สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II) โดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์

T049273

นายกษมา เพชรทับทิม

นายพงศ์ภัทร ศรีชจร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49273
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547
.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Treatment of Wastewater Containing Chromium(VI) and Lead(II) by Solar Evaporation and Cement Based Technique

Mr. Kasamar Pestubtim

Mr. Pongpat Srikajohn

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II) โดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์

นักศึกษา นายกษมา เพชรทับทิม

นายพงศ์ภัทร ศรีขจร

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ยุพา ตันทวี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	.....
กรรมการ อาจารย์ยุพา ตันทวี	.....

.....

(รศ. ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II) โดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์
นักศึกษา	นายกษมา เพชรทับทิม
	นายพงศ์ภัทร ศรีขจร
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
สาขา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ที่ปรึกษา	นางยุพา ตันทวี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดโครเมียม(VI) และตะกั่ว(II) โดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์โดยใช้น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วเป็น 2,330 และ 46 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ทำการทดลองเพื่อลดปริมาณน้ำเสีย โดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และควบคุมค่าพีเอชที่สภาวะมากกว่าหรือเท่ากับ 7 ลดปริมาณน้ำเสียจาก 100-50 , 50-25 , 25-10 , และน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ นำไปทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์ ทดสอบสมบัติของก้อนซีเมนต์ พบว่ามีความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ ในช่วง 2.00-2.08 ตันต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัดในช่วง 158.65 –190.65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วจากน้ำกลั่นมากที่สุดเท่ากับ 0.050 และ 0.097 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากน้ำชะละลายเท่ากับ 0.131 และ 0.210 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมสำหรับน้ำสียที่มีปริมาณไม่มากนัก

คำสำคัญ : ของเสียทางเคมี , การระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ , กระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Treatment of Wastewater Containing Chromium(VI) and Lead(II) by Solar Evaporation and Cement Based Technique
Author	Mr. Kasamar Pestubtim
	Mr. Pongpat Srikajohn
Department	Chemistry
Faculty	Science
Major Program	Environment Resource Chemistry
Academic year	2002
Advisor	Mrs. Yupa Tantawee

ABSTRACT

This project studied how to treat wastewater from chemical laboratory of KMITL that contained chromium(VI) and lead(II) 2,330 and 46 mg/l, respectively with economic and simple method. Wastewater with pH $\geq$ 7.0 was evaporated by solar energy. Distillates and wastewater were collected at different % volume reduction ranging from 100-50 , 50-25 , 25-10 and 10 percentage of initial volume. Collected distillates were determined for Cr and Pb, while collected wastewater containing Cr and Pb were bound with cement, with density and compressive strength of 2.00 - 2.08 ton/m^3, and 158.65 – 190.65 kg/cm^2, respectively. The maximum concentration of chromium and lead detected in distillate were 0.050 and 0.097 mg/l, while concentration in extract solution were 0.131 and 0.210 mg/l, respectively. Solar evaporation and cement based technique are alternative to treat heavy metal wastes from small and medium sources without environmental problem and economically.

Key words : Chemical waste , Solar evaporation , cement based technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ ในการแก้ปัญหาจาก อาจารย์ยุพา ตันทวี ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงงานพิเศษในครั้งนี้ทุกท่าน ที่กรุณาเสนอแนะและแก้ไขเพิ่มเติมทำให้โครงงานพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณพี่ๆเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ตึกคณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้ความรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่สุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ตึกคณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้ความรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และช่วยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆที่ทำการทดลองเรื่อง สมดุลเคมี และช่วยเก็บรวบรวมน้ำเสียไว้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ๆและน้องๆที่ให้ความรัก ความห่วงใย คอยช่วยเหลือในด้านปัจจัยต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจตลอดมา

ผู้จัดทำ

นายกษมา เพชรทับทิม

นายพงศ์ภัทร ศรีขจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 โลหะหนัก	4
2.2 ของเสียที่เป็นอันตราย	5
2.3 โครเมียม	5
2.3.1 ประโยชน์ของโครเมียม	6
2.3.2 อันตรายที่เกิดจากโครเมียม	6
2.4 ตะกั่ว	7
2.4.1 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว	8
2.4.2 พิษของตะกั่ว	10
2.5 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	11
2.6 การระเหยด้วยแสงอาทิตย์	15
2.6.1 การระเหย	15
2.6.2 การกลั่น	16
2.7 ปูนซีเมนต์	17
2.7.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
2.7.2 ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.3 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	19
2.7.4 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ	20
2.7.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	24
2.7.6 การบ่มคอนกรีต	25
2.8 การยับยั้งและทำลายฤทธิ์ของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน	28
2.8.1 กลไกการจับยึดโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์	28
2.8.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน	31
2.9 Cement Based	38
2.10 เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ได้จากวิธี Cement Based	39
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย	44
3.1 การศึกษาการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	45
3.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำเสียขณะบำบัดด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	46
3.1.2 ศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	
3.1.3 ศึกษาความสามารถการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์	48
3.2 การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์	49
3.2.1 ศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์	51
บทที่4 ผลการทดลอง	57
4.1 ศึกษาการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	58
4.1.1 ศึกษาลักษณะทางกายและทางเคมีของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีหลังจากระเหยด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	58
4.1.2 ศึกษาการของปนเปื้อนโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.3 ศึกษาความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์	61
4.2 ศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์	63
4.2.1 ศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์	63
4.2.2 ศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำชะละลายจากก้อนซีเมนต์	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก ก สมบัติของก้อนซีเมนต์	73
ภาคผนวก ข แบบชุดปฏิกรณ์ระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	74
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด	74
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งละลายน้ำ	76
ภาคผนวก จ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน	77
ภาคผนวก ฉ หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลสภาพอากาศ กรุงเทพมหานคร ปี 2544 17

ตารางที่ 2.2 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน 35

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสีย โดยวิธีทำให้เป็นก้อน 36

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 57

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียตัวอย่าง 58

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณโครเมียมและตะกั่วที่วิเคราะห์ได้จากการกลั่นน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 59

ตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 61

ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติของก้อนซีเมนต์ระยะการบ่ม 7 วัน 63

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์ 21
รูปที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาซีเมนต์กับน้ำและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในซีเมนต์ Paste 22
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของซีเมนต์ Paste 23
รูปที่ 2.4 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต 27
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย 29
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายกับค่าความเป็นด่างของซิลิกอนจากการทดลองการชะละลาย 29
รูปที่ 2.7 แสดงปริมาณของเสียชนิดต่างๆในน้ำชะละลาย 31
รูปที่ 2.8 แสดงปริมาณของเสียชนิดต่างๆต่อความสามารถในการถูกชะละลาย 32
รูปที่ 2.9 แสดงผลของปริมาณของเสียต่อค่ากำลังรับแรงอัด 32
รูปที่ 2.10 แสดงผลของอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่อกำลังรับแรงอัด 33
รูปที่ 2.11 แสดงผลของระยะเวลาการบ่มก้อนซีเมนต์ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย 34
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 44
รูปที่ 3.2 แสดงถังปฏิกรณ์ระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 45
รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการระเหยน้ำเสียด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 46
รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 47
รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ 48
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะเครื่องผสมปูนซีเมนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราภูเขา 50
รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการหล่อปูนซีเมนต์ 51
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะก้อนซีเมนต์ในแบบหล่อ 52
รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ 53
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำชะละลาย 55

รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 57

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) จากการกลั่นน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณโครเมียม (mg/l) 60

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) จากการกลั่นน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณตะกั่ว (mg/l) 60

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะอุปกรณ์ทดลองกับปริมาณน้ำที่ลด (%) 61

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) ที่ใช้ในการทดสอบกับกำลังรับแรงอัด (kg/cm^2) 64

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) ที่ใช้ในการทดสอบกับความหนาแน่น (ton/m^3) ของก้อนซีเมนต์ 65

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) ที่นำไปทำก้อนซีเมนต์กับปริมาณโครเมียม (mg/l)ในน้ำที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์ 67

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) ที่นำไปทำก้อนซีเมนต์กับปริมาณตะกั่ว (mg/l)ในน้ำที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันปัญหาโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังคงมีแนวโน้มว่าจะก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำแต่ละชนิดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นและจะถูกสะสมอยู่ในสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ซึ่งจะถูกถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนสะสมอยู่ โลหะหนักเหล่านั้นจะถูกถ่ายทอดมาและสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงปริมาณหนึ่งก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย หากไม่มีการควบคุมและจัดการที่ดีแล้ว สารพิษเหล่านี้ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ต่อไปอีกในอนาคต โดยปัญหาน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้แหล่งน้ำมีปริมาณโลหะต่างๆปนเปื้อนมากขึ้น

กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ออกมาจากห้องปฏิบัติการเคมีนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี(Chemical Precipitation) ขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน(Ion Exchange)การใช้กระบวนการกรองผ่านเมมเบรน (Membrane Filtration) การออสโมซิสย้อนกลับ(Reverse Osmosis) และการสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery) เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถกำจัดโลหะหนักได้ผลดี แต่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการลงทุนตลอดจนใช้เทคโนโลยี รวมทั้งต้องมีการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพและถ้าสามารถนำของเสียที่เกิดขึ้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จะเป็นการช่วยจัดการกับของเสียเหล่านั้นอีกทางหนึ่ง

การทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์(Cement Based) ก็เป็นวิธีการบำบัดที่ได้ผลดีอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาดีแล้ว โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดทิ้งหรือการฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

โดยการศึกษานี้จะใช้น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีโลหะหนักจำพวกโครเมียมและตะกั่วปนเปื้อนอยู่โดยวิธีทั่วไปจะนำน้ำเสียมารีดิวซ์และแยกโลหะหนักออกโดยการตกตะกอน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยาก เพื่อลดขั้นตอนดังกล่าว จึงประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาระเหยน้ำออกจากของเสียในการบำบัดขั้นต้นและทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์(Cement Based)โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้ในผสมซีเมนต์ เพื่อให้ได้ก้อนซีเมนต์ที่สามารถทนกำลังอัดและการถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชะละลายได้ดีที่สุดพร้อมทั้งเปรียบเทียบถึงอิทธิพลของลมและแสงแดดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ว่ามีผลต่อเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มากน้อยเพียงใด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยในการแยกน้ำออกจากของเสียที่ได้จากห้องปฏิบัติการเคมี
2. เพื่อศึกษาถึงการยับยั้งและทำลายฤทธิ์ของโลหะโครเมียมและตะกั่ว โดยวิธีการ Cement Based และทำการแปรค่าความเข้มข้นของของเสียที่มีผลต่อการรับกำลังแรงอัดและการชะละลายของก้อนซีเมนต์
3. เพื่อศึกษาถึงการรับกำลังแรงอัดและการชะละลายของก้อนซีเมนต์ที่ได้จากกระบวนการ Cement Based

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียที่มีโลหะหนักโครเมียมและตะกั่วปนเปื้อน จากห้องปฏิบัติการเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ทำการทดลองแยกน้ำออกจากของเสียด้วยวิธีการระเหยด้วยแสงอาทิตย์(Solar evaporation) โดยควบคุมค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่สภาวะพีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ 7
3. ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของลมและแสงแดดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
4. ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงกำลังแรงอัดของก้อนซีเมนต์โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัด (Test Machine)
5. ทำการทดลองวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำที่กลั่นได้และน้ำชะละลายโดยใช้เครื่อง AAS

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดขั้นตอนที่ยุ่งยากและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น
2. นำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	2545								2546			
	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	◄	———	►									
-ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัย			◄	———	►							
-วางแผนการดำเนินงานและการทดลอง				◄	———	———	►					
-เสนอแผนดำเนินงานโครงงานวิจัย					◄	———	———	►				
-จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง				◄	———	———	———	———	►			
-ดำเนินการทดลอง				◄	———	———	———	———	———	———	►	
-วิเคราะห์ผลการทดลอง							◄	———	———	———	———	►
-สรุปผลการทดลอง									◄	———	►	
-จัดทำรูปเล่มโครงการวิจัย											◄	►
-เตรียมการนำเสนอโครงงานวิจัย											◄	►

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาวและสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญคือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารเชิงซ้อนได้หลายรูปได้ดีกว่าโลหะอิสระ

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมได้เป็น2 กลุ่ม คือ กลุ่มโลหะหนักที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au , Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn, Te และ Zn โลหะหนักที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้ เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่างๆกัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาสำคัญของโลหะหนักเหล่านี้ คือ จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และมีผลต่อเมตาโบลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

พิษของโลหะหนักที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่าขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีของโลหะหนักโดยที่โลหะหนักจะเข้าไปในสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น ไฟโตแพลงตอน (Phytoplanton) ไดอะตอม (Diatom) โดยจะแพร่เข้าไปทางเมมเบรน ส่วนปลานั้นจะสามารถที่จะรับเข้าไปผ่านทางเหงือก โลหะหนักบางพวกที่อยู่ในน้ำก็เป็นสิ่งจำเป็นของสิ่งมีชีวิตในน้ำ กล่าวคือ เป็นสารอาหารของสัตว์ เช่น หอยนางรม(Oysters)หอยกาบ(Clams) และอื่นๆ ซึ่งเป็นการลดการตกตะกอนของพวกโลหะหนักในน้ำตามธรรมชาติ

ไฟโตแพลงตอน(Phytoplanton) เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่กว่าในวงจรอาหาร โลหะหนักจะมีผลกระทบต่อไฟโตแพลงตอนได้ 2 ทาง คือ โลหะหนักจะถูกส่งต่อไปในวงจรสารอาหาร เนื่องจากไฟโตแพลงตอนจะถูกกินโดยสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ เช่น ปลา แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเข้าไปอยู่ในร่างกายมนุษย์ทางวงจรอาหารต่อไป ผลกระทบของโลหะหนักอีกทางหนึ่งคือ ปริมาณโลหะหนักที่เข้าไป ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ไฟโตแพลงตอนตายได้ เมื่อแพลงตอนตายก็จะมีผลกระทบทางอ้อมกับระบบนิเวศน์ในน้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ รูปแบบของโลหะหนักซึ่งแตกตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ใกล้เมมเบรนของปลา คือ ซิมเพิลคอมเพลค (Simple Complex) และไอออนแพร์ (Ion Pairs)ส่วนรูปแบบที่สามารถเข้าไปอยู่ในตัวปลาได้เลยคือ เมทิล สปีชีย์ (Metal Species)

2.2 ของเสียอันตราย

ของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste) ตามคำจำกัดความของกรมควบคุมมลพิษ หมายถึง ของเสียหรือสิ่งที่เจือปนด้วยของเสียที่มีความเข้มข้นหรือคุณสมบัติทางด้านกายภาพเคมี หรืออื่นๆ ที่อาจเป็นสาเหตุของการตายหรือการเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้วจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้มีการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และการกำจัด

แหล่งกำเนิดของเสียอันตรายที่สำคัญมีดังนี้

1. ของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ สารเคมี เศษวัตถุดิบ เศษผลิตภัณฑ์
2. ของเสียอันตรายจากสถานพยาบาล ได้แก่ มูลฝอยติดเชื้อ เศษชิ้นส่วนอวัยวะต่างๆ เศษเนื้อเยื่อ สารกัมมันตรังสี ซากสัตว์ทดลอง และสิ่งขับถ่าย หรือของเหลวจากร่างกายผู้ป่วย
3. ของเสียอันตรายจากบ้านเรือนเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้ว ได้แก่ ถ่านไฟฉายแบตเตอรี่ รถยนต์น้ำยาทำความสะอาด เครื่องสุขภัณฑ์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ สารเคมีกำจัดแมลง
4. ของเสียอันตรายจากภาคเกษตรกรรม ได้แก่ ภาชนะบรรจุหรือสารเคมี ประเภทสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

2.3 โครเมียม

โครเมียมมีเลขอะตอม 24 มีอยู่ประมาณ 0.037 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกโลก เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome ion เป็นโลหะหนักสีขาวนวล มีความสุขใสไม่ขุ่นมัว ไม่ต้องขัดถูบ่อยๆ มีความฝืดต่ำ มีความแข้ง มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1,615 องศาเซลเซียส มีสัญลักษณ์ Cr โครเมียมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิม มีเลขออกซิเดชั่นได้หลายค่าตั้งแต่ -2 ถึง +6

-โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์

-Hexacarbonylchromium ($Cr(CO_3$) เป็นของแข็งสีขาว มีความคงตัวในอากาศ ไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-โครเมียม(+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง และถูกออกซิไดส์ไปเป็นโครเมียม(+3) ได้ในอากาศ

-โครเมียม(+3) เป็นวาเลนซีที่เสถียร เป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ ในสภาวะกรดเกิดเป็น $[Cr(H_2O)_6]^{+3}$ และเป็น $[Cr(OH)(H_2O)_5]^{+2}$ ในสภาวะด่าง

-โครเมียม(+6) พบมากในธรรมชาติพอๆกับโครเมียม(+3)แต่พบอยู่ในรูปของสารประกอบของออกซิเจน oxo species เช่น

โครเมียม(+6)ออกไซด์ (กรดโครมิก:CrO_3)

โครมิกคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)

คลอโรโครเมต(CrO_3Cl)

โครเมต(CrO_4^{2-})

ไดโครเมต($Cr_2O_7^{2-}$) ถ้านำไปละลายน้ำจะได้ไดโครเมตดัง (dichromate) สมการ

$$Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2\ CrO_4^{2-} + 2H^+$$

โครเมียม(+6) เป็นสารออกซิไดส์ที่แรงมากภายใต้ภาวะกรด (pH = 0)

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7\ H_2O$$

2.3.1 ประโยชน์ของโครเมียม

โครเมียมเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับโลหะผสม ทำให้โลหะผสมมีความแข็ง เหนียว และทนทาน ป้องกันไม่ให้เกิดสนิมและทนต่อการผุกร่อน ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและเพื่อความสวยงามสารประกอบโครเมตของตะกั่ว สังกะสีและแบเรียม ซึ่งเรียกว่า "เม็ดสีโครเมียม (chrome pigment)" จะใช้ในการทำสีต่างๆใช้ทำพรมน้ำมันใช้ทำยางและใช้ใน อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา สีทา สีย้อม สารยืดอายุไม้ ยาฆ่าเห็ดรา นอกจากนี้สารประกอบของโครเมียมยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมฝอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ ไหม และหนังสัตว์ ได้อีกด้วย

2.3.2 อันตรายที่เกิดจากโครเมียม

โครเมียมหรือสารประกอบของโครเมียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่นและควัน ซึ่งฝุ่นและควันเหล่านี้ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ดังนี้

1. ทางจมูก โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิกซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณจมูก และจะทำอันตรายต่อกระดูกอ่อนที่กันระหว่างจมูก มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ และเมื่อเข้าสู่ปอดก็อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งที่ปอดได้

2. ทางผิวหนัง ผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับโครเมียม จะได้รับฝุ่นละอองและควันของโครเมียม ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังได้

3. อันตรายจากการรับประทานซึ่งได้รับโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหารทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับกับระบบทางเดินอาหาร อาจมีความบกพร่องของระบบย่อยอาหารร่วมอยู่ด้วย

4. ทางตา ทำให้ตาเกิดบาดแผล นอกจากนี้ยังอาจทำให้ระบบประสาท ตับและไตถูกทำลาย และยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย

แผลจากโครเมียม (Chrome ulcers) เกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเกิดจากรอยถลอกที่ผิวหนัง และจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อที่นิ้ว หรือที่หลังเท้า จะมีลักษณะเป็นวงกลม ขอบค่อนข้างเรียบและบุ๋มลึกลงไป มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า มองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้แผลนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวด แต่จะคันอย่างมากในเวลากลางคืน แผลอาจเกิดการติดเชื้อ และอาจลุกลามไปยังข้อต่ออวัยวะใกล้เคียง อาจจะทำให้ต้องตัดอวัยวะส่วนนั้นทิ้งไป ฝุ่นของเกลือโครเมียม หรือควันของกรดโครมิก ซึ่งอาจตกลงบนหนังตา หรือปลายจมูก ก็จะทำให้เกิดบาดแผลขึ้นได้เช่นกัน

มะเร็งที่ปอด อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสูดเอาผงหรือควันของโครเมียมเข้าสู่ร่างกายเป็นประจำ และเป็นเวลานาน ซึ่งจะทำให้เกิดโรคมะเร็งที่ปอด มีอันตรายถึงชีวิต

ผนังกั้นในจมูกทะลุ (Perforation of the nasal septum) มักเกิดกับผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับโครเมียมและได้รับเอาควันของกรดโครมิกหรือฝุ่นของโครเมียมอยู่เป็นประจำ จนทำให้ผนังกั้นในจมูกถูกทำลายเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้จะไม่ทำให้เกิดความรู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างไร แต่จะรู้สึกว่าผนังกั้นในโพรงจมูกทะลุ แล้วก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือดั้งจมูกแบนลง

ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบได้แก่ มือ แขน ใบหน้า และหน้าอก ในรายที่เกิดการอักเสบรุนแรง ใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่เกิดการอักเสบจะคันและเจ็บแสบมาก

2.4 ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีสีขาวเทาอ่อนๆ มีจุดหลอมตัวและจุดเดือดที่ 327.4, 1,620 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะ 11.35 จึงจัดตะกั่วเป็นโลหะหนัก ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์สำหรับร่างกายทั้งพืชและสัตว์ ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นสารพิษอย่างแรงต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งมนุษย์ด้วย ตะกั่วหาได้ง่ายตามธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทั่วๆไป แม้ว่าจะมีความเข้มข้นน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชั้นบรรยากาศตะกั่วจะแพร่ไปสู่ดิน น้ำ พืชและสัตว์ทั้งในรูปแห้งและเปียก ตะกั่วที่อยู่ในดินจะมีเวลาครึ่งชีวิตหลายร้อยปี เปลือกของโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 10 – 15 พีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วน)อย่างไรก็ตาม ตะกั่วที่ปรากฏเป็นธาตุอิสระมีอยู่น้อยมาก นั่นคือตะกั่วที่พบอยู่ในเปลือกโลกทั้งหมดอยู่ในรูปของสารประกอบ ตัวอย่างแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบได้แก่ แร่จีลีไนด์(gelenite) หรือจีลีนา(genena) ซึ่งเป็นซัลไพด์ของตะกั่ว(PbS) แร่ซีรัสไซด์(cerussite ($PbCO_3$)) แอลจีลไซด์ (anglesite ($PbSO_4$) ไพโรโมไฟด์(pyromophite($PbCl_3.3Pb_3(PO_4)_2$) มิเนียม(minium (Pb_3O_4)) วูลฟีไนด์(wulfenite(Pb MnO_4)) โครไซด์(crocite ($PbCrO_4$)) และไพไรด์(ptrite (FeS_2)) เป็นต้น เบื้องต้นจะมาจากชั้นบรรยากาศ มีประมาณ 5×10^{-5} มิลลิกรัมต่อลิตร ในเมืองพบว่ามีความเข้มข้นประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะมากกว่านี้ในเมืองที่มีการจราจรติดขัดมาก พืชบกและพืชน้ำสามารถสะสมตะกั่วจากน้ำและดิน ในบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม ตะกั่วสามารถสะสมในสัตว์ได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ความเข้มข้นของตะกั่วในชั้นบรรยากาศ

2.4.1 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว

บ่อแร่ การถลุงแร่และกระบวนการทำตะกั่ว การบรรจุแร่โลหะตะกั่วทั่วๆไปจะเป็นแหล่งใหญ่ที่มีการแพร่ของตะกั่ว การเพิ่มการเผาไหม้ของตะกั่วในของเสียและเชื้อเพลิงจาก ซากพืช ซากสัตว์ ในเตาเผา เผาต้นไม้อุตสาหกรรมต่างๆ และจากบ้านเรือน จะปล่อยตะกั่วไปสู่ชั้นบรรยากาศ การขนส่งทางอากาศ จะทำให้อากาศรอบๆ มีความเข้มข้นของตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการใช้ตะกั่วอัลคิลเป็นองค์ประกอบที่เติมลงไปในเชื้อเพลิง ทำให้การจราจรจากยานพาหนะเป็นแหล่งใหญ่ที่ทำมีตะกั่วอยู่ในชั้นบรรยากาศของบริเวณเมืองต่างๆประมาณร้อยละ 90 ของตะกั่วที่แพร่ไปสู่บรรยากาศ การแพร่กระจายลงไปในน้ำ เกิดเนื่องจากตะกั่วเป็นส่วนประกอบภายในท่อหรือทองเหลือง ซึ่งจะเกิดการปนเปื้อนจากการทาสี กรดตะกั่วที่อยู่ในแบตเตอรี่ จะทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ในระหว่างกระบวนการผลิต การขนส่งและกระบวนการเผาสารประกอบตะกั่วมักใช้เป็นสารให้ความคงตัว(Stabilizers) ในพลาสติก ตะกั่วเป็นสารประกอบในผลิตภัณฑ์อื่นๆรวมทั้งกระป๋องอาหารที่เป็นทองเหลือง แก้วเซรามิก คริสตัล ปลอกเคเบิล กระสุนและเครื่องสำอาง

1) แหล่งจากการประกอบอาชีพ ได้แก่การทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็กโทรนิคและคอมพิวเตอร์ การนำของเก่าที่มีตะกั่วผสมอยู่มาหลอมใช้ใหม่ การบรรทุกหรือขนถ่ายของที่มีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ การทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ การผลิตบรอนซ์ตะกั่ว สีตะกั่ว ตะกั่วผงและตะกั่วในรูปอื่นๆ การผลิตแก้วที่มีตะกั่วผสมอยู่ การทาหรือพ่นสีกันสนิม การใช้สารประกอบของตะกั่วในรูปที่เป็นผงในการผลิตแบตเตอรี่ การเคลือบด้วยสารตะกั่ว การเชื่อมและการตัดโลหะที่มีตะกั่วหรือสีตะกั่วผสมอยู่โดยใช้ความร้อน การตกแต่งเจียรไนหรือขัดมันโลหะที่มีตะกั่วผสมอยู่ การชุบโลหะ การทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปั้นดินเผา การทำและการบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช การเรียงพิมพ์ การทำเครื่องประดับโลหะ การทำลูกปืน การบัดกรีตะกั่ว การทำอุปกรณ์ทำพื้น การซ่อมหม้อแบตเตอรี่ การเติมน้ำมัน การซ่อมถังน้ำมัน การใช้น้ำมันเบนซินล้างทำความสะอาดเครื่องยนต์กลไกต่างๆ ทั้งนี้แหล่งจากการประกอบอาชีพเป็นแหล่งที่ให้สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้มากที่สุด

2) แหล่งจากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว(airbon lead) โดยทั่วไปแล้วการหายใจจะเป็นทางที่สำคัญทำให้ร่างกายได้รับตะกั่วจากอากาศ ทั้งนี้ที่พักและการจราจรจะมีผลอย่างมาก โดยระดับตะกั่วจะสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรเฉลี่ยในแต่ละวันของแต่ละถนนสายสำคัญ

3) แหล่งจากดินและฝุ่น(soil and dust) ดินและฝุ่นได้รับตะกั่ว โดยการสะสมตะกั่วในอากาศที่ได้จากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งอื่น ๆ รวมทั้งแผ่นสีเก่าหลุดมาสะสมในดิน โดยตะกั่วที่สะสมมักจะอยู่ในบริเวณผิวดินและจะพบมากในเด็ก เนื่องจากพฤติกรรมการชอบสำรวจ(exploration behavior) จึงทำให้เด็กเหล่านี้มีโอกาสได้รับตะกั่วจากดินและฝุ่นโดยการกิน

4) แหล่งจากอาหารและน้ำดื่ม(food and drinking water) พืชผลที่เจริญใกล้แหล่งสัญจรหรือสถานีบริการน้ำมันจะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่สะสมจากตะกั่วอากาศมากกว่าพืชผลที่เจริญเติบโตในบริเวณอื่นตะกั่วสามารถสะสมในอาหารระหว่างกระบวนการผลิตและขนส่งอาหารกระป๋อง โดยเฉพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถละลายส่วนที่เป็นตะกั่วจากกระป๋องที่บรรจุได้ ตะกั่วในน้ำส่วนใหญ่ได้มาจากการละลายจากท่อประปาที่มีตะกั่วผสมอยู่โดยเฉพาะถ้าน้ำดังกล่าวมีฤทธิ์เป็นกรดด้วย

5) แหล่งจากเครื่องถ้วยชามเคลือบที่ปนสารตะกั่ว(lead-glazed pottery) ในสหรัฐอเมริกามีรายงานการเป็นพิษของตะกั่วจากแหล่งเครื่องถ้วยชามเหล่านี้อยู่หลายครั้ง เนื่องจากเครื่องถ้วยชามดังกล่าวสามารถปล่อยตะกั่วจำนวนมากไปในอาหารและเครื่องดื่มได้โดยเฉพาะชิ้นที่มีการแตกร้าวหรือมีการใช้มากและล้างขัดมาก พบว่า porcelain enamel power มีตะกั่วออกไซด์อยู่ถึงร้อยละ 30-40

6) จากแหล่งสีที่ตะกั่วเป็นพิษ(lead based paint) สีที่มีตะกั่วเป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูง ซึ่งในปี พ.ศ. 2520 รัฐบาลอเมริกาได้ออกกฎหมายให้สีที่ใช้ทาบ้านมีตะกั่วได้มากกว่าร้อยละ 0.06(600 ppm) โดยน้ำหนักสีขณะแห้ง เด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยตะกั่วทั้งสีภายในและภายนอกจะเสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว ยิ่งถ้าสีนั้นเก่าและหลุดออกด้วยจะเกิดเศษชิ้นเล็กๆ และฝุ่นที่มีตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นและบริเวณบ้านทำให้เด็กที่มีพฤติกรรมเอาของเข้าปากได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) สีจากแหล่งอื่นๆตะกั่วสามารถพบได้ในยาแผนโบราณ เช่น ยาจีนหลายชนิด ซึ่งเราอาจได้รับตะกั่วในปริมาณมากๆต่อครั้งได้ นอกจากนี้ยังอาจได้จากการสูดดมน้ำมันก๊าซโซลีน การเผาน้ำมันที่ทิ้งแล้วจากกระดาษหนังสือพิมพ์ สีจากเปลือกแบตเตอรี่ เครื่องสำอางที่ผลิตอย่างไม่เหมาะสม เช่น แป้งทาหน้า ยาชนิดน้ำตาลเทียมประเภท external astringents การใช้น้ำมันหล่อลื่นบางชนิด ซึ่งมีตะกั่วเป็นสารประกอบร้อยละ 30

2.4.2 พิษของตะกั่ว

จากการนำตะกั่วมาใช้งานหลายชนิดในปริมาณมากมายดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงไม่แปลกใจเลยว่าสิ่งแวดล้อมของเรามีตะกั่วและสารประกอบของตะกั่วกระจายไปทั่วทั้งในอากาศ ดิน น้ำ ตลอดจนพืช ผัก เนื้อและอาหารอื่นๆ ที่เรารับประทาน

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ

1. ทางการหายใจ โดยสูดไอตะกั่วเข้าไปขณะทำงาน เช่น การหลอมตะกั่ว การบัดกรีท่อไอเสียรถยนต์

2. ทางปาก โดยการรับประทานอาหารหรือขนมที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วตลอดจนการใช้ภาชนะที่เคลือบด้วยสีที่มีส่วนผสมของตะกั่วเป็นตัวการทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในอาหารได้ เช่น ไข่เยี่ยวม้า อาหารที่ใส่สี ถ้วยชามเซรามิค ตะเกียง กระดาษหนังสือพิมพ์ที่เป็นถุงนำมาใส่ของทอด เป็นต้น

3. ทางผิวหนัง ในน้ำมันเติมรถยนต์ที่ต้องการให้มีค่าออกเทนสูงจำเป็นต้องเติมสารตะกั่ว ซึ่งจะทำให้ตะกั่วออกมากับท่อไอเสีย นอกจากนี้การใช้แป้งทาตัวที่มีตะกั่วปนอยู่และการแบตเตอรี่ทำเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้

การเกิดพิษจากตะกั่วส่วนใหญ่เกิดจากอาชีพที่ต้องสัมผัสกับสารตะกั่วและความรู้เท่าไม่ถึงการณ์จะเป็นสื่อนำตะกั่วมาสู่ร่างกายตัวเองโดยไม่รู้ตัว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สุขศึกษาแก่ผู้ประกอบอาชีพที่ต้องเสี่ยงต่อการได้รับสารพิษตะกั่วโดยให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องพิษภัยของตะกั่ว วิธีการป้องกันและหลีกเลี่ยงจากการได้รับสารพิษดังกล่าว

ตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบเมตาบอลิซึม(Metabolism หรือกระบวนการย่อยอาหาร)แต่เป็นพิษต่อร่างกายอย่างแรงถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่สูงโดยปกติร่างกายของคนเราควรมีระดับสารตะกั่วในเลือดไม่เกิน 0.25 พีพีเอ็ม โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างไร แต่ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่มากในทันทีทันใด เช่นในเลือดมีมากกว่า 0.8 พีพีเอ็ม จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน เช่นเกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำ(เกิดจาก PbS ในอุจจาระ) เกิดอาการช็อกตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อมและทำอันตรายต่อไต อาการพิษของตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างฉับพลันมักเกิดในคนงานที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในขบวนการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น แต่สำหรับคนทั่วไปพิษของตะกั่วที่เกิดเป็นแบบสะสมกล่าวคือ ร่างกายรับสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วเข้าไปทีละเล็กทีละน้อยแต่มากกว่าที่ร่างกายจะขับออกไปได้

สาเหตุการเกิดอาการพิษของตะกั่ว เนื่องจากตะกั่วสามารถป้องกันการเกิดฮีโมโกลบิน (Hemoglobin)ของร่างกาย โดยสังเคราะห์ตัวที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฮีโมโกลบินเรียกว่า porphyries นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์บางชนิดที่มีหมู่ –SH อยู่ด้วย เช่น โคเอนไซม์เอ(CoA.SH) ทำให้ร่างกายเกิดอาการเป็นพิษผิดปกติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

อาการพิษของตะกั่ว อาจแสดงให้เห็นได้ดังนี้

1. ระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยจะเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก ปวดท้อง
2. ระบบประสาทส่วนปลาย ผู้ป่วยจะอ่อนแอ กล้ามเนื้อแขนขา เพลียไม่มีแรง ปวดตามมือ เท้าอาจเป็นอัมพาตได้
3. อาการทางสมอง มักพบในเด็กที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่สูง เช่น การกินหรือการสูดไอละอองตะกั่วจะเกิดอาการนอนไม่หลับ ฝันร้าย อารมณ์ฉุนเฉียว ไวต่อการถูกกระตุ้นมากกว่าปกติ สติคุ้มดีคุ้มร้าย ชักหมดสติ
4. ระบบเลือด จะเกิดโรคโลหิตจาง ซีด อ่อนเพลีย ตัวเหลืองตาเหลือง

2.5 วิธีการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีหลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ได้แก่คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนการบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

1) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพของสารต่างๆที่ละลายอยู่ในรูปสารละลาย(Soluble) ให้เป็นสารที่อยู่ในรูปไม่ละลาย(Insoluble)โดยวิธีการเติมสารเคมีผสมกับสารเคมีให้ทั่วถึง ซึ่งการตกตะกอนด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมที่ใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธีด้วยกัน คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์(Hydroxide) และการตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การตกตะกอนไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ทำได้โดยการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์($Ca(OH)_2$) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นต้น โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$M^{2+} + 2NaOH \longrightarrow M(OH)_2 + 2Na^+$$ โดย M^{2+} คือ โลหะไอออน

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัด คือ การตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ จะต้องมีค่าพีเอชที่เหมาะสม

ข. การตกตะกอนซัลไฟด์

การตกตะกอนซัลไฟด์ มักจะใช้สารเคมีในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์(Na_2S) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอรัสซัลไฟด์(FeS) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$M^{2+} + Na_2S \longrightarrow MS + 2Na^+$$ โดย M^{2+} คือ โลหะไอออน

ข้อดีของการตกตะกอนซัลไฟด์ คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนซัลไฟด์ มีข้อจำกัดคือ เรื่องของกลิ่นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันแก๊สที่เกิดขึ้น โดยบำบัดเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

2) ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation- Reduction)

วิธีนี้จะใช้มากในโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัดทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน(oxygen) โอโซน(ozone) คลอรีน(chlorine) ไฮโปคลอไรท์ และเปอร์แมงกาเนต(permanganate) ฯลฯ

3) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกจับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากันซึ่งสารแลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนไอออนจะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติหรือชนิดสังเคราะห์ จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้ามซึ่งไอออนที่มีประจุตรงข้ามนี้เป็นไอออนที่มีการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก จะเรียกว่า แคทไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchange) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบจะเรียกว่าแอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchange) วิธีนี้เหมาะสำหรับกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซินเพื่อจะทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

พบว่าวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงเพราะเรซินมีราคาแพง เรซินที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยการล้างด้วยกรด แต่ประสิทธิภาพของเรซินจะค่อยๆ ลดลงจนใช้ไม่ได้ในที่สุด

4) การออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลส อะซีเตทและโพลีเอมีน ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน Semipermeable Membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ดังนั้นแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการบำบัดขั้นต้นโดยการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงออก และการกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน วิธีนี้เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการล้างภาพ

5) การระเหย (Evaporation)

วิธีการระเหยน้ำออกนี้เป็นวิธีง่ายๆ ที่ใช้ในการทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งระเหยที่บรรยากาศ(Atmospheric Evaporation) และการระเหยภายใต้สูญญากาศ(Vacuum Evaporation) วิธีบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงเท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

6) อิเล็กโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นวิธีการแยกไอออนออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรง ร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เลือกเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละชนิด(Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนนี้อยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

7) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Sovent Extraction)

เป็นวิธีการแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยการเติมสารละลายซึ่งสามารถละลายโลหะหนักนั้นได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

8) การกรอง

เป็นกระบวนการแยกของแข็งออกจากน้ำ เนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและแขวนลอย ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว

9) การสกัดคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Recovery)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่มีอยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้มักไม่นิยมเพราะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

10) การดูดซับ (Adsorption)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการในการกำจัดสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โดยสารที่ใช้ในการดูดซับมักจะเป็นถ่านกัมมันต์(Activated Carbon) พวกถ่านที่ใช้มักมี 2 ลักษณะ คือแบบคาร์บอนเป็นเม็ด(Granular Carbon) มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.1 มิลลิเมตรและแบบคาร์บอนเป็นผง(Power Carbon) มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 200 เมช ซึ่งทำจากเมล็ดของแอลมอนด์ เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว ไม้อื่น ๆ หรือถ่านทั่วไป โดยถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้ได้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมากๆ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์ ที่นำมาใช้มีขนาดพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500 – 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การระเหยด้วยแสงอาทิตย์ (Solar evaporation)

ในปัจจุบันการใช้น้ำกลั่นซึ่งกลั่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นลำดับโดยเฉพาะการใช้ในห้องทดลองเคมีและเภสัชกรรม ทั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงานและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีหลายหน่วยงานที่ดำเนินการพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

2.6.1 การระเหย (evaporation)

การระเหยนั้นเป็นการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไออย่างช้าๆ และเกิดขึ้นเฉพาะผิวหน้าของเหลวเท่านั้นถ้ามีของเหลวชนิดหนึ่งอยู่ในภาชนะเปิด เมื่อตั้งทิ้งไว้จะพบว่าปริมาณของของเหลวจะลดลง เนื่องจากของเหลวบางส่วนกลายเป็นไอ ปรากฏการณ์ที่ของเหลวกลายเป็นไอเรียกว่า การระเหย การระเหยเกิดขึ้นได้ทุก ๆ อุณหภูมิด้วยอัตราการระเหยที่ต่างๆ กัน ของเหลวต่างชนิดกัน จะมีอัตราการระเหยไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวนั้น ของเหลวที่ระเหยง่ายแสดงว่ามีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวต่ำ ส่วนของเหลวที่ระเหยยากแสดงว่ามีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง การอธิบายปรากฏการณ์การระเหยอธิบายได้ดังนี้

ในขณะที่สารอยู่ในสถานะของเหลวโมเลกุลจะอยู่ใกล้กัน เมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่จึงเกิดการชนกัน และถ่ายเทพลังงานจลน์ให้แก่กัน โมเลกุลที่พลังงานจลน์สูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและอยู่บริเวณผิวหน้าของของเหลวจะหลุดออกไปจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นการที่ของเหลวระเหยกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่ง ซึ่งได้จากการชนกันระหว่างโมเลกุลของของเหลวนั่นเอง ระหว่างที่ของเหลวระเหยพลังงานจลน์ของของเหลวที่เหลือจะลดลง ของเหลวจึงดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาแทนพลังงานส่วนที่เสียไป การระเหยนี้จะเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อของเหลวได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

การระเหยเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน เราสามารถจะนำหลักการระเหยมาอธิบายว่า ทำไมจึงรู้สึกเย็นเมื่อเหงื่อระเหยออกไปจากร่างกาย เป็นเพราะว่าเมื่อเหงื่อระเหยจะดูดความร้อนจากร่างกายเข้ามาแทนพลังงานส่วนที่ใช้ไปในการเพิ่มพลังงานจลน์ เพื่อเปลี่ยนจากของเหลวเป็นไอ เราจึงรู้สึกเย็น

ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย ได้แก่

ก. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงของเหลวจะระเหยได้เร็ว แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำการระเหยจะช้า

ข. พื้นที่ผิวของของเหลว เนื่องจากการระเหยเกิดเฉพาะผิวหน้าของของเหลว ดังนั้น ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวมีพื้นที่ผิวมากจะระเหยเร็ว

ค. ชนิดของของเหลว ของเหลวมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก จะระเหยได้ยากกว่าของเหลวที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย

ง. ความดันบรรยากาศ ถ้าความดันบรรยากาศต่ำ ของเหลวระเหยได้ดี

การระเหยเมื่อเกิดขึ้นในภาชนะปิดจะมีกระบวนการควบแน่นเกิดขึ้นเสมอ

การควบแน่น (condensation) ขณะที่ของเหลวกลายเป็นไอ บางโมเลกุลจะเคลื่อนที่มาชนหรือมาใกล้ผิวของของเหลว ผิวของของเหลวจะดึงดูดให้กลับลงมาเป็นของเหลวตามเดิมอีก เรียกว่า การควบแน่น (condensation)

2.6.2 การกลั่น

การกลั่นเป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นไอโดยใช้ความร้อนแล้วทำให้ไอควบแน่นกลับเป็นของเหลวอีก การกลั่นใช้ในการทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ หรือใช้แยกของเหลวชนิดหนึ่งออกจากของเหลวอื่น ๆ ได้ ซึ่งของเหลวเหล่านั้นจะต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เรียกว่าการระเหย แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วสารที่ระเหยง่ายจะมีความดันไอสูงที่อุณหภูมิห้อง ส่วนสารที่ไม่ระเหยจะมีความดันไอต่ำ นั่นคือสารที่ระเหยได้ง่ายจะมีความดันไอสูงกว่าแต่จุดเดือดต่ำกว่าสารที่ไม่ระเหย เราทราบแล้วว่าของแข็งและของเหลวทั้งหลายมีแนวโน้มที่จะระเหยกลายเป็นไอได้ทุก ๆ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการระเหยกลายเป็นไอจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันภายนอก เช่นเมื่อบรรจุของเหลวชนิดหนึ่งในภาชนะปิด ของเหลวนั้นจะกลายเป็นไอจนกระทั่งมีความดันไอคงที่ซึ่งเป็นความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมินั้น ถ้าต้องการให้ของเหลวระเหยได้ตลอดเวลาหรือเกิดดีขึ้น จำเป็นจะต้องให้ไอเหนือของเหลวนั้นออกไป ซึ่งเป็นการลดความดันไอเหนือของเหลวนั้นนั่นเอง การกลั่นก็ใช้หลักการนี้ คือปล่อยให้ไอของสารที่ระเหยออกมา ออกไปแล้วควบแน่นเป็นของเหลวทำให้การกลั่นดำเนินต่อไปได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลสภาพอากาศ กรุงเทพมหานคร ปี 2544

ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความดัน (HPA)	1010	1009	1009	1008	1006	1006	1006	1006	1007	1009	1012	1013
อุณหภูมิ (^{o}C)	28.6	29.2	29.0	31.6	29.6	29.6	29.7	29.2	29.0	28.2	26.9	27.4
ความชื้น (%)	70	70	77	72	77	73	72	73	79	82	65	66
ระยะเวลาแสงแดด (HR)	209.6	234.8	197.8	256.8	205.1	158.0	181.3	142.4	166.0	154.9	217.2	219.8
การระเหย (ม.ม.)	120.5	120.3	120.0	158.1	135.4	135.3	138.6	138.1	111.4	90.2	109.6	111.3
ลม (KNOTS)	2.1	2.3	2.2	2.6	2.6	2.9	2.8	2.9	1.7	1.1	1.4	1.5
ปริมาณฝน (ม.ม.)	10.8	9.4	175.1	28.7	257.2	101.7	61.5	148.9	450.1	479.6	37.3	4.3

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร 2545

2.7 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ (cement) หมายถึง วัสดุที่ทำหน้าที่ประสานมวลและยึดเกาะทำให้เกิดพันธะกับชิ้นส่วนหรืออนุภาคของสารที่เป็นของแข็ง ปูนซีเมนต์ทำหน้าที่คล้ายกาว และมีการใช้ต่างๆตามวัตถุประสงค์

2.7.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ วัสดุซีเมนต์ที่ได้มาจากการผสมเข้าด้วยกันของสารที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต หรือวัสดุปูนขาวทนทานอื่นๆพร้อมทั้งสารที่ประกอบด้วยสารดินเหนียว (Argillaceous) และวัสดุอื่นๆ เช่น ซิลิกา อลูมินา หรือเหล็กออกไซด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
49273

ตามต้องการ จากนั้นนำมาทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 – 1,500 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้วัตถุดิบต่างๆจะถูกหลอมรวมกันเป็น Clinker ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง จากนั้นนำปูนซีเมนต์เม็ดที่เย็นตัวลงนี้มาบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ในขณะทำการบดจะมีการเติมยิบซัมลงไปเล็กน้อยประมาณ 6 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหน่วงเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมในปัจจุบัน เมื่อนำมาผสมกับ หิน กรวด ทรายและน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งทนทานคล้ายหิน

2.7.2 ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ส่วนประกอบหลัก

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนกับคุณสมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S ถูกกระทบโดยปริมาณยิปซั่ม ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 35 –55 เปอร์เซ็นต์

2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดย C_2S มีอยู่หลายแบบ มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่อยู่ตัว ณ อุณหภูมิทั่วไป βC_2S มีคุณสมบัติยึดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 15 –35 เปอร์เซ็นต์

3. ไตรแคลเซียมอลูมินา (C_3A) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเหลี่ยมมุม มีสีเทาอ่อน C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนจำนวนมาก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิปซั่มลงระหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ ปริมาณ C_3A ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 7 –15 เปอร์เซ็นต์

4. เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรด์ (C_4AF) จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็วมากและก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF ค่อนข้างต่ำปริมาณ C_4AF ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 5 –10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบรอง

1. ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) ยิปซัมจะถูกใส่เข้าไปขณะบดปูนเม็ด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์

2. Free Lime (CaO) จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากซีเมนต์แข็งตัวแล้ว ซึ่งอาจก่อให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหายได้ หรือที่เรียกว่า ซีเมนต์ไม่อยู่ตัว เนื่องจาก Lime

3. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่จะมี $MgCO_3$ ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะหลอมเป็นปูนเม็ด (ที่เหลือจะอยู่ในรูปของ MgO และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะเหมือนกับ CaO คือปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการไม่อยู่ตัว

4. อัลคาไลท์ออกไซด์ (Na_2O , K_2O) ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสีย ในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลท์มาผสมเป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย ยากต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลท์ ควรจะเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลท์ต่ำ

2.7.3 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ตามมาตรฐานทั่วไป ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีการผลิตใช้มากที่สุด เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาได้ แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง(Modifiod Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว(High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ ตราเอราวัณ ตราสามเพชร ตราพญานาคสีแดง ข้อควรระวังคือ ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะเกิดสูงมากในช่วงต้นอันอาจก่อให้เกิดโครงสร้างนั้นแตกร้าวได้

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทเกิดความร้อนต่ำ(Low Heat Portland Cement) ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้ครั้งแรกในประเทศอเมริกา เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

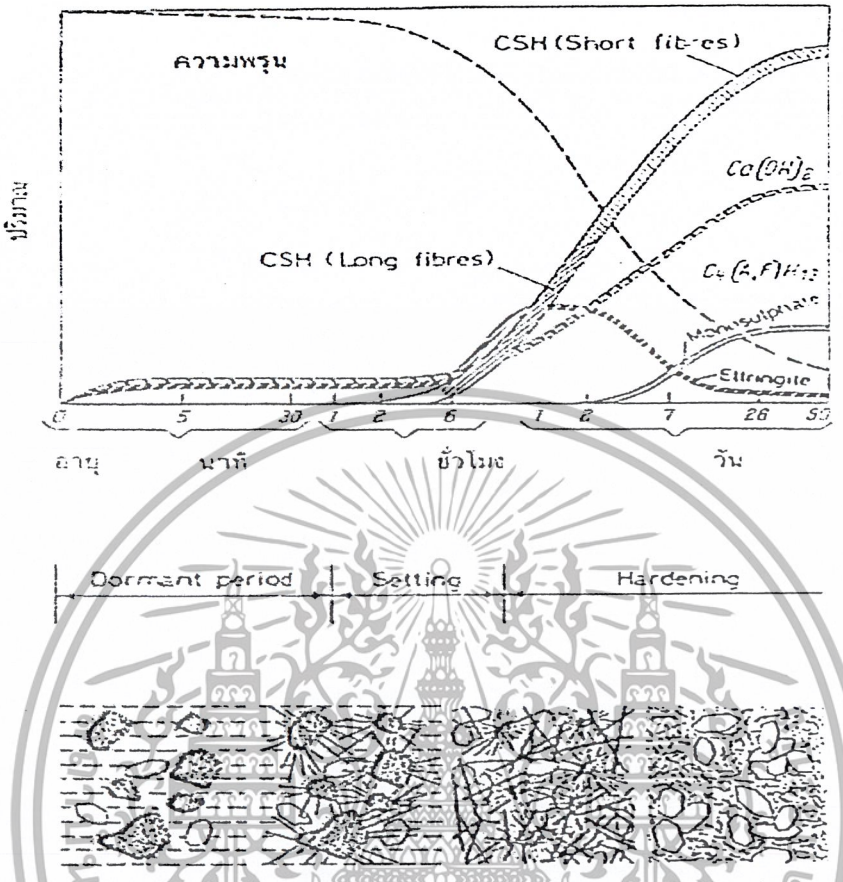
คอนกรีตหล่า(Mass Concrete) เช่น การสร้างเขื่อน เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นซึ่งเป็นการลดปัญหาความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนชนิดนี้ ปัจจุบันปูนประเภทนี้ถูกทดแทนโดยการใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับ Pulverlized Fuel Ash(PFA) และ Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS)

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภททนซัลเฟตได้สูง(Sulphate Resistance Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มี C_3A ต่ำเพื่อจะป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกมาทำลายเนื้อคอนกรีต เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟต ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังอัดช้าและให้ความร้อนต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดที่หนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้างฟ้าและตราปลาฉลาม

2.7.4 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ

การเติมน้ำในปูนซีเมนต์ผงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เรียกส่วนผสมในช่วงนี้ว่า ซีเมนต์ Paste ซึ่งในช่วงเวลา 2 – 3 นาทีหลังจากเติมน้ำจะเกิดผลึกคล้ายเข็มของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เรียกการทำให้ ซีเมนต์ Paste แข็งตัว (Stiffening) นี้ว่า การตกตัว(Setting) และเมื่อทิ้งไว้ 2 – 3 ชั่วโมงจะเริ่มเกิด ผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขนาดใหญ่และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(C-S-H) ขนาดเล็กโดยมีน้ำกระจายเข้าไปในโครงสร้างผลึกและรอบๆ เรียกว่า การยึด(Hardening) ซึ่งกำลังรับแรงอัดของ Paste จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการยึด โดยจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ไฮเดรชั่น(Hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียวและเกาะแน่นกับวัสดุผสม ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเรียกว่า Heat of Hydration วัดเป็นแคลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ ซึ่งบางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูงจะทำให้คอนกรีตเสียความแข็งแรงและเกิดหน่วยแรงต่างๆภายในเนื้อคอนกรีตเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์

ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้ คือ

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2 .3\,H_2O + 3Ca(OH)_2$$

2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2 .3\,H_2O + Ca(OH)_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3 . 6H_2O$$

$$3CaO.Al_2O_3 + CaSO_4 .2H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3 .3CaSO_4 .3H_2O$$

4. ไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

$$3CaO.Al_2O_3 .Fe_2O_3 + CaSO_4.2H_2O. Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3 .Fe_2O_3).3\ CaSO_4$$

รูปที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาซีเมนต์กับน้ำและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในซีเมนต์ Paste

จากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะก่อให้เกิดสภาพด่างในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความสามารถในการทำให้ซีเมนต์เป็นกลางโดยการตกตะกอนแคลเซียมซิลิเกตที่ไม่ละลายในรูปของแม่พิมพ์ซีเมนต์ เพื่อให้ความเข้มข้นของแคลเซียมมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอชมากกว่า 11 ซึ่งซีเมนต์ Paste ที่มีความเป็นด่างสูงด้วยผิวซิลิกาและออกซีไฮดรอกไซด์ (Shively,1986) สามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อม สำหรับการตกตะกอนโลหะที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือด่าง และปฏิกิริยาการดูด(Adsorption) เชิงซ้อน พบว่าโลหะหนักจะถูกดูดซับบนผิวซิลิกาและเหล็กออกซีไฮดรอกไซด์ โดยแคลเซียมซิลิเกตมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูง แต่ซีเมนต์ Paste อาจไม่ก่อตัวเป็นสารประกอบเนื่องจากการไม่ละลายของปูนขาวและอลูมินาบางส่วน ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ กับน้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่ แต่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับสารละลายกรด

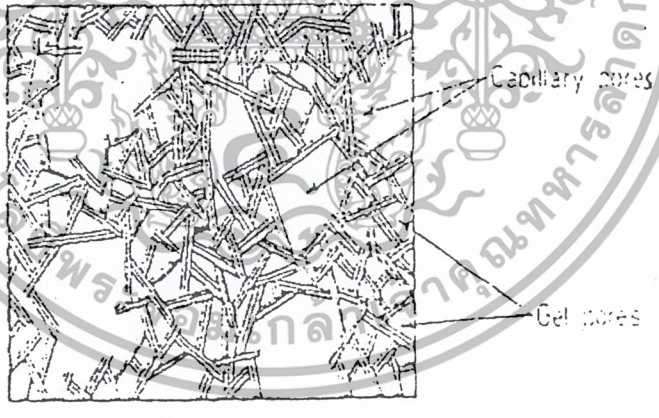
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของแร่ที่มีความเข้มข้นของซิลิกาอยู่มากในสิ่งแวดล้อม ในวัสดุที่เป็นซีเมนต์อื่นๆ ก็เช่นเดียวกันคือเกิดปฏิกิริยาคล้ายคลึงกันแต่จะมีความแตกต่างในส่วนประกอบทำให้ Stoichiometry ของผลิตภัณฑ์มีหลายชนิด

การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำเสียออกจากซีเมนต์ Paste หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มตัวจึงเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตที่สำคัญ เวลาที่ใช้เพื่อให้การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ขึ้นกับปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับการให้น้ำจากภายนอกด้วย

ช่องว่างของซีเมนต์ Paste

ซีเมนต์ Paste ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจะประกอบด้วย น้ำ รูพรุนซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ รูพรุนเจล (Gel Pores) และรูพรุนขนาดเล็ก (Capillary Pores) แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยรูพรุนเจ ลเกิดขึ้นในรูปของอนุภาคขนาดคอลลอยด์ มีลักษณะเป็นรูพรุนประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำเริ่มต้น ส่วนปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนเจลจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เริ่มต้น และระดับของปฏิกิริยาริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของซีเมนต์ Paste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Compressive Strength)ของซีเมนต์

กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตที่ยังอยู่ในสภาพเหลวมีความสำคัญในขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดีจะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว มีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. กำลังมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration ซึ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

การเปลี่ยนแปลงสมบัติมวลรวม เช่นการเปลี่ยนแปลงขนาดคละ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่างๆ จะส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตไม่มากนัก

2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังมอร์ต้าที่กำหนดให้ ความสามารถต้านแรงคอนกรีตจะขึ้นกับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า ซึ่งเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในหินขนาดใหญ่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง เนื่องจากเกิดน้ำในหินมากขึ้นและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางขนาดของมวลรวมจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงรวมทั้งการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมก็ทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นด้วย

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยวขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆ นอกจากนี้ ทิศทางในการหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทิศทางในการให้น้ำหนัก ก็มีผลต่อกำลังรับแรงอัดเช่นกัน เนื่องจากจะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้าต่ำลง

2.7.6 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีดแข็งตัวแล้ว

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ

1. ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต
2. รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลัง และความทนทาน
2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่ม อาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งอย่างนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียในระยะยาว

การผันแปรของกำลังคอนกรีต

การผันแปรของกำลังอัดคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรืออาจเป็นการผสมกันของหลายๆสาเหตุ ได้แก่

1. ใช้สัดส่วนที่ไม่เหมาะสม
2. ควบคุมปริมาณน้ำไม่ดีพอ
3. ควบคุมปริมาณฟองอากาศไม่ดีพอ
4. การผสมไม่ดีพอ
5. มีสารอินทรีย์ต่างๆ มากเกินข้อกำหมด
6. ใช้หินทรายที่สกปรก
7. ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ
8. ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
10. การบ่มไม่เพียงพอ
11. การลำเลียงและการทดสอบไม่ถูกต้อง
12. อุณหภูมิผันแปรไป

ความเสียหายของคอนกรีต

คอนกรีตในโครงสร้างต่างๆ อาจเกิดความเสียหายหรือขาดความทนทานอันเนื่องจากสภาพแวดล้อมหรือสภาพการใช้งานที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ความเสียหายเกิดขึ้นเมื่อเริ่มใช้งานหรือบางครั้งเกิดขึ้นหลังจากการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตนั้นไปช่วงระยะเวลาหนึ่งและความเสียหายนี้อาจเกิดมาจากหลายสาเหตุภายในหรือภายนอกคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 สาเหตุ คือ

ด้ายกายภาพ เช่น ความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน ความเย็น การเปียกและแห้งสลับกันไป น้ำหนักบรรทุกมากเกิน ความล้า อุบัติเหตุ

ด้านเคมี เช่น การซึมผ่านของสารเคมีเข้ามากัดกร่อนคอนกรีตและสนิมเหล็ก การกระทำของแบคทีเรีย

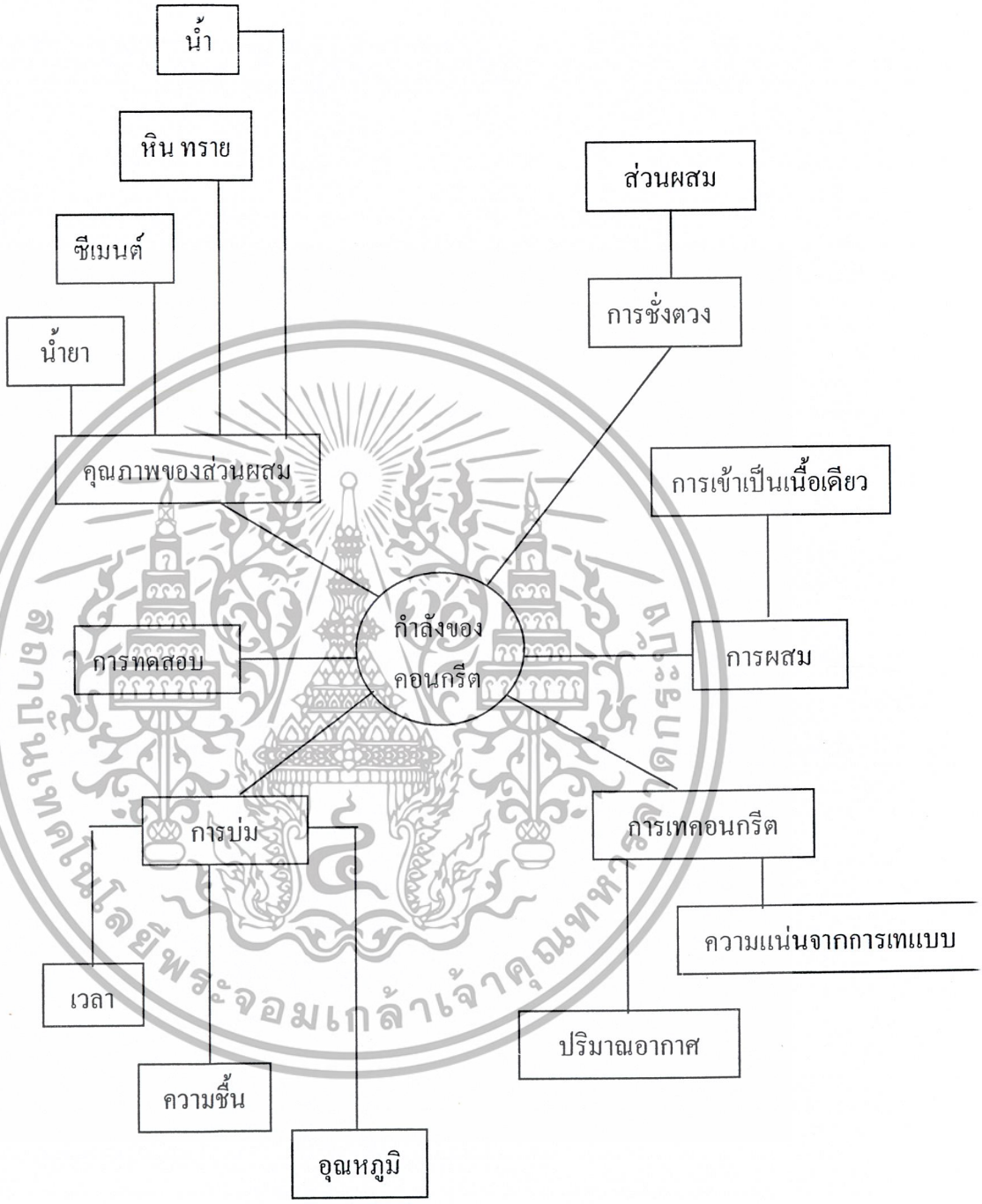
ด้านกล เช่น การเสียดสีจนเกิดความเสียหาย การกัดกร่อนโดยแรงลม

ขอบเขตของความเสียหายขึ้นกับองค์ประกอบเฉพาะที่มาเกี่ยวข้องอันได้แก่ คุณภาพของคอนกรีต ความหนาแน่นคอนกรีต และความรุนแรงของสภาพแวดล้อม เป็นต้น

การลดความเสียหาย

ความเสียหายของคอนกรีตในโครงสร้างต่างๆ สามารถลดลงได้โดยพิจารณาสภาพแวดล้อม สภาพการใช้งานของโครงสร้างนั้นอย่างละเอียดก่อนการออกแบบ จากนั้นควรเลือกออกแบบและใช้ข้อกำหนดของคอนกรีตที่เหมาะสมในขั้นตอนการออกแบบ ส่วนในขั้นตอนการก่อสร้างจำเป็นต้องมีการควบคุมเป็นอย่างดี ทั้งขั้นตอนการผสม การเขย่า การแต่งผิวและการบ่ม รวมทั้งการบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การยับยั้งและทำลายฤทธิ์ของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน

การทำให้เป็นก้อนเป็นกระบวนการบำบัดของเสียอันตรายเพื่อกำจัดความเป็นพิษของเสีย วิธีการนี้ออกแบบมาเพื่อป้องกันการละลายของสารเคมีที่เป็นของเสียอันตรายและการปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม

2.8.1 กลไกการจับยึดโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์

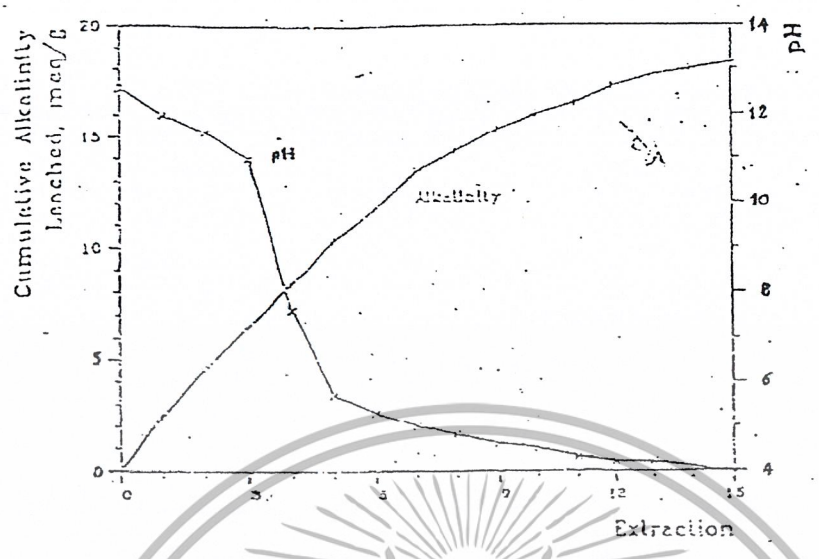
ได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการจับยึดโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์หลายท่านดังนี้

(Bishop,1988) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการชะละลายโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้ของเสียสังเคราะห์ที่เป็นโลหะไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียมและตะกั่ว โดยศึกษาถึง Buffer capacity ของวัสดุที่แข็งตัวจากการกำจัดโลหะของโลหะหนักชนิดต่างๆในของเสียที่ถูกทำให้เป็นก้อนสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer capacity)

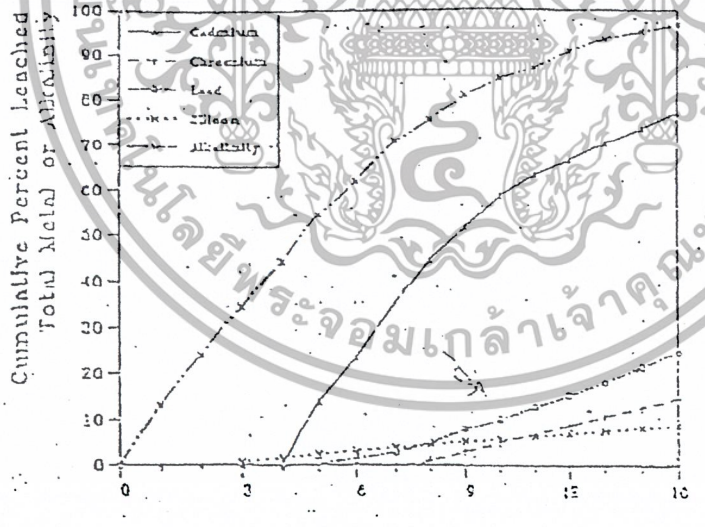
จากการทดสอบการชะละลายกับของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์โดยการชะละลายของเสียที่แข็งตัวด้วยกรดอะซีติก แล้วทำการชะละลายติดต่อกันอีกเป็นจำนวน 15 ครั้งนำมาตรวจวัดค่าพีเอชและค่าความเป็นด่าง(alkalinity) แล้วนำไปเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อทำการชะของเสียที่แข็งตัวหลายๆครั้งพบว่า ค่าพีเอชของกรดที่ผ่านการชะละลายแล้วจะลดลงเรื่อยๆจนเกือบจะคงที่ ในครั้งที่ 15 ส่วนค่าความเป็นด่างสะสม (cumulative alkalinity) จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยในครั้งที่ 15 ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายได้จะเหลือน้อยมากซึ่งมีค่าประมาณ 1.7 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเป็นด่างสะสมทั้งหมด โดยค่าความเป็นด่างจะถูกชะละลายออกมามากในช่วงต้นและลดลงตามลำดับจนครั้งที่ 15 ค่าความเป็นด่างสะสมถึงค่าการชะละลายในครั้งที่15มีค่าเท่ากับ 18.3 มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อกรัมซึ่งถือว่าเป็นค่า buffer capacity ของของเสียที่แข็งตัว ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายออกมาแต่ละครั้งนี้ จะเป็นตัวควบคุมค่าพีเอชของการชะละลายโดยการสะเทินกรดอะซีติกที่ใช้ในการทดลองให้เป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างจากการทดสอบการชะละลาย(Bishop,1988)

2) กลไกการยึดจับโลหะหนัก (Mechanism of fixation)



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายกับ ค่าความเป็นด่างของซิลิกอนจากการทดลองการชะละลาย

จากกราฟรูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลาย (แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว) กับค่าความเป็นด่างและซิลิกอนที่จะถูกชะละลายมากขึ้น เมื่อค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชลดลงต่ำกว่า 6.0 จากการทดลองที่ ผ่านมาหลายๆครั้งทำให้ทราบว่าโลหะหนักอาจจะอยู่ในโครงสร้างของๆเสียแข็งตัวในรูปต่างๆ เช่น อยู่ในรูพรุนของโครงสร้างภายในของเสียที่แข็งตัว ถูกเกาะติดกับผนังรูพรุนและทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบในซีเมนต์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคดเมียมจะถูกชะละลายออกมาได้น้อย

กรณีที่โลหะถูกล้อมอยู่ในของแข็งหรืออยู่ในรูพรุนหรือเกาะติดผิวรูพรุนแล้ว โลหะหนักเหล่านี้ควรจะถูกชะละลายออกมาคล้ายกับการชะละลายของค่าความเป็นด่าง(alkalinity) จากรูป 2.6 ที่เส้นกราฟของแคดเมียมสะสมถูกชะละลายออกมาคล้ายคลึงกับเส้นกราฟของค่าความเป็นด่างสะสมที่ถูกชะละลายออกมาดันนั้นจึงตั้งสันนิฐานได้ว่าแคดเมียมอาจจะอยู่ในรูปของเสียที่แข็งตัวอยู่ในรูปแคดเมียมไฮดรอกไซด์ โดยอยู่ตามรูพรุนและเกาะติดอยู่กับผนังของรูพรุน

สำหรับโครเมียมและตะกั่วนั้นเมื่อพิจารณาดูจากเส้นกราฟแล้วจะมีรูปของการถูกชะละลายคล้ายกับการชะละลายคล้ายของซิลิกอนซึ่งเป็นสารที่อยู่ในรูปส่วนประกอบของซีเมนต์และทราย ดังนั้นจึงเชื่อว่าโครเมียมและตะกั่วจะถูกยึดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนมากกว่าเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูพรุน การชะละลายของโครเมียมและตะกั่วค่อนข้างยากที่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่พีเอชต่ำๆ และต่ำกว่าพีเอชการชะละลายของแคดเมียม อัตราการชะละลายของโลหะหนักทั้งสองนี้มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับอัตราการชะละลายที่คาดคะเนจากการชะละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ แสดงว่าโลหะทั้งสองนี้จะเกาะติดกันอย่างแข็งแรงภายในโครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกาและถูกชะละลายออกมาเมื่อโครงสร้างของซิลิกาถูกทำลาย

ภายหลังการทดสอบการชะละลายได้วิเคราะห์หาน้ำหนักแห้งของสารทั้งหมดพบว่าหลังจากการทดลองการชะละลาย 15 ครั้ง ปริมาณสารที่ถูกชะละลายออกไปประมาณ 50–70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดก่อนการทดลอง แต่ถ้ายังมีโลหะหนักเหลืออยู่โดยมีแคดเมียม โครเมียมและตะกั่วเหลืออยู่ 50, 85 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีโลหะที่เป็นสารประกอบโดยปกติในซีเมนต์ได้แก่ อะลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกอนเหลืออยู่ 90, 80 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแคดเมียมเหลืออยู่ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์ที่แข็งตัวสามารถยึดติดกับโลหะหนักได้ดีและยากที่จะทำการชะละลายโลหะหนักออกจากซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

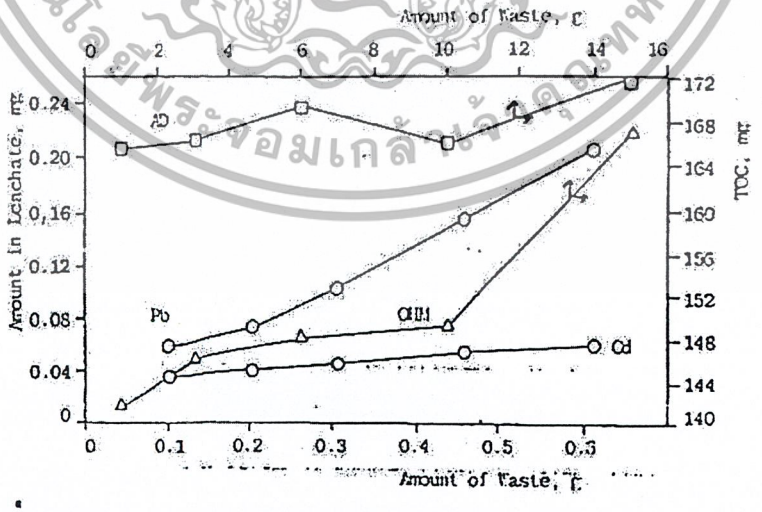
2.8.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน

(Shin และ Sujiwatthana)1988ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนในด้านความสามารถในการถูกชะละลาย และความสามารถในการรับแรงอัดของเสียที่ถูกทำให้เป็นก้อนแล้วในการทดลองนี้ได้ใช้เทคนิคแบบ Cement / Silicate - Based ซึ่งทำการทดลองกับแคดเมียม ตะกั่ว อัลดริน และคลอเดน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการถูกชะละลายและความสามารถในการรับแรงอัด คือ

1) ปริมาณของเสียอันตรายในตอนเริ่มแรก

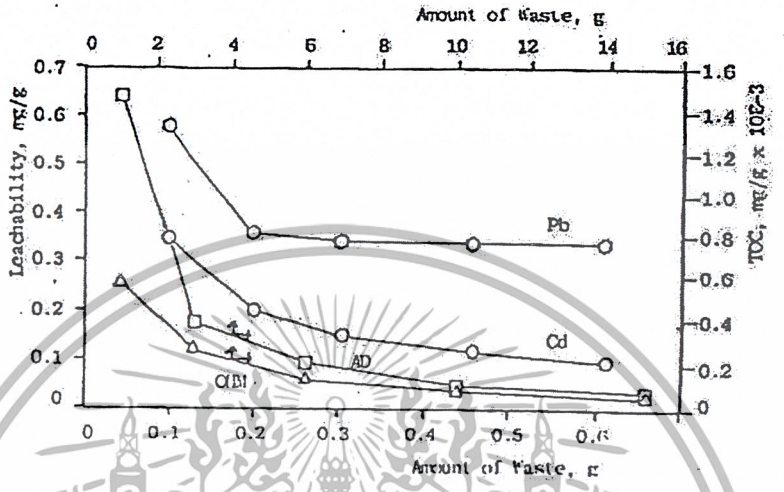
1.1) จากการทดสอบการสกัด โดยสกัดของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์ด้วยกรดอะซีติกโดยใช้เครื่อง Orbital (รุ่น Gallenkamp SD-125) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Total Organic Carbon(TOC)และโลหะหนักในสารที่ใช้สกัดจากนั้นนำไปสกัดต่ออีก 24 ชั่วโมงและตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ TOD และโลหะหนักอีกครั้ง จากผลการทดลองนำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นปริมาณของเสียที่ถูกชะละลายออกมาก็จะมากขึ้นด้วย นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแคดเมียมและตะกั่วในน้ำชะละลายมีปริมาณน้อยกว่า อัลดรินและคลอเดน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในซีเมนต์มีปริมาณความเป็นด่างสูงในรูปของซิลิกาและ Oxyhydroxides และเป็นเพราะว่าแคลเซียมซิลิเกต มีความสามารถยึดติดกับโลหะสูง อีกเหตุผลหนึ่งก็คือการทำให้ของเสียอินทรีย์แข็งตัวด้วยซีเมนต์นั้นของเสียอินทรีย์ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่ทำให้คอนกรีตแข็งตัว



รูปที่ 2.7 แสดงกราฟปริมาณของเสียชนิดต่างๆ ในน้ำชะละลาย(Shin และ Sujiwatthana)

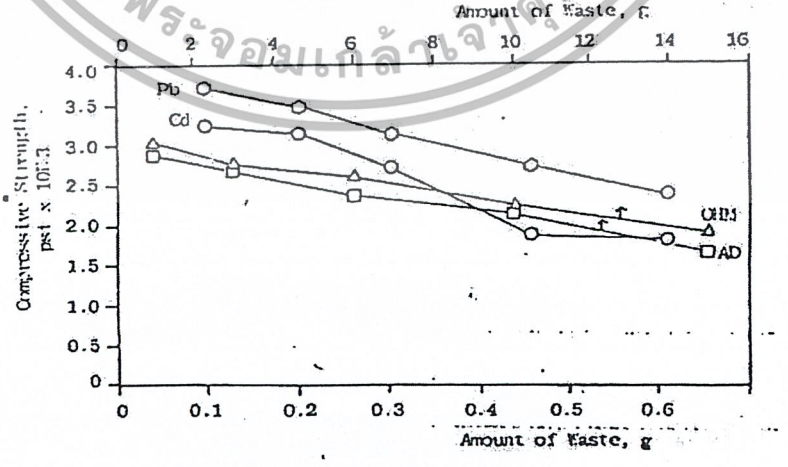
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของเสียในน้ำชะละลายจะเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการเพิ่มปริมาณของเสียตอนเริ่มต้น ดังนั้นค่าความสามารถในการถูกชะละลาย จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเสียในตอนเริ่มต้น



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงปริมาณของเสียชนิดต่างๆ ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย (Shin และ Sujiwatthana)

1.2) จากการทดสอบค่ากำลังการรับแรงอัดมาตรฐาน ASTM C – 109 – 64 จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าถ้ามีปริมาณของเสียในซีเมนต์เพสต์น้อยลงจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพิ่มขึ้น เพราะว่าของเสียจะขัดขวางคุณสมบัติการแข็งตัวของซีเมนต์



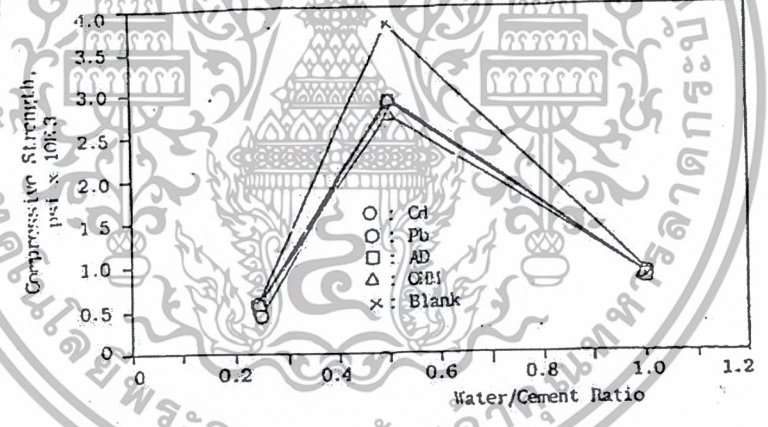
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงผลของปริมาณของเสียต่อค่ากำลังรับแรงอัด (Shin และ Sujiwatthana)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

2.1) จากการทดสอบการชะละลาย พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 จะมีค่าความสามารถในการถูกชะละลายต่ำที่สุด อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ มีผลต่อค่าความพรุนของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว ปริมาณน้ำที่เติมในซีเมนต์น้อยเกินไป จะทำให้ระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และการเกิดผลึก ไม่ดีและไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดการรั่วไหลของของเสียมากขึ้น แต่ถ้าหากเติมมากเกินไปจะทำให้เกิดความพรุนซึ่งจะทำให้เพิ่มโอกาสการรั่วไหลของของเสียได้มากขึ้น

2.2) จากการทดสอบค่ากังลังรับแรงอัด จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 จะทำให้ได้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุด ทั้งนี้เป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่า การที่มีปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และมีความพรุนที่ไม่เหมาะสมทำให้ลดความสามารถในการรับแรงอัดได้



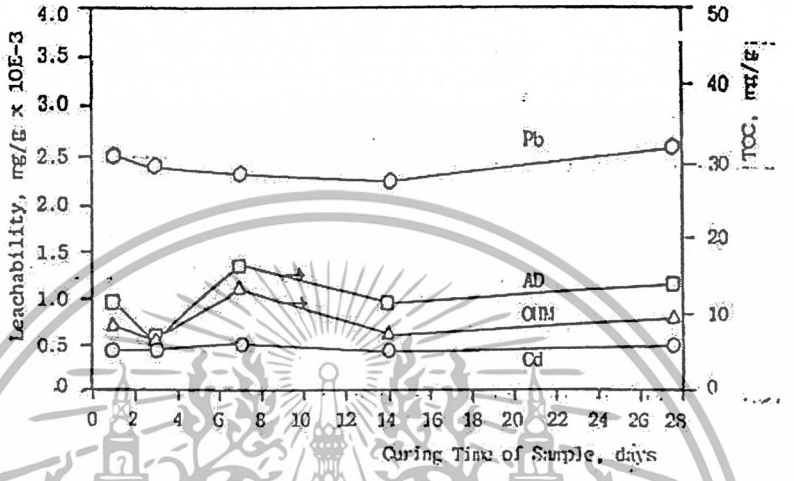
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงผลของอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่อกำลังรับแรงอัด

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มซีเมนต์

รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นได้ว่าการที่มีระยะเวลาการในการบ่มซีเมนต์นานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดได้ดีขึ้น แต่ว่าค่าความสามารถในการถูกชะละลายนั้นไม่ขึ้นอยู่กับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทั้งนี้การรั่วไหลของของเสียต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับกลไก 2 ประการคือ การตกตะกอนแบบดูดติดผิว (Adsorption - Precipitation)และการกำจัดการละลายของเสียของโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างของซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการแปรค่าระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์จึงไม่มีผลต่อการชะละลายของของเสีย แต่จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงผลของระยะเวลาการบ่มก้อนซีเมนต์ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย (Shin และ Sujiwatthanna,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rijal (1990) ได้แบ่งกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อนอยู่ 7 วิธี โดยแต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสียแตกต่าง โดยการจะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งในการบำบัดควรเลือกให้ถูกกับลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะของของเสียด้วย

ตารางที่ 2.2 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน

กระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification)	รายละเอียดของกระบวนการ
1. Cement Based	ของเสียจะถูกผสมลงในซีเมนต์ น้ำและส่วนผสมอย่างอื่นๆ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2. Pozzolanic (Lime Based)	ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาว และวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่เตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติที่แข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แข็งตัว
3. Thermoplastic	นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น bitumen , parafin หรือ polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสียชั้นแรกจะถูกผสมกับโพลิเมอร์(gelling agent หรือ formadehyde) และเติมสารคะตะลิสต์ ผสมให้เข้ากันก่อนสารโพลิเมอร์แข็งตัว
5. Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวกันแน่น แล้วเคลือบผิวนอกของของเสียที่ถูกอัดด้วยสารเฉื่อย เช่น polyethylene หรือ Organic resine
6. Self-cementing	สารที่มีลักษณะเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟด์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถนำมาใช้ผสมกับตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทราย แล้วหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้วหรือ synthetic silicate mineral เพื่อป้องกันไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วยน้ำสามารถนำไปกำจัดต่อไปไม่ต้องมีกระบวนการหุ้มหรือบรรจุครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน (Shukrow และ คณะ 1982)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
1.Cement Based	Chemical Fixation solidification	แห้งหรือเปียก (โดยทั่วไปเหมาะกับของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์)	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - ทนทานต่อสภาพการเปลี่ยนแปลง - กำจัดของเสียที่เป็นโลหะหนักได้ดี - เป็นเทคโนโลยีที่ได้การพัฒนาดีแล้ว	- ของเสียที่เป็นสาร อินทรีย์บางชนิดทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์ - ซีเมนต์และของเสียที่แข็งตัวแล้วถูกชะล้างได้ในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ - เพิ่มน้ำหนักของของเสียและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการฝังกลบ
2.Pozzolanic (Lime Based)	Chemical Fixation solidification	แห้งหรือเปียก (เหมาะกับของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์)	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - เป็นเทคโนโลยีที่ได้การพัฒนาดีแล้ว - การใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมเป็นการกำจัดของเสีย 2 ชนิดโดยใช้กระบวนการเดียวกัน	- เหมือนกับกระบวนการประเภท Cement Based
3.Thermoplastic Based	Physical Fixation	แบบแห้ง (เหมาะกับสารอนินทรีย์)	- สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้เป็นอย่างดี - สารละลายที่ชะล้างมีผลต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก	- ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพงและใช้แรงงานที่มีราคาแพง - ของเสียชนนิดเปียกจะลดประสิทธิภาพของกระบวนการ - ไม่สามารถใช้กำจัดสารพวก Strong Oxidants, dehydrated salts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) เปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน (Shukrow และ คณะ 1982)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
4. Organic Polymer Process	Physical Fixation	แห้งหรือเปียก (สารอนินทรีย์ที่เป็นพิษ	- ใช้สารปริมาณน้อยในการทำให้เกิด Polymer's matrix - ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง	- ของเสียจะถูกยึดไว้ใน Polymer อย่างหลอม ๆ - สารที่มีพีเอชต่ำจะทำให้โลหะละลายออกมาได้มากขึ้น - การย่อยสลายทางชีวะของสาร Polymer บางชนิดทำให้เกิดปัญหาในการฝังกลบ
5.Encapsulation	Chemical Containment	แห้งหรือเปียก	- ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี - ไม่มีการชะล้างของของเสียออกมา เมื่อสารที่หุ้มห่ออยู่ไม่ถูกทำลาย - ค่าใช้จ่ายในรอบการใช้งานต่ำกว่าวิธีอื่นๆ	- การชะล้างของเสียจะเกิดขึ้นเมื่อสารที่หุ้มถูกทำลาย - ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ต้องกำจัดของเสียเป็นจำนวนมากๆ
6. Self Cementing	Chemical Fixation	แห้งหรือเปียก	- กระบวนการนี้ต้องการสารเติมในส่วนผสมซีเมนต์ ซึ่งจะช่วยให้ซีเมนต์แข็งตัวเร็วมาก	- ของเสียที่เป็นสาร อินทรีย์บางชนิดทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์ - ส่วนผสมของซีเมนต์และของเสียที่ไม่ได้มีการห่อหุ้มสามารถถูกย่อยสลายและถูกชะล้างได้ภายใต้สภาวะที่มี pH ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) เปรียบเทียบกระบวนการและข้อดีข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน (Shukrow และ คณะ 1982)

ประเภทของกระบวนการ	กระบวนการ	ประเภทของเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
7. Glassification (Vitrification)	Physical Fixation	แบบแห้ง	- ของ ที่ถูกหลอมด้วยแก้วจะถูกชะล้างได้น้อย มาก - การบรรจุหรือหุ้มห่ออยู่ในเกณฑ์ดี - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก	- อุณหภูมิสูงอาจทำให้ของเสียระเหยออกมา - ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากสำหรับการทำให้ความร้อน อุปกรณ์ และต้องการผู้ชำนาญงานเฉพาะ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการกำจัดของเสียทุกชนิด ยกเว้นสารกัมมันตภาพรังสีและสารมีพิษมากๆ

สำหรับโครงงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธี Cement Based มาใช้ในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโครเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติเคมีหลังจากผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

2.9 Cement Based

Cement Based เป็นวิธียับยั้งและทำลายฤทธิ์โลหะหนักวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาดีแล้วโดยของเสียจะถูกผสมลงในซีเมนต์ น้ำและส่วนผสมอย่างอื่นๆ ได้แก่ เถ้าลอย ซิลิเกต ซัลไฟด์ เป็นต้น โลหะหนักหลายชนิดในของเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และซิลิเกตที่ไม่ละลายน้ำในสภาพแวดล้อมซึ่งมีความเป็นด่างสูงมากในปูนซีเมนต์และจะถูกจับไว้ในช่องว่างของโครงสร้างของส่วนผสมของซีเมนต์ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์ ซึ่งก้อนซีเมนต์ที่ได้จะทนทานต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ได้จากวิธี Cement Based

เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ได้จากวิธี Cement Based ตามหลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถรับแรงอัด(Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐานASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย

2. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด(Leachant หรือ extraction fluid)เป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร(Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ก่อนการนำไปฝังกลบ

4. ค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วในน้ำสกัด จากก้อนซีเมนต์

โครเมียม	ไม่เกิน	5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว	ไม่เกิน	5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.11 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุซีเมนต์ สรุปได้ดังนี้

Shively และคณะ(1986) ศึกษาการชะละลายโลหะหนัก 4 ชนิด คืออาร์เซนิค แคดเมียม โครเมียมและตะกั่วในของเสียที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 2 โดยทำการชะละลายติดต่อกัน 15 ครั้ง พบว่า

- อาร์เซนิคและแคดเมียม ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง สำหรับโครเมียม และตะกั่วไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด

-ความเข้มข้นของโลหะที่ถูกชะละลายมีค่าต่ำกว่าค่าที่ทำนายจากการชะละลายไฮดรอกไซด์ 100 – 10,000 เท่า

- การชะละลายของโลหะหนักแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก แคลเซียมไฮดรอกไซด์สะเทินกรดพีเอชของน้ำสกัดมากกว่า 10 การชะละลายของโลหะหนักถูกกำจัดโดยกลไก sorption–precipitation ช่วงที่สองเป็นช่วงที่โลหะหนักถูกชะละลายสูงสุด เนื่องมาจาก desorption เมื่อพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำลง ช่วงที่สามพีเอชของน้ำสกัดน้อยกว่า 6 โลหะหนักที่มีความสามารถในการละลายต่ำเริ่มจะละลายออกมา แต่ถูกกำจัดโดยกลไก diffusion

Jaggi(1988) ศึกษาประสิทธิภาพในการทำกากของเสียอันตรายให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขี้เถ้าแกลบและซีเมนต์ก้นเตา กากของเสียอันตรายที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกากของเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งมีแคดเมียมและตะกั่วเจือปน และสลัดจ์จากโรงงานผลิตยาฆ่าแมลง ซึ่งมีสารอัดรินเจือปน เมื่อทำการทดสอบการชะละลายและกำลังรับแรงอัด พบว่า

- การชะละลายจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของกากของเสียในก้อนตัวอย่าง และอัตราส่วนของพื้นที่ผิว ต่อ ปริมาตรของก้อนตัวอย่าง แต่จะเป็นอัตราส่วนผกผันกับค่าพีเอช แรกเริ่มของสารละลายที่ใช้ในการสกัด

- ปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังแรงอัดลดลง

- อัตราส่วนน้ำต่อ ซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และ 0.35 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับกากของเสียอนินทรีย์ และกากของเสียอินทรีย์ตามลำดับ

- การใช้ขี้เถ้าแกรบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัสดุประสานที่เหมาะสมสำหรับกากของเสียจากโรงงานชุบโลหะ

- การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ทำให้แคดเมียมถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุด

-การใช้ซีเมนต์ก้นเตาเป็นวัสดุประสานทำให้ค่าการชะละลายต่ำที่สุดและมีกำลังรับแรงอัดพอเพียงสำหรับการบำบัดของกากของเสียจากยาฆ่าแมลง

Shin, Her และ Koo(1988) ศึกษาปัจจัย 4 ประการที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 คือ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณสลัดจ์ และปริมาณ precipitator ของเสียเป็นสลัดจ์ของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดและทดสอบการชะละลายด้วยวิธี EP toxicity พบว่า

- อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ทำให้การชะละลายของสังกะสีและโครเมียมลดลง

- อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์มีผลต่อการชะละลายของโครเมียมมากที่สุด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลต่อการชะละลายของสังกะสีมากที่สุด

- ปริมาณ precipitator ไม่ค่อยมีผลต่อกำลังรับแรงอัดและการชะละลายมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณสลัดจ์เพิ่ม ส่งผลให้สังกะสีและโครเมียมถูกชะละลายออกมามากขึ้น

- เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ทำให้ระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการเกิดผลึกสูง เมื่อผ่านการบ่มน้ำจะระเหยออกไปคงเหลือแต่รูพรุนในตัวอย่าง ทำให้อัตราซึมน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โลหะหนักถูกชะละลายออกมามาก

Chang(1989) ศึกษาการทำโลหะหนักให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์และเถ้าแกลบ โดยใช้โลหะหนักสังเคราะห์ของโครเมียม ทองแดง และปรอท จากผลการวิจัยพบว่ากลไกการยึดจับโลหะหนักเป็นปัจจัยสำคัญในการชะละลายของโลหะหนัก

- การชะละลายของโครเมียมในซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ(1:1) จะสูงกว่าการใช้ซีเมนต์อย่างเดียวในขณะที่การชะละลายของทองแดงและปรอทในซีเมนต์อย่างเดียวสูงกว่าซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ

- ทองแดงและปรอทจะยึดจับกับซีเมนต์โดยอยู่ในรูพรุน หรือติดกับซีเมนต์การชะละลายจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่าง จากการวิเคราะห์น้ำสกัดจะพบว่าค่าความเป็นด่างมีค่าสูงขึ้นตามค่าการชะละลายของทองแดงและปรอท

- การใช้ซีเมนต์เหมาะสำหรับโครเมียม และการใช้ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบเหมาะสำหรับทองแดงและปรอท

Youn(1990) ศึกษาการทำตะกอนน้ำเสีย COD จากห้องทดลองให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุประสาน พบว่า

- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และ 0.9 เหมาะสำหรับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบ โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูง

- เมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนในปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนในปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบจะมีแนวโน้มให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

- เมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบ ค่าการชะละลายจะมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่ปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบจะให้ค่าการชะละลายน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะมีผลต่อกำลังรับแรงอัด ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงทั้งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่ากำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สูงขึ้นตามเวลาการบ่มก้อนตัวอย่างในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้ปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นในช่วงแรกของการบ่มก้อนตัวอย่าง(ประมาณ 7 วัน)หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง

- ค่าการชะละลายมีค่าลดลงเมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างนานขึ้นทั้งปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์และปูนขาวผสมขี้เถ้าแกลบ

Shin, Koo , Kim และ Yoon(1990) ศึกษาการชะละลายของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม โครเมียมและตะกั่ว ในของเสียที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย โดยใช้สารสกัด 3 ชนิด คือ น้ำทะเล น้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดและน้ำกลั่นพบว่า

- ถ้าเติมเถ้าลอยลงในส่วนผสมจะมีผลให้ค่าพีเอชของน้ำสกัดลดลงและการชะละลายของโลหะหนักเพิ่มขึ้น

- ในช่วง 60 วันที่ทำการชะละลาย ปริมาณแคดเมียมที่ถูกชะละลายออกมาในน้ำทะเลมีค่าสูงขึ้นตามเวลา แต่โลหะหนักอื่นมีค่าต่ำลง

-ภายหลังการทดสอบ 60 วันน้ำหนักของตัวอย่างลดลงเนื่องจากปูนขาวและโลหะหนักถูกชะละลายออกมา จากการวิเคราะห์ SEM และ XRD พบว่าปูนขาวถูกชะละลายออกมา ขณะที่แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต Ettringite และที่ยิปซัมยังอยู่

Claudio(1991) ศึกษาการทำการสกัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าด้วยการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โปโซลานิกซีเมนต์และซีเมนต์ก้นเตาเป็นวัสดุประสาน พบว่า

- การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการทำการเสถียรโลหะ เช่น แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และโลหะอื่นๆ เช่น โครเมียม นิเกิล ทองแดง และสังกะสี ซึ่งเจือปนอยู่ในน้ำสลัดจ์

- ปริมาณโลหะต่างๆในน้ำสลัดจ์ มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม

-ส่วนผสมของสลัดจ์กับปูนซีเมนต์ที่มีอายุ 90วันขึ้นไปจะมีความคล้ายคลึงกับคอนกรีตโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cheng และ Bishop(1992) ศึกษาการกระจายตัวของโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียมและอาร์เซนิค ในแท่งซีเมนต์ก่อนและหลังการทดสอบการชะละลายด้วยกรดอะซีติก ตัวอย่างจะถูกหล่อเป็นรูปทรงกลม โลหะหนักถูกวิเคราะห์โดยวิธี SEM ,EDX ,Wet Digestion/AA Methode จากผลการวิจัยพบว่า

- บริเวณผิวของตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยกรดอะซีติก แคดเมียมส่วนใหญ่ในองค์ประกอบของซีเมนต์จะถูกชะละลายออกมาในขณะที่ซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียม ยังคงเหลืออยู่ และสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการดูดซับและดูดติดผิวได้ดี

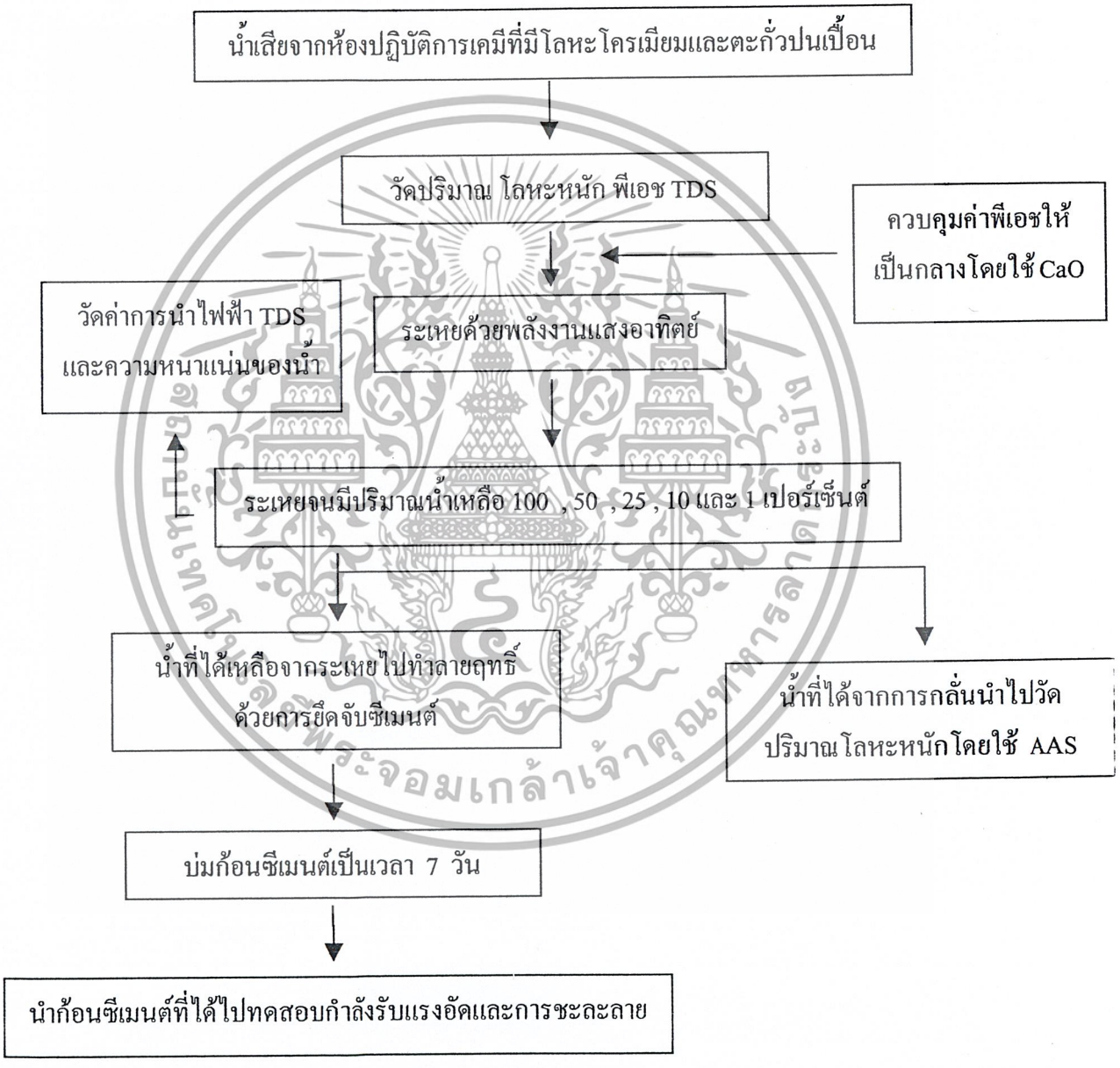
- จากการวิเคราะห์โลหะหนักในก้อนตัวอย่าง พบการชะละลายของโลหะหนักจะเกิดเฉพาะบริเวณผิวหน้าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัยสรุปได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

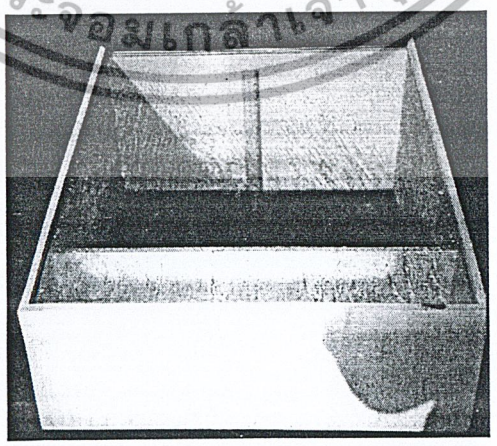
3.1 ศึกษาการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์และวัสดุ

1. ถังปฏิกรณ์ระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
2. ถังน้ำพลาสติกขนาดใหญ่
3. ขวดวัดปริมาตร
4. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
5. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductimeter)
6. กระบอกตวง
7. ถ้วยระเหย
8. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer:AAS)

สารเคมี

1. ปูนขาว (CaO)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3)
4. โครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3)
5. ตะกั่วไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) ชนิดผง
6. น้ำปราศจากไอออน(น้ำ DI)



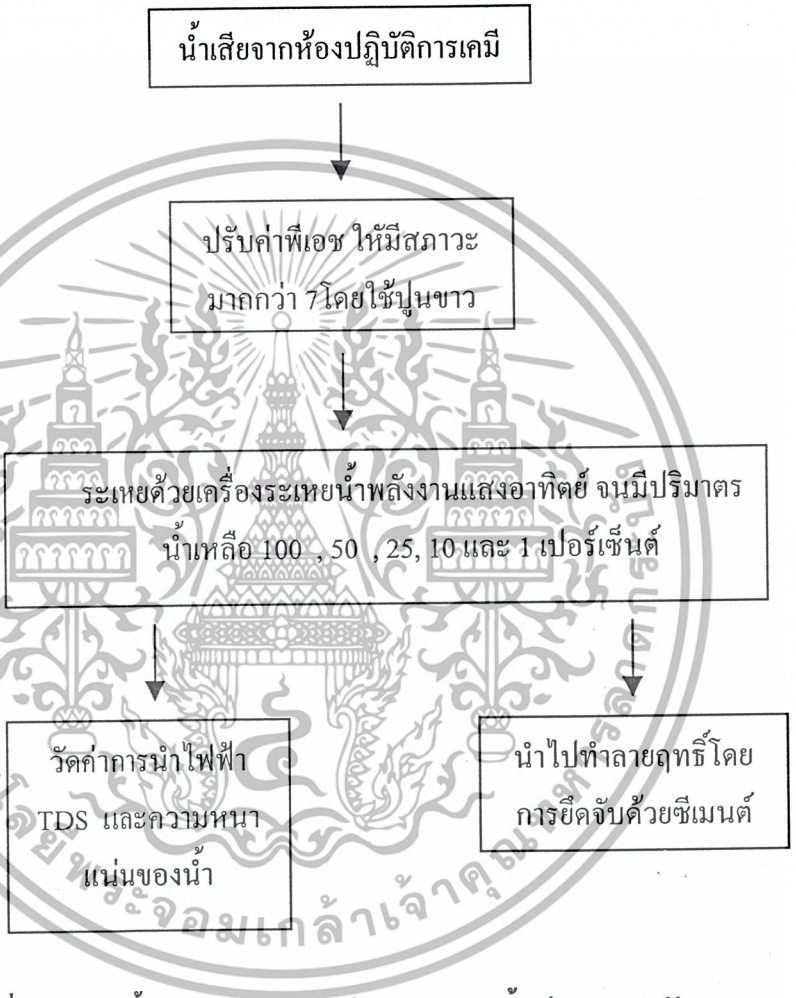
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะถังปฏิกรณ์ระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำเสียขณะบำบัดด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองศึกษาและติดตามคุณภาพน้ำเสียขณะบำบัดด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำเสียขณะบำบัดด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

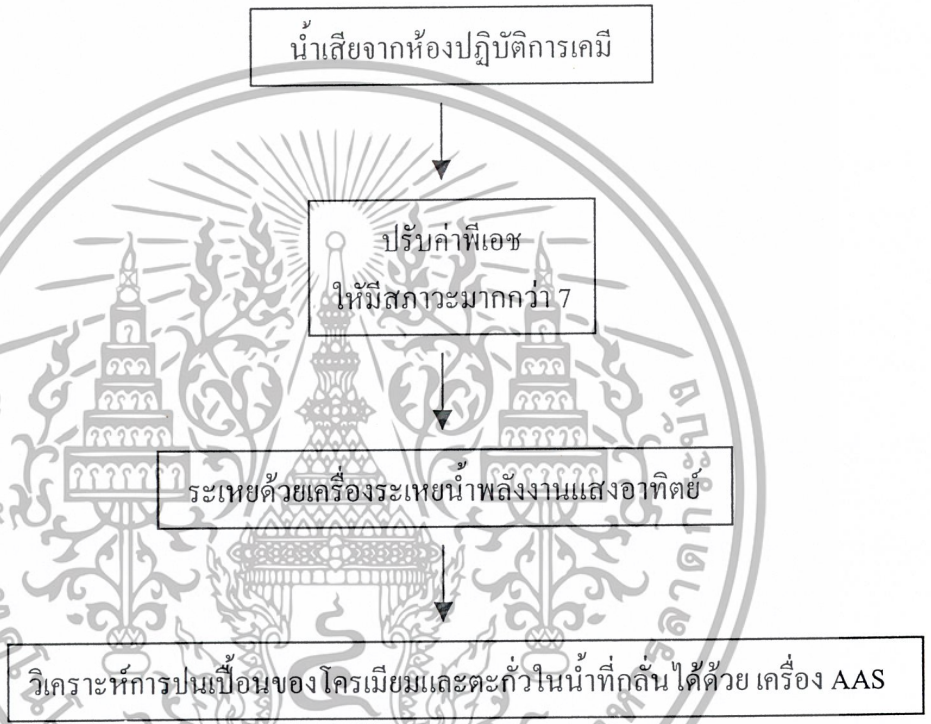
1. นำน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมาปรับค่าพีเอช ให้มีสภาวะมากกว่า 7 เล็กน้อยโดยใช้ปูนขาวเป็นตัวควบคุม และวัดค่าการนำไฟฟ้า ทีดีเอส และความหนาแน่นของน้ำ
2. นำน้ำเสียที่อยู่ในสภาวะเป็นกลางไประเหยด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยระเหยจนมีปริมาตรน้ำเหลือ 100 , 50 , 25, 10 และ 1 เปอร์เซ็นต์ วัดค่าการนำไฟฟ้า ทีดีเอส และความหนาแน่นของน้ำ แล้วนำไปทำลายฤทธิ์โดยการยึดจับด้วยซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

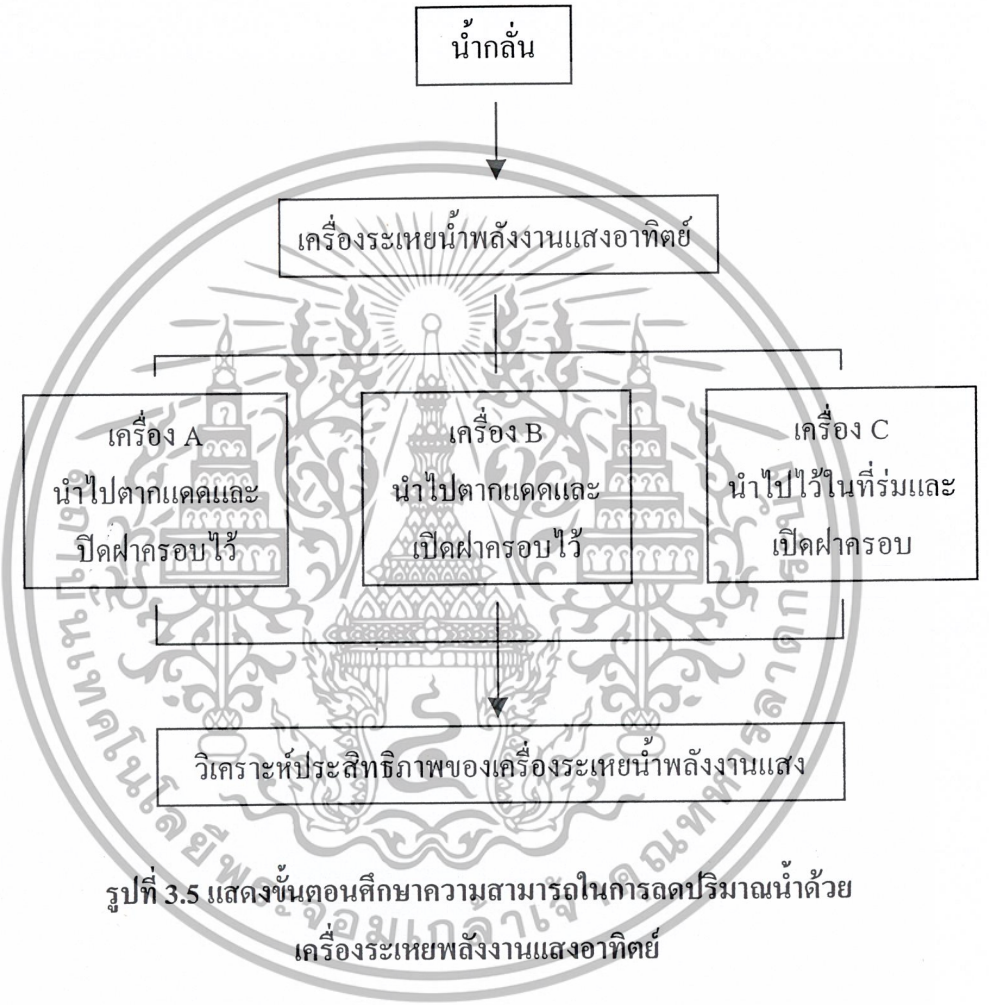
1. เก็บตัวอย่างน้ำที่กลั่นได้จากการระเหยด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วงการลดปริมาณน้ำเสียจาก 100-70 ,70-60 ,60-50 , 50-40 , 40-30 , 30-20 และน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์
2. วิเคราะห์การปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้ด้วย เครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ศึกษาความสามารถการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการศึกษาความสามารถการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนศึกษาความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์

1. นำเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มาระเหยน้ำโดยให้มีระดับน้ำในปริมาณที่เท่ากันและจัดเตรียมอุปกรณ์ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- เครื่องที่หนึ่ง (A) นำไปตากแดดและปิดฝาครอบไว้
- เครื่องที่สอง (B) นำไปตากแดดและเปิดฝาครอบไว้
- เครื่องที่สาม(C) นำไปไว้ในที่ร่มและเปิดฝาครอบ

2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบการลดลงของระดับน้ำในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาการการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์

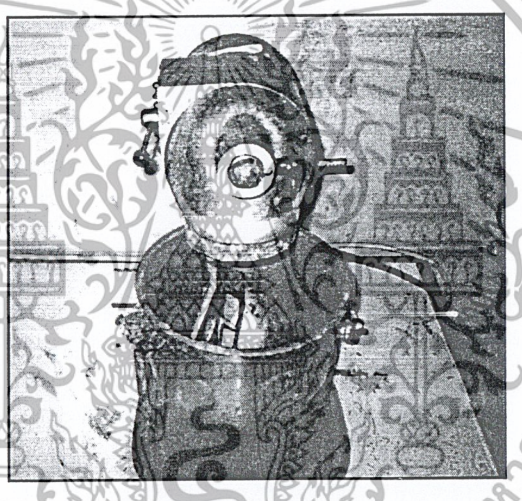
อุปกรณ์และวัสดุ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราภูเขา
2. ทรายร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 มม
3. ตะแกรงขนาด 9.5 มม..
4. เครื่องผสมปูนซีเมนต์ (รูปที่ 3.6)
5. เกรียงขนาดหน้ากว้างของใบ 4-6 นิ้ว
6. แบบหล่อขนาด 5×5×5 cm^3
7. เวอร์เนีย
8. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
9. เครื่องทดสอบแรงอัด (Test Machine).
10. เครื่องเขย่า (horizontal shaker) 30รอบต่อนาที
11. เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance)
12. กระดาษกรองใยแก้ว ขนาด 0.45 ไมโครเมตร
13. ที่บด
14. ขวดวัดปริมาตร
15. บีกเกอร์
16. กระบอกตวง
17. ชุดกรองบุชเนอร์
18. เครื่องดูดสูญญากาศ
19. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductimeter)
20. เครื่องอะตอมมิค แอบซอพชั่น สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer:AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3)
2. โครเมียมไตรออกไซด์ (CrO_3)
3. ตะกั่วไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) ชนิดผง
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. กรดซัลฟูริก (conc. H_2SO_4)
6. น้ำปราศจากไอออน(น้ำ DI)



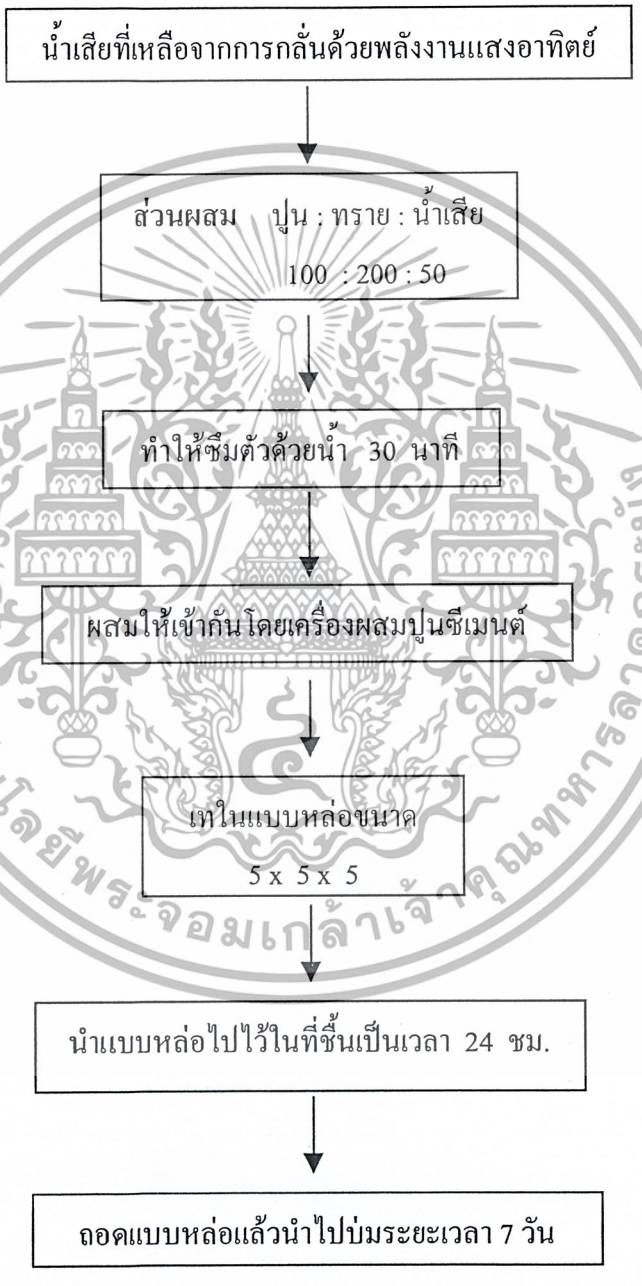
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะเครื่องผสมปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการหล่อก้อนซีเมนต์ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการหล่อปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อซีเมนต์ ตามมาตราฐานของ ASTM C1096-86 ในแบบหล่อขนาด 5×5×5 cm^3 ใช้สัดส่วนผสมโดยน้ำหนักดังนี้

ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำประปา

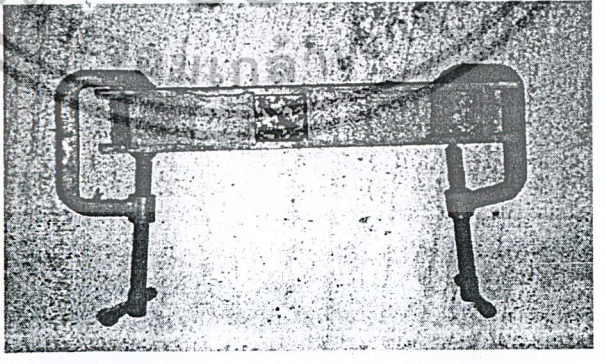
100 : 200 : 50

ในการทดลองนี้จะใช้น้ำเสียที่เหลือจากการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แทนน้ำประปาในอัตราส่วนเดียวกัน

2. ทำการผสมด้วยเครื่องผสมปูนซีเมนต์ โดยผสมปูนซีเมนต์ ทรายและน้ำเสีย ตามอัตราส่วนในข้อ 1 ให้เข้ากัน เมื่อเข้ากันดีแล้ว กองซีเมนต์ที่ผสมแล้วเป็นรูปภูเขาที่มีหลุมตรงกลาง แล้วเติมน้ำเสียลงไปในหลุมและตักส่วนผสมจากด้านข้างลงในกลางหลุมในเวลา 30 วินาทีและทิ้งไว้ให้ซึมตัวด้วยน้ำ 30 วินาที เริ่มผสมให้เข้ากันในเวลา 1 นาที 30 วินาที แล้วทำการวัด

3. เทซีเมนต์ที่ผสมแล้วลงในแบบหล่อภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที หลังจากการผสมเสร็จการหล่อจะต้องแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 2.5 cm. แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรก จะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณ และเท่ากันตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 นาที เติมซีเมนต์ผสมครั้งที่ 2 ให้เลยขอบบ่อเล็กน้อย ใช้มือป้องขณะใช้Tamper กระทุ้ง กระทุ้ง 16 ครั้ง เช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อเสร็จแล้วใช้เกรียงปาดส่วนที่เกินออก (ลักษณะก้อนซีเมนต์ในแบบหล่อ แสดงดังรูปที่ 3.8)

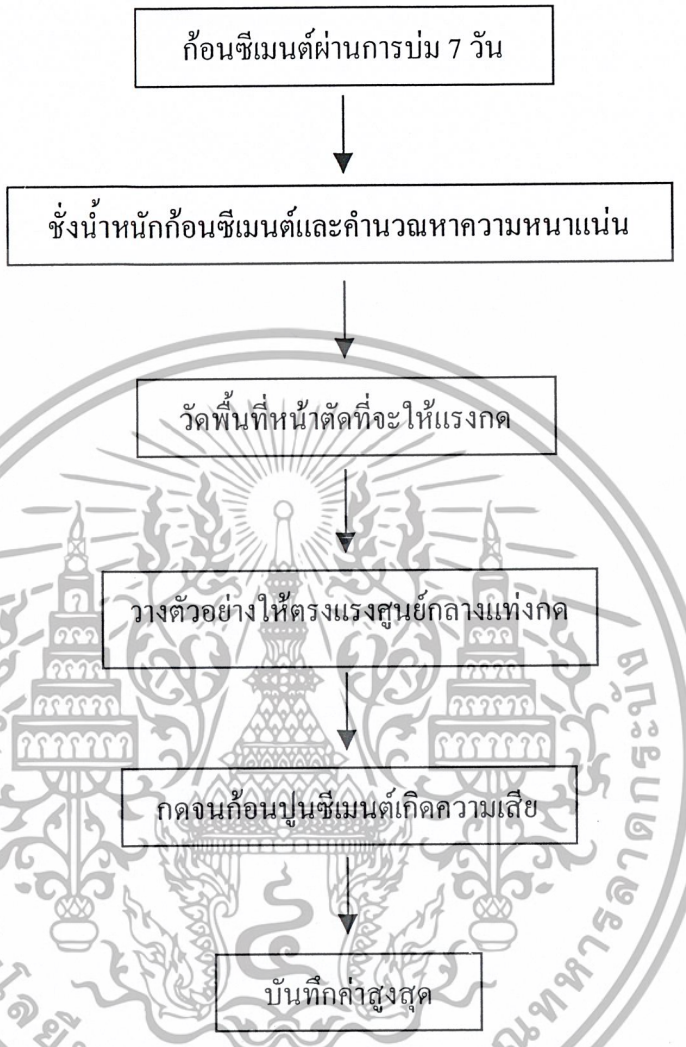
4. หลังจากการหล่อเสร็จแล้วให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันที ถอดแบบภายใน 24 ชั่วโมง บ่มตัวต่อจนครบ 7 โดยใช้ผ้ากระสอบคลุมทับ นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่อง Test Machine



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะก้อนซีเมนต์ในแบบล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์

1. หาความหนาแน่นของตัวอย่าง(D)โดยการชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง(M) และหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง(V)

$$D = M/V$$

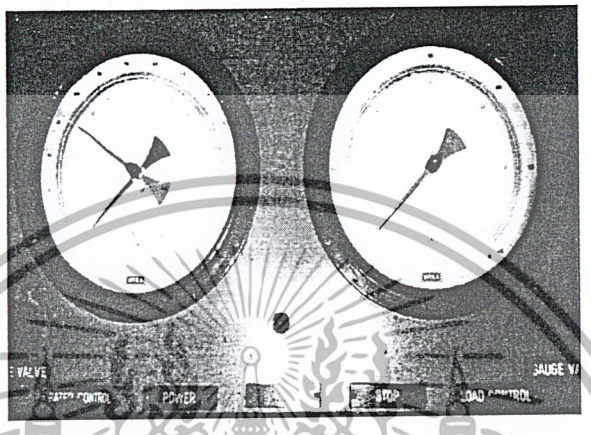
2. ทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยใช้เครื่องทดสอบกำลงรับแรงอัด (รูปที่ 3.10) ดังนี้

- วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะใช้แรงกดโดยใช้ด้านที่สัมผัสแบบหล่อ
- เช็ดผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน
- ใช้แรงกดทับแท่งตัวอย่างโดยผิวหน้าของเครื่องมือทั้ง 2 ด้าน ที่สัมผัสกับก้อนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องเรียบและต้องอยู่ในแนวศูนย์กลางของเครื่อง จนก้อนปูนซีเมนต์เกิดความเสียหาย

- บันทึกค่าสูงสุด



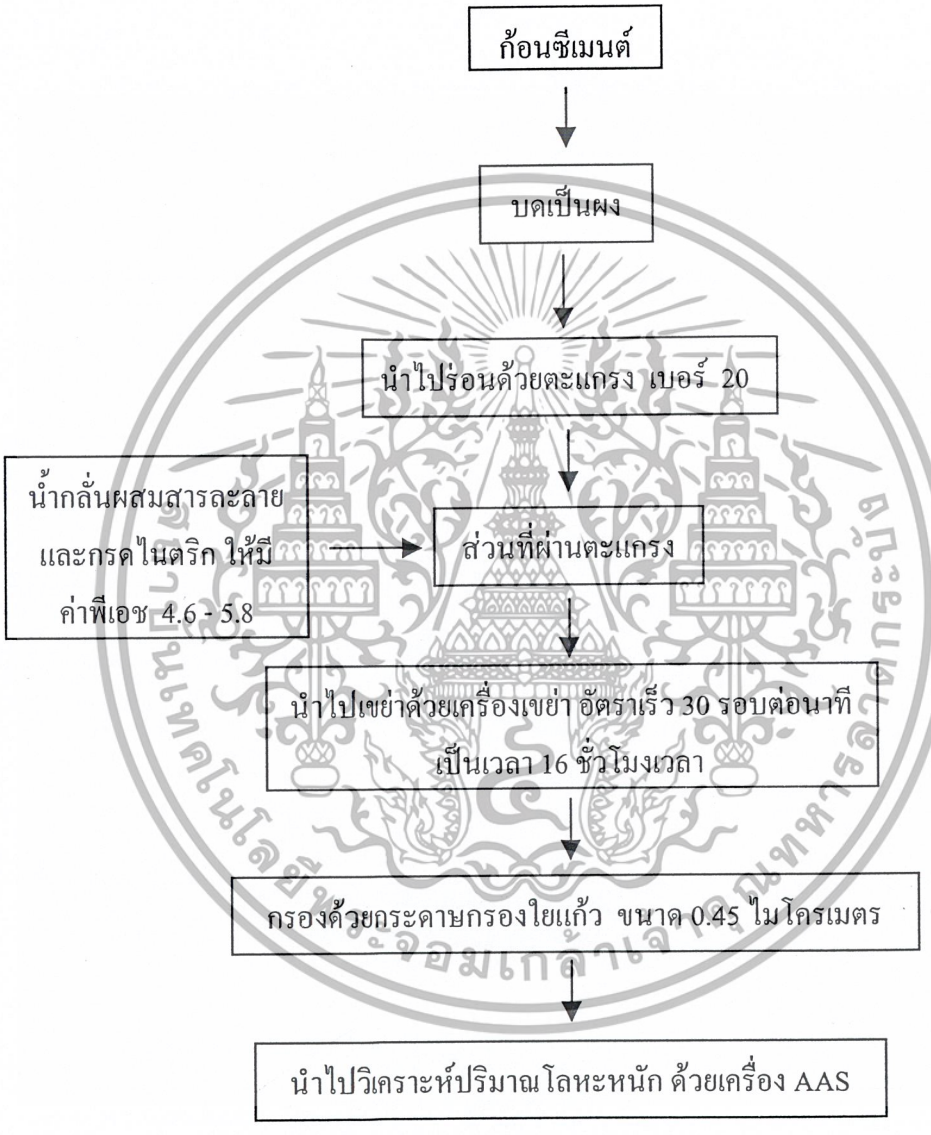
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2. ศึกษาปนเปื้อนโครเมียมและ ตะกั่วในน้ำชะละลายจากก้อนซีเมนต์

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำชะละลาย



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำชะละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบใช้มาตรฐานการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักโดยใช้วิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามวิธีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ดังนี้

(1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

(2) นำตัวอย่างที่ได้จาก(1) หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด(Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์(Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดด่างพีเอช(pH) ของส่วนผสม(Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า(มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก(กรัม) ของตัวอย่าง

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

(4) กรองสารละลายจากการสกัด(Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

(5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่นสเปคโตรโฟโตเมตตรี(Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่าอีมิสชั่นสเปคโตรสโคปี(Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า(Inductively Coupled Plasma : ICP)

(6) วัดค่า พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

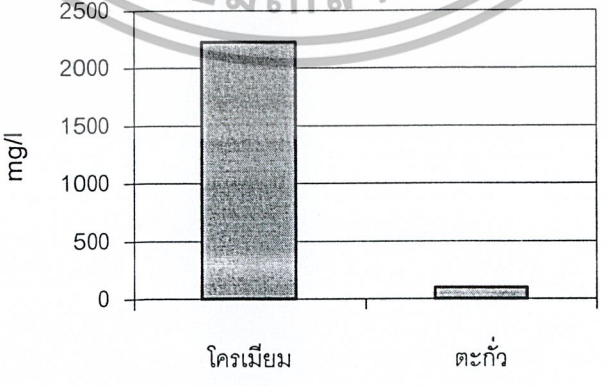
ผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะทางกายและทางเคมีของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ที่นำมาทำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายและทางเคมีของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

ลักษณะทางกายภาพ	ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	พีเอช	TDS	โครเมียม (mg/l)	ตะกั่ว (mg/l)
น้ำเสียมีสีดำ มีไอกรดและมีกลิ่นฉุนมาก	60.07	0.88	6,168.5	2,330	46
เกณฑ์มาตรฐานโครเมียมและตะกั่วในน้ำทิ้ง (Cr) < 0.25 mg /l และ (Pb) < 0.2 mg/l					

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี มีค่าพีเอชเท่ากับ 0.88 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดที่รุนแรงมาก มีค่าทีดีเอส และความหนาแน่นค่อนข้างสูง ซึ่งแสดงว่ามีของแข็งละลายน้ำปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก มีปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่ว 2,330 และ 46 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณของโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่4.1 แสดงปริมาณของโครเมียมและตะกั่วของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ศึกษาการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

4.1.1 การศึกษาคุณภาพน้ำเสียขณะบำบัดด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ทำการทดลองโดยระเหยน้ำเสียด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จนมีปริมาตรเหลือ 1 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาระหว่างวันที่ 10 มกราคม 2546 ถึงวันที่ 15 มีนาคม 2546 โดยตลอดการทดลองควบคุมค่าพีเอชให้มากกว่า 7 เพื่อป้องกันการระเหยของโลหะหนัก ผลการวิเคราะห์น้ำเสียในช่วงต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียตัวอย่าง

ปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)	ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย	พีเอช	TDS (mg/l)	ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)
100	น้ำเสียมีลักษณะสีดำ มีตะกอนแขวนลอยและมีกลิ่นฉุน	7.24	5344.8	72.20	1.0203
50	น้ำเสียมีลักษณะใส สีเขียวอ่อนปนเหลือง มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย	7.18	1018.2	86.90	1.0665
25	น้ำเสียมีลักษณะค่อนข้างขุ่น มีสีเขียวปนดำ และมีกลิ่นฉุนเล็กน้อย	7.16	1283.3	91.30	1.0817
10	น้ำเสียมีลักษณะขุ่น สีดำ มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย	7.21	2479.2	98.60	1.0982
1	น้ำเสียมีลักษณะขุ่นมาก จนเป็นตะกอนผลึกสีเขียว	-	-	-	1.1213
น้ำประปา (Control)	น้ำมีลักษณะใส ไม่มีสี	7.05	-	-	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า ในการระเหยน้ำออกจากของเสียจนมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียจะมีปริมาณน้ำน้อยมากจนมีลักษณะเป็นผลึกตะกอน ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการผสมกับปูนซีเมนต์ได้ จึงทำการทดลองลดปริมาณน้ำเสียในช่วง 100 , 50 , 25 และ10 เปอร์เซ็นต์

4.1.2 ศึกษาการของปนเปื้อนโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

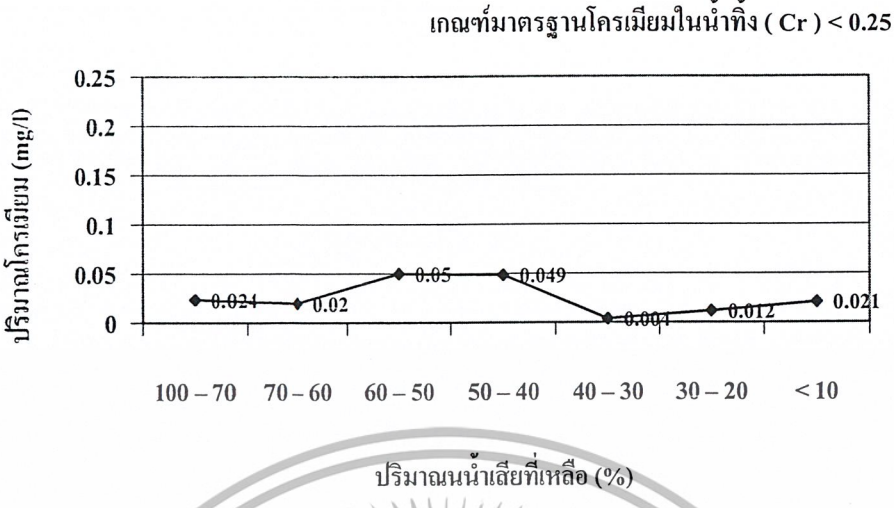
จากการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยเครื่อง AAS พบว่าน้ำมีลักษณะใสและมีการปนเปื้อนในปริมาณที่น้อยมาก แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโครเมียมและปริมาณตะกั่วที่วิเคราะห์ได้จากการกลั่นน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

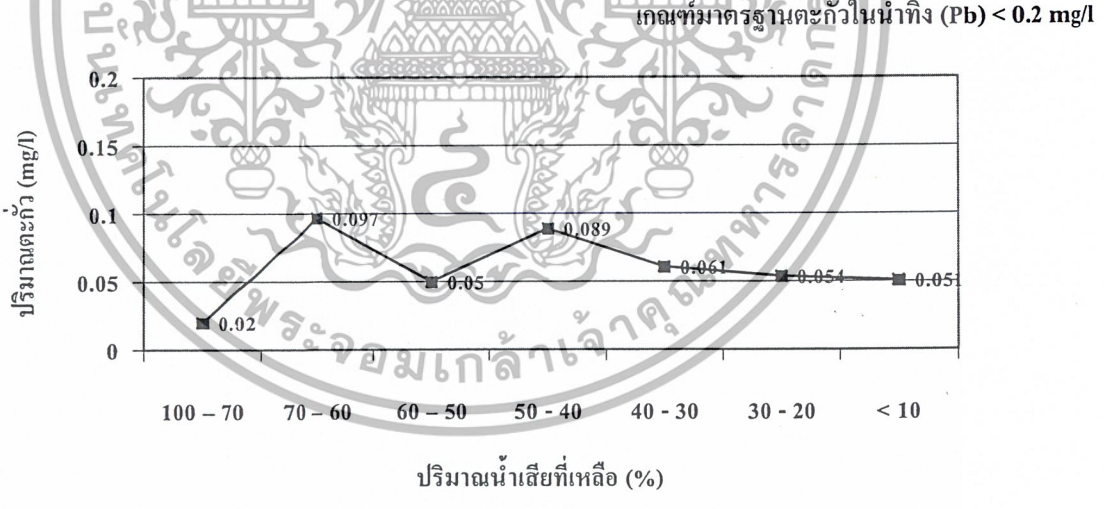
ว/ด/ป ที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)	ปริมาณโครเมียม (mg/l)	ปริมาณตะกั่ว (mg/l)
17 มกราคม 2546	100 – 70	0.024	0.020
3 กุมภาพันธ์ 2546	70 – 60	0.020	0.097
12 กุมภาพันธ์ 2546	60 – 50	0.050	0.050
21 กุมภาพันธ์ 2546	50 – 40	0.049	0.089
28 กุมภาพันธ์ 2546	40 – 30	0.004	0.061
7 มีนาคม 2546	30 – 20	0.012	0.054
11มีนาคม 2546	< 10	0.021	0.051
เกณฑ์มาตรฐานโครเมียมและตะกั่วในน้ำทิ้ง (Cr) < 0.25 mg /l และ (Pb) < 0.2 mg/l			

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณโลหะหนักของโครเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนมากับน้ำที่กลั่นได้ จะมีปริมาณที่น้อย เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) จากการกลั่นน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงาน แสงอาทิตย์กับปริมาณโครเมียม (mg/l)



รูปที่4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%) จากการกลั่นน้ำด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงาน แสงอาทิตย์กับปริมาณตะกั่ว (mg/l)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ศึกษาความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของลมและแสงแดดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นเวลา 1 สัปดาห์

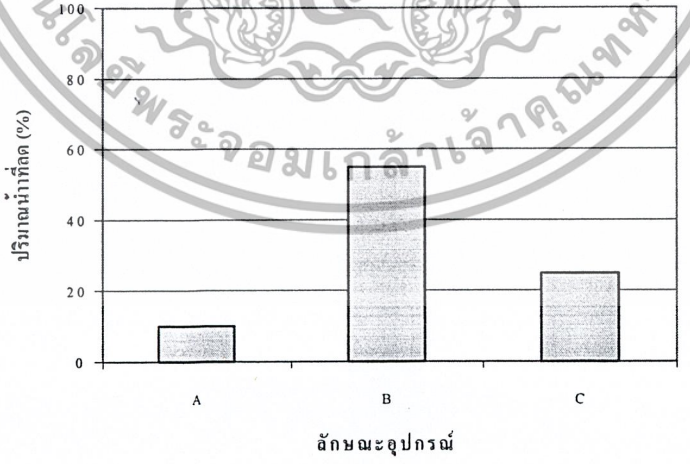
ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทดลอง 3 เครื่อง จัดวางในสถานที่ต่าง ๆ ดังนี้

- เครื่องที่หนึ่ง (A) นำไปตากแดดและปิดฝาครอบไว้
- เครื่องที่สอง (B) นำไปตากแดดและเปิดฝาครอบไว้
- เครื่องที่สาม (C) นำไปไว้ในที่ร่มและเปิดฝาครอบ

สถานที่ ดาดฟ้าอาคารจุฬาภรณวลัยลักษณ์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	ลักษณะของอุปกรณ์	ปริมาณน้ำที่ลด (%)
A	ตากแดดและปิดฝาครอบไว้	10
B	ตากแดดและเปิดฝาครอบไว้	55
C	ไว้ในที่ร่มและเปิดฝาครอบ	25



A = ตากแดดและปิดฝาครอบไว้ **B** = ตากแดดและเปิดฝาครอบไว้ **C** =ไว้ในที่ร่มและเปิดฝาครอบ

รูปที่4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะอุปกรณ์ทดลองกับปริมาณน้ำที่ลด (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณน้ำในเครื่อง B จะลดลงมากที่สุด และปริมาณน้ำในเครื่อง C จะลดลงมากกว่าเครื่อง A แสดงให้เห็นว่าลมมีอิทธิพลในการระเหยน้ำมากกว่าแสงอาทิตย์ แต่ประสิทธิภาพของเครื่องจะดีที่สุดเมื่อใช้ทั้งแสงอาทิตย์และลมควบคู่กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักด้วยกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์

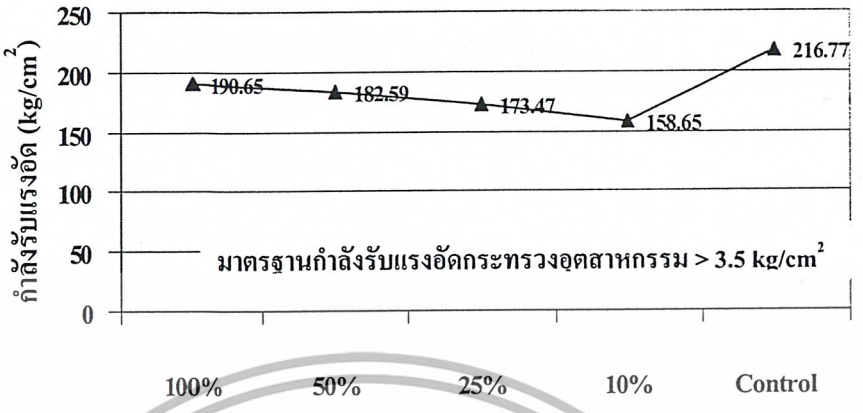
4.2.1 ศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัดและวิเคราะห์หาความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์

ทำการทดลองโดยยึดจับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ทราย : น้ำเสีย เท่ากับ 100 : 200 : 50 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน แล้วนำมาทำการวิเคราะห์หากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น เพื่อเปรียบเทียบค่ามาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูป 4.5 , 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติของก้อนซีเมนต์ ระยะการบ่ม 7 วัน

ชุดตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)	ก้อนซีเมนต์	สมบัติของก้อนซีเมนต์	
			กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	ความหนาแน่น (ton/m^3)
A	100	1A	191.40	2.00
		2A	189.89	2.00
		ค่าเฉลี่ย	190.65	2.00
B	50	1B	182.67	2.01
		2B	182.51	2.01
		ค่าเฉลี่ย	182.59	2.01
C	25	1C	175.77	2.04
		2C	171.17	2.03
		ค่าเฉลี่ย	173.47	2.035
D	10	1D	157.16	2.07
		2D	160.14	2.08
		ค่าเฉลี่ย	158.65	2.075
E	น้ำประปา (Control)	1E	217.01	1.98
		2E	216.52	1.97
		ค่าเฉลี่ย	216.77	1.975
ค่ามาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม			**> 3.5**	**> 1.15**

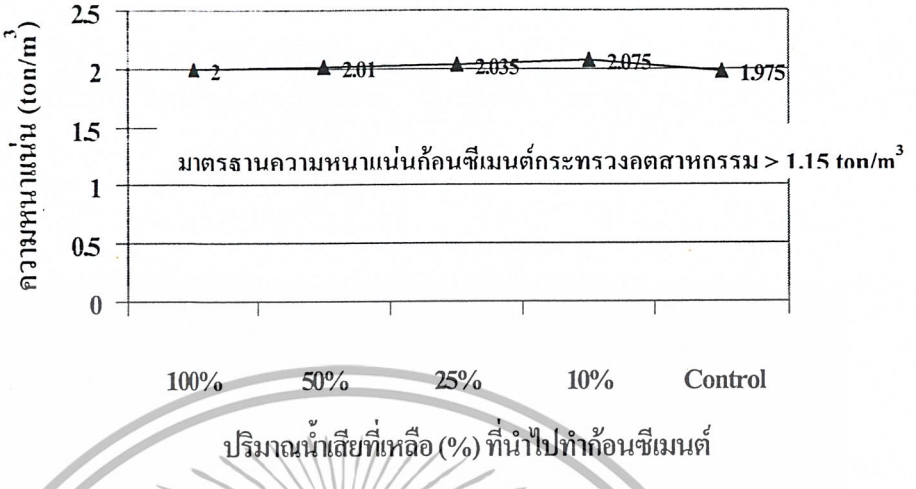
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)ที่ใช้ในการทดสอบกับกำลังรับแรงอัด (kg/cm²)

จากกราฟรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อลดปริมาณน้ำเสียเป็น 100 , 50 , 25 และ 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีกำลังรับแรงอัดเป็น 190.65 , 182.59 , 173.47 และ158.65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลงเมื่อน้ำมีความเข้มข้นของโลหะหนักมากขึ้น เนื่องจากโลหะหนักไปทำลายโครงสร้างการยึดจับของปูนซีเมนต์ทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยลง แต่ทุกสภาวะก็มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)ที่ใช้ในการทดสอบกับความหนาแน่นก้อนซีเมนต์ (ton/m^3)

จากกราฟ รูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อลดปริมาณน้ำเสียเป็น 100 , 50 , 25 และ10เปอร์เซ็นต์ จะมีความหนาแน่นเป็น 2.00 , 2.01, 2.035 และ 2.075 ตามลำดับ ซึ่งทุกค่ามีความหนาแน่นมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร แต่จะพบว่า ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นมากที่สุด เนื่องจากมีความเข้มข้นของโลหะหนักมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมและ ตะกั่วในน้ำชะละลายจากก้อนซีเมนต์

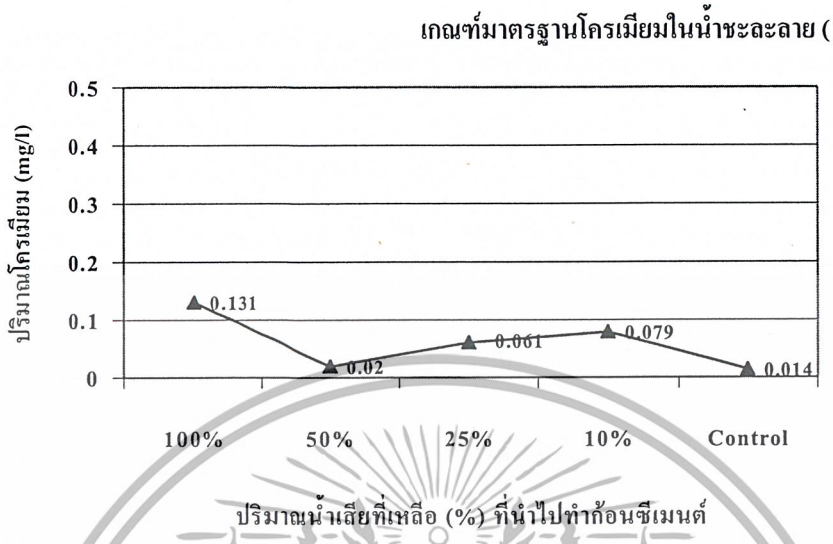
ทำการทดลองโดยวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนโครเมียมและตะกั่วในน้ำชะละลายจากก้อนซีเมนต์ โดยวิธีตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ด้วยเครื่อง AAS แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์

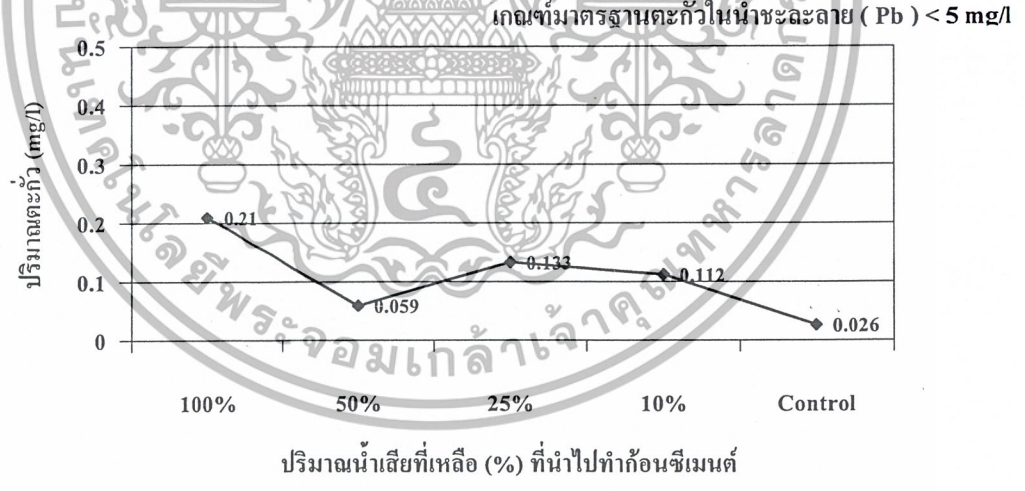
ชุดตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)	ก้อนซีเมนต์	พีเอช	ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมา	
					โครเมียม (mg/l)	ตะกั่ว (mg/l)
A	100	1A	11.23	8.19	0.113	0.269
		2A	11.44	9.16	0.149	0.151
		ค่าเฉลี่ย	11.34	8.675	0.131	0.210
B	50	1B	11.57	11.21	0.016	0.054
		2B	11.68	11.36	0.023	0.064
		ค่าเฉลี่ย	11.63	11.29	0.020	0.059
C	25	1C	12.40	12.34	0.068	0.137
		2C	12.46	12.38	0.053	0.128
		ค่าเฉลี่ย	12.43	12.36	0.061	0.133
D	10	1D	11.79	13.42	0.082	0.093
		2D	11.39	13.77	0.076	0.131
		ค่าเฉลี่ย	11.84	13.60	0.079	0.112
E	น้ำประปา (Control)	1E	11.45	7.58	0.016	0.020
		2E	11.36	7.59	0.012	0.032
		ค่าเฉลี่ย	11.41	7.585	0.014	0.026
เกณฑ์มาตรฐานน้ำชะละลายกระทรวงอุตสาหกรรม					**<5**	**<5**

จากตารางพบว่า ค่าพีเอชในน้ำชะละลายอยู่ในช่วง 11.23-12.46 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเบส เนื่องมาจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ(%) ที่นำไปทำก้อนซีเมนต์กับปริมาณโครเมียม (mg/l) ในน้ำที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เหลือ(%) ที่นำไปทำก้อนซีเมนต์กับปริมาณตะกั่ว (mg/l) ในน้ำที่ชะละลายจากก้อนซีเมนต์

จากผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโครเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลายจากก้อนซีเมนต์มีค่าเป็น 0.313 , 0.020 , 0.061 และ 0.079 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อลดปริมาณน้ำจนเหลือ 100 , 50 , 25 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและมีปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลายเป็น 0.210 ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.059 , 0.133 และ 0.112 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อลดในปริมาณเดียวกัน ซึ่งทั้งปริมาณโลหะโครเมียมและตะกั่วมีปริมาณการชะละลายต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม เนื่องจากทั้งโครเมียมและตะกั่วจะทำปฏิกิริยากับซิลิเกตที่อยู่ในองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ จึงทำให้ทั้งโครเมียมและตะกั่วถูกยึดจับด้วยพันธะทางเคมีอยู่ภายในโครงสร้างของซีเมนต์ เป็นผลให้มีปริมาณโลหะโครเมียมและตะกั่วออกมาจากน้ำชะละลายน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีซึ่งประกอบด้วยโลกะหนัก 2 ชนิด คือ โครเมียม และ ตะกั่วโดยปรับสภาพให้เป็นกลางก่อน ทำการระเหยด้วยเครื่องระเหยน้ำพลังงานจากแสงอาทิตย์ในการลดปริมาณน้ำ แล้วนำไปทำลายฤทธิ์ด้วยกระบวนการยึดจับด้วยปูนซีเมนต์

โดยในการวิจัยได้มีการทดลองศึกษาปัจจัยต่างๆทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาโดยการแปรค่าน้ำที่เหลือจากการระเหย โดยใช้อัตราส่วน 100 , 50 , 25 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าถ้าลดปริมาณน้ำลงจนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถนำไปบำบัดโดยใช้ซีเมนต์ได้

2. น้ำที่ได้จากการควบแน่นพบว่ามีปริมาณ โครเมียมและตะกั่วต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม

3. จากการศึกษาความสามารถในการลดปริมาณน้ำด้วยเครื่องระเหยพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ลมมีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำมากกว่าแสงแดดแต่การระเหยจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดต้องใช้ทั้ง ลมและแสงแดดควบคู่กัน

4. จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ ในระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการลดปริมาตรและยึดจับด้วยซีเมนต์ในทุกสภาวะของการทดลองมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม คือ มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและมีความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

5. จากการวิเคราะห์การชะละลายก้อนซีเมนต์ พบว่ามีการปนเปื้อนของโครเมียมและตะกั่วในทุกสภาวะของการทดลองต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม คือ มีค่าการชะละลายออกมาน้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียที่มีลักษณะโลหะหนักชนิดอื่น เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

2. ควรทำการทดลองโดยเพิ่มสภาวะความเป็นกรดในการทดลองการชะละลายให้มากขึ้น เพื่อศึกษาถึงผลที่มีต่อการปนเปื้อนของน้ำชะละลายจากก้อนซีเมนต์

3. ควรทำการทดลองในทุกๆ สภาวะอากาศ เพื่อศึกษาว่ามีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กระทรวงอุตสาหกรรม. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามความใน.พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535.** เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2535.
2. กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือ ฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ใช้แล้ว และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่6 (พ.ศ. 2540).** กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2540.
3. กนกพร ชัยวุฒิกุลและคณะ. **การศึกษาการชะละลายของซีเมนต์ที่มีโลหะเจือปนในปริมาณสูง.** ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าวิทยาคุณทหารลาดกระบัง, 2542.อัดสำเนา.
4. นิพนธ์ ศุภศรี. **เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ THRS STILL.** โครงการเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการศึกษา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2526.
5. พิภพ สุนทรสมัย.**วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง.** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น),2532.
6. พัตรยศ สมวงษ์และคณะ.**การศึกษาการรับแรงอัดของซีเมนต์ที่มีโลหะหนักเจือปนในปริมาณสูง.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.
7. วินิจ ช่อวินิจ. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
8. Barney Jr,R.S. and Diamon ,S., **Expression and Analysis of Pore Fluids from Hardened Cement Pastes and Mortars.** Cem. And Conce. Res., 11 pp. 279–285,1981.
9. Bishop P.L., **Leaching of Inorganic Hazardous Constituents from Stabilized/ Solidified Hazardous** Waste. Haz.Waste Haz.Mater., Vol.5 pp. 129 – 143 , 1988.
10. Chang, C.L. **Solidification of Heavy Metals Using Cement and Rice Husk Ash.** Thesis No. EV-89-15 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Harward, P.J., **Treatment and Disposal of Industrial Waste by Solidification Management of Hazardous and Toxic Waste in the Process Industries,** pp.392-402. Elsviver Applied Science, London and New York, 1987

12. Jaggi, N. **Solidification of Hazardous Waste Using Cementitious Binder.** Thesis No. EV-88-18 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1988

13. Rijal,S.P., **Solidification of Laboratory Waste Using Cementitous Binders.** Thesis No.EV 90 – 20 , Asian Institute of Technology,Bangkok Thailand, 1990.

14. Samer Ezeldin,A. and George P. Korfaitis, **Solidification and Stabiization Techniques For for Waste Controal.** pp .271 – 295.

15. Shin, H.S. and SujiWatthan,P., **Factory Affecting Solidification of Hazardous Materials.** Hazardous Waste Detection Control Treatment pp. 1549 – 1560, 1988.

16. Sollars, C.J. and Perry,R., **Cement Based Stabiization of Waste: Practical and Theoretical Concideration.** Journal of Institution of Water and Environmental Management, Vol.3 pp. 125 – 131. 1989.

17. Tsai,C.E. and Hsu,C,P., **Hazardous Waste Management Technologies.**Ou – Ya Inc., Taiwan,ROC, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
สมบัติของก้อนซีเมนต์

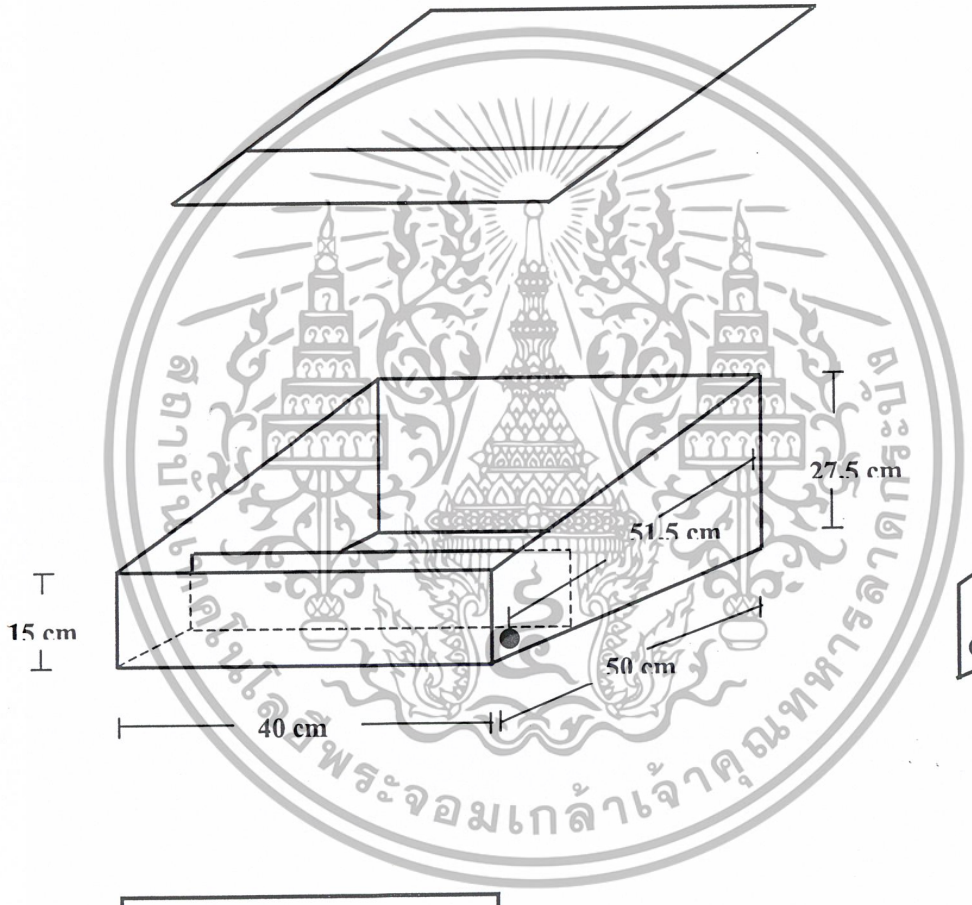
ตารางแสดง สมบัติของก้อนซีเมนต์ ที่บ่มระยะเวลา 7 วัน

ชุดตัวอย่าง	ปริมาณน้ำเสียที่เหลือ (%)	ก้อนซีเมนต์	น้ำหนัก (g)	กว้าง (cm)	ยาว (cm)	สูง (cm)	ปริมาตร (cm^3)	กำลังรับแรงอัด (kg)	น้ำชะละลาย	
									Cr mg/l	Pb mg/l
A	100	1A	259.14	5.12	5.00	5.07	129.79	4900	0.133	0.269
		2A	261.27	5.15	5.04	5.06	131.34	4900	0.149	0.151
B	50	1B	263.08	5.18	5.02	5.04	131.06	4500	0.016	0.054
		2B	260.59	5.13	5.02	5.03	129.54	4700	0.023	0.064
C	25	1C	258.76	5.02	5.10	5.10	130.57	4500	0.068	0.137
		2C	259.66	5.07	5.07	5.10	131.09	4400	0.053	0.128
D	10	1D	271.58	5.08	5.04	5.13	131.34	4000	0.082	0.093
		2D	268.88	5.09	5.03	5.06	129.55	4100	0.076	0.131
E	น้ำประปา (Control)	1E	255.57	5.12	5.04	4.99	128.77	5600	0.016	0.020
		2E	257.35	5.14	5.04	5.04	130.56	5500	0.014	0.032

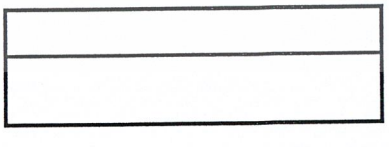
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
แบบชุดถังปฏิกรณ์ระเหยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

TOP VIEW



SIDE VIEW



FRONT VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์หาของแข็งทั้งหมด (TS)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (evaporating dishes)
2. เตาเผา (muffle furnace)
3. เครื่องอังไอน้ำ (water bath)
4. ตู้อบ
5. โถทำแห้ง (desiccator)
6. เครื่องอังไอน้ำ (water bath)
7. เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance)

การทดลอง

1. นำถ้วยระเหยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งให้เย็นโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก

2. เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำที่ให้ค่าของแข็งประมาณ 10 – 20 มิลลิกรัม(โดยปกติใช้ 50 - 100 มิลลิลิตร)เขย่าน้ำให้เข้ากันดีแล้วตวงปริมาตรน้ำที่แน่นอนด้วยกระบอกตวงใส่ในถ้วยระเหย ในกรณีที่ใช้ปริมาตรน้อยกว่า 50 มิลลิลิตร ควรใช้ปิเปตจะได้ค่าที่แน่นอนมากขึ้น

3. นำไปตั้งบนเครื่องอังน้ำจนแห้ง แล้วนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

4. นำถ้วยระเหยไปใส่โถทำแห้ง เพื่อปล่อยให้เย็นแล้วนำมาชั่งหาน้ำหนัก

5. ควรทำซ้ำโดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งและชั่งน้ำหนัก ทำจนได้น้ำหนักคงที่หรือน้ำหนักที่ลดลงน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ของการชั่งครั้งแรกหรือประมาณ 0.5 มิลลิกรัม

การคำนวน

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มก./ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

A = น้ำหนักของแข็งและถ้วยระเหย (มก.)

B = น้ำหนักของถ้วยระเหย (มก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์หาของแข็งละลายน้ำ (TDS)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (evaporating dishes)
2. เตาเผา (muffle furnace)
3. เครื่องอังไอน้ำ (water bath)
4. ตู้อบ
5. โถทำแห้ง (desiccator)
6. เครื่องอังไอน้ำ (water bath)
7. เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance)
8. เครื่องกรองบุคเนอร์ (Buchner funnel)
9. เครื่องดูดสูญญากาศ (suction pump) พร้อมขวดดูดสูญญากาศขนาด 500 – 100 มิลลิลิตร
10. กระดาษกรอง

การทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำมากรองเอาสารแขวนลอยออกทั้งหมดก่อน โดยกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและเครื่องกรองสูญญากาศ หรืออาจใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรองหาแขวนลอยทั้งหมดก็ได้

2. ตวงตัวอย่างน้ำที่ได้จากการกรองมา 50 - 100 มิลลิลิตร ใส่ถ้วยระเหยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งชั่งหาน้ำหนัก (กรณีที่ของแข็งละลายน้ำน้อยมากให้ชั่งตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร)

การคำนวน

$$\text{ของแข็งละลายน้ำ(มก./ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

A = น้ำหนักของแข็งที่แห้งและถ้วยระเหย (มก.)

B = น้ำหนักของถ้วยระเหย (มก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)
ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า "ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)" รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นใน

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแต่ต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตก ต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5 อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6 โครเมียม (Chromium)

4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.9 ทองแดง (Copper) ม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ

(10) เพสติไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจ แตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่งต้องไม่มากกว่า 200มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1)การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว(Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโครปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่นสเปคโตรโฟโตเมตตรี(Atomic Absorption Spectrophotometry)ชนิดไฮไดรด์เจนเนอเรชั่น(Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรส โคปี(Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลีคัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริคแอซิค (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย American Water

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(นายเสถียร วีระวงศ์)

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ข้อ 1 การทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานดำเนินการโดยวิธีการบำบัด (Treatment) หรือการกำจัด (Disposal) วิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรือหลายวิธีต่อเนื่องกัน (Chain treatments) ขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ๆ ซึ่งต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย ดังต่อไปนี้

1.1 การบำบัดโดยวิธีฟิสิกส์ (Physical treatment) ได้แก่

1.1.1 การเหวี่ยงแยก (Centrifugation)

1.1.2 การกลั่นแยกด้วยไอน้ำ (Steam distillation and Steam stripping)

1.1.3 การกรองผ่านตัวกรองหลายชั้น (Multi-media filtration)

1.1.4 การกรอง แยกด้วยเยื่อเมมเบรน (Reverse osmosis, Micro-/Ultra-filtration)

1.1.5 การทำระเหย (Evaporation)

1.1.6 การแยกด้วยฟองอากาศ (Air flotation)

1.1.7 การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity thickening)

1.1.8 การแยกด้วยเครื่องแยกน้ำและน้ำมัน (Oil/water separator or Coalescence separator)

1.2 การบำบัดโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ (Physical/chemical treatment) ได้แก่

1.2.1 การชะล้างดิน (Soil washing)

1.2.2 การแยกด้วยอากาศ (Air stripping)

1.2.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption)

1.2.4 การจับตัวตกตะกอน (Precipitation/Flocculation)

1.2.5 การแยกด้วยอากาศละลายน้ำและสารเคมี (Dissolved air flotation)

1.2.6 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange)

1.2.7 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid/liquid extraction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.8 การกรองรีดน้ำ (Filter press, dewatering, vacuum filtration and belt-press filtration)

1.3 การบำบัดโดยวิธีเคมี (Chemical treatment) ได้แก่

1.3.1 การปรับค่าความเป็นกรดด่างและทำให้เป็นกลาง(Neutralizaion and pH adjustment)

1.3.2 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น รีดักชั่น (Oxidation/reduction reactions)

1.3.3 การทำลายความเป็นพิษด้วยก๊าซโอโซน หรือรังสีเหนือม่วง (Ozonation and UV/ozonation)

1.3.4 การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis)

1.3.5 การตกตะกอน (Precipitation)

1.3.6 การทำลายคลอรีนอิสระ (Dechlorination)

1.3.7 การทำลายสารประกอบฮาโลเจน (Dehalogenation)

1.4 การบำบัดโดยวิธีชีวภาพ (Biological treatment) ได้แก่

1.4.1 ถังปฏิกิริยาชนิดฟิล์มตรึง (Attached film reactors)

1.4.2 ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

1.4.3 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)

1.4.4 การหมัก (Composting)

1.4.5 ระบบบ่อผึ่ง (Stabilization ponds)

1.4.6 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบอยู่กับที่ (In situ biological decomposition)

1.4.7 การทำลายพิษทางชีวภาพ (Biological detoxification)

1.5 การบำบัด หรือการกำจัดโดยกระบวนการใช้ความร้อน (Thermal processes for treatment and/or disposal) ได้แก่

1.5.1 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Wet-air oxidation)

1.5.2 การฉีดเผาในรูปของเหลว (Liquid injection incineration)

1.5.3 การเผาในเตาเผาซีเมนต์ และการเผาในเตาหมุน (Cement kiln incineration and Rotary kiln incineration)

1.5.4 การเผาในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed incineration)

1.5.5 การทำระเหยด้วยแสงแดด (Solar evaporation)

1.6 การบำบัดโดยกระบวนการปรับเสถียร กระบวนการตรึงสาร กระบวนการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization/fixation/solidification processes) ได้แก่

1.6.1 การห่อหุ้มในแก้วหลอม (Molten glass)

1.6.2 การตรึงด้วยสารเคมี (Chemical fixation)

1.6.3 การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยสารประสาน (Pozzolanic and cement based solidification)

1.6.4 การห่อหุ้มด้วยสารเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic encapsulation)

1.6.5 การทำเป็นโพลิเมอร์ (Polymer encapsulation)

1.7 การบำบัด หรือการกำจัดแบบ land treatment and/or disposal ได้แก่

1.7.1 การทำลายฤทธิ์ในหน้าดิน (Land farming)

1.7.2 การพ่นรดน้ำ (Spray irrigation)

1.7.3 การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Engineered, secured landfill)

1.7.4 การเก็บบนพื้นดินระยะยาว (Above ground long-term storage)

1.7.5 การฉีดลงชั้นน้ำใต้ดินลึก (Deepwell injection)

1.8 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถใช้วิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วโดยวิธีการอื่น ๆ ที่ต่างไปจากที่กำหนดไว้ในข้อ 1.1 ถึงข้อ 1.7 หรือใช้วิธีการอื่น ๆ ที่สามารถพิสูจน์ได้ว่าได้ผลเทียบเท่าหรือดีกว่าวิธีที่กำหนดไว้ หรือเป็นวิธีการที่ลดปริมาณของสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งจะต้องนำไปกำจัด ได้โดยการปรับสภาพหรือคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลและวัสดุไม่ใช้แล้วนั้น ให้นำมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Reuse/recycle) ได้อย่างปลอดภัย ได้แก่ การนำกลับคืนมาใช้ของตัวทำละลาย (Solvent recovery) น้ำมัน (Oil recovery) กรด (Acid regeneration) และโลหะ (Metals recovery) หรือการทำเชื้อเพลิงผสม (Fuels blending) เพื่อใช้ในการเผาร่วมในเตาเผาอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ (Co-incineration in industrial kilns/furnaces) หรือการแลกเปลี่ยนของเสีย (Wastes exchange) เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิต ตลอดจนการใช้บริการการดำเนินการต่าง ๆ ดังกล่าวของบุคคลอื่นแทน

ข้อ 2 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) แล้ว จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.1 สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย

2.2 มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด(Leachant หรือ extraction fluid) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 3 ก่อนการนำไปฝังกลบ

ข้อ 3 การสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

3.1 การสกัดสารเพื่อทดสอบหาปริมาณสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable) จากสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และเพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

3.1.1 หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเป็นของเหลว หรือมีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ให้กรองตัวอย่างนั้นด้วยแผ่นกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 3.2

3.1.2 หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.5 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

(2) นำตัวอย่างที่ได้จาก (1) หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดด่างพีเอช (pH) ของส่วนผสม (Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

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

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

(5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 3.2

3.2 การวิเคราะห์หาค่าสารอันตรายต่างๆ ในของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วจากข้อ 3.1.1 หรือข้อ 3.1.2 ให้ใช้วิธีมาตรฐาน US EPA SW 846 หรือวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2539 ในกรณีที่ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ของสารละลายจากการสกัด (Leachate) มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานให้ดำเนินการทำลายฤทธิ์ใหม่ เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้

ตารางแสดงค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid)

อาร์ซีนิก (ทั้งหมด) (Arsenic (total))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
แบเรียม (Barium)	100.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เบนซีน (Benzene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม (ทั้งหมด) (Cadmium (total))	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (Carbon tetrachloride)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอเดน (Chlordane)	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene)	100.0	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
ครีซอล (ทั้งหมด) (Cresol (total))	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2-4 ดี (2-4 D)	10.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,4-ไดคลอโรเบนซีน (1,4-Dichlorobenzene)	7.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,2-ไดคลอโรอีเธน (1,2-Dichloroethane)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,1-ไดคลอโรเอธีลีน (1,1-Dichloroethylene)	0.7	มิลลิกรัมต่อลิตร
เอลดริน (Endrin)	0.02	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor and its epoxide)	0.008	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	0.13	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอโรบิวตาดีอีน (Hexachlorobutadiene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอโรอีเธน (Hexachloroethane)	3.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว (ทั้งหมด) (Lead (total))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4	มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรอท (ทั้งหมด) (Mercury (total))	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมธอกซิคลอร์ (Methoxychlor)	10.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมธิล เอธิล คีโตน (Methyl ethyl ketone)	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4-ไนโตรโทลูอีน (2,4-Nitrotoluene)	0.13	มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	100.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไพริดีน (Pyridine)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีลีเนียม (Selenium)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน (Silver)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เตทตราคลอโรเอทธิลีน (Tetrachloroethylene)	0.7	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทธิลีน (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 (ซิลเว็ก) (2,4,5-TP (Silvex))	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl chloride)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) หมวด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้