

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับเสถียรตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีในรูปปูนซีเมนต์บด



T107775



ร.พ.
5213
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

107775

10 พ.ค. 2553

b. 12210286
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อปีการศึกษา 2548 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Stabilization of Heavy Metal Sludge in Wastewater from Chemical Laboratory in
Cement Block**



**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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Academic Year 2005

โครงการพิเศษเรื่อง การปรับเสถียรตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีใน
 รูปปูนซีเมนต์บล็อก
นักศึกษา นางสาวชรินทิพย์ ทองพันเลิศกุล
 นายประจักษ์ ศาสตร์เวช
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. พรรษวรรณ ตันทวี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร. สุวรรณี สรรยาพูน	
กรรมการ ดร. อุตารัตน์ ฉาวราชย์สิทธิ์	
กรรมการ ผศ. พรรษวรรณ ตันทวี	


 (ผศ.ดร. ประยงค์ ควงดี)
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การปรับเสถียรตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีใน รูปปูนซีเมนต์บล็อก
นักศึกษา	นางสาวชรินทิพย์ ทองพันเลิศกุล นายประจักษ์ ศาสตร์เวช
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พรรษวรรณ ตันทวี

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็งตะกอน โลหะหนักจากของเสียห้องปฏิบัติการเคมี 7 ตัวอย่างด้วยวิธียัดจับด้วยซีเมนต์ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่อัตราส่วนตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัด ค่าพีเอชของน้ำชะละลาย ความหนาแน่น และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของเสียต่อซีเมนต์ 0.05, 0.1, 0.15, 0.25 และ 0.5 มีค่ากำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ย 7 ตัวอย่างเท่ากับ 202.23 ± 31.05 , 164.12 ± 29.78 , 109.03 ± 28.08 , 58.73 ± 35.77 และ 32.81 ± 21.29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ การศึกษาผลของอัตราส่วนของเสียต่อซีเมนต์ที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นพบว่าเมื่ออัตราส่วนของเสียต่อซีเมนต์สูงขึ้นค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์มีค่าลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.10 ± 0.06 - 1.90 ± 0.05 ต้นต่อลูกบาศก์เมตร การศึกษาผลของอัตราส่วนของเสียต่อซีเมนต์ที่ส่งผลต่อค่าพีเอชของน้ำชะละลายหลังจากทำการทดสอบการชะละลายเป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมงพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นจากพีเอชเริ่มต้น 5 เป็น 12 เป็นผลเนื่องจากการถูกชะละลายของแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ในก้อนซีเมนต์ และการศึกษาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียม ซิลเวอร์ ตะกั่ว เหล็ก แมงกานีส และ คอปเปอร์ ในน้ำชะละลายทั้ง 7 ตัวอย่างที่มีชนิดโลหะในแต่ละตัวอย่างแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าในตัวอย่างที่มี โครเมียม ซิลเวอร์ ตะกั่ว เป็นองค์ประกอบที่อัตราส่วนของเสียต่อซีเมนต์ 0.05, 0.1 และ 0.15 มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐาน (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) และตัวอย่างที่มี เหล็ก แมงกานีส และ คอปเปอร์ เป็นองค์ประกอบพบว่าค่าความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเสียต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นยังคงต่ำกว่ามาตรฐาน

คำสำคัญ : การทำเสถียร, การชะละลาย, กำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Stabilization of Heavy Metal Sludge in waste water from Chemical Laboratory in Cement Block
Name	Charinthip Thongphunlerdkul Prajak Sastaravet
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Asst. Prof Passawan Tantawee

ABSTRACT

This special project studied the effect on stabilization and solidification of the 7 samples of sludge of heavy meal waste from the chemical laboratory. The studied factors were ratio of sludge waste affecting compression force, pH of leachate, density and concentration of leachate. The results showed the ratio of waste to cement at 0.05, 0.10, 0.15, 0.25 and 0.50 will make the compression force to be in ranges of 202.23 ± 31.05 , 164.12 ± 29.78 , 109.03 ± 28.08 , 58.73 ± 35.77 and 32.81 ± 21.29 kilograms / squarecentimetres, respectively. The results were found that while the ratio of waste to cements increased resulting in the decrease of the density of cements. The stud of the effect of ratio of waste to cements on pH of leachate showed that the pH value increased from 5 to 12 after leaching time of 18 ± 2 hours because of leaching of calcium hydroxide in cements. The concentrations of hesvymetals in chromium, silver, lead, ferrous, manganese and copper in 7 leachate contained different types samples were examined. It and was found samples contained chromium, silver and lead at the ratio of waste to cements at 0.05, 0.10 and 0.15 were under the standard limits (5 milligrams / litre) and the samples contained ferrous, manganese and copper were under the standard limits.

Keyword: stabilization, leachate, compression force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับความอนุเคราะห์ซึ่งใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรพรพรรณ ตันทวี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ให้ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวทองพันเลิศกุลและครอบครัวศาสตรเวช ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนในการดำเนินโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจตลอดโครงการพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวชรินทร์ทิพย์ ทองพันเลิศกุล
นายประจักษ์ ศาสตรเวช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ของเสียอันตราย	4
2.1.1 ประเภทของเสียอันตราย	5
2.1.2 การจำแนกของเสียอันตราย	6
2.1.3 กระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน	7
2.2 การปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็ง (Stabilization and solidification)	8
2.2.1 การปรับเสถียร (Stabilization)	8
2.2.2 การทำก้อนแข็ง (Solidification)	9
2.2.3 กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์	11
2.2.4 ปูนซีเมนต์	15
2.2.5 คอนกรีต	26
2.3 โลหะหนัก	28
2.3.1 สังกะสี (Zn)	28
2.3.2 ตะกั่ว (Pb)	28
2.3.3 โครเมียม (Cr)	29
2.3.4 ทองแดง (Cu)	29
2.4 กำลังอัดของคอนกรีต	30
2.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)	31
2.4.2 การทดสอบการชะละลาย (Leaching test)	34
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	37
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน	37
3.2 แผนการดำเนินงาน	39
3.3 ที่มาและลักษณะทางกายภาพของตะกอน	40
3.3.1 ที่มาของตะกอนของเสีย	40
3.3.2 คุณสมบัติของตะกอนของเสีย	41
3.4 การเตรียมตะกอนเคมี และการวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักในตะกอนเคมี	42
3.4.1 การเตรียมตะกอนเคมี	43
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักในตะกอนเคมี	42
3.5 การปรับเสถียร โลหะหนัก โดยการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์	44
3.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต (ASTM : C109-92)	45
3.7 การทดสอบการชะละลาย	46
บทที่ 4 ผลการทดลองวิจารณ์ผล	47
4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของก้อนซีเมนต์	47
4.1.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของตะกอนต่อกำลังรับแรงอัด	47
4.1.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อความหนาแน่น	48
4.2 การศึกษาสมบัติการชะละลาย	50
4.2.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของตะกอนต่อค่า pH น้ำชะละลาย	50
4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย	51
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	69
ภาคผนวก ค	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	16
ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	18
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความเปอร์เซ็นต์ความชื้น	41
ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนของเสียก่อนนำไป ทำการปรับเสถียรด้วยวิธีการให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์	42
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย	51
ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด และค่าความหนาแน่น	59
ตารางที่ ก.2 ผลการวัดค่า pH หลังการชะละลาย	67
ตารางที่ ก.3 ค่ามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า	68
ตารางที่ ค.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงค่า pH และค่า Alkalinity จากการทดสอบการชะละลาย	12
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โลหะหนักที่ถูกชะละลายกับ ค่าความเป็นด่างของซิลิกอน จากการทดสอบการชะละลาย	13
รูปที่ 2.3 แสดง pC-pH diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียมและตะกั่ว	14
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต	21
รูปที่ 2.5 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ C_3A และ ภาพ Monosulphate และ Ettringite	22
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ และการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์	24
รูปที่ 2.7 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์	25
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการดำเนินงาน	39
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต	45
รูปที่ 4.1 แสดงผลของอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อกำลังรับแรงอัด	47
รูปที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนของตะกอนของเสียที่มีผลต่อความหนาแน่น	49
รูปที่ 4.3 แสดงผลของอัตราส่วนของตะกอนต่อค่า pH น้ำชะละลาย	50
รูปที่ ค.1 แสดงกราฟมาตรฐานเหล็ก	74
รูปที่ ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานโครเมียม	74
รูปที่ ค.3 แสดงกราฟมาตรฐานแมงกานีส	75
รูปที่ ค.4 แสดงกราฟมาตรฐานคอปเปอร์	75
รูปที่ ค.5 แสดงกราฟมาตรฐานนิกเกิล	76
รูปที่ ค.6 แสดงกราฟมาตรฐานตะกั่ว	76
รูปที่ ค.7 แสดงกราฟมาตรฐานซิลเวอร์	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ในสังคมปัจจุบันการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ทันสมัยและความสะดวกสบายได้เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ทำให้มนุษย์ต้องศึกษาค้นคว้าและวิจัยในด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ไม่ว่าจะเป็น ด้านการแพทย์ ด้านเคมี ด้านชีววิทยา ด้านฟิสิกส์ ด้านคอมพิวเตอร์ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ซึ่งผลที่ตามมาหลังจากการศึกษาค้นคว้าวิจัยแล้วนอกจากจะได้ความรู้และความต้องการในงานเหล่านี้ยังส่งผลต่อการก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมาอีกด้วย เช่น การเกิดของเสียอันตราย การทำให้เกิดมลภาวะในด้านต่างๆ เป็นต้น โดยเฉพาะการทำงานวิจัยทางด้านเคมีซึ่งมักจะมีการวิเคราะห์และทำการทดลองสารเคมีที่ประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณที่มาก หากทำการปล่อยทิ้งโดยไม่บำบัดหรือทำการกำจัดอย่างถูกวิธีอาจมีการปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อม

การทดลองนี้เป็นการเก็บกากตะกอนเคมีซึ่งเป็นของเสียอันตรายเคมีในปูนซีเมนต์ซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยทำการเก็บรวบรวมของเสียโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยนำของเสียโลหะหนักที่ได้มาทำการปรับค่าพีเอช (pH) ประมาณ 7-8 แล้วปล่อยให้ระเหยจนแห้งเหลือตะกอนซึ่งเป็นการสะดวกต่อการเก็บรวบรวมแล้วนำตะกอนที่ได้มาทำเสถียรให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเป็นการตรึง (Immobilize) โลหะหนักไว้ในก้อนซีเมนต์ ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องของตะกอนของเสียอันตรายที่เกิดจากการบำบัดทางเคมีรวมไปถึงยังสามารถใช้ซีเมนต์ก้อนมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างหรืองานต่าง ๆ ที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมากอีกด้วยการทำเสถียรตะกอนให้อยู่ในรูปของซีเมนต์บล็อกเป็นแนวทางในการบำบัดของเสียประเภทโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราเหมาะสมของตะกอนเคมีที่มีผลต่อการปรับเสถียรเพื่อให้ได้ก้อนแข็ง
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของก้อนซีเมนต์ที่ได้จากการปรับเสถียร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนซีเมนต์ของตะกอนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยทำการทดสอบที่อัตราส่วน
ปูน : ทราย : น้ำ : ตะกอนของเสีย
1 : 2.75 : 0.5 : 0.05
1 : 2.75 : 0.5 : 0.10
1 : 2.75 : 0.5 : 0.15
1 : 2.75 : 0.5 : 0.25
1 : 2.75 : 0.5 : 0.5
2. ทำการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยวิธีทางกายภาพ โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ Compressive strength ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และทำการวัดค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่เกิดจากการปรับเสถียร
3. ทำการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยวิธีทางเคมีคือ ทดสอบการชะละลายด้วยวิธี Extraction Procedure ตามวิธีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (2540) หลังจากทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วันจากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการชะละลายมาทำการตรวจวัดค่าโลหะหนักด้วยวิธี Atomic absorption spectrophotometry ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ทำการศึกษาคือ โครเมียม ตะกั่ว ซิลเวอร์ เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส และ คอปเปอร์ แล้วทำการตรวจวัดค่า pH ของน้ำชะละลายที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากทำการทดสอบการชะละลายเป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการบำบัดตะกอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่เหมาะสม ง่าย ประหยัด และปลอดภัย
2. ลดปัญหาการตกตะกอนของเสียอันตรายที่เกิดจากการบำบัดด้วยวิธีเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับห้องปฏิบัติการเคมี โดยเฉพาะในสถานศึกษาต่างๆ โดยไม่ต้องสร้างโรงบำบัดซึ่งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและเดินระบบมีราคาแพง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของเสียอันตราย

ของเสียอันตราย (Hazardous Waste) หมายถึง ของเสียที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์ มีผู้ให้คำจำกัดความของเสียอันตรายต่างๆ กันดังนี้ คือ

1. ของเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม (ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแข็งกึ่งของแข็งของเหลวและก๊าซ) และปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม (ทางดิน น้ำและอากาศ)
2. สิ่งต่างๆ ที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและไม่ไปถูกทิ้งโดยไม่จำกัดไม่ว่าจะทิ้งในน้ำ ดิน หรืออากาศ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อพืช มนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม
3. ของเสียใดๆ ที่ลุกติดไฟได้, ทำให้เกิดโรคติดต่อ, สะสมในสิ่งมีชีวิตแล้วก่อให้เกิดมะเร็ง หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้

ของเสียอันตราย ตามคำจำกัดความของกรมควบคุมมลพิษหมายถึง ของเสียที่เจือปนด้วยของที่มีความเข้มข้นหรือคุณสมบัติทางกายภาพเคมี หรืออื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการตาย หรือการเจ็บป่วย ทั้งที่รักษาได้และรักษาไม่ได้ตลอดจนทำให้เกิดหรือมีแนวโน้มทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมในการบำบัด เก็บกัก ขนส่ง และกำจัด (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

ของเสียอันตรายที่ได้จากชุมชน ได้แก่ ถ่านไฟฉายหมดอายุ กระป๋องสารปราบศัตรูพืช ยาหมดอายุ หลอดไฟหมดอายุหรือใช้แล้ว แบตเตอรี่ที่หมดอายุ โทรทัศน์ที่หมดอายุ วิทยุน้ำมันเครื่องเก่า น้ำมันล้างอัดรูป นอกจากนั้นของเสียอันตรายจากชุมชนอีกประเภทหนึ่งที่ต้องมีการจัดการเฉพาะ ได้แก่ ของเสียจากโรงพยาบาล เนื่องจากเป็นแหล่งของเสียที่แพร่เชื้อโรคต่างๆ สุ่มนุษย์ได้อย่างมากมาย ตัวอย่างของเสียจากโรงพยาบาล ได้แก่ เข็มและกระบอกฉีดยา สำลี พลาสติก สายยางให้อาหาร สายสวนปัสสาวะอูจจาระ สายน้ำเกลือ สายดูดเสมหะ ชิ้นเนื้อส่วนต่างๆ เสมหะเลือด น้ำในช่องท้อง น้ำในไขสันหลัง เป็นต้น ส่วนของเสียอันตรายที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งคือ ของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ของสารปราบศัตรูพืช และสารเคมีต่างๆ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ตะกอนก้นถังของสารเคมีต่างๆ ขยะที่เส้นใยแอสเบสตอสเจือปน กากตะกอนที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นแหล่งกำเนิดของเสียอันตรายร้อยละ 90-92 ของปริมาณของเสียทั้งหมด (มัลลิกา, 2542) ที่ถูกทิ้งรวมไปกับขยะมูลฝอย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

2.1.1 ประเภทของเสียอันตราย

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติแบ่งประเภทของเสียอันตรายออกเป็น 14 ประเภท

1. น้ำมัน (Oils) ได้แก่ ของเสียจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่น และสารทำความสะอาดของเครื่องจักร
2. กากสารอินทรีย์เหลว (Liquid organic residues) ของเสียจากอุตสาหกรรม ปิโตรเคมี และจากอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมี ซึ่งส่วนใหญ่มีคุณสมบัติติดไฟได้ หรือมีสารพิษเฉียบ
3. ตะกอนของแข็งสารอินทรีย์ (Organic sludges and solids) กากของเสียจากอินทรีย์เคมีส่วนใหญ่ติดไฟง่ายหรือมีโอกาสคายสารพิษได้ง่าย
4. ตะกอนและของแข็งสารอนินทรีย์ (Inorganic sludges and Solids) ตะกอนหรือกากของเสียที่มีสารอนินทรีย์ (ยกเว้นโลหะหนัก) เช่น Sulfur, Sludges, Lime sludges, Gypsum
5. ตะกอนและของแข็งโลหะหนัก (Heavy metal sludges and solids) ของเสียที่มีโลหะหนักเฉียบส่วนใหญ่มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
6. ตัวทำละลาย (Solvents) ได้แก่ ของเสียที่มีตัวทำละลายใช้ในการทำความสะอาดโรงงาน หรือเครื่องซ่อมบำรุง ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น พลาสติก ใยสังเคราะห์ ยา เป็นต้น
7. ของเสียเป็นกรด (Acid waste) มีค่า pH < 7 เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โรงงานชุบโลหะที่ใช้กรดทำความสะอาด รวมทั้งกรดที่ใช้ในการทำความสะอาดรวมทั้งกรดที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ
8. ของเสียที่เป็นด่าง (Alkaline waste) ที่มีค่า pH สูงกว่า 7 เช่น สารละลายโซดาไฟในการชุบโลหะ น้ำยาต่างสำหรับทำความสะอาด สารละลายแอมโมเนียที่ใช้แล้ว
9. ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน (Off specification products) คือ ผลิตภัณฑ์หรือวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐานเสื่อมคุณภาพ หรือไม่ได้มาตรฐาน
10. พีซีบี (Polychlorinated biphenyls, PCB) ของเสียที่มีค่าพีซีบีมากกว่า 50 ppm เช่น จากหม้อแปลงไฟฟ้า
11. กากสารอินทรีย์น้ำ (Aqueous organic residues) ของเสียที่มีสารอินทรีย์เคมีที่มีพิษ เช่น น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม หรือการล้างจากน้ำยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. น้ำเสียล้างอัดรูป (Photo waste) ของเสียที่เกี่ยวกับกิจการการถ่ายภาพ ล้างและอัดรูป ซึ่งมีน้ำยา (Silver bromide) และอื่นๆ

13. มูลฝอยชุมชน (Municipal wastes) ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน สำนักงานร้านอาหาร เช่น ยาฆ่าแมลง สี น้ำยาล้างห้องน้ำ หลอดไฟนีออน แบตเตอรี่ ยา เป็นต้น

14. มูลฝอยติดเชื้อ (Infection waste) ของเสียติดเชื้อ เช่น น้ำเลือด น้ำหนอง ลำไส้ ผ่าฟันแผล เข็มฉีดยา เป็นต้น

2.1.2 การจำแนกของเสียอันตราย

การจำแนกของเสียใดๆ ว่าเป็นของเสียอันตรายหรือไม่นั้น ได้กำหนดหลักเกณฑ์ไว้ 2 ประการ คือ

2.1.2.1 การจำแนกตามลักษณะ (Characteristic) สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ประเภท ดังนี้

1. การระเบิดเป็นของเสียที่มีการปนเปื้อนที่ก่อให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงเมื่อได้รับความร้อนและประกายไฟ เปลวไฟ หรือได้รับการกระทบกระเทือน การเสียดสี หรือการกระทำโดยการจู่ระเบิด
2. ไวไฟ จุดวาบไฟน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส ถูกเป็นไฟเมื่อเกิดการเสียดสี หรือดูดความชื้น หรือการเกิดปฏิกิริยาภายในเป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้เป็นสารออกซิไดเซอร์
3. กัดกร่อน $\text{pH} \leq 2$ หรือ ≥ 12.5 เป็นสารกัดกร่อนหลักกล้าชั้น Society of Automotive Engines SAE 1020 ในอัตราสูงกว่า 6.35 มิลลิตรต่อปี ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
4. ไวต่อปฏิกิริยาเคมีมีสภาพไม่คงตัว ทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและรุนแรงกับน้ำ เป็นสารเคมีซึ่งรวมกับน้ำได้ของผสมที่ระเบิดได้ หรือเกิดก๊าซพิษ หรือไอพิษ หรือควันพิษ เป็นสารซึ่งประกอบด้วย ไฮยาไนด์ หรือซัลไฟด์เมื่อมีค่า pH ระหว่าง 2-11.5 จะเกิดก๊าซพิษ หรือไอพิษ หรือควันพิษ เป็นสารเมื่อถูกทำให้ร้อนขึ้นแล้วในที่จำกัดจะมีปฏิกิริยารุนแรง หรือเมื่ออยู่ในที่ซึ่งอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน จะมีปฏิกิริยาอย่างรุนแรงและรวดเร็วและอาจระเบิดได้
5. เป็นพิษ มีอันตรายต่อสุขภาพและอนามัยทำให้ตายได้ในปริมาณเล็กน้อย เป็นพิษต่อสัตว์ทดลองโดยมีค่า $\text{LD}_{50} < 50$ มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม หรือ $\text{LC}_{50} < 100$ ppm ในสภาพไอหรือก๊าซ เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งตามบัญชีรายชื่อในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2A และกลุ่มที่ 2B ของ International Agency Reseach on Cancer เป็นสารที่มีค่าความเป็นพิษของสัตว์น้ำที่ทดลอง $\text{LC}_{50} < 50$ มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 96 ชั่วโมง เป็นสารที่เมื่อถูกเจือจางให้มีความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 20 แล้ว ยังจะก่อให้เกิดความเป็นพิษ LC_{50} ต่อสัตว์ทดลองในเวลา 96 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ดัดเชื้อของเสียที่มีเชื้อโรคปนเปื้อนอยู่ในปริมาณหรือความเข้มข้นซึ่งถ้ามีการสัมผัสหรือใกล้ชิดกับของเสียนั้นแล้วสามารถทำให้เกิดการติดเชื้อโรคได้ เช่น ซากชิ้นส่วนของมนุษย์และสัตว์ วัสดุของมีคม (เข็ม ใบมีด กระบอกรีดเย็บ หลดอกแก้ว ภาชนะที่ทำด้วยแก้ว สไลด์ และแผ่นกระจกปิดสไลด์) วัสดุที่ซึ่งสัมผัสหรือสงสัยว่าจะสัมผัสกับเลือด (สำลี ผ้าก๊อซ ผ้าต่างๆ และท่อยาง) รวมถึงขยะทุกชนิดที่มาจากห้องรักษาผู้ป่วยติดเชื้อรุนแรง)

7. กัมมันตรังสี วัสดุในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ที่เกิดจากการใช้หรือหมดเปลืองไปของวัสดุกัมมันตรังสีที่มีค่ากัมมันตภาพต่อปริมาณ และกัมมันตภาพรวมสูงกว่าเกณฑ์ที่ปลอดภัย

8. การชะล้างได้ เป็นของเสียที่สกัดด้วยวิธี Leachate extraction procedure และ วิธีการวิเคราะห์น้ำสกัดตามมาตรฐาน US. EPA SW 846 มีปริมาณโลหะหนักหรือสารพิษในน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

2.1.2.2 การจำแนกตามกำหนดรายชื่อ (Listing) ได้แก่

1. บัญชีรายชื่อของเสียเคมีวัตถุ (Chemical Wastes) ตามบัญชี ข ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตรายฉบับที่ 2 พ.ศ. 2543 ได้กำหนดรายชื่อของเสียเคมีวัตถุ (Chemical Wastes) จำนวน 60 ชนิด เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 (ภาคผนวก ก)

2. บัญชีรายชื่อสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540

2.1.3 กระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน

1. Cement Based ของเสียจะถูกผสมลงในซีเมนต์ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ แล้วปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์

2. Pozzolan (lime Based) ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาวและวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฟอสโซลาน เช่น เถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่เผาเผา เป็นคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แห้งตัว

3. Thermoplastic นำของเสียมาทำให้แห้งให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัวอยู่ใน พลาสติกที่ร้อน เช่น Bitumen, Paraffin หรือ Polyethylene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว

4. Organic Polymer ของเสียในขั้นแรกจะถูกผสมกับสารพอลิเมอร์ (Gelling agents) หรือ (Urea formaldehyde) และเติมสารคะตะลิสต์ผสมให้เข้ากันก่อนที่สารพอลิเมอร์จะแข็งตัว

5. Surface Encapsulation ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวแน่นแล้วเคลือบผิววนอกของของเสียที่ถูกบดอัดด้วยสารเหนียว เช่น Polyethylene หรือ Organic resins

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Self-cementing สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซิลเฟต และ แคลเซียมซิลไฟด์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถนำมาใช้ผสมกับตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย

7. Gasification and Production of Synthetic Minerals or Ceramic สารที่เป็นอันตรายมากเช่น กากสาร กัมมันตภาพรังสี สามารถนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้เป็นส่วนผสมของแก้วหรือ Synthetic silicate mineral เพื่อป้องกันสารเหล่านี้ไม่ให้ถูกชะละลายด้วยน้ำสามารถนำไปกำจัดต่อโดยไม่ต้องมีกระบวนการหุ้มหรือบรรจุเป็นครั้งที่ 2

2.2 การปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็ง (Stabilization and Solidification)

ปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็งจะช่วยป้องกันการเกิดการชะของการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการฝังกลบบนพื้นที่หนึ่งอาจส่งผลกระทบต่อน้ำใต้ดินได้แต่ถ้ามีการเสกซิ่งข้อดีดังนี้

- 1) ช่วยป้องกันการชะละลายของสารปนเปื้อนออกมา
- 2) ช่วยลดขนาดพื้นที่ของของเสีย
- 3) ช่วยเสริมสภาพของเสียด้านกายภาพให้อยู่ในสภาพดี
- 4) มีความทนต่อสภาพแวดล้อม

การปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็งเป็นกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายให้หมดสิ้น วิธีการปรับเสถียรจะมีการใส่สารเคมีหรือวัสดุอื่น ๆ ผสมกับของเสียอันตราย เพื่อไม่ให้ของเสียอันตรายกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อลดความเป็นพิษของของเสียอันตราย ส่วนวิธีทำเป็นก้อนแข็งเป็นการทำให้ของเสียแข็งตัวคือ ทำให้ของเสียถูกเปลี่ยนสภาพทางกายภาพ

2.2.1 การปรับเสถียร (Stabilization)

การปรับเสถียรกากของเสียเป็นการผสมสารเคมีที่เหมาะสมเข้ากับของเสีย เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่ของเสียถูกจับไว้ ทำให้ของเสียถูกชะละลายได้น้อยลง การปรับเสถียรกากของเสียอันตรายนี้เป็นการเตรียมของเสียเพื่อไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย ตัวอย่างของการปรับเสถียรได้แก่ การผสมปูนซีเมนต์กับตะกอนโลหะหนักแล้วนำมาทำการหล่อให้เป็นก้อนตะกอนที่ผ่านการปรับเสถียรต้องนำมาทำการทดสอบสมบัติการถูกการชะล้าง (Leaching Test) ภายใต้สภาวะมาตรฐานก่อนการนำไปฝังกลบสารละลายที่ผ่านการชะล้างของเสียแล้วจะต้องมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ การปรับเสถียรจะใช้วิธีเติมสารที่ทำการปรับเสถียรที่ซึ่งใช้กันมีอยู่หลายชนิดคือ

- ซีเมนต์

จะก่อรูปเป็นก้อนแข็งภายในเป็นผลึกในรูปของ Calcium alumina-silicate มีข้อดีหลายอย่างเช่น สามารถเก็บสารอันตรายอยู่ได้ยาวนานไม่ต้องทราบถึงความสามารถในการตกผลึกที่ pH เท่าใด มีความแข็งแรงทนต่อสภาพร้อน ฝน หนาวได้ดี ทนต่อแรงกระแทกได้ และการจัดการดำเนินผสมสารปนเปื้อนกับซีเมนต์ทำได้ง่าย แต่อาจมีปัญหาว่า ของเสียอันตรายบางชนิดเมื่อทำการผสมกับปูนซีเมนต์จะไม่สามารถก่อให้เกิดเป็นก้อนแข็งได้ และจะเกิดความร้อนสูงด้วย

- Pozzolans

เช่น เถ้าลอย ขี้เถ้า ผงฝุ่นซีเมนต์ ซึ่งส่งผลให้ Pozzolans มีโครงสร้างที่เรียกว่า amorphous aluminosilicate โดย Pozzolans เมื่อนำมาผสมกับปูนขาวและน้ำจะทำให้ได้วัสดุซีเมนต์ที่เรียกผลของก้อนแข็งนี้ว่า Pozzolanic concrete ดังนั้น Pozzolans ก็จะทำหน้าที่ปรับเสถียรของเสียอันตรายและก่อให้เกิดเป็นก้อนคอนกรีต จะเหมาะสมกับการจับตัวกับสารปนเปื้อนอินทรีย์และยังสามารถจับตัวกับสารปนเปื้อนอินทรีย์ได้อีกด้วย

- ปูนขาว

มีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ Ca(OH)_2 นิยมเรียกว่า Lime เมื่อนำมาผสมกับของเสียอันตรายจะได้ปฏิกิริยาเคมี Calcium hydroxide ทำปฏิกิริยากับวัสดุในของเสีย

2.2.2 การทำก้อนแข็ง (Solidification)

การทำก้อนแข็งเป็นกระบวนการที่ใส่สารที่ก่อให้เกิดวัสดุแข็งตัวโดยทำการใส่วัสดุก่อให้เกิดแข็งตัวกับของเสียอันตรายทำให้มีความแข็งแรงรับแรงกดได้มากขึ้นและสามารถช่วยลดความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ วัสดุที่ช่วยก่อให้เกิดการแข็งตัวได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ส่งผลทำให้ของเสียมีเสถียรภาพดีขึ้น

2.2.2.1 กลไกของระบบการปรับเสถียรและการทำก้อนของแข็ง

กลไกของระบบการปรับเสถียรและการทำก้อนของแข็งอาศัยกลไกทางกายภาพและทางเคมีที่ส่งผลให้ของเสียอันตรายถูกปกปิดหรือถูกยึดติดจนแน่นไม่สามารถหลุดออกมาได้ ประเภทของการปรับเสถียรสามารถแบ่งเป็น

1. Micro encapsulation

ของเสียจะอยู่ในแคปซูลและถูกบรรจุไว้ในโครงสร้างผลึกในระดับที่เล็กมากหรือเรียกว่า ระดับ Microscopic ของเสียอันตรายจะถูกย่อยสลายจนมีขนาดเล็กมากๆ ตัวอย่างของกลไกนี้เกิดขึ้นกับของ

เสียนไตรยที่เป็นน้ำมัน ได้ถูกผสมกับเถ้าลอย ปูนขาว และซีเมนต์ จนทำให้กากน้ำมันอยู่ในช่องว่างของแคลซูลิน

2. Macro encapsulation

ของเสียนจะอยู่ในแคลซูลและจะถูกบรรจุไว้ในโครงสร้างในระดับใหญ่กว่าของ Micro encapsulation พวกของเสียนไตรยจะถูกบรรจุอยู่ในแคลซูลด้วยกลไกทางกายภาพ มีการแตกสลายในเชิงกายภาพ มีขนาดใหญ่แต่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยอิสระตัวอย่างของกลไกนี้ เกิดขึ้นกับของเสียนที่เป็นน้ำมัน เมื่อทำการผสมกับเถ้าลอย ปูนขาว และซีเมนต์ จนทำให้กากน้ำมันอยู่ในช่องว่างของแคลซูล

3. Adsorption

Adsorption เป็นการดูดซับ หรือการดูดติดบนผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นการยึดจับกายภาพ การยึดเกาะทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical) โดยวัสดุหรือสารปรับเสถียรเกิดแรงยึดแบบ Hydrogen bonding หรือแบบ Van der waal ทำให้เกิดการรั่วไหลหรือหลุดออกจากผิวของแข็งมีน้อยกว่าของ Macro encapsulation และของ Micro encapsulation ซึ่งเป็นจุดเด่นของวิธีนี้ คือการปรับเสถียรของของเสียนอินทรีย์ด้วยวิธีนี้ได้ใช้ดินเหนียวดัดแปลงอินทรีย์ (Organically modified clay) ซึ่งนำพวกอินทรีย์ประจุบวกแทนพวกอนินทรีย์ประจุบวกหรือเรียกดินเหนียวชนิดนี้ว่า Organophilic clay ถ้าไม่นำดินเหนียวมาทำการดัดแปลงอินทรีย์ ก็จะเรียกดินเหนียวชนิดนี้ว่า Organophobic clay

4. Absorption

เป็นการดูดซึมของเสียนไตรยโดยของเสียนไตรยจะถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในตัวดูดซึมคล้ายกับฟองน้ำดูดน้ำเข้าไป วิธีนี้จะใช้สารดูดซึม หรือตัวดูดซึมชนิดต่างๆทำการดูดซึมของเหลวออกมาจากของเสียนไตรยให้อยู่ในสภาพของแข็งมากขึ้น หรือเพิ่มปริมาณของแข็งมากขึ้นพวกตัวดูดซึมได้แก่ เถ้าลอย ผงฝุ่นซีเมนต์ ผงฝุ่นปูนขาว จีลลี่ ฟางข้าว หญ้าฟาง เป็นต้น ยังรวมถึง Betonite kaolinite vermiculite และ Zeolite

5. Precipitation

การตกผลึกหรือการนำพวกของเสียนไตรยโดยมากเป็นพวกของเสียนอินทรีย์มาผสมรวมกับสารเคมีที่ทำให้เกิดการตกตะกอนผลึกถ้าอยู่ในสภาพที่เหมาะสม เช่น มีค่า pH เหมาะสม ในที่นี้จะเป็นการตกผลึกสารเคมีเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ Hydroxides, Sulfides, Silicate, Carbonates, Phosphate เป็นต้น โดยทั่วไปจะเป็นการกำจัดโลหะหนักด้วยการปรับค่า pH ให้เพิ่มขึ้นแต่ในสภาวะที่ค่า pH ลดลง หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพที่เป็นกรดจะเกิดปัญหาของเสียอันตรายหรือโลหะหนัก ละลายออกมาจากผลึก จะสร้างปัญหาการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม

6. Detoxification

การกำจัดสารพิษหรือความเป็นพิษออกจากของเสียอันตรายด้วยการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมี เช่น การเปลี่ยนจาก Cr^{6+} ซึ่งมีความเป็นพิษมากให้เป็น Cr^{3+} ซึ่งมีพิษน้อย ในการเปลี่ยนจาก Cr^{6+} ให้เป็น Cr^{3+} อาจใช้ Ferrous Sulfate กับ Sodium Sulfate

2.2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำก้อนของแข็ง

ในการทำก้อนของแข็งด้วยซีเมนต์ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้ คือ ปริมาณน้ำ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณสารอื่นที่เติมลงไป เช่น ทราช เถ้าลอย เป็นต้น เพราะมีมากเกินไปอาจทำให้การก่อตัวของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้ยาก เช่น ปริมาณน้ำมากเกินไปอาจทำให้เหลว ในทางกลับกันถ้ามีปริมาณปูนซีเมนต์หรือวัสดุประสานมากเกินไปก็จะส่งผลทำให้เกิดการแข็งตัวเร็ว การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยลงเพราะจะทำให้วัสดุแตกง่ายหรือถ้ามีส่วนผสมน้อยก็จะส่งผลในทางกลับกันดังนั้นในการเติมส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆ จึงต้องมีปริมาณที่เหมาะสม

2.2.3 กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์

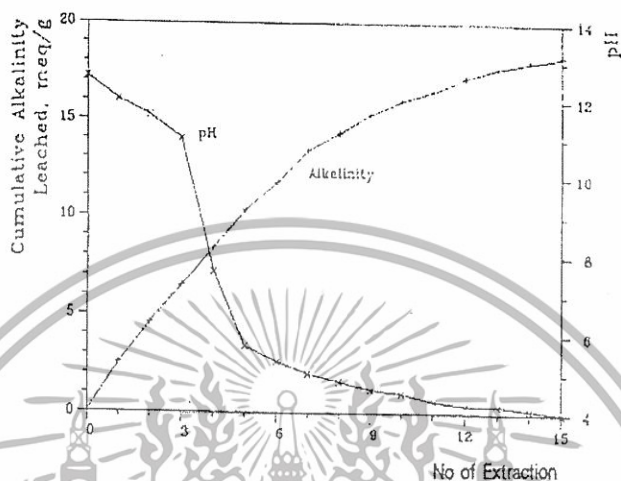
ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ที่เกิดภายในรูพรุนของโครงสร้างภายในของเสียแข็งตัวที่เกาะติดบนผนังของรูพรุนและทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบในซีเมนต์โลหะหนักจะถูกล้อมอยู่ในของแข็งหรืออยู่ในรูพรุนหรือเกาะติดอยู่ที่ผิวรูพรุนและที่ค่า pH สูงๆ โลหะหนักที่สะสมตัวอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของเสียที่แข็งตัวในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือเกลือที่ไม่ละลายน้ำโดยแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนและเกาะติดอยู่ตามผนังของซีเมนต์ที่แข็งตัว จากการยึดจับตัวของโลหะหนักในซีเมนต์ทำได้ดีและยากที่จะนำการชะละลายโลหะหนักออกจากซีเมนต์ที่แข็งตัวดังกล่าว

Bishop (1988) ได้ทำการศึกษาการการชะละลายโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ (Cement based Solidification) โดยใช้ของเสียสังเคราะห์เป็นโลหะไฮดรอกไซด์ของแคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยได้ศึกษาถึง Buffering capacity ของวัสดุที่แข็งตัวจากการกำจัดโลหะหนักและกลไกการยึดจับโลหะหนักชนิดต่างๆในของเสียที่ถูกทำให้แข็งตัว (Solidified wastes) สรุปผลการวิจัยดังนี้

1. ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) กับของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์ โดยทำการชะละลายของเสียที่แข็งตัวด้วยกรดแอสติก แล้วทำการชะละลายต่อกันอีก 15 ครั้ง ตรวจวัดค่า pH และทำการวัดค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) แล้วนำไปเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ค่า pH และค่า Alkalinity จากการทดสอบการชะละลาย (Bishop, 1988)

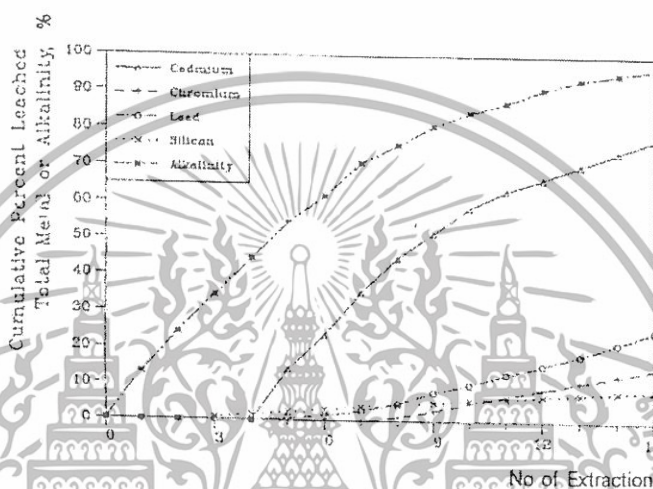
จากกราฟเมื่อทำการชะละลายของเสียแข็งตัวหลายๆครั้งพบว่า ค่า pH ของกรดที่ผ่านการชะละลายแล้วมีค่าลดลงเรื่อยๆจนเกือบคงที่ในครั้งที่ 15 ส่วนค่าความเป็นด่างสะสม (Cumulative Alkalinity) จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยในครั้งที่ 15 ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายได้จะเหลือน้อยมากประมาณ 1.7% ของค่าความเป็นด่างสะสมทั้งหมด โดยความเป็นด่างจะถูกชะละลายออกมามากในช่วงต้นและลดลงตามลำดับจนถึงครั้งที่ 15 ค่าความเป็นด่างสะสมถึงการชะละลายในครั้งที่ 15 มีค่าเท่ากับ 18.3 meq/g ซึ่งถือเป็นค่า Buffering Capacity ของของเสียแข็งตัว ค่าความเป็นด่างที่ถูกชะละลายออกมาในแต่ละครั้ง จะเป็นตัวควบคุมค่า pH ของการชะละลายโดยการสะเทินกรดแอสติกที่ใช้ในการทดสอบให้เป็นกลาง

2. กลไกการยึดจับโลหะหนัก

จากรูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลาย (แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว) กับค่าความเป็นด่าง และซิลิกอน ซึ่งจะถูกระบายมากขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงต่ำกว่า 6 จากการทดลองที่ผ่านมาหลายๆ ครั้งทำให้ทราบว่าโลหะหนักจะอยู่ในโครงสร้างของของเสียแข็งตัวในรูปแบบต่างๆ เช่นอยู่ในรูพรุนของโครงสร้างภายในของของเสียแข็งตัว ถูกเกาะติดบนผนังของรูพรุนและทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบในซีเมนต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคดเมียม (Cd) จะถูกระบายออกมาได้มากกว่าโครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งจะถูกระบายออกมาได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่โลหะหนักถูกล้อมอยู่ในของแข็งหรืออยู่ในรูปพูน หรือเกาะติดอยู่ที่ผิวของรูปพูนแล้วโลหะหนักเหล่านั้นควรจะถูการชะละลายออกมาคล้ายกับการชะละลายค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) จากรูปที่ 2.2 เส้นกราฟของแคะเมียมสะสมที่ถูกชะล้างออกมาจะคล้ายคลึงกับเส้นกราฟของค่าความเป็นด่างสะสมที่ถูกชะล้างออกมา ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าแคะเมียมจะอยู่ในของแข็งที่แข็งตัวในรูปแคะเมียมไฮดรอกไซด์โดยอยู่และเกาะติดตามผนังตามรูปพูน



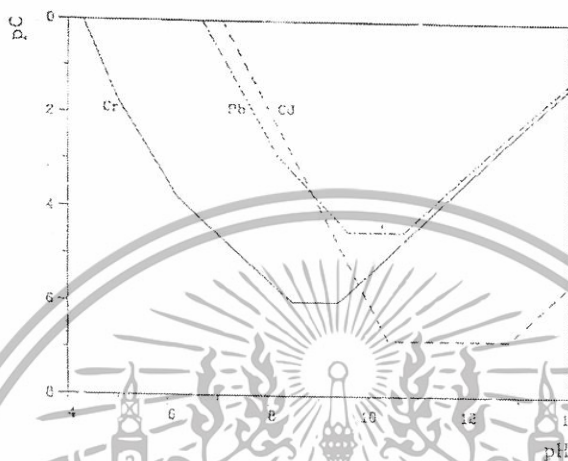
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โลหะหนักที่ถูกชะละลายกับค่าความเป็นด่างของซิลิกอน จากการทดสอบการชะละลาย (Bishop, 1988)

สำหรับโครเมียมและตะกั่ว นั้น เมื่อพิจารณาเส้นกราฟแล้วจะมีรูปแบบของการถูกชะละลายคล้ายคลึงกับซิลิกอน ซึ่งเป็นสารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์และทราย ดังนั้นจึงเชื่อว่าโครเมียมและตะกั่วจะถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนมากกว่าเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในรูปพูน การชะละลายของโครเมียมและการชะละลายของตะกั่วค่อนข้างยากที่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่ pH ต่ำๆ และต่ำกว่า pH ที่ชะละลายแคะเมียม ดังนั้นแสดงว่าโลหะทั้งสองชนิดนี้จะเกาะติดอย่างแข็งแรงภายใน โครงสร้างที่ซับซ้อนของซิลิกาและจะถูกชะละลายออกก็ต่อเมื่อ โครงสร้างของซิลิกาถูกทำลาย

กราฟรูปที่ 2.3 แสดง pC-pH diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคะเมียมและตะกั่วในสารละลายที่มีค่า ionic strength 0.75 M พบว่าในขณะที่เริ่มทำการผสมปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่นๆ ค่า pH จะสูงประมาณ 12-13 ซึ่งทำให้แคะเมียมส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ และอยู่ในรูปของแคะเมียมไฮ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็งอยู่ร่วนของปูนซีเมนต์ ส่วนโครเมียมและตะกั่วอาจจะละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยากับซิลิเกต จากสาเหตุดังกล่าวจึงอธิบายได้ว่าแคลเซียมแคลเซียมจะถูกชะละลายออกมาได้เช่นเดียวกับค่าความเป็นด่าง ส่วนโครเมียมและตะกั่วจะถูกชะละลายออกมาโดยขึ้นกับการละลายของซิลิเกต



รูปที่ 2.3 pC-pH diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคลเซียมและตะกั่ว (Bishop, 1988)

ภายหลังการทดลอง Leaching Test ได้วิเคราะห์หาปริมาณของสารทั้งหมดพบว่าหลังจากการทดสอบการชะละลาย 15 ครั้ง ปริมาณสารถูกชะละลายประมาณ 50-70 % ของปริมาณทั้งหมดก่อนการทดลอง แต่อย่างไร้โลหะเหลืออยู่ โดยแคลเซียม โครเมียม และตะกั่ว เหลืออยู่ 50, 80, และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังมีโลหะหนักที่เป็นสารประกอบโดยปกติในซีเมนต์ ได้แก่แกลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกอนเหลืออยู่ 90, 98 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแคลเซียมเหลืออยู่ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์ที่แข็งตัวสามารถยึดจับโลหะได้ดีและยากที่จะทำการชะละลายโลหะหนักออกจากซีเมนต์ที่แข็งตัว

ข้อดีและข้อเสีย ของการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์

- 1) สารที่เติมลงไปส่วนผสมมีเพียงพอสำหรับอัตราส่วนที่ใช้
- 2) เทคนิคการผสมซีเมนต์ และการกำจัดได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้ว
- 3) วิธีการนี้จะทนต่อสารเคมีได้หลายชนิดในตะกอนของแข็งได้เป็นอย่างดี
- 4) เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการนี้มีอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ความแข็งแรงและความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแข็งตัวสามารถปรับได้ โดยการควบคุมปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เติมลงในของเสีย

6) วัสดุที่ใช้ในการทำมีราคาถูก

ข้อเสีย

1) ไม่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์บางชนิดซึ่งจะมีความสามารถในการทำลายกลไกการแข็งตัวของปูนซีเมนต์

2) ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจถูกชะละลายได้ในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำ

3) การเพิ่มน้ำหนักของของเสียโดยการหล่อด้วยปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสียในการไปกำจัดเพิ่มขึ้น

2.2.4 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ อันได้แก่ หินปูน ดินเหนียว ในสัดส่วนที่ถูกต้อง ผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียม และ อลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวมานี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน อัตราการก่อตัวและแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับความละเอียดของผงปูน ความแข็งแรงและความทนทานเมื่อแข็งตัวแล้ว ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและการให้ความชื้นในขณะเริ่มแข็งตัว ปูนซีเมนต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. ปูนซีเมนต์ที่ไม่สามารถแข็งตัวและสามารถก่อตัวในน้ำ หรือไม่เสถียรในน้ำเรียกว่า Non-Hydraulic Cement

2. ปูนซีเมนต์ที่สามารถแข็งตัวและสามารถก่อตัวได้ในน้ำ และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งซึ่งเสถียรในน้ำเรียกว่า Hydraulic Cement เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ดังนั้นปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมในปัจจุบัน เพราะเมื่อนำไปผสมกับทราย และน้ำ จะได้เป็นมอร์ตาร์ซึ่งใช้เป็นปูนก่อสร้างสำหรับงานก่ออิฐหรือหิน ปูนฉาบ และสำหรับงานฉาบ เป็นต้น หากนำไปผสมรวมกับหินกรวด ทรายและน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะจะได้เป็นคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วจะทนทานคล้ายหิน

ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีตได้แก่ ฐานรากตอม่า เขื่อน กำแพงกันดิน พื้นถนน ซึ่งเมื่อเสริมด้วยเหล็กเส้นจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้น หลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบไปด้วยส่วนผสมสำคัญดังนี้

1. Calcareous Material ได้แก่ หินปูน (Lime stone) และดินสอพอง (Chalk)
2. Argillaceous Material ได้แก่ ซิลิกา อลูมินา ซึ่งอยู่รูปดินดำและดินเหนียว (Clay) และ ดินดาน
3. Iron Oxide Material ได้แก่ แร่เหล็ก และศิลาแลง

2.2.4.1 องค์ประกอบทางเคมี

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซีเมนต์

- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และ ยิบซั่ม

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาล, 2539)

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
CaO	60 – 67
SiO_2	17 – 25
Al_2O_3	3.0 – 8.0
Fe_2O_3	0.5 – 0.6
MgO	0.1 – 5.5
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0.5 – 1.3
TiO_2	0.1 – 0.4
P_2O_5	0.1 – 0.2
SO_3	1.0 – 3.0

ออกไซด์จะรวมตัวในระหว่างเกิดเม็ดปูน (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบหลัก 4 อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาล, 2539)

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมินา	$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
ไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์	$3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

คุณสมบัติของสารประกอบหลัก 4 อย่าง

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาล, 2539)

คุณสมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชม.)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาที)
2. การพัฒนากำลังอัด	เร็ว (วัน) สูง	ช้า (อาทิตย์) ค่อนข้างสูง	เร็วมาก (วันเดียว) ต่ำ	เร็วมาก (วันเดียว) ต่ำ
3. กำลังอัดประลัย	ปานกลาง (500 J/g)	น้อย (250 J/g)	สูงมาก (850 J/g)	ปานกลาง (420 J/g)
4. ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	คุณสมบัติเหมือนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์	-	ไม่คงตัวในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา
5. คุณสมบัติอื่นๆ				

2.2.4.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ประณต, 2538) แบ่งออกเป็น 5 ประเภทคือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาสำหรับในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในงานก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในสภาวะอากาศรุนแรง หรือในอันตรายจากซัลเฟต หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำ

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คัดแปลงสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่นงานสร้างเขื่อน การสร้างกำแพงดินหนาๆ ปูนประเภทนี้จะให้กำลังรับแรงซ้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทแรก
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว หรือปูนซีเมนต์จะให้กำลังรับแรงอัดสูงในช่วงแรก เนื้อละเอียดเป็นผงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผลิตโดยการเปลี่ยนส่วนผสม หรือเติมสารอื่นที่มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว ทำคอนกรีตในอากาศหนาว
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ อัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตเป็นไป อย่างช้าๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้ในการก่อสร้างคอนกรีตเหลว (Mass Cement)
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ทนซัลเฟตได้สูง เป็นปูนซีเมนต์ที่มีไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) เพื่อป้องกันไม่ให้ซัลเฟตจากภายนอกทำลายคอนกรีตให้กำลังรับแรงอัดซ้า ใช้กับโครงสร้างที่อยู่ที่มีผลกระทบของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีความเป็นด่างสูง ปูนนี้จะใช้เวลาในการแข็งตัวนานกว่าปูนประเภทแรก
6. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่นๆ
 - ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทกากเตาถลุง เป็นปูนที่ทำขึ้นจากการบดกากหรือเม็ด ตะกรันเตาถลุง กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเข้าด้วยกันเป็นผงละเอียด มีผงยิปซัมผสมอยู่ด้วย ซึ่งกากตะกรันเป็นของเหลือที่ได้จากกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาหลอม โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ชนิดก่อตัวและแข็งซ้าทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดในระยะแรกน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับการใช้งานก่อสร้างทั่วไป
 - ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน เป็นปูนที่เกิดขึ้นโดยการบดปูนเม็ดของปูนธรรมดา กับวัสดุจำพวกปอซโซลานิก ซึ่งวัสดุปอซโซลานอาจได้จากธรรมชาติเช่น เถ้าภูเขาไฟ ส่วนทำเทียม ได้แก่ ดินเหนียว หรือดินดานเผา ผงถ่านหิน เป็นต้น ปูนนี้จะใช้คอนกรีตขยายตัวน้อย มีความทึบน้ำสูง ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำ
 - ปูนซีเมนต์ออลูมินาสูง
 - ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง
 - ปูนซีเมนต์ขยายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนที่ผลิตได้ต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอ และเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

- ความละเอียด

ขนาดของอนุภาคผงปูนซีเมนต์มีความสำคัญต่ออัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนกับน้ำ นอกเหนือไปจากส่วนประกอบอื่นของปูนซีเมนต์ ผงปูนซีเมนต์ที่มีขนาดอนุภาคละเอียดกว่า จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำได้มากกว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยากับน้ำจึงเร็วกว่า มีผลทำให้อัตราการก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์เร็วกว่า ทำให้คอนกรีตเกิดกำลังรับแรงอัดในช่วงแรกได้เร็วกว่าอย่างไรก็ตามถ้าผงปูนซีเมนต์ละเอียดมากไป ก็จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศก่อน และจับตัวเป็นก้อนซึ่งทำให้คุณภาพของปูนซีเมนต์เสียไป นอกจากนี้ความละเอียดยังมีความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดด้วย

- การก่อตัวและการแข็งตัว

เมื่อปูนซีเมนต์ผสมรวมกับน้ำ จะได้ปูนซีเมนต์เพสต์ที่มีความนุ่มนวล ปั้นง่าย ถ้ำปล่อยทิ้งไว้โดยไม่กวนในไม่ช้าปูนซีเมนต์เพสต์จะสูญเสียความไม่คืนตัวและรวมไปถึงสถานะที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยปราศจากการแตกหัก การเปลี่ยนสถานะนี้เรียกว่าการก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ตามปกติการก่อตัวจะเริ่มเป็นก้อนแข็งภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง ซึ่งจะเกิดแข็งตัวเร็วตามมาโดยอาจใช้เวลาเป็นเดือนหรือปีขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาเคมี

- ความอยู่ตัว

เมื่อผลิตปูนซีเมนต์โดยให้มีปริมาณของสารประกอบตรงตามกำหนดแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากนักนั่นคือปูนซีเมนต์ที่ใช้ให้ความมั่นคงนั่นเอง ความไม่อยู่ตัวทำให้เกิดการขยายตัวในเนื้อซีเมนต์เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับผลึกในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์เป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวชำรุดโดยปกติจะเกิดจากปริมาณยิปซัม ปูนขาวหรือแมกนีเซียมออกไซด์มากเกินไป

- ความแข็งแรง

ความแข็งแรงเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของปูนซีเมนต์ ซึ่งบ่งชี้ว่าปูนซีเมนต์ที่จะนำไปใช้มีคุณภาพดีหรือไม่ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ไม่สามารถใช้คาดหมายถึงกำลังต้านทานของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกมากมาย ความแข็งแรงของปูนเกิดจากการยึดเกาะของซีเมนต์เพสต์ซึ่งก็จะขึ้นกับปริมาณของสารประกอบที่มีอยู่ในปูนและความละเอียดของปูนผง

- การก่อตัวผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์และได้ความเข้มข้นตามมาตรฐานแล้ว จะแข็งตัวเร็วกว่าปกติโดยไม่เกิดความร้อนมาก การก่อตัวแบบนี้จะไม่ทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไป แต่ถ้าวการก่อตัวอย่างนี้เกิดขึ้นมากก็จะทำให้ต้องใช้ น้ำในการผสมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตลดลงมีการหดตัวเมื่อแห้งเกิดการแตกร้าว

2.2.4.4 ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (ชัชวาล, 2539)

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกริยาเคมีระหว่างสารประกอบในปูนกับน้ำจะเริ่มปฏิกริยาขึ้น เรียกว่า ปฏิกริยาไฮเดรชัน สารประกอบ C_3S และ C_2S ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์ โดยปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะคือ

1. อากาศละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย Ions จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
2. การเกิดปฏิกริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกริยาประเภทนี้เรียกว่า Solid State Reaction ปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะโดยในช่วงแรกจะอากาศละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกริยาระหว่างของแข็งซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิดเมื่อเกิดปฏิกริยาผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ในครั้งแรก จึงทำการแยกพิจารณา ดังนี้

- ปฏิกริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S, C_2S)

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)



2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซัลเฟต (จ้ชวาล, 2539)

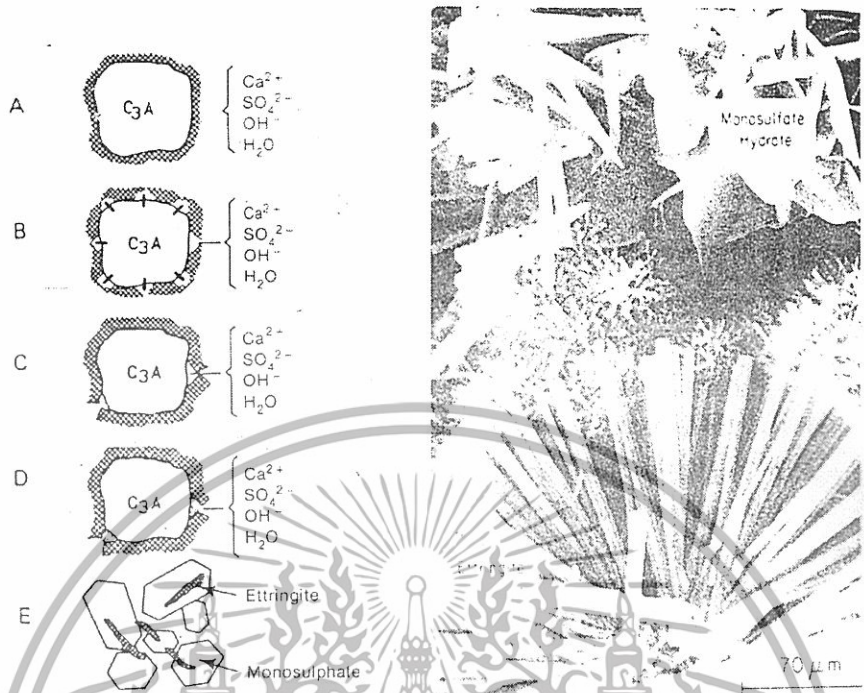
- ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมินา (C₃A)



เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว จึงมีการเติมยิปซัม (CaSO₄ · 2H₂O) ต่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของ C₃A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน C₃A และ ภาพ Monosulphate และ Ettringite (ชัชวาล, 2539)

- ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิโนเฟอรัส (C₄AF)



สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตไฮเดรต ทำให้ซีเมนต์เฟสท์เกิดเป็นรู้นมีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ อาจจะทำปฏิกิริยาต่อไปอีกกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกา และอลูมินา ผสมอยู่เช่นวัสดุ ปอซโซลาน

สารประกอบ C₃A จะเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ทันทีซึ่งอาจก่อให้เกิดการก่อตัวที่ผิดปกติ แต่ในปูนซีเมนต์มีปฏิกิริยาผสมรวมอยู่จึงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันช้าลง เช่นเดียวกับสารประกอบ C₄AF ที่จะทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ

ความร้อนที่ได้จากการที่ปูนทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า “Heat of hydration” วัดเป็นแคลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ สำหรับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดาให้ความร้อนประมาณ 85-100 แคลอรีต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัม ตามระยะเวลาภายหลังการผสมความร้อนที่เกิดขึ้นมานี้จะหนีคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตถ้าความร้อนที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูงคอนกรีตอาจจะเสียความแข็งแรงได้และความร้อนนี้เองทำให้เกิดหน่วยแรงต่างๆภายในเนื้อคอนกรีตซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกร้าว

การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ จะหยุดเมื่อน้ำระเหยออกจากเพสต์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มซึ่งเป็นการป้องกันการเสียน้ำออกจากคอนกรีต จึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนในส่วนผสม ชนิดของปูน ความละเอียดของปูน อุณหภูมิ และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับการให้น้ำจากภายนอกด้วยถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลา 1 เดือน โดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง จะพบว่าปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ตามสภาพในสนามคอนกรีตจะแห้งภายในไม่กี่วัน หลังจากนั้นปูนจะทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปได้โดยอาศัยน้ำที่ซึมจากใต้ดิน หรือจากความชื้นที่ซึมจากผิวดินคั่งค้างนั้นภายใต้ภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำยังคงมีต่อไปอีกหลายปี

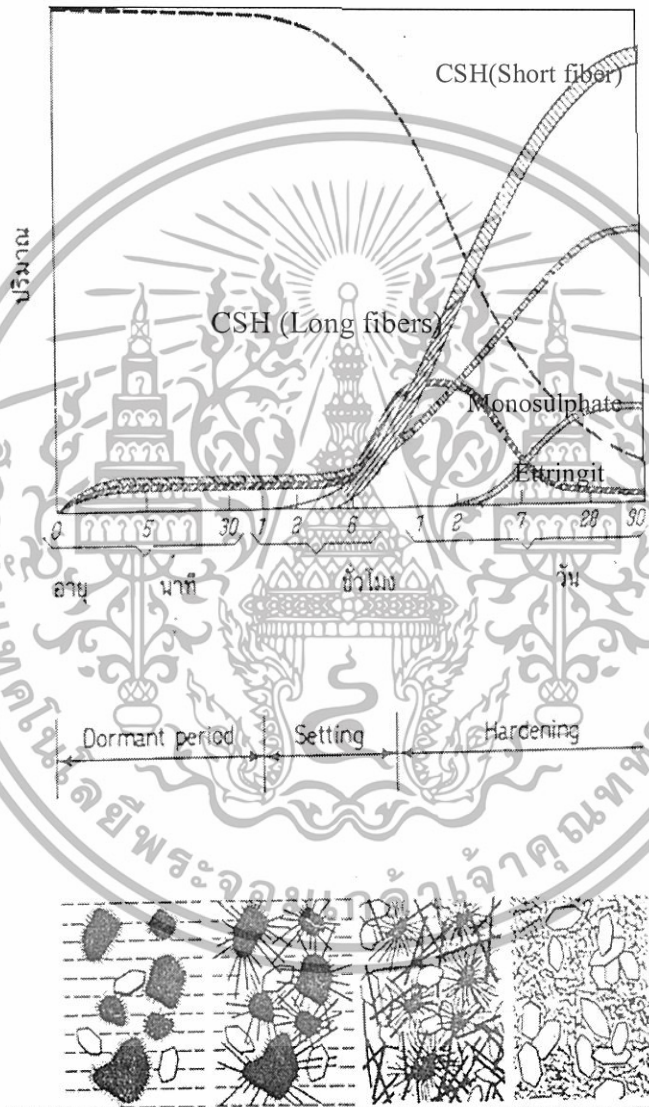
2.2.4.5 การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยรวมของสารประกอบหลักทั้ง 4 จะเกิด CSH gel และ Ettringite เคลือบอยู่บนเม็ดของซีเมนต์ จะเป็นการเกิดการหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งอธิบายการเกิด “Dormat period” เป็นช่วงเวลาที่ค่อนข้างจะไม่มีอะไรเกิดขึ้นเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์ยังเหลวและมีความสามารถเทได้

เมื่อสิ้นสุดช่วง “Dormat period” ก็จะสิ้นสุดแข็งตัวเริ่มต้น (initial set) ซึ่งเป็นช่วงที่ CSH ที่เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไปปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะมีขนาดใหญ่เป็น 2 เท่าของซีเมนต์ก่อนเกิดปฏิกิริยา ผลก็คือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเข้าอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ และเกิดผิวสัมผัสและเกิดการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เวลาผ่านไปความเข้มข้นที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากขึ้น ก่อให้เกิดความเข้มข้นของจุดสัมผัส จำกัดการเคลื่อนที่ของเม็ดซีเมนต์ ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์กลายเป็นของแข็งนั่นคือ การเข้าสู่จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final set)

แผนภาพขบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและโครงสร้างของเพสต์แสดงในรูปที่ 2.7 โดยซีเมนต์จะแสดงด้วยเม็ดสีดำ ในขณะที่ Ca(OH)_2 จะแสดงด้วยรูปหลายเหลี่ยม ผลึกของ Ettringite แสดงโดยเส้นบางๆ และ CSH เส้นเข้มมีความยาวพอสมควร จากรูปที่ 2.7 จะพบว่าระหว่าง Dormat period เม็ดซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิด Ca(OH)_2 และ Ettringite เป็นส่วนใหญ่ หลังจาก 1 ชั่วโมง CSH

gel เริ่มเกิดขึ้นโดยมีรูปร่างเป็นเส้นใยยาว การเกิดการขยายตัวของ CSH gel นั้นก่อให้เกิดการขยายตัวในขณะที่ปริมาณเพิ่มขึ้นความพรุนของเพสต์จะลดลงและเริ่มพัฒนาขึ้น หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว Sulphate Ions ถูกใช้หมดไป อลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์เริ่มก่อตัวและ Ettringite ก็เปลี่ยนไปเป็น Monosulphate ส่วน C_3S และ C_2S จะเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชันต่อไปได้ CSH ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้จะไปอุดช่องว่างของเม็ดซีเมนต์ ทำให้ความพรุนลดลงในระยะยาว

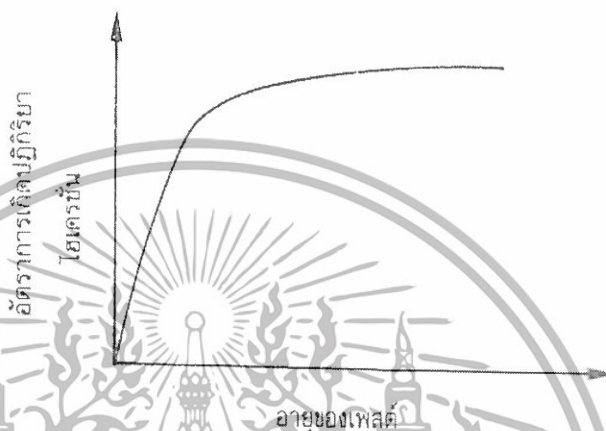


รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์ (��หवाल. 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่

1. อายุของเพสต์ยักเว้นช่วง Dormant Period อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากที่สุดในช่วงแรกและอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงช่วงสิ้นสุดของปฏิกิริยาไฮเดรชัน



รูปที่ 2.7 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (ซัทวาล, 2539)

2. องค์ประกอบของซีเมนต์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ของสารประกอบหลักของซีเมนต์จะมีค่าต่างกัน
3. ความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงจะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำได้มากผลก็คือปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดได้ในอัตราที่เร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของปฏิกิริยา
4. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในช่วงต้นอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงหลังอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลงถ้าส่วนผสมมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลงผลก็คือทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยเฉลี่ยและดีกรีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลง
5. อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิต้องไม่เกิดการแข็งตัวของเพสต์
6. น้ำยาผสมคอนกรีตน้ำยาหน่วงหรือน้ำยาเร่งการก่อตัวจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยจะลดลงและเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 คอนกรีต

คอนกรีตจัดเป็นวัสดุก่อสร้างหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นหินเทียมที่มนุษย์สร้างขึ้น เป็นของผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับวัสดุผสม เช่น กรวด ทราย ต่างๆ ทำให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานแทรกตามเม็ดทรายและก้อนหิน รวมตัวกันเป็นก้อนคอนกรีตแบบหล่อและจะแข็งตัวเมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง ทนแรงอัดได้ดีเรื่อยๆ ตามอายุ คอนกรีตที่ดีมีผลมาจากการที่อนุภาคของวัสดุผสมละทุกอนุภาคในส่วนผสมถูกไว้ด้วยซีเมนต์เพสต์ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ และอากาศ ช่องว่างระหว่างอนุภาคเองก็จะถูกหุ้มไว้ด้วยเช่นกัน

คอนกรีตใช้เป็นวัสดุโครงสร้างที่ดีกว่าวัสดุอื่นๆ เพราะสร้างให้มีรูปร่างลักษณะและขนาดได้ตามต้องการในเนื้อคอนกรีตจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ซีเมนต์เพสต์ และวัสดุผสมคอนกรีตธรรมดาทั่วไปที่ไม่ใช้สารกระจายฟองอากาศจะมีปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ประมาณ 25- 40 % คอนกรีตที่ดีต้องมีคุณสมบัติเป็นที่พอใจทั้งในสภาพคอนกรีตเหลวเริ่มตั้งแต่ การผสม การลำเลียงจากเครื่องผสม การเทลงแบบ การอัดแน่น และคอนกรีตแข็งตัวแล้วคอนกรีตที่ไม่ดีความชื้นเหลวไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน แข็งตัวแล้วเป็นรูโพรงไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง

สรุปว่าการที่จะทำคอนกรีตให้ดีต้องเข้าใจถึงองค์ประกอบต่างๆ คือ

- 1) ต้องมีความรู้ในเรื่องคุณสมบัติของวัสดุ
- 2) ต้องทราบสภาพทั่วไปของงานก่อสร้าง
- 3) วัสดุต้องมีคุณภาพมาตรฐานที่กำหนด
- 4) การชั่งตวงส่วนผสมทุกชนิด ต้องถูกต้อง
- 5) การผสม การลำเลียง การอัดแน่น ต้องเหมาะสมถูกต้อง
- 6) การบ่มคอนกรีตเป็นไปด้วยความสม่ำเสมอ
- 7) การควบคุมงานต้องถูกต้องทุกขั้นตอน

- ปัจจัยที่มีผลต่อคอนกรีต

ปัจจัยของการแปรผันกำลังอัดคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องมาจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง หรือเป็นการผสมกันของหลายๆ สาเหตุได้แก่

- 1) ใช้สัดส่วนที่ไม่เหมาะสม
- 2) ควบคุมปริมาณน้ำไม่พอดี
- 3) ควบคุมปริมาณฟองอากาศไม่พอดี
- 4) การผสมไม่พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) มีสารอินทรีย์ต่างๆ มากเกินกำหนด
- 6) ใช้หิน ทราายที่สกปรก
- 7) ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ
- 8) ไม่ได้ปรับความชื้นด้วยมวลรวม
- 9) การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
- 10) การบ่มเพียงพอ
- 11) การลำเลียงและการทดสอบไม่ถูกต้อง
- 12) อุณหภูมิผันแปรไป

- ความเสียหายของคอนกรีต

คอนกรีตในโครงสร้างต่างๆ อาจเกิดความเสียหาย หรือขาดความทนทานอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม หรือสภาพการใช้งานที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่งและความเสียหายนี้เองอาจเกิดขึ้นมาจากหลายสาเหตุภายในและภายนอกคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุ

- ด้านกายภาพ เช่น ความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน ความเย็น ความเปียก และแห้ง สลับกันไป น้ำหนักบรรทุกมากเกินไป ความล้า อุบัติเหตุ
- ด้านสารเคมี เช่น การซึมผ่านของสารเคมีเข้ามากัดกร่อนคอนกรีตและเสริมเหล็ก การกระทำของแบคทีเรีย
- ด้านกล เช่น การเสียดสีจนเกิดความเสียหาย การค้ำค้ำกร่อนโดยแรงลมขอบเขตของความเสียหายขึ้นกับองค์ประกอบเฉพาะที่มาเกี่ยวข้องอันได้แก่ คุณภาพของคอนกรีต ความหนาแน่นของคอนกรีต และความรุนแรงของสภาพแวดล้อม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โลหะหนัก

2.3.1 สังกะสี (Zn)

สังกะสี เป็นโลหะสีขาวปนฟ้าอ่อน ไม่มีกลิ่น เมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นฟุม มีน้ำหนักโมเลกุล 65.38 มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวเท่ากับ 907 และ 419.58 องศาเซลเซียส ตามลำดับมีความถ่วงจำเพาะ 7.14 ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในกรดและด่าง

สังกะสี สามารถพบได้จากหลายแห่งด้วยกัน เช่น อุตสาหกรรมการผลิต เหล็ก และเหล็กกล้า การผลิตดี อัดลอยด์ การหล่อ และการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า การผลิตถ่านไฟฉาย เป็นต้น สังกะสีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ การสัมผัส และการกิน ส่วนอันตรายที่เป็นอาการอย่างเฉียบพลัน เช่น ถ้าสัมผัสทางผิวหนังอาจทำให้เกิดการระคายเคืองหรือผิวหนังแห้งได้ ถ้าได้รับทางการหายใจ คือสัมผัสกับฝุ่นสังกะสีมากๆ จะมีอาการไอและมีเสมหะ อาจมีอาการคล้ายไข้หวัด หนาวสั่น ปวดศีรษะได้ ส่วนอันตรายเรื้อรังถ้าสัมผัสเป็นระยะเวลานานๆ มีรายงานในสัตว์ทดลองสังกะสีสามารถก่อมะเร็งได้ แต่ยังไม่มีการศึกษามากพอในมนุษย์

2.3.2 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่ว เป็นโลหะชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสมบัติโดยทั่วไปคือ สีอ่อน มีสีน้ำเงินปนเทา เป็นโลหะหนักหลอมเหลวได้ ทำให้อ่อน และดัดแปลงให้มีรูปร่างต่างได้ ตามต้องการ และสามารถกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิสูงๆ ตะกั่วใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

1. สารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ เช่น โลหะตะกั่ว ตะกั่วอะซิเตด ตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วซัลไฟด์ และตะกั่วออกไซด์
 2. สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว เช่น ตะกั่วเตตราเอทิล และตะกั่วเตตราเมทิล เป็นต้น
- ตะกั่วเป็นโลหะที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมของมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งมาจากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งใหญ่ที่ทำให้ตะกั่วเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากได้แก่ ถ่าน เหมืองไอเสีย จากท่อไอเสียของยานพาหนะ เพราะส่วนใหญ่ใช้ตะกั่วเอทิล และตะกั่วเมทิลผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินและรถยนต์ เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ในทางอื่นๆอีก เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โดยผสมกับโลหะต่างๆ ผลิตเป็นแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ ทำสี เครื่องปั้นดินเผา และอุตสาหกรรมเคมี

การเข้าสู่ร่างกายของตะกั่ว จะแตกต่างกันตามชนิดของตะกั่วโดยสารประกอบ อนินทรีย์ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ ทางปาก และทางจุก สำหรับทางปากโดยการกิน และดื่ม อาหาร หรือน้ำที่ปนเปื้อนตะกั่ว ยาที่มีส่วนผสมของตะกั่ว ทางจุกได้แก่ จะสูดเอาควัน ไอระเหย และฝุ่นตะกั่วเข้าสู่ร่างกายและปอด และแพร่กระจายไปทั่วร่างกาย

ความเป็นพิษ ถ้าร่างกายได้รับการสะสมสารตะกั่วเป็นเวลานานถึงระดับอันตราย อาจก่อให้เกิดความผิดปกติต่อระบบย่อยและระบบประสาท เช่น ในเด็กสมองเล็กผิดปกติในผู้ใหญ่ทำลายประสาทส่วนปลาย แขนขาจะมีกล้ามเนื้ออ่อนแรง

2.3.3 โครเมียม (Cr)

โลหะโครเมียมมักใช้ในการชุบเคลือบโลหะเพื่อกันสนิม และให้เงางาม เป็นโลหะผสมใช้ฟอกหนัง เป็นส่วนผสมของสีย้อมวัสดุต่างๆ

การเข้าสู่ร่างกาย โครเมียมอาจหายใจเอาไอของกรดเข้าไป หรือโดยทางปาก จากการกินอาหารหรือน้ำดื่มที่มีโครเมียมปนเปื้อนอยู่

ความเป็นพิษกรดโครมิกหรือสารโครเมตสามารถทำลายเนื้อเยื่อเฉพาะแห่งโดยทำลายสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน ทำให้กลายเป็นแผลพุพองตามผิวหนังที่เรียกว่า Chromic holes ทำให้มีการระคายเคืองของตาและทางเดินหายใจ ถ้าได้รับสารโครเมตทางปาก เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้ปวดท้อง กระเพาะลำไส้เป็นแผลอักเสบ อ่อนเพลีย และปวดเมื่อยตามข้อ มีตับอักเสบ โครเมตอาจก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และสารก่อมะเร็งเพราะไปรบกวนการสร้างดีเอ็นเอ มักพบในคนอายุ 50-70 ปี

2.3.4 ทองแดง (Cu)

ทองแดงมีลักษณะเป็นก้อนโลหะสีแดง ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 63.55 มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลว เป็น 2,595 และ 1,083 องศาเซลเซียส และมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 8.92 (เมื่อเทียบกับน้ำ, น้ำ = 1)

ทองแดงสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการทำอัลลอยด์ชนิด บรอนซ์ และทองเหลือง ทำตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ ทำกระสุนปืน ทำการเตรียมเกลือทองแดง อุตสาหกรรมผลิตสารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น ทองแดงสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ และทางการกิน โดยอาการที่เป็นอันตรายเฉียบพลัน เช่นการสัมผัสผิวหนังทำให้เกิดการละลายของผิวหนัง ถ้าได้รับทางการหายใจ จะทำให้เกิดไข้โลหะ ซึ่งจะมีอาการมีรสขมโลหะในปาก เป็นไข้หนาวสั่น ไอเจ็บ หน้าอก ส่วนอันตรายเรื้อรังทำให้เกิดการระคายเคืองจมูก และทำให้จมูกเป็นแผลได้ ทำให้เป็นโรคมุมิแพ้ที่ผิวหนังโดยจะมีอาการผื่นแดงและคัน ถ้าได้รับเป็นระยะเวลานาน และความเข้มข้นสูงมากอาจทำลายตับ

2.4 กำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. กำลังของมวลค้ำ

กำลังมวลค้ำมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังมอร์ตี้ขึ้นอยู่กับความพรุนในเนื้อมอร์ตี้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ตี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมวลรวม เช่นการเปลี่ยนแปลงขนาดกละ ปริมาณ กำลังลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่างๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังค้ำน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนกำลังค้ำต่อกำลังอัดของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

2. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังมอร์ตี้ที่กำหนดให้ ความสามารถต้านทานแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ตี้ แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังมอร์ตี้ ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อขนาดหินใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ตี้ลดลง

ขนาดของมวลรวมจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง การเพิ่มปริมาณมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัดรวมทั้งใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตี้กับผิวของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือ ปฏิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆในเนื้อมวลรวม

นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังค้ำมากกว่ากำลังอัดด้วยเหตุผลที่ว่า จะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ตี้ต่ำลง

2.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

คุณสมบัติของคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวจะมีความสำคัญในขณะก่อสร้างเท่านั้นแต่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีไปตลอดการใช้งานของคอนกรีตนั้น คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วซึ่งเป็นตัวนิยามกำหนดในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไปคือ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) เนื่องจากกำลังรับแรงอัดอื่นๆ เช่น กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) มักจะนิยามกำหนดให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังรับแรงอัด ดังนั้นคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงก็จะมีกำลังรับแรงอื่นๆ สูงไปด้วย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ นั่นคือที่อายุดังกล่าวกำลังรับแรงอัดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่ต้องการ แต่สำหรับงานคอนกรีตบางประเภทที่กำหนดให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่อายุอื่นๆ เป็นข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยทั่วไปคือ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) เนื่องจากกำลังรับแรงอัดอื่นๆ เช่น การรับแรงดึง (Tensile Strength) กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) มักจะนิยามกำหนดให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังรับแรงอัด ดังนั้นคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงก็จะมีกำลังรับแรงอื่นๆ สูงตามไปด้วย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ นั่นคือที่อายุดังกล่าวกำลังรับแรงอัดจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าที่ต้องการ แต่สำหรับงานคอนกรีตบางประเภทที่กำหนดให้กำลังรับแรงอัดอยู่ที่ช่วงอายุอื่นๆ เป็นข้อกำหนดในการออกแบบก็ควรจะใช้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเป็นค่าอ้างอิงก่อนหลังจากนั้นจึงใช้สัมประสิทธิ์ตัวคูณซึ่งมาจากหลักการของการพัฒนากำลังรับแรงอัดปรับค่ากำลังอัดที่ 28 วันให้เป็นกำลังรับแรงอัดที่อายุตามต้องการ

2.4.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

1. คุณสมบัติของวัสดุผสม

ปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยที่สำคัญมากเพราะปูนแต่ละประเภทให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ และแม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกันแต่ถ้าความละเอียดแตกต่างกันแล้วอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะแตกต่างกันไปด้วย

น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีและเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่

มีสารแขวนลอยปนอยู่จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารแขวนลอยนั้น

2. การทำคอนกรีต

- การชั่งตวงผสมหากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งตวงโดยน้ำหนักซึ่งอัตราส่วนผสมคอนกรีตคิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไป

อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรงโดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

- การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตเพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าน้อยลงได้ หรือหากทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสมก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

3. การบ่มคอนกรีต

ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ถ้าซีเมนต์เพสต์ไม่มีความชื้นอยู่คอนกรีตจะไม่มี การเพิ่มกำลังอัดอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงทำการบ่มด้วยลวมน้ำทันที

- อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิในขณะบ่มสูงก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเพิ่มให้เร็วขึ้นทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากบ่มคอนกรีตให้อยู่ในความชื้นตลอดเวลาได้ยาวนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

4. การทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดและลักษณะของแท่งทดสอบ การใช้แท่งทดสอบที่ขนาดและลักษณะต่างกันมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่าง
- ความชื้นในแท่งทดสอบ ในขณะที่จะทำการทดสอบถ้าหากแท่งทดสอบมีความชื้นก็จะให้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าแท่งทดสอบที่แห้งกว่า
- อัตราการกด ในการทดสอบกำลังอัดถ้าใช้อัตราการกดสูงจะทำให้อัตราการกดสูงตามไปด้วย จึงควรใช้อัตราการกดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

5. ปริมาณแคลเซียมออกไซด์รวมไว้ในวัสดุประสาน (CaO)

- ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดที่ถูกนำมาพิจารณาได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน แคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญมีอยู่ในสารเกิดปฏิกิริยาสำคัญ 4 ตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั่นคือ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF

2.4.1.2 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัด (ASTM: C109-92)

1. วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะรับแรงกด โดยใช้ด้านที่สัมผัสแบบหล่อ
2. เช็ดผิวหน้าทั้งสองด้าน
3. ใช้แรงกดทับแท่งตัวอย่าง โดยผิวหน้าของเครื่องมือทั้งสองด้านที่สัมผัสกับก้อนตัวอย่างจะต้องเรียบและตัวอย่างจะต้องอยู่ในแนวศูนย์กลางของเครื่องจนก่อนคอนกรีตเกิดความเสียหายและค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ของระยะเวลาที่บ่มต่างๆกัน เหน้ตามมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 กำหนดคือมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4. บันทึกค่าสูงสุด

5. การคำนวณ

1. วิธีการคำนวณค่ากำลังรับแรงอัด

วิธีการคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

$$F_c = P/A$$

เมื่อ

F_c = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต (กก./ตร.ซม)

P = แรงอัด (กก.)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตร.ซม.)

2. วิธีการคำนวณค่าความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณ

ค่าความหนาแน่นของแท่งคอนกรีต

$$D = M/V$$

เมื่อ

D = ค่าความหนาแน่นของแท่งคอนกรีต (กก. /ลบ.ม.)

M = น้ำหนักของแท่งคอนกรีต (กก.)

V = ปริมาตรของแท่งคอนกรีต (ลบ.ม.)

2.4.2 การทดสอบการชะละลาย (Leaching test)

การทดสอบการชะละลายแบ่งออกได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์คุณภาพของสารที่ต้องทดสอบ โดยใช้ปริมาณตัวอย่างสารวิธีการเตรียมสารตัวอย่างและเครื่องมือที่แตกต่างกัน

ในอดีตการทดสอบการชะละลายของสารนิยมใช้ทั้งวิธี Batch tests และ Column tests ปัจจุบันการออกแบบเครื่องมือ Batch tests จะใช้ทดสอบการชะละลายของเสียก่อนที่จะนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ U.S.EPA (1988) ได้กำหนดวิธี Toxicant Extraction Procedure (TEP) เป็นวิธีที่ใช้บังคับต่อมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเป็นวิธีการเป็นวิธี Extraction Procedure (EP) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สืบเนื่องจากตารางที่ 2.2

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดของเสีย โดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ดังนี้

Shively และคณะ (1986) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับโลหะ 4 ชนิด คือ อาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว โดยการทำให้เป็นก้อนจากนั้นจึงทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และการชะละลาย (Leaching tests) ของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักผสมทั้ง 4 ชนิด ผสมกันจากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันพบว่าเมื่อใช้อาร์เซนิกและแคดเมียมในการกำจัดด้วยการทำให้เป็นก้อน จะทำให้กำลังรับแรงอัดของแท่งซีเมนต์ลดลงทั้งกรณีที่ใช้ค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 และ 1.0 ของเสียผสมจะลดกำลังรับแรงอัดเฉพาะค่า W/C 0.5 ส่วนโครเมียม และ ตะกั่ว จะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัด สำหรับค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดผสม พบว่าความเข้มข้นของน้ำสกัดโลหะหนักอยู่

เกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA ทั้งกรณีที่ใช้ W/C 0.5 และ 1.0 โดยค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ สกัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม W/C จาก 0.5 เป็น 1.0

Shin และคณะ (1988) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งมีปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนผสมของทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณของเสียและปริมาณตัวตกตะกอน (Precipitator) พบว่าการชะละลายของโครเมียมและสังกะสีจะลดลง เมื่อลดค่าอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์และเพิ่มปริมาณของตัวตกตะกอน สำหรับค่ากำลังแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่มตัว 14 วันจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดค่าอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ และปริมาณของเสียที่กำจัด และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Anova Analysis พบว่าอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์จะมีผลในการถูกชะละลายของโครเมียม สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อความสามารถถูกชะละลายของสังกะสี และค่ากำลังแรงอัดของแท่งซีเมนต์ ส่วนการวิเคราะห์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพิจารณาปัจจัยต่างๆเช่น ค่าใช้จ่าย ค่าความสามารถในการถูกชะละลายของโครเมียมและสังกะสีที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ U.S.EPA ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 ppm ของโครเมียมและสังกะสี และค่ากำลังอัดของซีเมนต์แท่งที่สูงกว่า 10 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับกำจัดกากตะกอนแห้ง 30 กรัม นั่นคือ อัตราส่วนผสมของทรายต่อปูนซีเมนต์ น้ำต่อปูนซีเมนต์ และปริมาณตะกอนเท่ากับ 1, 1.5, และ 1.075 กรัมตามลำดับ

พัทธยศ และโกกิน (2542) ได้ทำการศึกษากำจัดโลหะหนัก 4 ชนิด ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ โลหะหนักนิกเกิล สังกะสี ตะกั่ว และ แคดเมียม โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้โลหะหนักในเตรทและโลหะในเตรทผสมทั้ง 4 ชนิด ต่อวัสดุประสานที่สัดส่วน 0.25 และ 0.5 ทำการบ่มซีเมนต์เป็นระยะเวลา 7 วัน และจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของโลหะหนักในซีเมนต์ก้อน พบว่าที่สัดส่วนของโลหะหนักในเตรทเพิ่มขึ้นจาก 0.25 เป็น 0.5 ทำให้การบ่มซีเมนต์ที่ระยะเวลา 7 วัน กำลังแรงอัดจะลดลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วันกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย โดยกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ช่วง 17 – 158 กก./ตร.ซม)

เมื่อทำการศึกษาสมบัติการชะละลาย (กนกพร และ อรรถวิทย์, 2542) พบว่าค่าการชะละลายของโลหะหนักในก้อนซีเมนต์ที่มีโลหะหนักในเตรทสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของโลหะหนักในเตรท และค่าการชะละลายของโลหะหนักในเตรทลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วันโดยค่าการชะละลายของโลหะหนักของโลหะหนักทุกชนิดทุกตัวอยู่ในมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้น $Zn(NO_3)$ ที่สัดส่วน W/C 0.5 เวลาบ่ม 7 วันมีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ของเสียเป็นโลหะหนักผสมหลายชนิด เพื่อให้แน่ใจว่าโลหะหนักทุกชนิดจากน้ำชะในก้อนซีเมนต์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน จึงเลือกใช้ W/C 0.25 โดยใช้เวลาบ่ม 7 วัน ในการทดลองนี้ของเสียเป็นตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์

Leangon (1993) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาวัสดุประสานที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำให้เป็นก้อนของกากตะกอนจากโรงงานฟอกหนัง และกากตะกอนจากโรงงานเซรามิคคอนกรีตและใช้วัสดุประสาน 5 ชนิดที่นำมาใช้ทดลอง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ใ้จากแคลบ ใ้จากลอย ลิกไนต์ และซิลิฟุม จากการทดสอบกระบวนการทำให้เป็นก้อนโดยใช้วัสดุประสานผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ศึกษาคุณสมบัติของก้อนของเสียแข็งตัว อาทิ กำลังรับแรงอัด การชะละลายและค่าใช้จ่ายในการกำจัด พบว่าวัสดุประสานที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกากตะกอนมีดังนี้

ปูนซีเมนต์ : ใ้จากแคลบ : ใ้จากลอยลิกไนต์

1. กากตะกอนจากโรงงานฟอกหนัง 0.7 : 0.2 : 0.1
2. กากตะกอนจากโรงงานเซรามิคคอนกรีต 0.7 : 0.1 : 0.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงาน

อุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตร
2. ขวดวัดปริมาตรพลาสติก ขนาด 100 ml
ขนาด 50 ml
3. ขวดรูปชมพู่
ขนาด 250 ml
4. บีกเกอร์ขนาด
5. กระจกบอควงขนาด
6. น้ำปราศจากไอออน
7. ภาชนะสำหรับการตากตะกอน
8. ถ้วยระเหย
9. กระจกยกรองเบอร์ 1
10. hot plate
11. ตะแกรงขนาด 9.5 มม.
12. แบบหล่อขนาด 5*5*5 cm³
13. เกรียง
14. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
15. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
16. ทรายร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช
17. ตะกอนของโลหะหนัก
18. ตะแกรงร่อน
19. ค้อนปอนด์
20. แผ่นกรองใยแก้ว ขนาด 0.45 ไมครอน
21. เครื่องชั่งละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

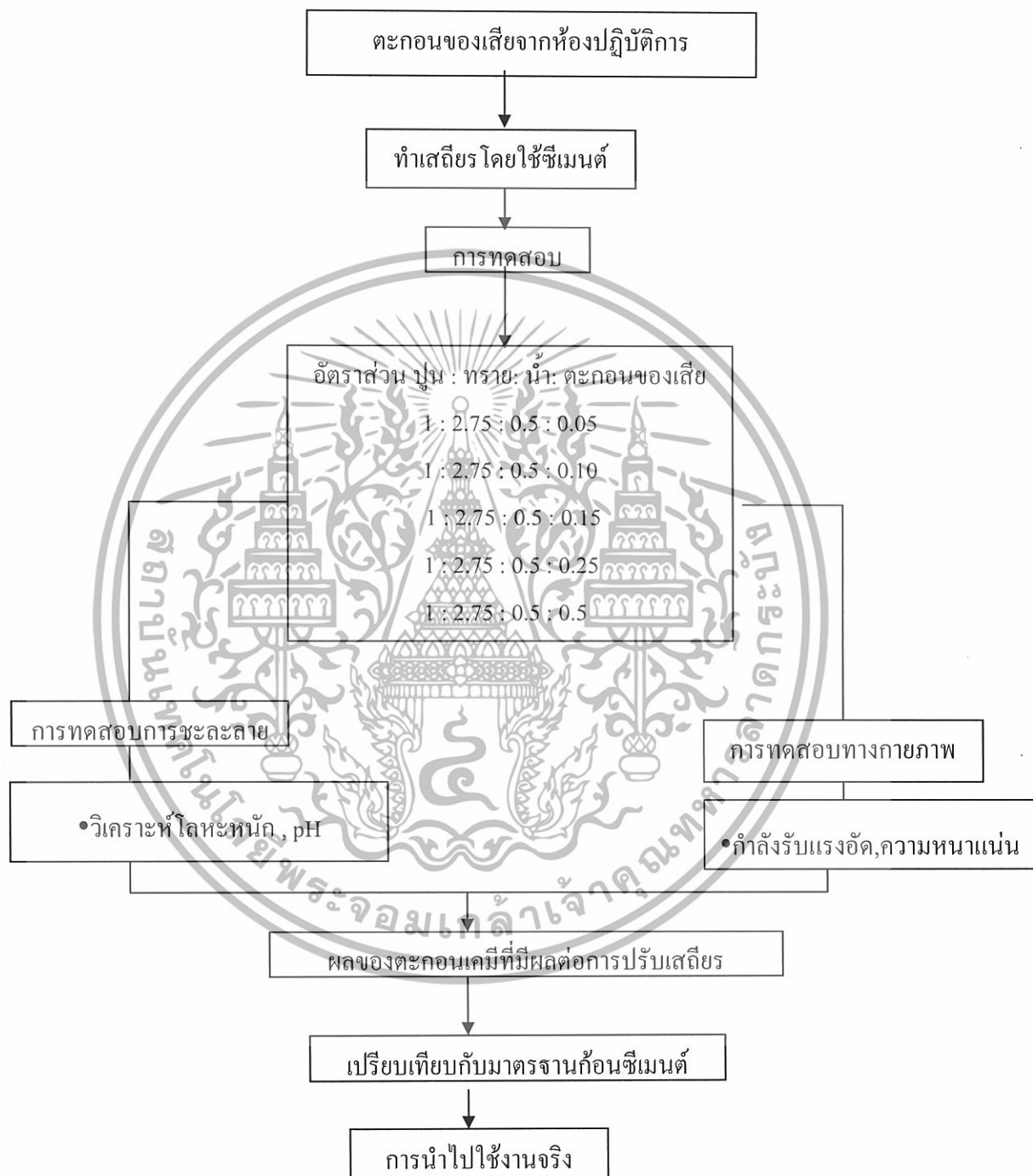
22. เครื่องผสมปูนซีเมนต์
23. เครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต
24. เครื่องกวนเขย่าแบบหมุน
25. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer) ยี่ห้อ Shinmadzu จำกัด รุ่น Model AA-680

สารเคมี

1. ฟลิกโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
2. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO₃)
3. กรดไฮโดรคลอริก (1+1 HCl)
4. สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์
5. สารละลายมาตรฐานโครเมียม
6. สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์
7. สารละลายมาตรฐานเหล็ก
8. สารละลายมาตรฐานนิกเกิล
9. สารละลายมาตรฐานแมงกานีส
10. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว
11. สารละลายมาตรฐานสังกะสี
12. กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄)
13. กรดไนตริก (HNO₃)
14. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ที่มาและลักษณะทางกายภาพของตะกอน

3.3.1 ที่มาของตะกอนของเสีย

ตะกอนเคมีได้มาจากการทำการทดลองจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์และห้องปฏิบัติการตีพิมพ์วิทยาศาสตร์ซึ่งตะกอนต่างๆ จะมาจากการทำการทดลองในปฏิบัติการต่างๆ หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้วก็เกิดของเสียขึ้นซึ่งจะให้ผู้ที่ทำการทดลองทิ้งตามเกลลอนที่ทางห้องปฏิบัติการได้ทำการจัดเตรียมไว้ให้ซึ่งแต่ละเกลลอนก็จะมีของเสียที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

3.3.1.1 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างคือ Anal 1 lab6

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์พระเทพในเกลลอนที่ 31 ซึ่งมาจากการปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 การทดลองที่ 6 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) และเหล็ก (III) โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยของเสียที่เกิดขึ้นในการทำการทดลองนี้คือ Mn และ Fe

3.3.1.2 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 2 ตัวอย่างคือ Anal 1 lab 10

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์พระเทพจากเกลลอนที่ 34 และ 35 ซึ่งมาจากการปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 การทดลองที่ 10 เรื่องการหาปริมาณนิกเกิลโดยวิธีตกตะกอน โดยของเสียที่เกิดขึ้นในการทำการทดลองนี้คือ Ni, Dimethylglyoxime (DMG), Citric acid

3.3.1.3 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 3 ตัวอย่างคือ Anal 1 lab 4 (2546)

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์พระเทพจากเกลลอนที่ 27 ซึ่งมาจากการปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 ของปีการศึกษา 2546 การทดลองที่ 4 เรื่อง การหาปริมาณคลอไรด์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอนซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้คือ AgCrO_4 , AgCrO_7 และ Nitrobenzene

3.3.1.4 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 4 ตัวอย่างคือ Anal 1 lab 4 (2547)

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์พระเทพจากเกลลอนที่ 36 ซึ่งมาจากการปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 ของปีการศึกษา 2547 การทดลองที่ 4 เรื่อง การหาปริมาณคลอไรด์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอนซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้คือ AgCrO_4 และ AgCrO_7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.5 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 5 ตัวอย่างคือ S₂32-33

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์พระเทพจากเกลลอนที่ 32 และ 33 ซึ่งมาจากการปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 การทดลองที่ 8 เรื่อง การหาปริมาณของตะกั่วโดยการไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากทดลองนี้คือ Cr³⁺, Pb²⁺

3.3.1.6 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 6 ตัวอย่างคือ Mn

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์วิทยาศาสตร์ การปฏิบัติการเคมีเครื่องมือวิเคราะห์ 1 การทดลองที่ 3 เรื่องการหาปริมาณแมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสีในสารละลาย โดยใช้ไอออนฟลูออไรด์เป็นสารกำบังซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้คือ แมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn)

3.3.1.7 ตะกอนจากตัวอย่างที่ 7 ตัวอย่างคือ Cu

ที่มาจากห้องปฏิบัติการตีพิมพ์วิทยาศาสตร์ การปฏิบัติการเคมีเครื่องมือวิเคราะห์ 1 การทดลองที่ 5 เรื่องการหาปริมาณทองแดง โดยวิธีไอ โอโดเมตรีซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้คือ ทองแดง (Cu)

3.3.2 คุณสมบัติของตะกอนของเสีย

การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้จากการนำตะกอนของเสียที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักตะกอนไม่เปลี่ยนแปลงผลแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตัวอย่างที่	แหล่งที่มา	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
1.	Ana11 Lab 6	11.13%
2.	Ana11-Lab10	14.62%
3.	Ana11 lab 4 ₍₂₅₄₆₎	26.78%
4.	Anal 1 lab 4 ₍₂₅₄₇₎	17.80%
5.	Anal 1 lab 8	16.68%
6.	ตีพิมพ์วิทยาศาสตร์	31.30%
7.	ตีพิมพ์วิทยาศาสตร์	22.55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนของเสียก่อนนำไปทำการปรับเสถียรด้วยวิธีการให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ (พรชัย และ คณะ, 2547)

ตัวอย่างที่	ที่มาของตะกอน	โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของเสีย (mg)			
			อัตราส่วนของตะกอน			
			0(blank)	0.05	0.1	0.15
1.	Anall Lab 6	Fe	0	0.0064	0.0128	0.0191
2.	Anall Lab10	Ni	0	0.1261	0.2521	0.3782
3.	Anal1 lab 4 ⁽²⁵⁴⁶⁾	Cr	0	0.5994	1.1987	1.7981
		Ag	0	0.0133	0.0264	0.0399
4.	Anal 1 lab 4 ⁽²⁵⁴⁷⁾	Cr	0	0.0332	0.0663	0.0995
		Ag	0	0.0100	0.0198	0.0297
5.	Anal 1 lab 8	Cr	0	0.5225	1.0452	1.5678
		Pb	0	0.0017	0.0034	0.0052
6.	ตีควิทยาศาสตร์	Mn	0	0.0053	0.0106	0.0159
7.	ตีควิทยาศาสตร์	Cu	0	0.0749	0.1496	0.2246

3.4 การเตรียมตะกอนเคมี และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนเคมี

การเตรียมตะกอนเคมีเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากห้องทดลองทางเคมี หลักในการทำเติมสารละลาย NaOH เพื่อทำการปรับค่า pH ให้มีค่าน้อยกว่า 7 เกิดเป็นเกลือของโลหะหนักมีค่าการละลายต่ำและเกิดการแยกตัวออกจากน้ำเสีย

3.4.1 การเตรียมตะกอนเคมี

วิธีการทดลอง

1. เติสารละลายที่ได้จากห้องทดลองทางเคมีลงในภาชนะที่เตรียมไว้เพื่อทำการตากตะกอนเคมี ทำการล้างภาชนะที่ใส่สารละลายด้วยน้ำกลั่นซ้ำ 2-3 ครั้ง
2. ทำการวัดค่า pH ของสารละลาย ถ้าสารละลายมีค่า pH < 7 ให้ทำการเติมสารละลาย NaOH เพื่อทำการปรับค่า pH ให้มีค่า pH >

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำสารละลายหลังจากทำการปรับค่า pH แล้วไปทำการตากจนแห้ง เกิดเป็นเกลือของโลหะหนัก จากนั้นทำการบันทึกลักษณะทางกายภาพ และลักษณะของตะกอน

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนเคมี

3.4.2.1 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

วิธีการทดลอง

- ทำการชั่งน้ำหนักของขามระเหย หลังจากนั้นใส่ตะกอนเคมี 1 กรัมแล้วนำไปทำการชั่งน้ำหนักของขามระเหยและตะกอนเคมี
- นำไปทำการอบที่อุณหภูมิ $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ ที่ให้เขียนในเซตริกเตอร์
- นำตะกอนเคมีและขามระเหยที่ได้หลังจากอบไปทำการชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนเคมี

วิธีการทดลอง

- ชั่งตะกอนเคมีหนัก 1 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตรทำการละลายด้วยน้ำกลั่น 100 ml
- เติมกรดไนตริก (conc.HNO₃) 1.5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปทำการระเหยบน hot plate จนได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- ตั้งทิ้งไว้จนเย็นแล้วทำการเติมกรดไนตริก (conc.HNO₃) 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วไปทำการระเหยบน hot plate จนเหลือปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- ตั้งทิ้งไว้จนเย็นแล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก (1+1) 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตรนำไปให้ความร้อนบน hot plate นาน 15 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
- นำไปทำการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การปรับเสถียรโลหะหนักโดยการทำเป็นก้อนซีเมนต์

เป็นการนำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดมาทำการปรับเสถียร โดยทำการผสมกับ วัสดุประสาน น้ำ ปูนซีเมนต์ โดยอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อตะกอนโลหะหนักเป็นปูน : ทราย : น้ำ : ตะกอนของเสีย 1 : 2.75 : 0.5 : 0.05, 1 : 2.75 : 0.5 : 0.10, 1 : 2.75 : 0.5 : 0.15, 1 : 2.75 : 0.5 : 0.25 และ 1 : 2.75 : 0.5 : 0.5 ซึ่งอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อตะกอนจากนั้นนำไปทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตะกอน ทราย ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่ต้องการ โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อปริมาณตะกอนเคมีเป็น ปูน : ทราย : น้ำ : ตะกอนของเสีย 1 : 2.75 : 0.5 : 0.05, 1 : 2.75 : 0.5 : 0.10, 1 : 2.75 : 0.5 : 0.15, 1 : 2.75 : 0.5 : 0.25 และ 1 : 2.75 : 0.5 : 0.5
2. ทำการผสมวัสดุต่างๆ ด้วยเครื่องผสมปูนซีเมนต์ โดยใช้อัตราส่วนต่างดังข้อ 1 ใช้เวลาในการกวนผสมนาน 30 วินาที เมื่อทำการผสมเข้ากันดีแล้วทำการเติมน้ำเป็นตัวประสานของปริมาตรทั้งหมด
3. เมื่อคอนกรีตมีความหนืดพอเหมาะแล้วนำมาเทลงในแบบหล่อขนาด $5*5*5 \text{ cm}^3$ การหล่อคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ชั้นโดยมีความหนาชั้นละประมาณ 2.5 เซนติเมตร ในการทำการหล่อในชั้นที่ 1 เมื่อเทคอนกรีตได้ในความสูงที่กำหนดเสร็จแล้วทำการกระทุ้ง 25 ครั้งด้วยแท่งเหล็กกระทุ้งเพื่อให้ซีเมนต์ที่ได้ไม่เกิดฟองอากาศ
4. ในชั้นที่สองทำด้วยวิธีเดียวกันกับในชั้นที่หนึ่งและทำการกระทุ้งอีกรอบ
5. ทำการปิดหน้าคอนกรีตด้วยเกรียงให้เรียบแล้วใช้พลาสติกห่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อแห้งก็จะได้ก้อนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองจากนั้นทำการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่างก้อนซีเมนต์
6. นำก้อนซีเมนต์ไปบ่มต่อจนครบระยะบ่ม 7 วันโดยนำก้อนซีเมนต์ที่ได้ใส่ถุงพลาสติกไว้และก่อนที่จะบ่มได้ตามที่เรารต้องการแล้วให้ทำการเปิดถุงพลาสติกก่อนจะนำไปทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด 1 วันเพื่อให้ก้อนซีเมนต์แห้งสนิท
7. นำก้อนซีเมนต์ไปชั่ง วัดพื้นที่หน้าตัดเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น
8. นำก้อนซีเมนต์ที่ได้ไปทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและการชะละลายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต (ASTM : C109-92)

นำก้อนคอนกรีตหลังจากทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วันมาทำการทดสอบการรับแรงอัดเพื่อดูความแข็งแรงของก้อนซีเมนต์

วิธีทำการทดสอบ

1. นำก้อนซีเมนต์ที่จะทำการทดสอบชั่งน้ำหนักเพื่อทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่น โดยนำน้ำหนักที่ได้หารด้วยปริมาตรของก้อนซีเมนต์ตัวอย่าง พื้นที่หน้าตัดด้านที่สัมผัสกับเครื่องชั่งอย่างละเอียด
2. ทำความสะอาดพื้นผิวของแท่งกดของเครื่องทดสอบ
3. วางก้อนซีเมนต์ตัวอย่าง โดยวางให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกดแท่งบนและแท่งกดแท่งล่าง
4. ทำการเดินเครื่องทดสอบ โดยเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ
5. ทำการกดจนแท่งคอนกรีตแตก ทำการบันทึกค่าแรงสูงสุด



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต (Compression Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การทดสอบการชะละลาย

นำก้อนซีเมนต์ที่ผ่านการทดสอบกำลังรับแรงอัดแล้วมาทำการทดสอบทางเคมี คือการชะละลาย ด้วยวิธีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ทำโดยใช้กรดกำมะถันและกรดไนตริก เป็นตัวสกัดโลหะหนักโดยทำการสกัดทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์ ปริมาณโลหะหนัก โดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโคปี (Atomic Absorption Spectroscopy)

วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างก้อนซีเมนต์ที่ผ่านการทดสอบกำลังรับแรงอัดมาทำการทุบให้ละเอียดแล้วนำมาทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร
2. เตรียมน้ำสกัด (Leachant) โดยใช้สารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) ผสมกับน้ำกลั่นจนมีค่า pH ของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของผสมให้เป็น 2,000 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างจากข้อ 1 มา 10 กรัม เติมน้ำสกัดที่เตรียมจากข้อ 2 200 มิลลิลิตร
4. เขย่าด้วยเครื่องแบบหมุน ที่อัตราความเร็ว 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 28 ชั่วโมง
5. กรองสารละลายที่ได้จากการสกัด (Leachant) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วขนาด 0.45 ไมครอน นำของเหลวที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรสโคปี (Atomic Absorption Spectroscopy) (มาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

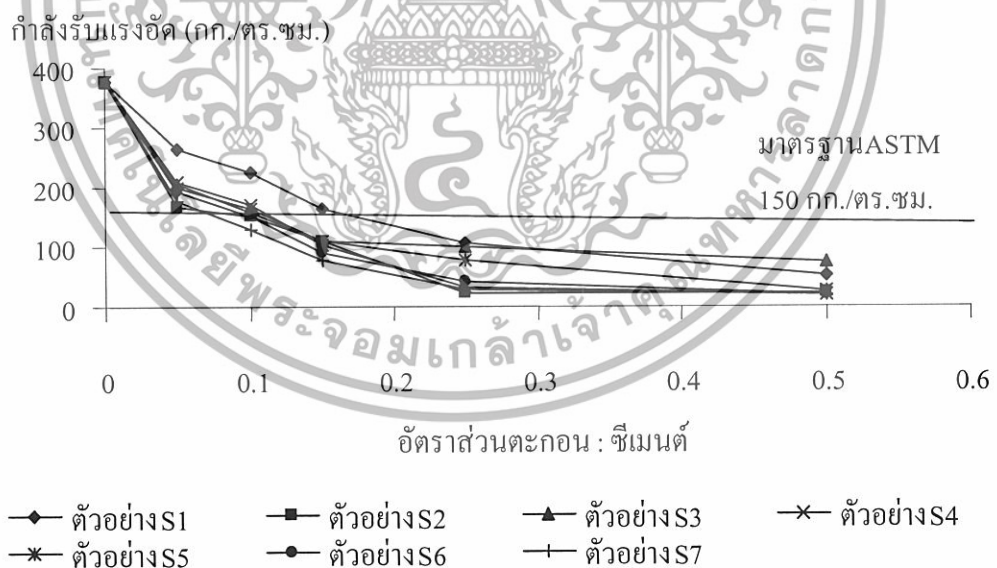
ผลการทดลองวิจารณ์ผล

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรตะกอนของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติการชะละลายเพื่อหาอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์

4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของก้อนซีเมนต์

4.1.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของตะกอนต่อกำลังรับแรงอัด

จากการทดลองเตรียมก้อนซีเมนต์โดยนำตะกอนของเสียทั้ง 7 ตัวอย่างที่ได้จากการตกตะกอนโลหะหนักด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำแต่ละตัวอย่างมาทำการแปรค่าอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อซีเมนต์ 0.05, 0.1, 0.15, 0.25 และ 0.5 โดยให้อัตราส่วนของทรายและน้ำคงที่ จากนั้นทำการผสมและทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนนำตัวอย่างก้อนซีเมนต์ที่ได้ไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตาราง ก.1 ภาคผนวก ก)



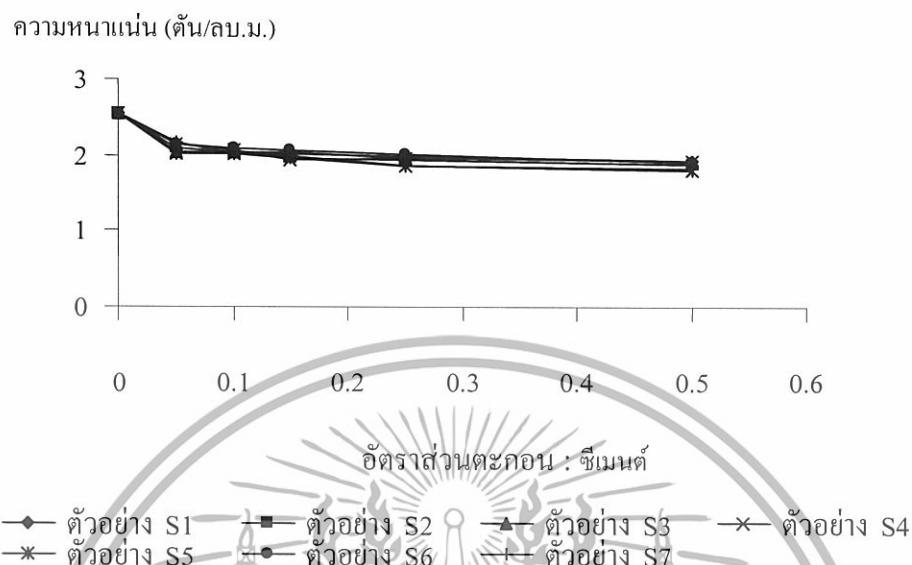
รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อกำลังรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ของก้อนซีเมนต์ มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของตะกอนที่เพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนของตะกอนต่อซีเมนต์ 0.05, 0.1, 0.15, 0.25 และ 0.5 มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยทั้ง 7 ตัวอย่างอยู่ในช่วง 202.23 ± 31.05 , 164.12 ± 29.78 , 109.03 ± 28.08 , 58.73 ± 35.77 และ 32.81 ± 21.29 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนของเสียเป็นผลึกโซเดียมไฮดรอกไซด์และโลหะไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเปราะ และสามารถดูดความชื้นได้ดีและสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในแต่ละการทดลองรวมตัวอยู่กับตะกอนของเสียที่นำมาทำการปรับเสถียร เมื่อนำมาทำการปรับเสถียรทำให้มีผลึกของโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นในก้อนซีเมนต์ และบริเวณโดยรอบ ซึ่งจะขัดขวางการยึดจับของซีเมนต์เพสต์ กับวัสดุประสานที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดทราย (วินิต, 2525) และทำให้ก้อนซีเมนต์ที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการดูดความชื้น ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง เมื่อทำการเทียบกับมาตรฐานกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง (ASTM : C109-92 (ตาราง ก.2)) ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเท่ากับ 150 กก./ตร.ซม. พบว่าที่อัตราส่วน 0.1 และ 0.05 มีค่าความสามารถในการรับแรงอัดเกินกว่ามาตรฐานสามารถนำไปใช้ฝังกลบของเสียอันตราย ยกเว้นตัวอย่างที่ 7 ที่อัตราส่วน 0.1 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 128.01 กก./ตร.ซม. มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเนื่องมาจากการปรับค่า pH ของเสียด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่สูงมากกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อทำการระเหยน้ำออกทำให้เกิดผลึกของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะใสและดูดความชื้นได้ดีปนอยู่มากในตะกอนตัวอย่าง และทำให้ก้อนซีเมนต์ขึ้นไม่แห้งส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) ซึ่งกำหนดมาตรฐานของซีเมนต์จากของเสียเท่ากับ 3.5 กก./ตร.ซม. พบว่าก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนของตะกอน 0.05-0.5 มีค่ากำลังรับแรงอัดเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด

4.1.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อความหนาแน่น

จากการทดลองพบว่าตะกอนของเสียทั้ง 7 ตัวอย่างเมื่อทำการศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรที่อัตราส่วนตะกอนของเสีย 0.05, 0.1, 0.15, 0.25 และ 0.5 ส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยโดยเฉลี่ยทั้ง 7 ตัวอย่าง 2.10 ± 0.06 , 2.04 ± 0.03 , 1.99 ± 0.04 , 1.94 ± 0.06 และ 1.90 ± 0.05 ตัน/ลบ.ม. ตามลำดับตามอัตราส่วนตะกอนของเสียที่เพิ่มสูงขึ้นผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตาราง ก.3 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนของตะกอนของเสียที่มีผลต่อความหนาแน่น

การลดลงของค่าความหนาแน่นเป็นผลเนื่องมาจากในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้ำที่ใช้ในการละลายตะกอนจะถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ดังสมการ 4.1 – 4.3



เป็นผลที่ทำให้เกิดเกลือที่มีความหนาแน่นต่ำเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ อยู่ในก้อนซีเมนต์ ซึ่งเกลือที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการเกาะตัวของซีเมนต์เพสต์ที่เกิดขึ้น และจะเข้ายึดเกาะกับเม็ดทราย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์มีค่าลดลง

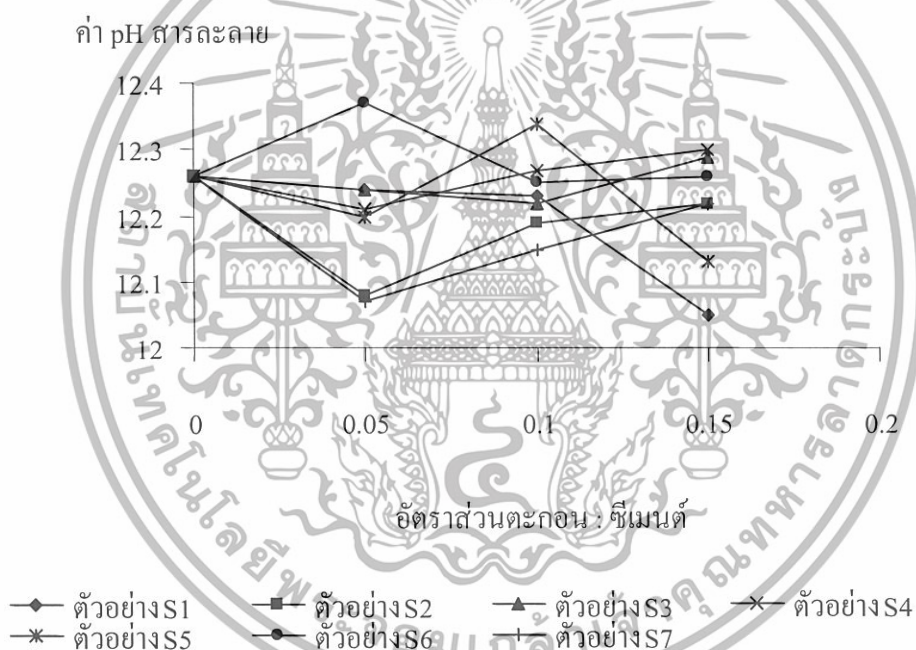
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติการชะละลาย

จากการศึกษาการชะละลายตะกอนโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยซีเมนต์ โดยใช้สัดส่วนของปูน : ทราย: น้ำ กงที่เป็น 1 : 2.75 : 0.5 ตามลำดับ และทำการแปลค่าสัดส่วนของตะกอนเป็น 0.05, 0.1, 0.15, 0.25 และ 0.5 ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของตะกอนต่อค่า pH น้ำชะละลาย

กรดกำมะถัน และกรดไนตริกในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนักทำการปรับค่า pH เริ่มของน้ำชะละลายเท่ากับ 5 นำสารละลายที่ได้ไปทำการทดสอบการชะละลายก้อนซีเมนต์ที่ผ่านการปรับเสถียรที่อัตราส่วนตะกอนของเสีย 0.05, 0.1 และ 0.15 เป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตาราง ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนของตะกอนต่อค่า pH น้ำชะละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนตะกอนของเสียแต่ละชนิดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH หลังการชะละลาย แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำชะละลายเริ่มต้นจาก 5 เปลี่ยนไปเป็น 12 เนื่องจากในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ขึ้นในก้อนซีเมนต์ กระจกจะค่อยๆ ชะละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ออกมาส่งผลทำให้ความเป็นกรดของน้ำชะละลายลดลง และค่า pH เพิ่มขึ้น

4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย

เมื่อนำก้อนซีเมนต์ที่ผ่านการปรับเสถียรมีส่วนผสมตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1, และ 0.15 มาทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (2540)

จากการทดลองพบว่าไม่มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักของตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง และทุกอัตราส่วนมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายเกินกว่าค่ามาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (ภาคผนวก ข) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย

ตัวอย่าง	โลหะหนัก	ความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนของเสีย	ความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำชะละลาย (ppm)			
			อัตราส่วนของตะกอน			
			0	0.05	0.1	0.15
1	Fe	1.1453	0	0.0501	0.1001	0.1601
2	Ni	22.0543	0	0.0868	0.1909	0.4601
3	Cr	88.2266	0	0.2084	0.3219	0.4932
	Ag	2.0517	0	0.5031	1.5444	1.7595
4	Cr	5.4730	0	0.1365	0.2364	0.3697
	Ag	1.6337	0	0.2842	0.5142	0.9104
5	Cr	88.8177	0	0.9848	3.1723	4.1572
	Pb	0.2930	0	0.1709	0.3419	0.4701
6	Mn	0.7277	0	0.0935	0.1914	0.2759
7	Cu	11.7537	0	0.0113	0.017	0.0263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนที่มีโครเมียม (Cr) เป็นองค์ประกอบพบใน ตัวอย่างที่ S3, S4 และ S5 ซึ่งมีปริมาณโครเมียม (Cr) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายพบว่าปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) ในน้ำชะละลายมีค่าที่สูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียเพิ่มสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.4 โดยปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ S3, S4 และ S5 อยู่ในช่วง 0.2084-0.4932, 0.1365-0.3697 และ 0.9848-4.1572 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในตัวอย่างที่ S5 มีปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายสูงที่สุดเป็นผลมาจากในตะกอนของเสียมีปริมาณโครเมียมสูงกว่าในตัวอย่างที่ S3 และ S4 เมื่อเทียบปริมาณโครเมียมกับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลาย 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยในตัวอย่าง S3 และ S4 มีค่าต่ำมาก

ตะกอนที่มีซิลเวอร์ (Ag) เป็นองค์ประกอบพบในตัวอย่างที่ S3 และ S4 ซึ่งมีปริมาณซิลเวอร์ (Ag) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณซิลเวอร์ (Ag) ในน้ำชะละลายพบว่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียสูงขึ้น โดยปริมาณซิลเวอร์ (Ag) ในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ S3 และ S4 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.503-1.7595 และ 0.2842-0.9104 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในตัวอย่างที่ S3 มีปริมาณซิลเวอร์ (Ag) สูงกว่าตัวอย่างที่ 4 เนื่องจากตะกอนของเสียมีปริมาณซิลเวอร์ (Ag) สูงกว่าตัวอย่างที่ S4

ตะกอนที่มีเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบพบใน ตัวอย่างที่ S1 ซึ่งมีปริมาณเหล็ก (Fe) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณเหล็ก (Fe) ในน้ำชะละลายพบว่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียสูงขึ้น โดยปริมาณเหล็ก (Fe) ในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ 1 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0501-0.1601 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตะกอนที่มีนิกเกิล (Ni) เป็นองค์ประกอบพบใน ตัวอย่างที่ S2 ซึ่งมีปริมาณนิกเกิล (Ni) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณนิกเกิล (Ni) ในน้ำชะละลายพบว่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียสูงขึ้น โดยปริมาณนิกเกิล (Ni) ในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ S2 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0868-0.4601 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตะกอนที่มีตะกั่ว (Pb) เป็นองค์ประกอบพบใน ตัวอย่างที่ S5 ซึ่งมีปริมาณตะกั่ว (Pb) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะละลายพบว่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียสูงขึ้น โดยปริมาณตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ 5 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1709-0.4701 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตะกอนที่มีแมงกานีส (Mn) เป็นองค์ประกอบพบใน ตัวอย่างที่ S6 ซึ่งมีปริมาณแมงกานีส (Mn) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำชะละลายพบว่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียสูงขึ้น โดยปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ S6 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0935-0.2759 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตะกอนที่มีทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบพบใน ตัวอย่างที่ 7 ซึ่งมีปริมาณทองแดง (Cu) ในตะกอนของเสียที่อัตราส่วน 0.05, 0.1 และ 0.15 แสดงในตารางที่ 3.2

จากการศึกษาปริมาณทองแดง (Cu) ในน้ำชะละลายพบว่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนตะกอนของเสียสูงขึ้น โดยปริมาณทองแดง (Cu) ในน้ำชะละลายของตัวอย่างที่ S7 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0113-0.0263 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาอัตราส่วนตะกอนของเสียต่อซีเมนต์ที่มีผลต่อค่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายพบว่าที่อัตราส่วนตะกอนของเสียต่อซีเมนต์ที่สูงขึ้น มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากอัตราส่วนของเสียที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณของโลหะหนักในก้อนซีเมนต์มีปริมาณสูงขึ้นทำให้ถูกชะละลายออกมามากได้มากขึ้น ทุกตัวอย่างมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำชะของซีเมนต์จากของเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ค่า pH ของสารละลาย ปริมาณตะกอนที่ส่งผลต่อความหนาแน่น และความสามารถในการทำลายฤทธิ์ของโลหะหนักด้วยวิธีทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาอัตราส่วนของตะกอนที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดพบว่าเมื่อสัดส่วนของตะกอนที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อทำการเทียบกับค่ามาตรฐาน (ASTM: C109-92) มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 150 กก./ตร.ซม. พบว่าที่อัตราส่วน 0.1 และ 0.05 มีค่าเกินกว่ามาตรฐานสามารถนำไปทำการฝังกลบสำหรับของเสียอันตรายและเมื่อทำการเทียบกับมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 3.5 กก./ตร.ซม. พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน
2. จากผลการศึกษาอัตราส่วนของตะกอนของเสียที่มีผลต่อค่า pH พบว่าอัตราส่วนของตะกอนที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำชะละลาย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจาก Ca(OH)_2 ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาไฮเดรชัน
3. จากการศึกษาอัตราส่วนของตะกอนของเสียที่มีผลต่อความหนาแน่น พบว่าเมื่ออัตราส่วนของตะกอนที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์มีแนวโน้มลดลง
4. จากการศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์ของโลหะหนัก และอัตราส่วนตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อความเข้มข้นโลหะในน้ำชะละลาย พบว่าจากการปรับเสถียรมีความสามารถทำให้ค่าความเข้มข้นของโลหะ ซิลเวอร์ (Ag), โครเมียม (Cr) และ ตะกั่ว (Pb) ที่ออกมาจากน้ำชะละลายต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนดที่ 5.0 มิลลิกรัมต่อ ลิตร และเมื่ออัตราส่วนของตะกอนเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความเข้มข้นโลหะในน้ำชะละลายมีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาค่า pH ของการชะละลายในช่วงเวลา 18 ± 2 ชั่วโมงเพื่อเป็นการศึกษาความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของก้อนซีเมนต์ที่ส่งผลต่อค่า pH ของน้ำชะละลายให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นผลทำให้ความสามารถในการชะละลายของน้ำชะละลายลดต่ำลง
2. ควรมีการศึกษาศามารถในการปรับเสถียรโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการดำเนินงานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
3. ควรมีการศึกษาดังผลของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดเพื่อทำการแยกสารอินทรีย์และปรับปรุงให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กนกพร และ อรรถวิทย์. 2542. การศึกษาสมบัติการชะละลายของซีเมนต์ที่มีโลหะหนักเจือปนในปริมาณสูง, ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. การกำจัดของเสียอันตรายในรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2540, กรุงเทพฯ 100
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2540. หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือ ฝังสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ใช้แล้วและ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540), กระทรวงอุตสาหกรรม
- เกษม จันทร์แก้ว. 2541. เทคโนโลยีสิ่งแคะล้อม
- ประจตุ กุลประสูตร. 2538. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง
- พัตรยศ และ โภคิน, 2542. การศึกษาสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่มีโลหะหนักเจือปนในปริมาณสูง, ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พรเทพ มั่นกตัญญู และ วสันต์ โพธิ์เต็ง. 2546. การปรับเสถียรเถ้าจากเตาเผาขยะโรงพยาบาลด้วยวิธีการยัดจับด้วย ซีเมนต์, ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 1- 2547 สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- รัชพร สิงขโรทัย และ คณะ . 2543. การศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักโดยกระบวนการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์, ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วินิต ช่อวินิจ. 2525. คอนกรีตเทคโนโลยี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มลฤดี ศศิมา และสมชาย. 2547. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำเสถียรภาพและการหล่อแข็งเถ้าลอย จากเตาเผาขยะ, ปรินญาณิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- มัลลิกา ปัญญาอะโป. 2542. เอกสารประกอบวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. “ของเสียอันตราย”, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- อุดมวิทย์ กาญจนารงค์. 2531. ปฏิบัติการงานทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 1 2532
- Bishop, P.L. 1988. Leaching of Inorganic Hazardous constituents form Stabilized/Solidified Hazardous Waste, Haz. Waste. Vol 5: 129-143
- Leangon, K. 1993. Solidification of Hazardous Waste By Cement- Based Techniques, Thesis No. EV -93-10 Asean Institute of Technology, Bangkok, Thailand
- Shin, H.S. and Sujiwattahana, P. Factor Affecting Solidification of Hazardous Materials. Hazardous Waste Detection Control Treatment pp. 1549-1560, 1988
- Shively, W., Bishop, P., Gress, D. and Brown, T. Leaching Tests of Heavy Metal Stabilized with Portland Cement. WPCF, Vol. 58 pp. 234-241, 1986
- U.S. Environmental protection Agency, 1988. Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Waste. EPA/625/6-89/022. **Hazardous Waste Engineering Research Laboratory**, U.S. Environmental protection Agency, Cincinnati, Ohio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มฤตติ ศศิมา และสมชาย. 2547. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำเสถียรภาพและการหล่อแข็งเถ้าลอย จากเตาเผาขยะ, ปรินญาณิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- มัลลิกา ปัญญาอะโป. 2542. เอกสารประกอบวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. “ของเสียอันตราย”, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- อุดมวิทย์ กาญจนารงค์. 2531. ปฏิบัติการงานทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 1 2532
- Bishop, P.L. 1988. Leaching of Inorganic Hazardous constituents form Stabilized/Solidified Hazardous Waste, Haz. Waste. Vol 5: 129-143
- Leangon, K. 1993. Solidification of Hazardous Waste By Cement- Based Techniques, Thesis No. EV -93-10 Asean Institute of Technology, Bangkok, Thailand
- Shin, H.S. and Sujiwattahana, P. Factor Affecting Solidification of Hazardous Materials. Hazardous Waste Detection Control Treatment pp. 1549-1560, 1988
- Shively, W., Bishop, P., Gress, D. and Brown, T. Leaching Tests of Heavy Metal Stabilized with Portland Cement. WPCF, Vol. 58 pp. 234-241, 1986
- U.S. Environmental protection Agency, 1988. Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Waste. EPA/625/6-89/022. **Hazardous Waste Engineering Research Laboratory**, U.S. Environmental protection Agency, Cincinnati, Ohio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
2	0.05	1	5.12	284.28	44.6	26.94	137.91	2.06	168.93
		2	5.15	285.44	42.9	26.62	137.12	2.08	164.45
		3	5.20	285.79	43.2	25.91	134.46	2.12	170.13
0.1		1	5.17	285.65	39.2	26.63	137.65	2.08	150.21
		2	5.18	278.07	39.4	26.47	137.12	2.03	152.19
		3	5.14	272.33	40.23	26.73	137.38	1.98	153.57
0.15		1	5.20	271.51	29.00	26.73	138.99	1.95	110.71
		2	5.20	272.77	27.90	26.57	138.17	1.97	107.15
		3	5.16	268.09	28.40	26.06	134.47	1.99	111.20
0.25		1	5.04	256.72	5.30	26.16	131.86	1.94	20.67
		2	5.02	254.93	6.10	26.37	132.38	1.93	23.60
		3	4.98	252.18	5.90	26.32	131.05	1.92	22.87
0.5		1	5.02	256.48	5.90	27.2	136.52	1.88	22.23
		2	4.98	254.63	5.30	27.04	134.66	1.89	20.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
3	0.05	3	5.04	256.64	5.50	27.09	136.54	1.88	20.91
		1	5.17	276.41	53.95	25.95	134.18	2.06	212.13
		2	5.15	272.83	51.94	25.60	131.84	2.07	207.13
	0.1	3	5.11	273.42	52.71	26.77	135.27	2.02	200.93
		1	5.19	278.51	41.31	26.25	137.65	2.02	160.59
		2	5.1	271.9	39.8	26.16	133.43	2.04	155.23
	0.15	3	5.16	279.43	40.77	26.47	136.57	2.04	157.18
		1	5.14	273.85	28.30	26.32	135.21	2.02	109.72
		2	5.04	278.81	28.70	26.88	135.5	2.02	108.95
	0.25	3	5.05	271.03	29.30	26.73	135.00	2.06	111.85
		1	5.18	263.01	25.00	25.86	133.95	1.96	98.65
		2	5.17	261.81	26.10	25.91	133.94	1.95	102.79
0.5	3	5.16	262.62	25.70	25.86	133.42	1.96	101.41	
	1	5.17	258.49	18.00	25.76	133.16	1.94	71.27	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
4	0.05	2	5.12	258.34	19.30	26.12	133.69	1.93	75.40
		3	5.16	261.87	18.60	26.01	134.21	1.95	72.97
		1	5.20	281.73	54.25	26.25	137.91	2.04	210.87
0.1	0.1	2	5.14	281.82	52.81	26.25	136.32	2.07	205.29
		3	5.17	279.35	54.71	26.57	135.39	2.06	210.13
		1	5.16	305.2	45.80	26.83	138.45	2.20	147.19
0.15	0.15	2	5.14	287.29	46.70	26.16	134.49	2.14	182.16
		3	5.22	292.99	47.10	26.52	138.44	2.12	181.23
		1	5.13	261.78	25.35	26.11	133.94	1.95	99.07
0.25	0.25	2	5.16	264.79	26.61	25.06	133.42	1.98	109.79
		3	5.10	264.44	25.50	26.23	135.78	1.93	99.20
		1	5.11	266.16	9.10	26.52	135.53	1.96	35.01
		2	5.20	267.08	8.30	26.21	136.31	1.95	32.31
		3	5.18	266.92	8.70	26.26	136.05	1.96	33.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
5	0.5	1	5.17	263.69	5.10	26.37	136.32	1.93	19.73
		2	5.20	264.15	4.90	26.31	136.82	1.93	19.00
		3	5.16	263.23	5.70	26.42	136.33	1.93	22.01
5	0.05	1	5.18	294.62	52.10	27.14	140.61	1.93	195.89
		2	5.14	297.74	51.90	26.78	137.64	1.99	197.76
		3	5.12	295.95	53.20	26.88	137.65	2.15	201.96
5	0.1	1	5.18	271.07	40.89	26.06	134.98	2.01	160.13
		2	5.20	274.21	42.40	26.11	135.78	2.02	165.71
		3	5.18	271.99	28.7	26.37	136.57	1.99	111.06
5	0.15	1	5.18	271.99	28.7	26.37	136.57	1.99	111.06
		2	5.15	274.29	28.10	27.09	139.52	1.97	105.09
		3	5.17	272.62	27.90	26.37	136.32	1.99	109.9
5	0.25	1	4.97	237.39	20.20	25.50	126.71	1.87	80.83
		2	5.04	238.25	19.80	25.50	128.52	1.85	79.23
		3	5.02	265.94	19.20	25.49	127.99	1.85	76.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
0.5		1	5.17	250.32	7.10	26.37	136.31	1.83	27.09
		2	5.20	248.54	6.90	26.21	136.30	1.82	26.86
		3	5.22	243.33	6.20	26.21	136.83	1.81	24.14
6	0.05	1	5.17	285.31	51.10	26.41	136.54	2.06	197.44
		2	5.18	306.98	50.40	27.10	140.34	2.19	189.77
		3	5.17	292.34	49.70	26.21	135.53	2.16	193.49
0.1		1	5.28	277.52	38.40	26.41	133.84	2.07	154.69
		2	5.14	276.94	38.35	25.75	132.34	2.09	151.97
		3	5.16	271.93	36.80	25.3	130.54	2.08	148.42
0.15		1	5.13	271.75	23.10	25.54	131.02	2.07	92.29
		2	5.1	269.77	22.60	26.00	131.05	2.06	88.70
		3	5.17	270.26	21.50	25.50	131.40	2.05	86.03
0.25		1	4.97	268.93	11.10	26.73	132.84	2.02	42.37
		2	4.95	268.02	10.90	26.72	132.30	2.03	41.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร. ซม.)	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
7	0.5	3	5.00	269.46	10.20	26.23	133.64	2.02	39.68
		1	5.15	264.78	5.10	26.83	138.19	1.92	19.40
		2	5.20	262.34	4.70	26.11	135.78	1.93	18.37
7	0.05	3	5.12	263.45	4.90	26.62	136.31	1.93	18.78
		1	5.12	278.98	46.94	26.73	136.85	2.04	179.18
		2	5.25	288.57	46.59	26.83	140.87	2.05	177.21
7	0.1	3	5.15	272.82	45.79	26.99	135.99	1.96	173.15
		1	5.17	294.13	33.90	26.93	128.45	2.17	128.45
		2	5.17	307.27	34.50	26.63	132.20	2.23	132.20
7	0.15	3	5.17	294.69	32.50	26.88	123.38	2.12	123.38
		1	5.14	269.54	20.10	26.99	138.71	1.94	75.99
		2	5.12	266.93	19.10	26.42	135.26	1.97	73.77
7	0.25	3	5.12	267.95	21.20	26.73	136.85	1.96	80.93
		1	5.22	262.52	7.10	26.83	140.05	1.87	27.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวัดค่ากำลังแรงอัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ครั้งที่	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (กก. นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
		2	5.2	261.93	7.90	27.00	140.00	1.87	29.86
		3	5.24	262.04	6.80	26.73	140.60	1.86	25.96
	0.5	1	5.18	253.19	5.00	26.52	137.37	1.84	19.24
		2	5.16	252.95	4.90	26.57	137.12	1.84	18.82
		3	5.12	251.34	4.70	26.47	135.52	1.85	18.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองสอบสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ ก.2 ผลการวัดค่า pH หลังการชะละลาย

ตัวอย่าง	อัตราส่วน ตะกอน	ค่า PH ของสารละลาย			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยง เบนมาตรฐาน
		ครั้งที่				
		1	2	3		
1	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.23	12.24	12.24	12.24	0.01
	0.1	12.22	12.24	12.24	12.23	0.01
	0.15	11.82	12.15	12.18	12.05	0.19
2	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.05	12.07	12.12	12.08	0.04
	0.1	12.17	12.21	12.2	12.19	0.02
	0.15	12.22	12.21	12.24	12.22	0.02
3	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.27	12.25	12.21	12.24	0.03
	0.1	12.22	12.21	12.24	12.22	0.02
	0.15	12.28	12.28	12.31	12.29	0.02
4	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.22	12.27	12.14	12.21	0.07
	0.1	12.25	12.27	12.28	12.27	0.02
	0.15	12.29	12.3	12.31	12.3	0.01
5	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.22	12.19	12.2	12.2	0.02
	0.1	12.13	12.14	12.14	12.34	0.01
	0.15	12.09	12.15	12.16	12.13	0.04
6	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.4	12.33	12.37	12.37	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการวัดค่า pH หลังการชะละลาย (ต่อ)

ตัวอย่าง	อัตราส่วน ตะกอน	ค่า PH ของสารละลาย			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยง เบนมาตรฐาน
		ครั้งที่				
		1	2	3		
	0.1	12.29	12.21	12.24	12.25	0.04
	0.15	12.27	12.28	12.22	12.26	0.03
7	0	12.26	12.28	12.24	12.26	0.02
	0.05	12.05	12.09	12.07	12.07	0.02
	0.1	12.19	12.12	12.14	12.15	0.04
	0.15	12.2	12.18	12.27	12.22	0.05

ตารางที่ ก.3 ค่ามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า (ASTM: C109 – 92)

อายุของแท่งตัวอย่าง	ประเภทของซีเมนต์		
	1	2	3
1 วันในอากาศชื้น (kg/cm ²)	-	-	120
1 วันในอากาศชื้น, 2 วันในน้ำ (kg/cm ²)	85	70	210
1 วันในอากาศชื้น, 6 วันในน้ำ (kg/cm ²)	150	130	-
1 วันในอากาศชื้น, 27 วันในน้ำ (kg/cm ²)	245	245	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่ามาตรฐานสารที่ถูกละลาย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2540

เรื่องการจัดตั้งปฏิพลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

สารที่ถูกล้างได้ (Leachable substance) เป็นสารซึ่งเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และวิธีวิเคราะห์ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด แล้วมีปริมาณโลหะหนักหรือ วัตถุมีพิษในน้ำสกัดเท่ากับหรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้

อาร์เซนิก(ทั้งหมด) (Arsenic (total))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
แบเรียม (Barium)	100.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เบนซีน (Benzene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม (Cadmium (total))	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (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 (1,4Dichlorobenzene)	7.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,4-ไดคลอโรอีเทน (1,4Dichloroethane)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1Dichloroethylene)	0.7	มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอลดริน (Endrin)	0.02	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮปตาคลอด์ (Heptachlor and its epoxide)	0.008	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	0.13	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอโรบิวตาไดอิน (Hexachlorobutdiene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
เฮกซาคลอโรอีเทน (Hexachloroethane)	3.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว (ทั้งหมด) (Lead (total))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท (ทั้งหมด) (Mercury (total))	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทอกซิกลอร์ (Methoxychlor)	10.	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมทิล เอทิล คีโตน (Methyl ethyl ketone)	200.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเบนซีน (Nitrobenzene)	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4-ไนโตรโทลูอิน (Nitrotoluene)	0.13	มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอโรฟีโนล (Pentachlorophenol)	100.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไพริดีน (Pyridine)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีลีเนียม (Selenium)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน (Silver)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เตตราคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	0.7	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทอกซาเฟน (Toxaphene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,5-ไตรคลอโรฟีโนล (2,4,5, Trichlorophenol)	400.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,6-ไตรคลอโรฟีโนล (2,4,6, Trichlorophenol)	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4,5-ทีพี (ซิลเว็กซ์) (2,4,5-TP (Silvex))	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไวนิล คลอไรด์ (Vinyl Chloride)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



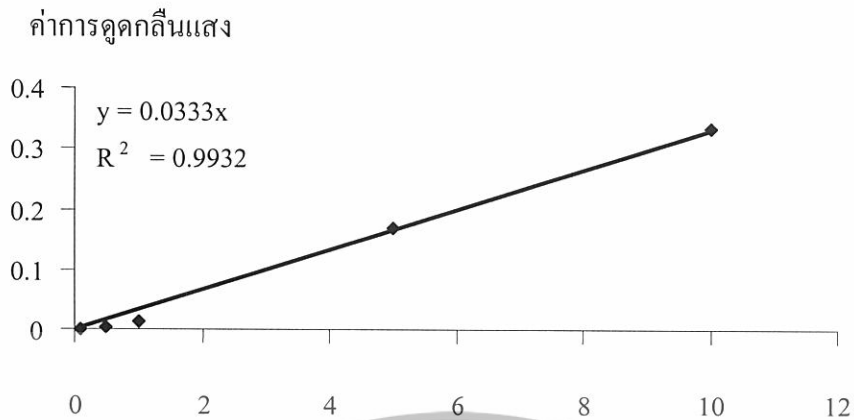
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

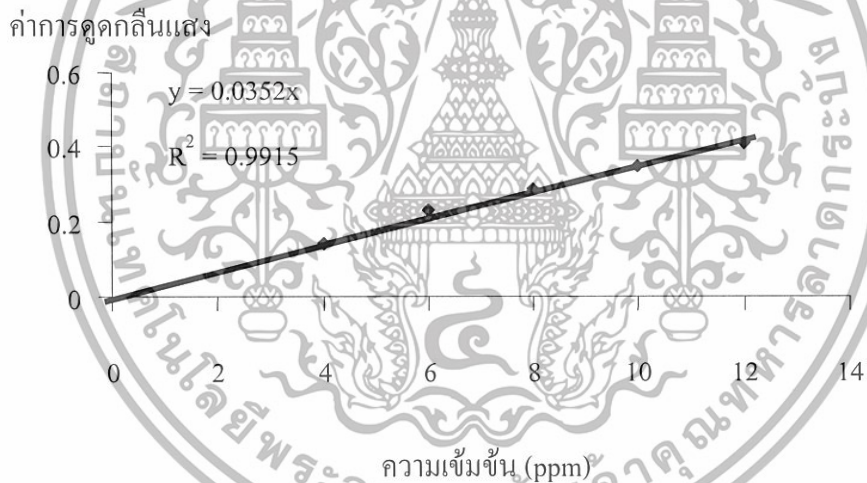
ตารางที่ ค.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

โลหะ	ค่าการดูดกลืนแสง					
	ความเข้มข้น (ppm)					
	4	6	8	10	12	blank
Pb	0.031	0.049	0.061	0.077	0.095	0
Cu	0.224	0.35	0.447	0.552	0.655	0
Cr	0.141	0.228	0.285	0.352	0.413	0
โลหะ	ความเข้มข้น (ppm)					
	0.1	0.5	1	5	10	blank
Mn	0.004	0.026	0.059	0.395	0.741	0
Ni	0.006	0.025	0.053	0.202	0.377	0
Fe	0.001	0.004	0.013	0.169	0.335	0
Ag	0.003	0.018	0.053	0.297	0.58	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



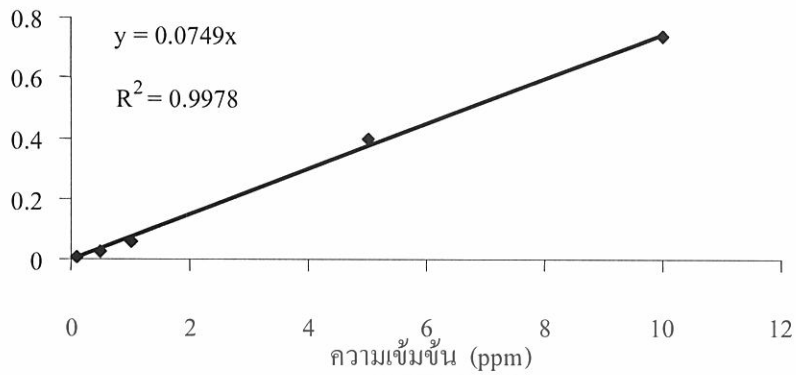
รูปที่ ค.1 แสดงกราฟมาตรฐานเหล็ก



รูปที่ ค.2 แสดงกราฟมาตรฐานโครเมียม

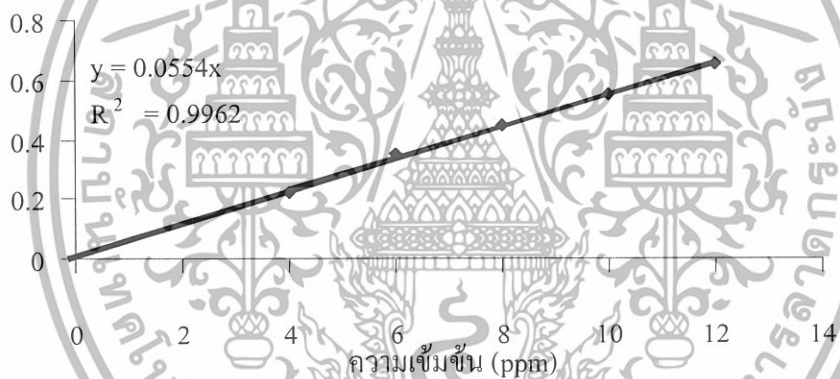
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดูดกลืนแสง



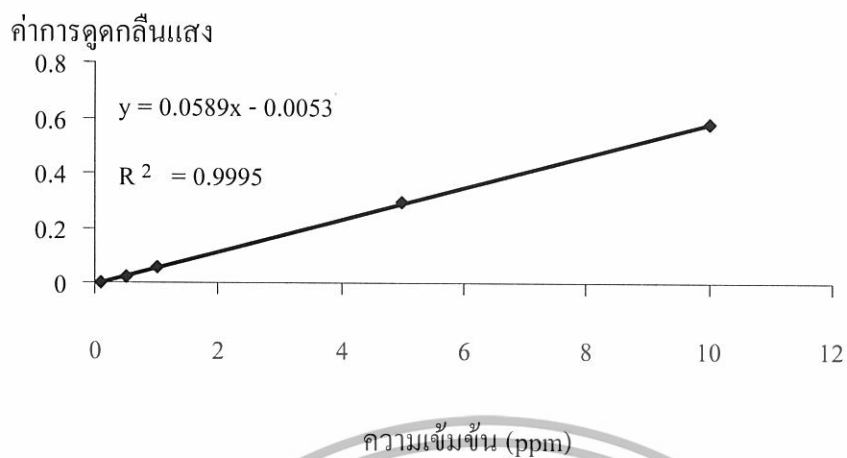
รูปที่ ค.3 แสดงกราฟมาตรฐานแมงกานีส

ค่าการดูดกลืนแสง



รูปที่ ค.4 แสดงกราฟมาตรฐานคอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

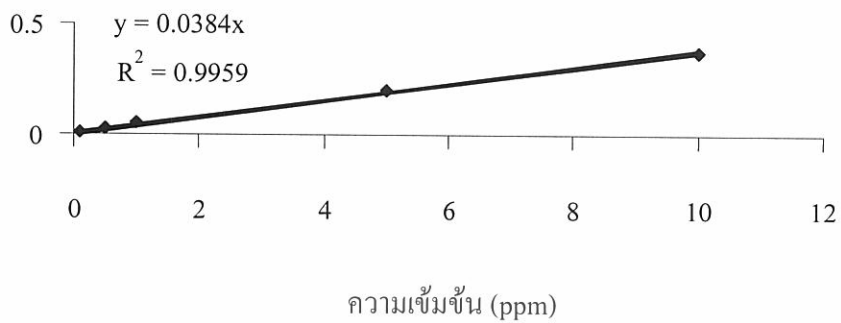


รูปที่ ค.7 แสดงกราฟมาตรฐานซิลเวอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดูดกลืนแสง



รูปที่ ค.5 แสดงกราฟมาตรฐานนิกเกิล

ค่าการดูดกลืนแสง



รูปที่ ค.6 แสดงกราฟมาตรฐานตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้