกิดการวิเคราะห์ของสารละลายจากการสกัด มีค่าสูงเกินมาตรฐานดังที่ระบุในข้อ 3 หมวด 1 ของภาคผนวกที่ 1 ให้ดำเนินการทำลายฤทธิ์ใหม่ เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้

3. สารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substances) เป็นสารซึ่งเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 3 ของภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศนี้แล้ว มีปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้

อาร์เซนิก (ทั้งหมด) (Arsenic(total))	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
แบเรียม (Barium)	100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เบนซีน (Benzene)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม (ทั้งหมด) (Cadmium(total))	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอเดน (Chlordane)	0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene)	100.3 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม (ทั้งหมด) (Chromium(total))	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ออร์โธ-ครีซอล (ortho-Cresol)	200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทา-ครีซอล (meta-Cresol)	200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
พารา-ครีซอล (para-Cresol)	200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

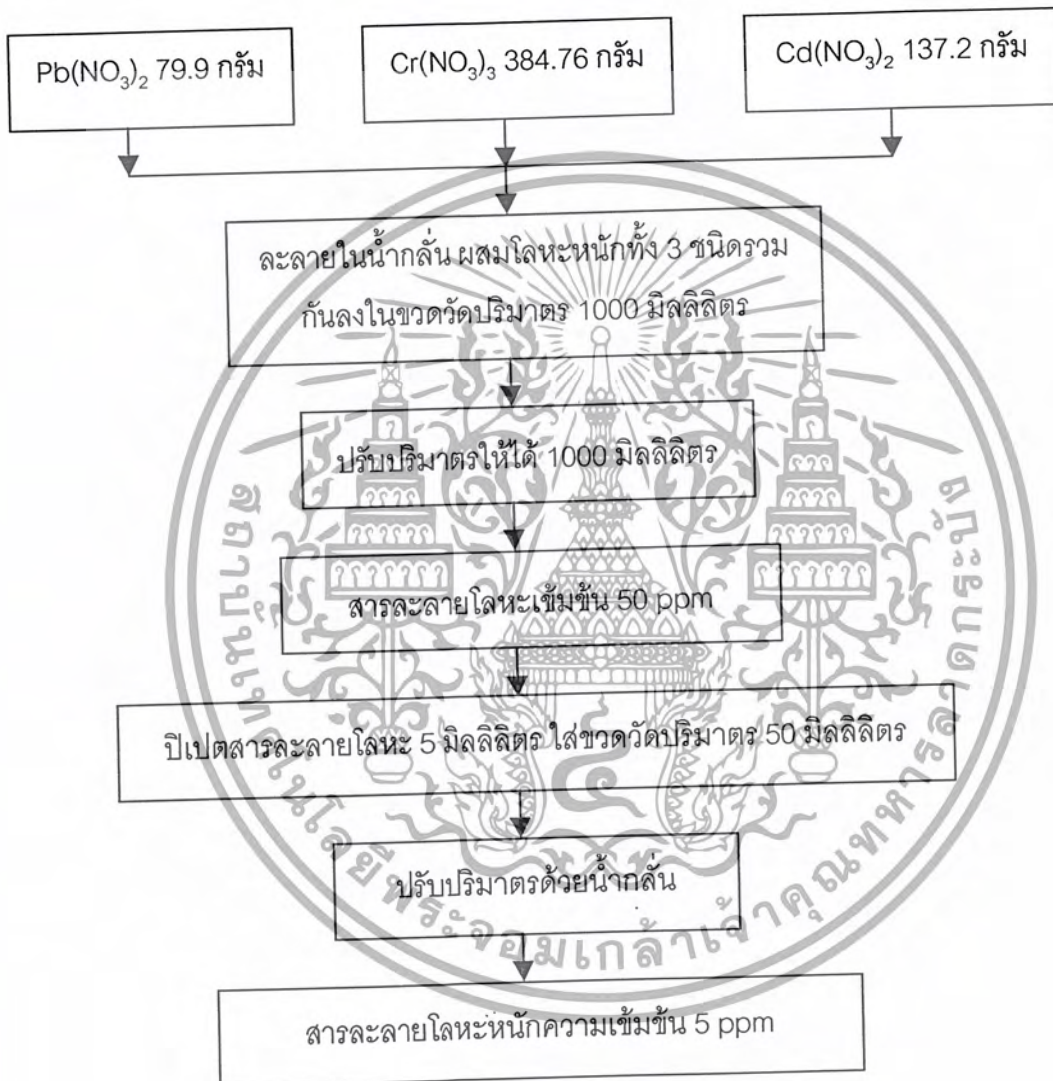
ครีซอล (ทั้งหมด) (Cresol(total))	200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
2-4 ดี (2-4D)	10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
1,4-ไดคลอโรเบนซีน (1,4-Dichlorobenzene)	7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2 -DiChloroethene)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
1,1- ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร
เอนด์ริน (Endrin)	0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor and its epoxide)	0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอร์เบนซีน (Hexachlorobenzene)	0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอร์บิวทาไดอีน (Hexachlorobutadiene)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอร์อีเทน (Hexachloroethane)	3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว (ทั้งหมด) (Lead(total))	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท (ทั้งหมด) (Mercury(total))	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทอกซีคลอร์ (Metoxychlor)	10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl ethyl ketone)	200.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)	2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4-ไนโตรโทลูอีน (2,4-Nitrotoluene)	0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอร์ฟีนอล (Pentachlorophenol)	100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไพริดีน (Piridene)	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีลีเนียม (Selenium)	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน (Silver)	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เตตราคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,5-ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,5-Trichlorophenol)	400.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,6-ไตรคลอโรฟีนอล (2,4,6-Trichlorophenol)	2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,5-ทีพี (ซิลเว็กซ์) (2,4,5-TP (Silvex))	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl chloride)	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

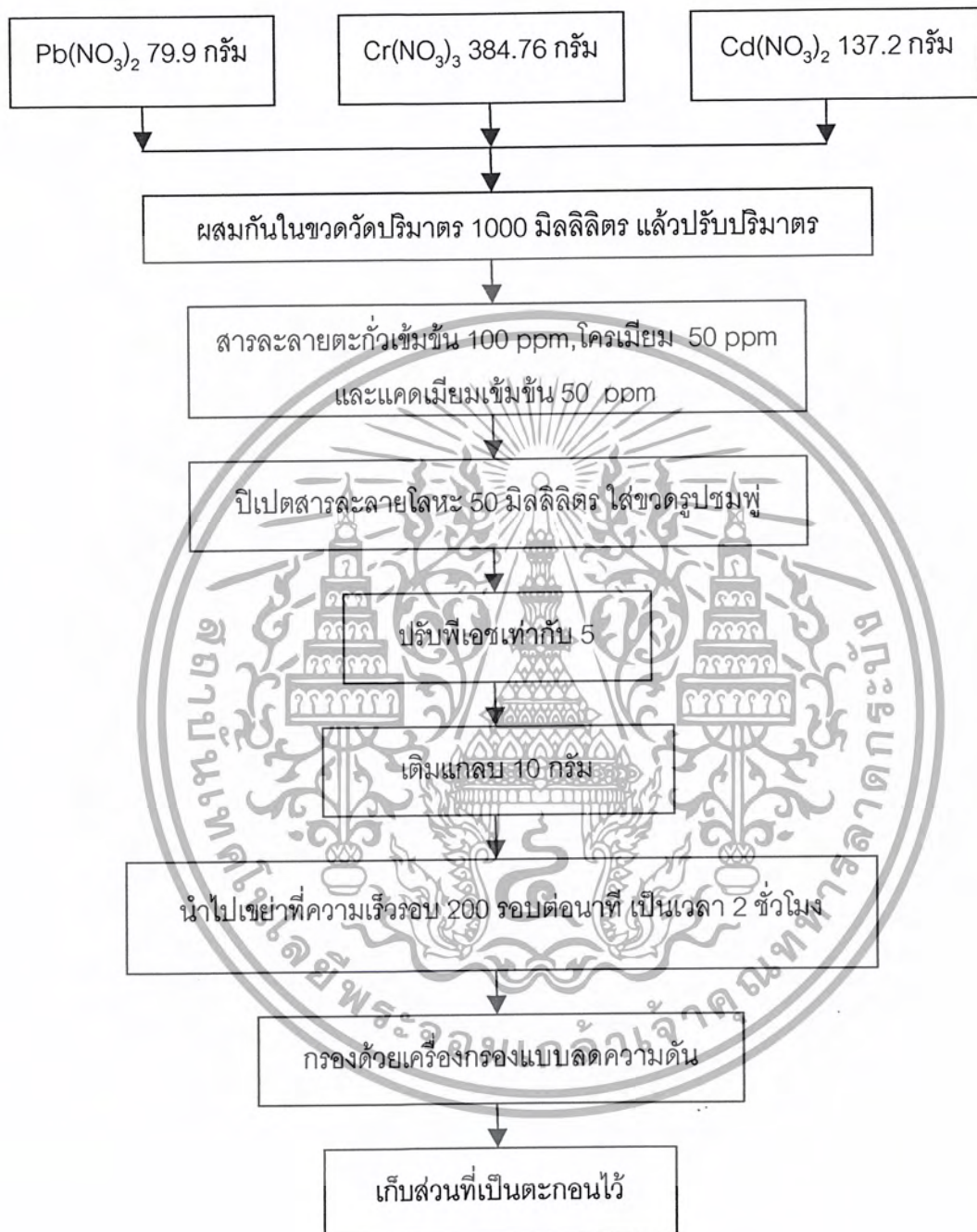
การเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนความเข้มข้น 50 ppm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมตะกอนที่ดูดซับโลหะหนักแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

1. การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ
 ตารางที่ ค.1 แสดงความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วที่พีเอชต่าง ๆ
 (ppm)

โลหะหนัก	พีเอช 3	พีเอช 4	พีเอช 5
โครเมียม	0.546	0.455	0.404
	0.517	0.442	0.378
	0.498	0.423	0.362
แคดเมียม	0.781	0.110	0.063
	0.452	0.086	0.059
	0.322	0.100	0.044
ตะกั่ว	0.625	0.323	0.136
	0.581	0.251	0.098
	0.478	0.224	0.114

2. การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ
 ตารางที่ ค.2 แสดงความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วที่ระยะเวลาต่าง ๆ

โลหะหนัก	เวลา 30 นาที	เวลา 60 นาที	เวลา 120 นาที
โครเมียม	0.324	0.233	0.063
	0.321	0.134	0.000
	0.297	0.088	0.000
แคดเมียม	0.456	0.082	0.052
	0.205	0.058	0.032
	0.131	0.045	0.041
ตะกั่ว	0.413	0.084	0.023
	0.338	0.109	0.047
	0.297	0.065	0.058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ
ตารางที่ ค.3 แสดงความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วในความเร็วรอบใน
การเขย่าต่าง ๆ (ppm)

โลหะหนัก	ความเร็วรอบ 50 rpm	ความเร็วรอบ 100 rpm	ความเร็วรอบ 150 rpm	ความเร็วรอบ 200 rpm
โครเมียม	2.271	2.279	2.152	1.966
	2.290	2.214	2.082	1.898
	2.286	2.150	2.058	1.813
แคดเมียม	0.240	0.076	0.041	0.018
	0.097	0.045	0.045	0.014
	0.062	0.040	0.022	0.007
ตะกั่ว	0.099	0.046	0.017	0.005
	0.082	0.051	0.019	0.009
	0.068	0.038	0.025	0.001

4. การศึกษาหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบดำ
ตารางที่ ค.4 แสดงความเข้มข้นที่เหลือของโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น
ต่าง ๆ (ppm)

โลหะหนัก	ความเข้มข้น 5 (ppm)	ความเข้มข้น 10 (ppm)	ความเข้มข้น 20(ppm)
โครเมียม	1.189	1.303	1.319
	1.233	1.275	1.344
	1.273	1.282	1.312
แคดเมียม	0.119	0.058	0.093
	0.068	0.054	0.080
	0.052	0.050	0.077
ตะกั่ว	0.043	0.025	0.008
	0.038	0.018	0.014
	0.047	0.009	0.007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.5 แสดงค่าคุณสมบัติทั้งหมดของก้อนซีเมนต์ที่ทำการทดลองในอัตราส่วนต่าง ๆ

No.	Cross Section (cm ²)	Height (cm)	Volume (x10 ⁻³ m ³)	Weight (kg)	Density (ton/m ³)	Ultimate Load (kN)	Comp Strenght (KSC)
1.1	5.02×5.00	5.04	126.50	0.260	2.055	64.7	262.77
1.2	5.01×5.03	5.10	128.52	0.265	2.062	65.2	263.75
1.3	5.04×5.00	5.00	126.00	0.260	2.063	62.8	254.04
2.1	4.97×5.02	5.02	125.25	0.255	2.036	54.4	238.61
2.2	5.04×4.99	4.98	125.25	0.255	2.036	49.4	200.24
2.3	4.98×5.05	5.09	128.01	0.260	2.031	48.8	197.81
3.1	5.01×5.03	5.11	128.77	0.260	2.019	48.2	170.71
3.2	4.96×5.01	5.14	127.73	0.260	2.036	43.2	173.12
3.3	5.03×5.02	5.10	128.78	0.260	2.019	39.2	158.26
4.1	4.98×5.05	5.02	126.25	0.250	1.980	34.7	140.65
4.2	5.03×5.03	4.99	126.25	0.250	1.980	35.3	142.23
4.3	5.00×5.04	5.05	127.26	0.255	2.004	37.5	151.69
5.1	4.99×5.01	5.07	126.75	0.245	1.933	22.2	90.52
5.2	5.04×4.97	4.97	124.49	0.230	1.848	20.6	83.83
5.3	4.98×5.04	5.00	125.50	0.235	1.873	21.3	86.51
6.1	5.02×4.98	5.02	125.50	0.230	1.833	15.9	64.83
6.2	5.00×5.00	5.03	125.75	0.230	1.829	15.8	64.43
6.3	4.96×5.04	5.02	125.49	0.230	1.833	16.4	66.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test)

ตารางที่ ค.5 แสดงความเข้มข้นของโครเมียมที่พบในสารละลายหลังจากทำการทดสอบการชะละลาย

ครั้งที่	อัตราส่วน 10 : 90	อัตราส่วน 20 : 80	อัตราส่วน 30 : 70	อัตราส่วน 40 : 60	อัตราส่วน 50 : 50
1	ND	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND	ND
3	ND	ND	ND	ND	ND

ตารางที่ ค.6 แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมที่พบในสารละลายหลังจากทำการทดสอบการชะละลาย

ครั้งที่	อัตราส่วน 10 : 90	อัตราส่วน 20 : 80	อัตราส่วน 30 : 70	อัตราส่วน 40 : 60	อัตราส่วน 50 : 50
1	0.022	ND	ND	ND	ND
2	0.000	ND	ND	ND	ND
3	ND	ND	ND	ND	ND

ตารางที่ ค.7 แสดงความเข้มข้นของตะกั่วที่พบในสารละลายหลังจากทำการทดสอบการชะละลาย

ครั้งที่	อัตราส่วน 10 : 90	อัตราส่วน 20 : 80	อัตราส่วน 30 : 70	อัตราส่วน 40 : 60	อัตราส่วน 50 : 50
1	0.982	0.942	0.973	1.102	2.292
2	0.995	0.819	0.979	1.306	1.552
3	0.956	0.870	1.007	0.963	1.239

หมายเหตุ : ND=Non-Detect ; ค่าขีดจำกัดของเครื่อง AAS เป็น 0.5-20.0 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร(โครเมียม) , 0.03-3.0 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (แคดเมียม) และ 0.3-25.0 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ตะกั่ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การผลิตซิลิกาเจลจากเถ้าแกลบดำ

ข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวถือเป็นอาหารหลักที่สำคัญของคนทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชียรวมทั้งประเทศไทย ในกระบวนการสีข้าวนั้นสิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตข้าวคือ แกลบข้าว ซึ่งมีประมาณร้อยละ 15-20% ของน้ำหนักข้าวเปลือก โดยส่วนใหญ่แล้วแกลบข้าวจะถูกกองทิ้งไว้และมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย เช่น ทำเป็นเชื้อเพลิงต้นกำเนิดพลังงาน หรือนำไปทำปุ๋ย ดังนั้นจึงควรหาทางนำแกลบไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นให้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อเผาแกลบแล้วจะได้เถ้าแกลบดำประมาณร้อยละ 15% ของแกลบข้าวโดยน้ำหนักซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบถึง 87 - 99% และสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ จึงนับว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตซิลิกานอกเหนือจากทราย จากการสำรวจพบว่าปัจจุบันประเทศไทยส่งเถ้าแกลบดำไปขายยังต่างประเทศต่าง ๆ ในราคาที่ค่อนข้างถูก แต่ถ้านำเถ้าแกลบดำไปผ่านกระบวนการทางเคมีหรือโดยการเผา จะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นและมีมูลค่าเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 5 เท่า ในปัจจุบันได้มีการทดลองในระดับปฏิบัติการเกี่ยวกับการผลิตซิลิกาจากเถ้าแกลบดำมากขึ้น ถ้าสามารถขยายผลการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้จริงจะเป็นการลดการนำเข้าซิลิกาจากต่างประเทศได้

ซิลิกาและซิลิกาเจลคืออะไร

ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของซิลิกอนกับออกซิเจนและเป็นองค์ประกอบประมาณ 60% ของเปลือกโลก มีทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อให้มีคุณสมบัติเฉพาะตามต้องการ ซิลิกาเป็นผลึกไม่มีสี หรือเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความถ่วงจำเพาะในช่วง 2.2-2.6 จุดหลอมเหลว 1,710 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,230 องศาเซลเซียส ไม่ละลายและกรดทุกชนิด ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยทั่วไปซิลิกาจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ซิลิกาที่เป็นรูปผลึก (Crystalline silica) ได้แก่ หินเขี้ยวหนุमान (Quartz rock)

Cristobalite, Tridymite และ ทราย เป็นต้น

2. ออสฐานซิลิกา (Amorphous silica) เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตได้แก่ ซิลิกาที่อยู่ในโครงสร้างของตัวไดอะตอม (Diatom) และซิลิกาที่มีอยู่ในโครงสร้างของพืช ถึงแม้ว่าซิลิกาทั้งสองประเภทจะมีสูตรทางเคมีที่เหมือนกันแต่กลับมีคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะและความว่องไวต่อปฏิกิริยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกาเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการนำซิลิกาไปผ่านกระบวนการทางเคมี มีลักษณะมีรูพรุนสูง มีโครงสร้างพรุนแบบเปิด มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และเป็นอสังฐานซิลิกา ส่วนมากจะใช้เป็นสารดูดความชื้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ดังนี้

- เป็นสารฟอกสี (Bleaching agent) ของพวกน้ำมันปิโตรเลียม
- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และตัวพาตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst carrier)
- ใช้ใน กระบวนการโครมาโทกราฟี (Chromatography)
- เป็น Ant caking agent ในพวกเครื่องสำอางทางเภสัชกรรม

การแยกซิลิกาจากเถ้าแกลบดำซึ่งมีคาร์บอนและโลหะออกไซด์ปนเปื้อนด้วยการทำให้ซิลิกา ซึ่งอยู่ในเถ้าแกลบดำเปลี่ยนเป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต แล้วทำให้สารละลายโซเดียมซิลิเกต อยู่ในสภาพกรด มีผลทำให้สารละลายโซเดียมซิลิเกตเปลี่ยนไปเป็นซิลิกาเจล ซึ่งจะได้ซิลิกาประมาณร้อยละ 60 ของเถ้าแกลบดำ แต่ถ้ามีการบดเถ้าแกลบดำก่อนนำไปรีฟลักซ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้ซิลิกาประมาณร้อยละ 80 ของเถ้าแกลบดำ เนื่องจากเถ้าแกลบดำที่บดแล้วมีพื้นที่ผิวสูงกว่า ดังนั้นโอกาสที่ซิลิกาจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงมีมากกว่า **คุณภาพและคุณลักษณะของซิลิกาเจลที่ได้**

- มีความบริสุทธิ์ถึง 99.91 2% วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
- เป็นซิลิกาแบบอสังฐาน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffraction ของ Philip รุ่น X's pert
- มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 m/g วิเคราะห์ด้วยวิธี BET โดยใช้เครื่องของ

Micromeritics รุ่น Flowsorb 2300

- สามารถนำไปใช้เป็น Stationary phase สำหรับ Thin Layer Chromatography (TLC)

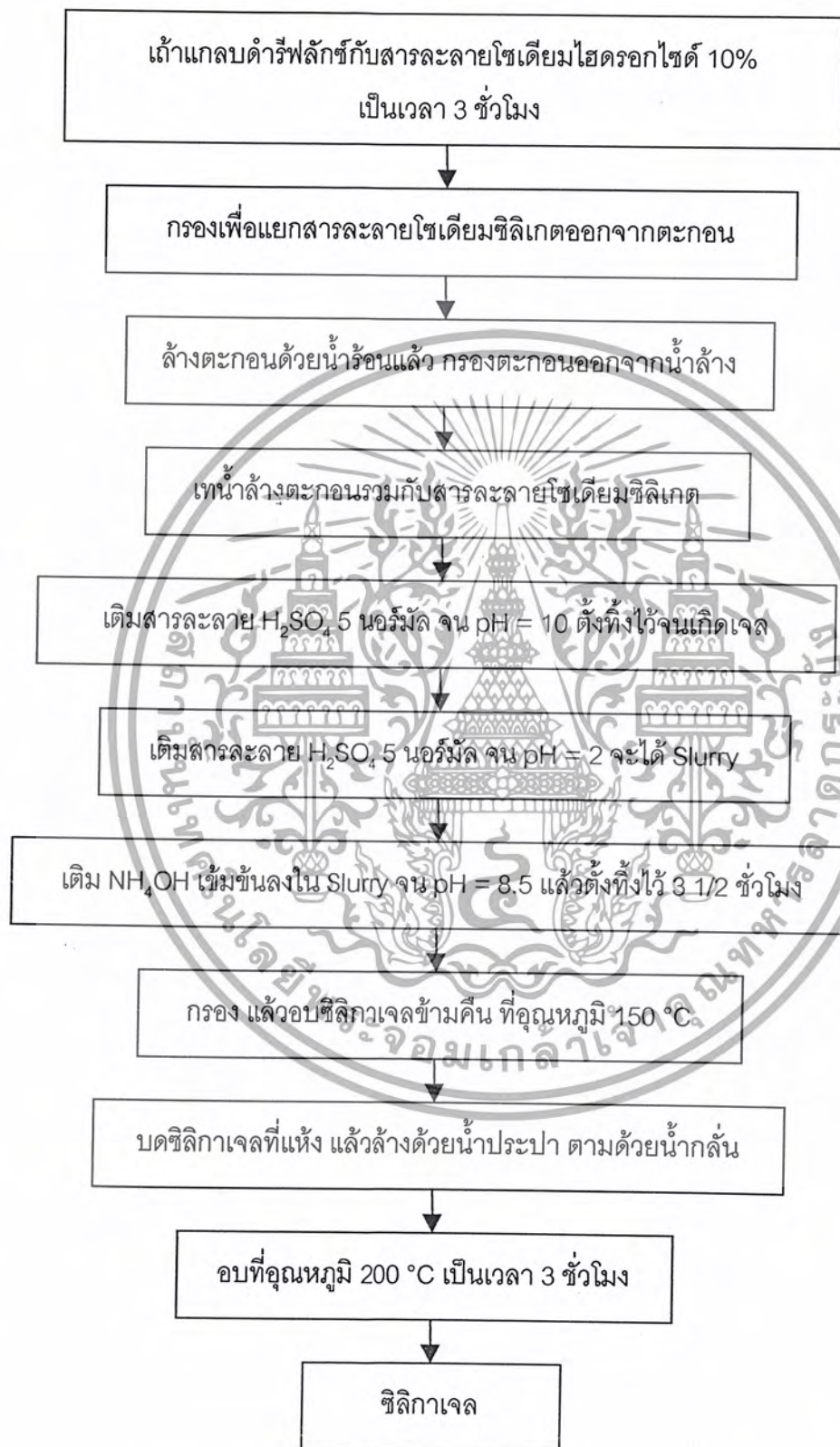
ได้

สรุป

การแยกซิลิกาจากเถ้าแกลบดำด้วยการทำให้ซิลิกาในเถ้าแกลบดำเปลี่ยนไปเป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยการรีฟลักซ์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วทำให้สารละลายโซเดียมซิลิเกตอยู่ในสภาพกรด เกิดเป็นซิลิกาเจลที่มีความบริสุทธิ์และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าซิลิกาเจลเกรดการค้า ดังนั้นถ้าสามารถขยายผลการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ จะเป็นการลดการนำเข้าซิลิกาเจลจากต่างประเทศ เนื่องจากซิลิกาเจลเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตเครื่องสำอางและเภสัชกรรมรวมถึงอุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการผลิตซิลิกาเจลจากเถ้าแกลบดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ตารางผนวกที่ จ.1 กำลังรับแรงอัดของตะกอนโลหะหนักที่ถูกทำให้เสถียรโดยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ระยะเวลา บ่ม (วัน)	ปริมาณ ตะกอน (%)	ตัวอย่างที่	พ.ท.หน้าตัด (cm ²)	Maximum Strength (kg)	Compressive Strength (kg/cm ²)
3	0	1	5.1 × 5.1	6375	243
		2	5.2 × 5.2	6375	536
		3	5.0 × 5.1	5500	214
10	เฉลี่ย	1	5.1 × 5.1	4350	331
		2	5.0 × 5.1	3825	166
		3	5.0 × 5.1	5150	149
20	เฉลี่ย	1	5.1 × 5.1	2475	198
		2	5.1 × 5.2	3350	171
		3	5.0 × 5.1	2720	95
40	เฉลี่ย	1	5.2 × 5.0	1675	126
		2	5.2 × 5.1	2125	107
		3	5.0 × 5.2	1925	109
60	เฉลี่ย	1	5.1 × 5.2	425	64
		2	5.1 × 5.2	750	80
		3	5.1 × 5.3	525	74
		เฉลี่ย			73
		เฉลี่ย			21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ๑.1 (ต่อ)

ระยะเวลา บ่ม (วัน)	ปริมาณ ตะกอน (%)	ตัวอย่างที่	พ.ท.หน้าตัด (cm ²)	Maximum Strength (kg)	Compressive Strength (kg/cm ²)
7	0	1	5.1 × 5.2	6250	237
		2	5.1 × 5.1	7250	279
		3	5.0 × 5.2	6500	248
10	เจ็ลลี่	1	5.0 × 5.2	5000	192
		2	5.2 × 5.1	5125	193
		3	5.1 × 5.2	5250	198
		เจ็ลลี่			194
		1	5.1 × 5.1	3125	120
		2	5.0 × 5.1	2750	107
20	เจ็ลลี่	3	5.0 × 5.2	2938	112
		เจ็ลลี่			113
		1	5.0 × 5.1	2073	81
		2	5.2 × 5.1	2065	78
		3	5.1 × 5.2	2313	87
		เจ็ลลี่			82
40	เจ็ลลี่	1	5.2 × 5.1	725	27
		2	5.2 × 5.0	782	60
		3	5.1 × 5.1	750	29
		เจ็ลลี่			39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ จ.1 (ต่อ)

ระยะเวลา บ่ม (วัน)	ปริมาณ ตะกอน (%)	ตัวอย่างที่	พ.ท.หน้าตัด (cm ²)	Maximum Strength (kg)	Compressive Strength (kg/cm ²)
28	0	1	5.1 × 5.1	9500	365
		2	5.2 × 5.0	8250	317
		3	5.1 × 5.2	8500	321
10	เจลลี่	1	5.1 × 5.1	5975	230
		2	5.2 × 5.0	6250	240
		3	5.0 × 5.2	6376	243
20	เจลลี่	1	5.1 × 5.1	4375	167
		2	5.1 × 5.1	5125	197
		3	5.1 × 5.1	4250	163
40	เจลลี่	1	5.1 × 5.2	3125	118
		2	5.1 × 5.1	2375	91
		3	5.1 × 5.1	2500	97
60	เจลลี่	1	5.1 × 5.2	825	40
		2	5.1 × 5.2	975	37
		3	5.1 × 5.1	975	37
		เจลลี่			28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้