สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาผลของรูป ตะกั่ว ต่อการปรับเสถียรและทำให้อยู่ในรูปก้อนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์พอร์ตแลนด์

T107845

นางสาวมณฑิรา ไชยวุฒิ
นายวิษณุ เชิดชัยต้นเจริญ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....10845
วัน,เดือน,ปี.....14 พ.ค. 2553
b.....12211655.....
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Lead (Pb^{2+}) on Stabilization and Solidification (S/S) with Portland Cement

Miss Montira Chaiwut
Mr. Wisanu Cherdchaitonjaroen

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ผลของรูปตะกั่วต่อการปรับเสถียรและการทำให้อยู่ในรูปก้อนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์พอร์ตแลนด์

นักศึกษา นางสาวมณฑิรา ไชยวุฒิ

นายวิษณุ เชิดชัยต้นเจริญ

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์	.....
กรรมการ	อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล	.....
กรรมการ	ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค	.....

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	ผลของรูป ตะกั่ว ต่อการปรับเสถียรและทำให้อยู่ในรูปก้อนซีเมนต์ด้วยพอร์ตแลนด์ซีเมนต์
นักศึกษา	นางสาวมณฑิรา ไชยวุฒิ
	นายวิษณุ เชิดชัยต้นเจริญ
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรษวรรณ ศรีนาค

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาผลของรูปตะกั่ว คือ เลด (II) [Pb^{2+}] และ ตะกั่วในรูปตะกอนไฮดรอกไซด์ [$Pb(OH)_2$] ต่อการปรับเสถียรและกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ โดยทำการศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ พบว่าตะกั่วในรูป เลด (II) สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ดีที่สุด โดยดูจากระยะในการก่อตัวที่สั้นที่สุด ศึกษาระยะเวลาบ่ม 3 , 7 , 14 , 21 และ 28 วัน ต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดของตะกั่วทุกรูปจะเพิ่มขึ้น โดยตะกั่วในรูป เลด (II) สามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุด และจากการศึกษาผลของการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ พบว่า ซีเมนต์ที่มีตะกั่วเจือปนหลายสัดส่วนมีแนวโน้มที่จะพบตะกั่วในน้ำชะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการชะนานขึ้น โดยตะกั่วในรูป ตะกอนไฮดรอกไซด์ [$Pb(OH)_2$] สามารถชะตะกั่วออกมาได้มากที่สุดที่เวลา 18 ชั่วโมง และผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์และการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์จากของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8 พบว่า ที่สัดส่วน waste/OPC เท่ากับ 0.4 mol/kg ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ระยะเวลาการชะละลาย 18 ชั่วโมง พบว่า มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 29.21 MPa และตะกั่วที่ถูกชะออกมา มีค่าเท่ากับ 0.0038 ppm

คำสำคัญ : การปรับเสถียร , ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น , กำลังรับแรงอัด , ไวแคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Effect of Lead (Pb^{2+}) on Stabilization and Solidification (S/S) with Portland Cement		
Name	Miss	Monthira	Chaiwut
	Mr.	Wisanu	Cherdchaitonjaroen
Department	Chemistry		
Program	Environmental Resource of Chemistry		
Academic Year	2006		
Special Project Advisor	Asst.Prof. Passawan Srinak		

ABSTRACT

Special project is study effect of lead such as lead ion [Pb^{2+}] and lead (II) hydroxide [$Pb(OH)_2$] on stabilization and solidification (S/S) with portland cement by the study effect of lead to hydration reaction of cement . Lead ion [Pb^{2+}] is good of hydration reaction because the time in starting is shortest . Study of the time of curing time 3 , 7 , 14 , 21 and 28 days with the compressive strength of cement when the curing time to increase the value is compressive strength of lead ion [Pb^{2+}] and lead (II) hydroxide [$Pb(OH)_2$] will increase by lead ion [Pb^{2+}] can take the pressure is most . TCLP leaching test of cement , the cement have the various from of lead the proportions will tend to meet the leads in the leachate more and more when the period of time is long ago , by lead (II) hydroxide [$Pb(OH)_2$] can leaching lead is most at 18 hours . The experiment is compressive strength and TCLP leaching test of cement from waste in chemical laboratory by waste/OPC is 0.4 mol/kg at the time of curing time 7 days and the leaching time is 18 hours , taking the pressure is 29.21 MPa and the leaching of lead is 0.0038 ppm .

Keyword : Stabilization/Solidification , Hydration reaction , Compressive strength , Vicat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการดูแล เอาใจใส่ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนสิ่งที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ในการทำโครงงานพิเศษแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค , ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์ และ อาจารย์ สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำสิ่งต่าง ๆ ในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง และเพื่อน ๆ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

ผู้จัดทำ

นางสาวมณฑิรา ไชยวุฒิ

นายวิษณุ เชิดชัยต้นเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามคำศัพท์

AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
aq.	aqueous
ASTM	American Society for Testing and Material
g.	กรัม
kg.	กิโลกรัม
mg.	มิลลิกรัม
MPa	เมกะพาสคัล
N	นอร์มอล
OPC	Ordinary Portland Cement
ppm.	Part per million
S/S	Stabilization and Solidification
SD	Standard Deviation
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
U.S. EPA.	United State Environmental Protection Agency
W/C	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
°C	องศาเซลเซียส
µm.	ไมโครเมตร
กก.	กิโลกรัม
ชม.	ชั่วโมง
ตร.ซม.	ตารางเซนติเมตร
นน.	น้ำหนัก
มม.	มิลลิเมตร
มล.	มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
นิยามคำศัพท์	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สมบัติของโลหะตะกั่ว	4
2.1.1 แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว	4
2.1.2 พิษของตะกั่ว	5
2.1.3 สาเหตุการเกิดอาการพิษของตะกั่ว	6
2.2 ปฏิกิริยาเคมีของตะกั่ว	7
2.2.1 ปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง	7
2.2.2 ปฏิกิริยาของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์	7
2.2.3 ปฏิกิริยาของกรดซัลฟิวริกเจือจาง	8
2.2.4 ปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	8
2.3 การตกตะกอนทางเคมี	8
2.4 การตกตะกอนโลหะตะกั่ว	9
2.4.1 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์	9
2.4.2 การตกตะกอนซัลไฟด์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.4.3	การตกตะกอนคาร์บอเนต	10
2.5	การกำจัดของเสียอันตรายโดยทำให้เป็นก้อน	11
2.5.1	กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์	11
2.5.2	Cement Based	13
2.5.3	เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ได้จากวิธี Cement Based	13
2.6	ปูนซีเมนต์	13
2.6.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	14
2.6.2	ประเภทของปูนซีเมนต์บอร์ตแลนด์	15
2.6.3	กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
2.6.4	องค์ประกอบทางเคมี	18
2.6.5	การก่อตัวและการแข็งตัว	21
2.6.6	ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น	22
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3	**การดำเนินงานวิจัย**	
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	27
3.2	อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	28
3.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	28
3.2.2	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	28
3.3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
3.3.1	ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์	29
3.3.2	ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์	31
3.3.3	ศึกษาการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์	33
3.3.4	การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีตะกั่วโดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	**ผลการทดลองและอภิปรายผล**	
4.1	ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการก่อตัวและการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของตะกั่ว ด้วยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์	35
4.2	ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์	35
4.2.1	การหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191)	35
4.2.2	การหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์	37
4.3	การหาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์	40
4.4	ศึกษาการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์	43
4.5	การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีตะกั่ว โดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์	46
4.5.1	ลักษณะของเสีย	46
4.5.2	การบำบัดของเสีย	47
4.5.3	การทำเสถียรตะกอนของเสีย	47
บทที่ 5	**สรุปและข้อเสนอแนะ**	
5.1	สรุปผลการทดลอง	49
เอกสารอ้างอิง		ญ
ภาคผนวก ก.	การเตรียมสารละลายมาตรฐานในการวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS)	ฏ
ภาคผนวก ข.	การปรับเสถียรของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8	ฐ
ภาคผนวก ค.	การคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน	ฒ
ภาคผนวก ง.	การคำนวณปริมาณสาร	ณ
ภาคผนวก จ.	ข้อมูลผลการทดลอง	ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน	12
2.2	ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	18
2.3	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	19
2.4	สรุปคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	20
4.1	แสดงผลการหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191)	36
4.2	แสดงผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์	38
4.3	แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์	41
4.4	แสดงผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์	44
4.5	แสดงลักษณะทั่วไปของของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี	47
4.6	แสดงการบำบัดของเสียโดยการตกตะกอนไฮดรอกไซด์	47
4.7	แสดงผลการทำเสถียรของเสีย	48
ค.1	ผลการหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต	ด
ค.2	ผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในรูป Pb^{2+} ในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์	ต
ค.3	ผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในรูปตะกอน $Pb(OH)_2$ ในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์	ถ
ค.4	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด (ชุดควบคุม)	ธ
ค.5	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg OPC	น
ค.6	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.2 mol/kg OPC	บ
ค.7	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.3 mol/kg OPC	ป
ค.8	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.4 mol/kg OPC	ผ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.9	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg OPC	ฝ
ค.10	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.2 mol/kg OPC	พ
ค.11	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.3 mol/kg OPC	ฟ
ค.12	ผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.4 mol/kg OPC	ภ
ค.13	ผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ของตะกั่วที่อยู่ในรูปของ Pb^{2+}	ม
ค.14	ผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ของตะกั่วที่อยู่ในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$	ย
ค.15	ผลกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์จากของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8	ร
ค.16	ผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์จากของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8	ร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย	12
2.2	ชนิดของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	15
2.3	กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
2.4	ขั้นตอนการก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีต	22
2.5	แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของคัลเซียมซิลิเกต	23
2.6	ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดชั่นของ C_3A	25
2.7	ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite	25
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	27
4.1	กราฟแสดงระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191)	37
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายกับระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์	39
4.3	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่สัดส่วน Pb/OPC 0.1 – 0.4 mol/kg กับระยะเวลาการในก่อตัวของซีเมนต์เพสต์	40
4.4	ผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของตะกั่วในรูป Pb^{2+}, $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 – 0.4 mol/kg	42
4.5	ผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่สัดส่วน Pb/OPC 0.1 - 0.4 mol/kg	43
4.6	ผลของระยะเวลาในการชะละลายต่อความเข้มข้นตะกั่วในน้ำชะของตะกั่วในรูป Pb^{2+} และ $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 – 0.4 mol/kg	45
4.7	ผลของเวลาในการชะละลายต่อความเข้มข้นของตะกั่วที่สัดส่วน Pb/OPC 0.1 - 0.4 mol/kg	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันปัญหาโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังคงมีแนวโน้มว่าจะก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำแต่ละชนิดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นและจะถูกสะสมอยู่ในสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะถูกถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนสะสมอยู่ โลหะหนักเหล่านั้นจะถูกถ่ายทอดไปสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงปริมาณหนึ่งก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย หากไม่มีการควบคุมและจัดการที่ดีแล้ว สารพิษเหล่านั้นก็อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพได้ต่อไปอีกในอนาคต

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีสีขาวเทาอ่อน ๆ รวมทั้งเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์สำหรับร่างกายทั้งพืชและสัตว์ การแพร่กระจายของสารพิษตะกั่วมีได้หลายทาง เช่น การใช้ตะกั่วอัลคิลเป็นองค์ประกอบที่เติมลงไปในเชื้อเพลิง ทำให้มีตะกั่วอยู่ในชั้นบรรยากาศของบริเวณต่าง ๆ ประมาณร้อยละ 90 ของตะกั่วที่แพร่ไปสู่บรรยากาศ การแพร่กระจายลงไปในน้ำ เกิดเนื่องจากตะกั่วเป็นส่วนประกอบภายในท่อ ซึ่งจะเกิดการปนเปื้อนจากการทาสี รวมทั้งเป็นสารประกอบในผลิตภัณฑ์อื่นรวมทั้ง ๆ กระป๋องอาหารที่เป็นทองเหลือง (กษมา และ พงศ์ภัทร , 2545)

กระบวนการทำให้เป็นก้อนและทำลายฤทธิ์ (Solidification and Stabilization) เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการละลายของสารเคมีที่เป็นของเสียอันตรายและการปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมทำให้สารต่าง ๆ ถูกยึดไว้และไม่สามารถแสดงคุณสมบัติทางเคมีออกมาได้ โดยการทำให้เป็นก้อน คือ กิจกรรมซึ่งทำให้สารที่กระจัดกระจาย ตะกอน หรือ องค์ประกอบของสารเหล่านี้ถูกนำมารวมกันเพื่อทำให้เกิดเป็นมวลแข็งตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงรูปของตะกั่วต่อการก่อตัวและการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นด้วยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมได้ โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายในการก่อตัว เวลาในการก่อตัว ระยะเวลาบ่ม กำลังรับแรงอัด และ ศึกษาความสามารถในการถูกชะละลาย โดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์
2. ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์
3. ศึกษาการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์
4. ศึกษาการบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีตะกั่วต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดและการปลดปล่อยไอออนในน้ำชะ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์

1.1 การหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ในรูปของ Pb(II) ได้แก่ $Pb(NO_3)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ที่ความเข้มข้น 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg cement ทดสอบการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้ Vicat Needle (ตามมาตรฐาน ASTM C191)

1.2 การหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ที่เวลา 0 , 15 , 30 , 45 และ 60 นาที ตามลำดับ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2. ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มของการทำให้เป็นก้อนซีเมนต์ ต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด โดยแปรค่าเป็น 3 , 7 , 14 , 21 และ 28 วัน ตามลำดับ แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

3. ศึกษาความเข้มข้นในการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ ที่ระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน ด้วยวิธี TCLP test (มาตรฐาน U.S. EPA Method 1311)

4. ศึกษาการบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีตะกั่ว โดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้สามารถเลือกรูปและสภาวะที่เหมาะสมของตะกั่วในการกำจัดด้วยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนปูนซีเมนต์
2. สามารถลดความปนเปื้อนของโลหะหนักตะกั่วที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการทำเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
3. สามารถนำผลการทดลองมาใช้เป็นแนวทางในการบำบัดของเสียตะกั่ว จากห้องปฏิบัติการหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย							
	ปี2549					ปี 2550		
	ส.ค.	ก.ย	ต.ค	พ.ย.	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	←	—	→					
2. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย		←	→					
3. จัดทำเค้าโครงงานวิจัย		←	—	→				
4. เสนอเค้าโครงงานวิจัย			←	→				
5. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมี			←	—	→			
6. ดำเนินการวิจัย				←	—	—	→	
7. รวบรวมและวิเคราะห์ผลการวิจัย						←	—	→
8. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย						←	→	
9. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม						←	—	→
10.จัดทำรายงานโครงงานพิเศษ						←	—	—
11.เตรียมเสนอโครงงานพิเศษ								← →
12.เสนอโครงงานพิเศษ								← →

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สมบัติของโลหะตะกั่ว (กษมา และ พงศ์ภัทร , 2545)

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีสีขาวเทาอ่อนๆ มีจุดหลอมตัวและจุดเดือดที่ 327.4 , 1,620 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะ 11.35 จึงจัดตะกั่วเป็นโลหะหนัก ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์สำหรับร่างกายทั้งพืชและสัตว์ ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นสารพิษอย่างแรงต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งมนุษย์ด้วย ตะกั่วหาได้ง่ายตามธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทั่วๆไป แม้ว่าจะมีความเข้มข้นน้อยจากชั้นบรรยากาศตะกั่วจะแพร่ไปสู่ดิน น้ำ พืชและสัตว์ทั้งในรูปแห้งและเปียก ตะกั่วที่อยู่ในดินจะมีเวลาครึ่งชีวิตหลายร้อยปี เปลือกของโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 10 – 15 พีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วนอย่างไรก็ตาม ตะกั่วที่ปรากฏเป็นธาตุอิสระมีอยู่น้อยมาก นั่นคือตะกั่วที่พบอยู่ในเปลือกโลกทั้งหมดอยู่ในรูปของสารประกอบ ตัวอย่างแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบได้แก่ แร่จีลีไนด์ (gelenite) หรือจีลีนา (genena) ซึ่งเป็นซัลไพด์ของตะกั่ว (PbS) เป็นต้น เบื้องต้นจะมาจากชั้นบรรยากาศ มีประมาณ 5×10^{-5} มิลลิกรัมต่อลิตร ในเมืองพบว่ามีความเข้มข้นประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะมากกว่านี้ในเมืองที่มีการจราจรติดขัดมาก พืชบกและพืชน้ำสามารถสะสมตะกั่วจากน้ำและดิน ในบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม ตะกั่วสามารถสะสมในสัตว์ได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

2.1.1 **แหล่งกำเนิดสารพิษตะกั่ว**

บ่อแร่ การถลุงแร่และกระบวนการทำตะกั่ว การบรรจุแร่โลหะตะกั่วทั่ว ๆ ไปจะเป็นแหล่งใหญ่ที่มีการแพร่ของตะกั่ว การเพิ่มการเผาไหม้ของตะกั่วในของเสียและเชื้อเพลิงจาก ซากพืช ซากสัตว์ ในเตาเผา การเผาต้นไม้ การทำอุตสาหกรรมต่าง ๆ และ จากบ้านเรือน จะปล่อยตะกั่วออกสู่ชั้นบรรยากาศ การขนส่งทางอากาศ จะทำให้อากาศรอบ ๆ มีความเข้มข้นของตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการใช้ตะกั่วอัลคิลเป็นองค์ประกอบที่เติมลงไปในเชื้อเพลิง ทำให้มีตะกั่วอยู่ในชั้นบรรยากาศของบริเวณต่าง ๆ ประมาณร้อยละ 90 ของตะกั่วที่แพร่ไปสู่บรรยากาศ การแพร่กระจายลงไปในน้ำ เกิดเนื่องจากตะกั่วเป็นส่วนประกอบภายในท่อหรือองทองท่อเหลือง ซึ่งจะเกิดการปนเปื้อนจากการทาสี กรดตะกั่วที่อยู่ในแบตเตอรี่ จะทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นสารประกอบในผลิตภัณฑ์อื่นรวมทั้ง ๆ กระป๋องอาหารที่เป็นทองเหลือง แก้วเซรามิก คริสตัล ปลอกเคเบิล และเครื่องสำอาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แหล่งจากการประกอบอาชีพ ได้แก่ การทำเหมืองตะกั่ว อุตสาหกรรมอิเล็กโทรนิคและคอมพิวเตอร์ การนำของเก่าที่มีตะกั่วผสมอยู่มาหลอมใช้ใหม่ การบรรทุกหรือขนถ่ายของที่มีฝุ่นตะกั่วผสมอยู่ การทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ การผลิตบรอนซ์ตะกั่ว สีตะกั่ว ตะกั่วผงและตะกั่วในรูปอื่น ๆ การผลิตแก้วที่มีตะกั่วผสมอยู่ การทาหรือพ่นสีกันสนิม การใช้สารประกอบของตะกั่วในรูปที่เป็นผงในการผลิตแบตเตอรี่ การเคลือบด้วยสารตะกั่ว การเชื่อมและการตัดโลหะที่มีตะกั่วหรือสีตะกั่วผสม อยู่โดยใช้ความร้อน การตกแต่งเจียรไนหรือขัดมันโลหะที่มีตะกั่วผสมอยู่ การชุบโลหะ การทำเครื่องปั้นดินเผา การทำและการบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช การเรียงพิมพ์ การทำเครื่องประดับโลหะ การทำลูกปืน การซ่อมหม้อแบตเตอรี่ การเติมน้ำมัน การซ่อมถังน้ำมัน ทั้งนี้แหล่งจากการประกอบอาชีพเป็นแหล่งที่ให้สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายคนได้มากที่สุด

2. แหล่งจากอากาศที่ปนเปื้อนตะกั่ว (airbon lead) โดยทั่วไปแล้วการหายใจจะเป็นทางที่สำคัญทำให้ร่างกายได้รับตะกั่วจากอากาศ ทั้งนี้ที่พักและการจราจรจะมีผลอย่างมาก โดยระดับตะกั่วจะสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรเฉลี่ยในแต่ละวันของแต่ละถนนสายสำคัญ

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

4. จากแหล่งสีที่ตะกั่วเป็นพิษ (lead based paint) สีที่มีตะกั่วเป็นแหล่งที่ให้ตะกั่วปริมาณสูง ซึ่งในปี พ.ศ. 2520 รัฐบาลอเมริกาได้ออกกฎหมายให้สีที่ใช้ทาบ้านมีตะกั่วได้มากกว่าร้อยละ0.06 (600 ppm) โดยน้ำหนักสี ขณะแห้ง เด็กที่อาศัยอยู่ในบ้านที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วหรือบ้านที่ทาสีด้วยตะกั่วทั้งสีภายในและภายนอกจะเสี่ยงต่อการได้รับตะกั่ว ยิ่งถ้าสีนั้นเก่าและหลุดออกด้วยจะเกิดเศษชิ้นเล็กๆ และฝุ่นที่มีตะกั่วผสมอยู่ตามพื้นและบริเวณบ้านทำให้เด็กที่มีพฤติกรรมชอบเอาของเข้าปากจะได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกาย

2.1.2 **พิษของตะกั่ว**

จากการนำตะกั่วมาใช้งานหลายชนิดในปริมาณมากมายดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึไม่แปลกใจเลยว่าสิ่งแวดล้อมของเรามีตะกั่วและสารประกอบของตะกั่วกระจายไปทั่วทั้งในอากาศ ดิน น้ำ ตลอดจนพืช ผัก เนื้อและอาหารอื่น ๆ ที่เรารับประทาน ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ

1. ทางการหายใจ โดยสูดไอตะกั่วเข้าไปขณะทำงาน เช่น การหลอมตะกั่ว การบัคกรีท่อไอเสียรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทางปาก โดยการรับประทานอาหารหรือขนมที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วตลอดจนการใช้ภาชนะที่เคลือบด้วยสีที่มีส่วนผสมของตะกั่วเป็นตัวการทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในอาหารได้

3. ทางผิวหนัง ในน้ำมันเติมรถยนต์ที่ต้องการให้มีค่าออกเทนสูงจำเป็นต้องเติมสารตะกั่วซึ่งจะทำให้ตะกั่วออกมากับท่อไอเสีย นอกจากนี้การใช้แป้งทาตัวที่มีตะกั่วปนอยู่และการแบตเตอรี่ทำเป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้

ตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบเมตาบอลิซึม (Metabolism หรือกระบวนการย่อยอาหาร) แต่เป็นพิษต่อร่างกายอย่างแรงถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่สูงโดยปกติร่างกาย ของคนเราควรมีระดับสารตะกั่วในเลือดไม่เกิน 0.25 พีพีเอ็ม โดยไม่เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างไร แต่ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วเข้าไปในปริมาณที่มากในทันทีทันใด เช่นในเลือดมีมากกว่า 0.8 พีพีเอ็ม จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน เช่น เกิดอาการปวดท้องอย่างแรง อุจจาระมีสีดำ (เกิดจาก PbS ในอุจจาระ) เกิดอาการช็อกตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อมและทำอันตรายต่อไต อาการพิษของตะกั่วอย่างฉับพลันมักเกิดในคนงานที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ตะกั่วในขบวนการผลิต เช่น โรงงานสังเคราะห์เตตระเอทิลเลด โรงงานแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น แต่สำหรับคนทั่วไปพิษของตะกั่วที่เกิดเป็นแบบสะสมกล่าวคือ ร่างกายรับสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วเข้าไปทีละเล็ก ทีละน้อยแต่มากกว่าที่ร่างกายจะขับออกไปได้

2.1.3 สาเหตุการเกิดอาการพิษของตะกั่ว

เนื่องจากตะกั่วสามารถป้องกันการเกิดฮีโมโกลบิน (Hemoglobin)ของร่างกาย โดยสังเคราะห์ตัวที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตฮีโมโกลบินเรียกว่า porphvries นอกจากนี้แล้วยังสามารถขัดขวางการทำงานของเอนไซม์บางชนิดที่มีหมู่ -SH อยู่ด้วย เช่น โคเอนไซม์เอ (CoA.SH) ทำให้ร่างกายเกิดอาการเป็นพิษผิดปกติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

อาการพิษของตะกั่ว อาจแสดงให้เห็นได้ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปฏิกิริยาเคมีของตะกั่ว (สุรางค์ , 2532)

2.2.1 ปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

ได้ตะกอนขาวของเลดคลอไรด์ ($PbCl_2$) จากสารละลายที่เย็นและไม่เจือจางมากนัก

$$Pb(NO_3)_2 + 2HCl \longrightarrow PbCl_2 + 2HNO_3$$

$$Pb^{2+} + 2Cl^- \longrightarrow PbCl_2$$

ตะกอนนี้ละลายในน้ำร้อน (33.4 กรัม และ 9.9 กรัม ต่อลิตร ที่ 100 $^{\circ}C$ และ 20 $^{\circ}C$ ตามลำดับ) เมื่อสารละลายเย็นจะได้ผลึกรูปเข็มตกออกมา ตะกอน $PbCl_2$ ละลายได้ใน HCl เข้มข้น และสารละลายแอลคาไลคลอไรด์เข้มข้น เนื่องจากเกิดเป็นสารประกอบคอมเพล็กซ์ และเมื่อทำให้สารละลายเจือจางด้วยน้ำจะเกิดการสลายตัวได้ตะกอน $PbCl_2$ ตกออกมา

$$PbCl_2 + HCl \rightleftharpoons H[PbCl_3]$$

$$PbCl_2 + 2HCl \rightleftharpoons H_2[PbCl_4]$$

$$PbCl_2 + Cl^- \rightleftharpoons [PbCl_3]^-$$

$$PbCl_2 + 2Cl^- \rightleftharpoons [PbCl_4]^{2-}$$

2.2.2 ปฏิกิริยาของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์

ได้ตะกอนสีเหลืองของเลดไอโอไดด์ (PbI_2) ซึ่งละลายอย่างช้า ๆ ในน้ำเดือด ได้สารละลายไม่มีสี เมื่อทิ้งให้เย็นจะได้ PbI_2 ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางและมีสีเหลืองทองแยกออกมา PbI_2 ละลายได้ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มากพอเนื่องจากเกิดเกลือคอมเพล็กซ์ และถ้าทำให้สารละลายเจือจางจะได้ตะกอน PbI_2 ตกออกมา

$$Pb(NO_3)_2 + 2KI \longrightarrow PbI_2 + 2KNO_3$$

$$PbI_2 + 2KI \rightleftharpoons K_2[PbI_4]$$

$$Pb^{2+} + 2I^- \longrightarrow PbI_2$$

$$PbI_2 + 2I^- \rightleftharpoons [PbI_4]^{2-}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ปฏิกิริยาของกรดซัลฟิวริกเจือจาง

ได้ตะกอนของเลดซัลเฟต ($PbSO_4$) ซึ่งไม่ละลายใน H_2SO_4 ที่มากพอแต่ละลายได้ในสารละลายแอมโมเนียแอซีเตตเข้มข้น (เพราะเกิดเลดแอซีเตตซึ่งไอออไนซ์ได้เล็กน้อยเมื่อมีแอซีเตตไอออนที่มากพอ) หรือสารละลายแอมโมเนียทาร์เทรต ซึ่งเป็นเบสด้วยแอมโมเนีย

$$Pb(NO_3)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow PbSO_4 + 2HNO_3$$

$$PbSO_4 + 2NH_4.C_2H_3O \longrightarrow Pb(C_2H_3O_2)_2 + (NH_4)_2SO_4$$

$$Pb^{2+} \quad SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_4$$

$$PbSO_4 \quad 2C_2H_3O_2^- \longrightarrow Pb(C_2H_3O_2)_2 + SO_4^{2-}$$

2.2.4 ปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ได้ตะกอนขาวของเลดไฮดรอกไซด์ [$Pb(OH)_2$] ซึ่งละลายในรีเอเจนต์ที่มากพอ เกิดโซเดียมพลัมไบท์

$$Pb(NO_3)_2 + 2NaOH \longrightarrow Pb(OH)_2 + 2NaNO_3$$

$$Pb(OH)_2 + 2NaOH \longrightarrow Na_2[PbO_2] + 2H_2O$$

$$Pb^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Pb(OH)_2$$

$$Pb(OH)_2 + 2OH^- \longrightarrow [PbO_2]^{2-} + 2H_2O$$

สารละลายโซเดียมพลัมไบท์นี้ เมื่อนำไปเติม H_2O_2 หรือสารละลายเพอร์ซัลเฟต จะได้ตะกอนสีน้ำตาลของเลดไดออกไซด์ (PbO_2) ตกออกมา

2.3 การตกตะกอนทางเคมี (ประเสริฐ , 2547)

การตกตะกอนเป็นวิธีการแยกสารหรือไอออนที่สนใจ ออกจากสารละลายโดยให้สารที่ต้องการแยก ทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่จะทำให้สารนั้นตกตะกอนได้ ข้อควรระวังก็คือ จะต้องให้สารนั้นตกตะกอนอย่างสมบูรณ์จริง ๆ มิฉะนั้น อาจจะไปรบกวนปฏิกิริยาในตอนหลังหรืออาจจะไปตกตะกอนในขั้นตอนอื่น ๆ ได้

ก่อนการตกตะกอนอาจต้องปรับสภาวะกรด - เบสของสารละลายให้เหมาะสมกับตะกอนที่เกิดขึ้นเพื่อให้ไอออนที่สนใจตกตะกอนได้มากที่สุดหรือตกได้อย่างสมบูรณ์ เช่น ถ้าทราบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนละลายในกรดต้องปรับสารละลายก่อนการตกตะกอนให้เป็นเบส หรือถ้าตะกอนละลายในเบสต้องปรับสารละลายให้เป็นกรดก่อนการตกตะกอน เป็นต้น

รีเอเจนต์ที่ทำให้ไอออนที่สนใจตกตะกอนก็มีความสำคัญไม่น้อยกว่าการปรับสภาวะกรด - เบสของสารละลาย เพราะรีเอเจนต์ที่ทำให้ได้ตะกอนที่มีค่าคงที่ของการละลาย (Ksp) สูง จะมีไอออนที่สนใจเหลืออยู่ในสารละลายมาก ดังนั้น จึงควรเลือกใช้รีเอเจนต์ตกตะกอนได้ดีและตะกอนมีค่าคงที่ของการละลายต่ำ อันจะช่วยให้ตะกอนตกได้อย่างสมบูรณ์

ตัวเลือกของสารทำปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาเป็นเรื่องแรก คือ สามารถตกตะกอนโลหะหนัก เรื่องที่สอง คือ การละลายเมื่อตกตะกอน ตะกอนที่ได้ต้องไม่ละลายกลับคืนและโลหะนั้นจะแยกออกจากน้ำ การละลายจะมีผลกับอุณหภูมิ ในโลหะหนักบางชนิดสามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูง จะแยกโลหะออกได้ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำโลหะหนักจะสามารถตกตะกอนแยกออกมา ดังนั้น อุณหภูมิจะมีอิทธิพลในการที่จะเลือกวิธีในการบำบัด (กุสุมา , พัฒน์ธิดา และ สิรินุช , 2545)

2.4 **การตกตะกอนโลหะตะกั่ว** (พรรษาวรรณ , 2545)

น้ำเสียที่มีตะกั่วในปริมาณสูง ได้แก่ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ การตกตะกอนตะกั่วมี 3 วิธี คือ

1. ตกตะกอนไฮดรอกไซด์
2. ตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์
3. ตกตะกอนคาร์บอเนต

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์อาจใช้ปูนขาวที่ pH 11.5 พบว่าสามารถบำบัดให้มีตะกั่วในน้ำทิ้งในระดับ 0.019 ถึง 0.2 mg/l

การตกตะกอนคาร์บอเนตทำได้โดยการเติมโซดาเอชที่ pH (9.0-9.5) พบว่าสามารถบำบัดได้น้ำทิ้งที่มีตะกั่วในระดับ 0.01 ถึง 0.03 mg/l ส่วนการตกตะกอนตะกั่วซัลไฟด์ทำได้โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ที่ pH 7.5 ถึง 8.5

2.4.1 **การตกตะกอนไฮดรอกไซด์**

เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากโลหะหลายชนิดสามารถรวมกับไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ได้สารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีค่าการละลายต่ำ บำบัดด้วยการปรับ pH ควบคุมการทำงานง่ายโดยใช้ automate pH control เบสที่ใช้มาก ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ ปูนขาว (CaO) โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายน้ำได้ดี สามารถปรับ pH ให้มีค่าสูงได้ ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนที่เกิดขึ้นไม่มาก ส่วนปูนขาวก็นิยมใช้เนื่องจากมีราคาถูก เหมาะสำหรับน้ำเสียที่ไม่ต้องปรับ pH ให้สูงมาก แต่อาจมีปัญหาเกิดเกลือที่ไม่ละลายน้ำของแคลเซียม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ทำให้ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นร่วมกับตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ที่ต้องนำไปกำจัดต่อมีปริมาณมาก

เมื่อปรับ pH ให้กับน้ำเสีย อิออนของโลหะจะรวมกับไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) เกิดเป็นตะกอนแยกตัวออกมา เมื่อเติมเบสเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของอิออนโลหะจะค่อยๆ ลดลงๆ จนตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์จะเกิดมากขึ้นจนในที่สุดคงที่ไม่ว่าจะเติมเบสต่อไป แต่มีโลหะบางชนิดถ้าเติมเบสมากเกินไปโลหะจะรวมกับไฮดรอกไซด์อิออนที่มากเกินพอ เกิดเป็นอิออนเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โลหะพวกนี้ได้แก่ สังกะสี (Zn^{2+}) , แคดเมียม(Cd^{2+}) และ ตะกั่ว (Pb^{2+})

2.4.2 **การตกตะกอนซัลไฟด์**

สารประกอบซัลไฟด์ของโลหะหลายชนิดมีค่า K_{sp} ต่ำ และต่ำกว่าโลหะไฮดรอกไซด์โดยเฉพาะปรอทจึงสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีระดับความเข้มข้นของโลหะต่ำลงได้มาก สารเคมีที่ใช้ตกตะกอนได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (NaS) , โซเดียมไฮไดรเจนซัลไฟด์ (NaHS) และเฟอรัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งละลายน้ำได้น้อย ระหว่างตกตะกอนอาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดขึ้น จึงควรบำบัดที่ pH มากกว่า 8 เพื่อให้อยู่ในรูปของซัลไฟด์อิออนหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์อิออนซึ่งไม่มีกลิ่น

2.4.3 **การตกตะกอนคาร์บอเนต**

การทำให้เกิดการตกตะกอนของปรอทโดยการเติมสารที่มีคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-})เช่น โซดาแอช (Na_2CO_3) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับปรอทในน้ำเสีย ดังนี้

$$Hg^{2+} + CO_3^{2-} \longrightarrow Hg_2CO_3$$

ค่า K_{sp} ของ Mercury (II) Carbonate คือ 7.9×10^{-7}

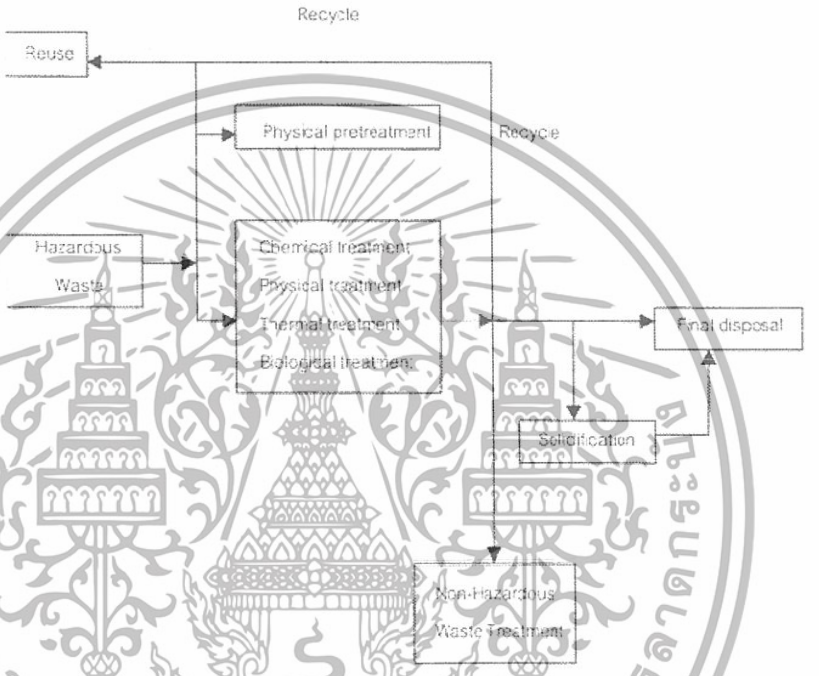
สำหรับโลหะบางตัว เช่น แคดเมียมและตะกั่ว การตกคะกอนคาร์บอเนตทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นโลหะหนักต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของแคดเมียมและ ตะกั่วที่พีเอช 10 หรือมากกว่ากับการตกตะกอนคาร์บอเนตที่พีเอช 7.5-8.5 การตกตะกอนโลหะใช้โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอช ดังสมการ (กุสุมา , พัฒน์ธิดา และ สิรินุช , 2545)

$$Na_2CO_3 + M^{2+} \longrightarrow MCO_3 + 2Na$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การกำจัดของเสียอันตรายโดยทำให้เป็นก้อน (กุสุมา และคณะ , 2545)

ขั้นตอนและกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทาง (Physicl Treatment) , กระบวนการบำบัดด้วยความร้อน (Themal Treatment) และ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biologica; Treatment) รวมถึงการทำให้เป็นก้อน (Solidification) และการกำจัดขั้นสุดท้าย (Final Disposal) แสดงรายละเอียดดัง รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย (Tsai and Hsu , 1985)

2.5.1 **กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์** (Solidification and Stabilization)

เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการละลายของสารเคมีที่เป็นของเสียอันตรายและการปนเปื้อนของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมทำให้สารต่าง ๆ ถูกยึดไว้และไม่สามารถแสดงคุณสมบัติทางเคมีออกมาได้ โดยการทำให้เป็นก้อนซึ่งเป็นกระบวนบำบัดของเสียอันตรายเพื่อจำกัดความเป็นพิษของของเสียโดยทั่วไป ของเสียอันตรายจะถูกยึดติดด้วยกระบวนการทางเคมี หรือทำให้ยึดติดทางกายภาพโดยการผสมสารเคมีบางชนิดลงไป ซึ่งวิธีการทำลายฤทธิ์ดังกล่าวนี้ถูกออกแบบมาเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของของเสียเกี่ยวกับการขนส่ง การเคลื่อนย้าย การลดพื้นที่ผิวของของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสีย และจำกัดการปนเปื้อนของสารมลพิษที่ปล่อยออกมาจากของเสีย เพื่อทำให้เกิดมวลแข็งตัวเป็นเนื้อเดียวกัน มีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้น้อยและมีโครงสร้างที่มั่นคงแข็งแรง

การเลือกวิธีการบำบัดของเสียควรเลือกให้เหมาะสมกับของเสียประเภทนั้น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของของเสียและคุณสมบัติเฉพาะของของเสีย สำหรับตะกอนโลหะหนักนั้นสามารถจะกำจัดได้ทั้ง 7 วิธี แสดงดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงกระบวนการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน (Rijal , 1990 and Shukow et.al , 1982)

กระบวนการทำให้เป็นก้อน (solidification)	รายละเอียด
1. Cement Based	ของเสียจะถูกผสมลงไปในซีเมนต์ น้ำ และ ส่วนผสมอย่างอื่นๆ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2. Pozzolanic (Lime Based)	ของเสียจะถูกผสมกับปูนขาว และวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย , ผงซีเมนต์ที่เตาเผา เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำแล้วปล่อยให้แข็งตัว
3. Thermoplastic	นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกที่ร้อน เช่น bitumen , parafin หรือ polyethlene ปล่อยให้ส่วนผสมเย็นตัวลงและแข็งตัว
4. Organic Polymer	ของเสียขั้นแรกจะถูกผสมกับโพลิเมอร์ (gelling agent หรือ formadehyde) และเติมสารคะตะลิสต์ ผสมให้เข้ากันก่อนสารโพลิเมอร์แข็งตัว
5. Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวกันแน่น แล้วเคลือบผิวนอกของของเสียที่ถูกอัดด้วยสารเฉื่อย เช่น polyethylene หรือ organic resins
6. Self-cementing	สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และ แคลเซียมซัลไฟต์ ที่เกิดจากการกำจัดของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถนำมาใช้ผสมกับตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย
7. Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตรังสี สามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้ว หรือ synthetic silicate mineral เพื่อป้องกันการไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วยน้ำ สามารถนำไปกำจัดต่อไปโดยไม่ต้องมีกระบวนการหุ้มหรือบรรจุครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 Cement Based

Cement Based เป็นวิธียับยั้งและทำลายฤทธิ์โลหะหนักวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาดีแล้ว โดยของเสียจะถูกผสมลงในซีเมนต์ น้ำ และ ส่วนผสมอย่างอื่นๆ ได้แก่ เถ้าลอย ซิลิเกต ซัลไฟด์ เป็นต้น โลหะหนักหลายชนิดในของเสียจะถูกเปลี่ยนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ และ ซิลิเกต ที่ไม่ละลายน้ำในสภาพแวดล้อมซึ่งมีความเป็นด่างสูงมากในปูนซีเมนต์และจะถูกจับไว้ในช่องว่างของโครงสร้างของส่วนผสมของซีเมนต์ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์ ซึ่งก้อนซีเมนต์ที่ได้จะทนทานต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ดี (กษมา และ พงศ์ภัทร , 2545)

2.5.3 **เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ได้จากวิธี** Cement Based

เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบก้อนซีเมนต์ที่ได้จากวิธี Cement Based ตามหลักเกณฑ์และ วิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ต้องมีคุณสมบัติดังนี้ [1]

สามารถรับแรงอัด (Unconfine compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตราฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ ต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบน เมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย

1. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
2. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ก่อนการนำไปฝังกลบ
3. ค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนซีเมนต์

โครเมียม	ไม่เกิน	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว	ไม่เกิน	5	มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ เป็นผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ (หิน ปูน หรือ ดินปูนขาว กับ ดินเหนียว หรือ หินดาน) จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมี ที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ปฏิกิริยา ไฮเดรชั่น (Hydration) อัตราการก่อตัวและแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิด ขึ้นอยู่กับความละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรงและความทนทานเมื่อแข็งตัวแล้ว ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและการให้ความชื้นในขณะที่เริ่มแข็งตัว ตำรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันในทางวิชาการว่า "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)" ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปคิน โดยในปี ค.ศ. 1824 นายโจเซฟ ได้ทำการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ของวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว เมื่อนำมาบดจะได้ผงปูนซีเมนต์ หลังจากผสมรวมกับน้ำแล้วจะแข็งตัวมีสีเหลือง - เทา คล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ นายโจเซฟ จึงตั้งชื่อว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในขณะนั้นยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวกันไม่ดี (นยพงษ์ และ สานิต , 2542)

2.6.1 **ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์** (Portland Cement)

วัตถุชนิดนี้พบครั้งแรกที่เมืองปอร์ตแลนด์ในประเทศอังกฤษ หินปูนที่เมืองนี้มีดินปนมาก เมื่อนำไปเผาจะได้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทันที ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งตัวในน้ำได้ มีซิลิกา อะลูมินา และ เหล็กออกไซด์ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำโดยเอาปูนขาวและดินเหนียวมาผสมกันให้ถูกส่วน แล้วเผาให้ร้อนจัดจนเป็นก้อนๆ แล้วจึงนำเอาก้อนเหล่านั้นมาบดให้ละเอียดจนเป็นผงโดยไม่เติมวัตถุใด ๆ ลงไปอีก ยกเว้นน้ำและยิปซัม การที่เติมยิปซัมเข้าไปเพื่อช่วยให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้า เพราะถ้าไม่ผสมยิปซัม ปูนซีเมนต์จะแข็งตัวเร็ว ทำให้ทำงานไม่สะดวกอาจเทลงแบบหล่อคอนกรีตไม่ทัน ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ แบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้ [8]

1. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (rapid hardening portland cement)

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำด้วยความประณีตเป็นพิเศษ บดผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดามาก และมีกำลังสูงกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนดธรรมดาด้วย ปูนซีเม์ชนิดนี้เมื่อนำไปผสมคอนกรีตในอัตราส่วน 1 : 2 : 4 จะต้านแรงกดได้ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเมื่อหล่อได้ 24 ชั่วโมง และรับได้ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเมื่อหล่อได้ 7 วัน ซึ่งหมายความว่าคอนกรีตซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์นี้เพียง 3 วันจะมีกำลังเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่หล่อแล้วได้ 28 วัน ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีประโยชน์มากสำหรับหล่อคอนกรีตที่ต้องการแร็วหรือรื้อแบบหล่อโดยเร็ว เช่น ฐานรากอาคาร คาน หรือพื้นที่ต้องการรื้อแปบเร็ว ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราซูเปอร์ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด หรือ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคของบริษัทชลประทานซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปูนซีเมนต์ขาว

มีคุณภาพเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทุกประการ แต่มีสีขาวสะอาดและราคาสูงกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้สำหรับทำหินขัด หินล้าง แต่งแนวกระเบื้องเคลือบที่ใช้กรุฝา ฯลฯ ส่วนมากบรรจุถุงละ 40 กิโลกรัม ในขณะที่ปูนซีเมนต์ธรรมดาบรรจุถุงละ50 กิโลกรัม

3. ปูนซีเมนต์สี

ใช้การผสมคอนกรีดให้เป็นสีหรือผสมปูนฉาบให้เป็นสีต่าง ๆ การที่จะใช้ปูนซีเมนต์ธรรมดาแล้วผสมสีหรือฝุ่นสีลงไปให้เป็นสีตามต้องการ สีอาจไม่สม่ำเสมอกัน บางบริษัทในต่างประเทศจึงได้ผลิตปูนซีเมนต์สีขึ้นโดยเฉพาะ เช่น ในประเทศอังกฤษผลิตปูน-ซีเมนต์ชนิดนี้ออกจำหน่ายโดยใช้ ชื่อทางการค้าว่า คัลเลอร์ครีต

ตัวอย่าง ชนิดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในประเทศไทย เช่น ปูนซีเมนต์ตราช้าง , ตราพญานาคเศียรเดียว , ตราเพชร , ตราพญานาค 7 เศียร และ ตราปลาฉลาม

รูปที่ 2.2 ชนิดของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

2.6.2 **ประเภทของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์** (กวี , 2546)

ตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา (American Society for Testing Materials ; ASTM) ได้แบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไว้ 4 ประเภท คือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รหัส C- 150 ประเภทหนึ่งถึงประเภทห้า
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ รหัส C- 175
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง รหัส C-205
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน รหัส C-340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์รหัส C-150 ประเภทหนึ่งถึงประเภทห้าเท่านั้น

1. ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ธรรมดา (ordinary portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ถือว่าเป็นมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วๆ ไป เช่น อาคารที่พักอาศัยทั่วไป ถนน ทางเท้า กำแพง ฯลฯ ใช้ในงานที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศปกติ เช่น อยู่ไกลน้ำทะเล ไม่อยู่ในทะเลทรายหรือหิมะ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายกันมีหลายยี่ห้อ เช่น ตราช้าง ตราเพชรเม็ดเดียว ตราพญานาคเขียวเศียรเดียว ตราทีพีไอแดง และ ตราภูเขา

2. ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modified portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้ปานกลาง เกิดความร้อนในระหว่างปฏิกิริยาไฮโดรชั่น (hydrotion) ต่ำกว่าประเภทแรก จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่และอยู่ใกล้น้ำเค็ม เช่น ตอม่อของท่าเทียบเรือ เขื่อนริมชายฝั่ง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายกันก็มีตราพญานาคเจ็ดเศียร แต่ปัจจุบันนี้ได้เลิกผลิตไปแล้ว โดยหันมาเลือกใช้ปูนซีเมนต์ประเภทห้าแทน

3. ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้กำลังอัดเร็ว (high- early strength portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีเนื้อปูนบดละเอียดมากกว่าประเภทแรก จึงมีคุณสมบัติในการทำให้แข็งตัวเร็วและรับกำลังได้สูง เช่น งานถนน หรือ งานที่ต้องเร่งรัดเวลาให้เสร็จโดยเร็วเพื่อการหมุนเวียนไม้แบบ หรือ งานที่อยู่ในสภาพภูมิอากาศที่หนาวเย็น เพื่อป้องกันน้ำในคอนกรีตแข็งตัวเสียก่อน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายกันก็มี ตราเอราวัณ ตราเพชรสามเม็ด ตราพญานาคแดงเศียรเดียว และตราทีพีไอดำ

4. ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (low-heat portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา เช่น งานเขื่อน ซึ่งต้องใช้ปริมาณคอนกรีตมาก และเกิดความร้อนภายในสูงทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวจนอาจแตกร้าวได้ การใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะต้องควบคุมอัตราความร้อนเพื่อให้คอนกรีตค่อยๆ แข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ยังไม่มีการผลิตขายกันในประเทศไทยแต่มีการประยุกต์ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่งแทนโดยผสมกับวัสดุผสมเพิ่ม เช่น pulverlized fuel ash

5. ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (sulfate resistance portland cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้สูง จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณที่ถูกซัลเฟตกระทำ หรือ บริเวณที่พื้นดินมีความเป็นด่างสูง เช่น อาคารทุกประเภทที่ปลูกสร้างอยู่ใกล้ทะเลหรือในทะเล ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะแข็งตัวช้ากว่าและเกิดความร้อนต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประเภทอื่น ที่ผลิตขายกันก็มี ตราปลาฉลาม ตราช้างฟ้า และ ตราทีพีไอฟ้า และในบางกรณีก็อาจเลือกใช้งานปูนซีเมนต์ปอซโซลานทดแทนปูนประเภทนี้ได้

2.6.3 **กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์**

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบ่งออกได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ แบบเปียกและแบบแห้ง ขั้นตอนการผลิตแสดงตามแผนผังใน รูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107845

2.6.4 **องค์ประกอบทางเคมี** (นยพงษ์ และ สานิต , 2542)

เมื่อวัตถุดิบต่าง ๆ ถูกเผาในหม้อเผา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)จะถูกขับออกจากหินปูนและดินสอพอง เหลือไว้เพียง CaO

ขั้นตอนที่ 3. เกิดการหลอมตัวของออกไซด์ ระหว่าง CaO จากหินปูนและดินสอพอง , ซิลิก้า , อลูมิน่า และ เหล็กออกไซด์ จากดินดาหรือดินเหนียว และ ดินดาน

ขั้นตอนที่ 4. เกิดการรวมตัวทางเคมีของออกไซด์ต่าง ๆ และตามด้วยขบวนการตกผลึกเมื่อทำให้เย็นตัวลง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้จะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90% ของน้ำหนักซีเมนต์
2. ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_3 และ ยิปซั่ม ปริมาณออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-67
Sio_2	17-25
AL_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
$Na_2O + K_2O$	0.5-1.3
TiO_2	0.1-0.4
P_2O_5	0.1-0.2
SO_3	1-3

ออกไซด์หลักจะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง แสดงในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรคัลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	$3\,CaO \cdot SiO_2$	C_3S
ไดคัลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2\,CaO \cdot SiO_2$	C_2S
ไตรคัลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\,CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
เตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

2.6.4.1 สารประกอบหลัก

1. ไตรคัลเซียมซิลิเกต (C_3S)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนกับคุณสมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S ถูกกระทบโดยปริมาณยิบซั่ม ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 35-55 %

2. ไดคัลเซียมซิลิเกต (C_2S)

C_2S เป็มสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดย C_2S มีอยู่หลายรูปแบบ มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่อยู่ตัว ณ อุณหภูมิทั่วไป βC_2S มีคุณสมบัติยึดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นโดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้า ๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จะมีประมาณ 15-35 %

3. ไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนจำนวนมาก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash set ทำได้โดยการเติมยิบซั่มลงระหว่างการบดซีเมนต์กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาขึ้นภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ในปริมาณ 7-15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอริโรท์ (C_4AF)

C_4AF ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF ค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF อยู่ในปริมาณ 5-10% คุณสมบัติที่สำคัญของสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สรุปคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

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

2.6.4.2 สารประกอบรอง

1. ยิบซั่ม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

ยิบซั่มถูกใส่เข้าไปในระหว่างบดปูนเม็ด เพื่อทำหน้าที่ควบคุมเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ปริมาณยิบซัมที่ใส่ต้องเหมาะสมเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์เกิดกำลังอัดสูงที่สุด และเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ปริมาณยิบซัมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ

1. อัลคาไลท์ออกไซด์ อันได้แก่ Na_2O และ K_2O
2. ปริมาณ C_3A
3. ความละเอียดของปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Free Lime (CaO) เกิดขึ้น ได้ 2 กรณี คือ

1. เมื่อวัตถุดิบมี Lime มากเกินไปทำให้ ไม่สามารถทำปฏิกิริยา SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้หมด

2. ปริมาณ Lime มีไม่มาก แต่จะทำปฏิกิริยากับ Oxide ต่าง ๆ ไม่สมบูรณ์ Free Limeนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ หลังจากที่ซีมนต์แข็งตัวแล้ว ซึ่งอาจก่อให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหายได้ หรือที่ เรียกว่า ซีเมนต์ไม่อยู่ตัวเนื่องจาก Lime

3. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

วัตถุดิบในการยลิตปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ จะมี MgO ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะเกิดการแยกตัวให้ MgO และ CO_2 แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะหลอมเป็นปูนเม็ด ที่เหลือจะอยู่ในรูปของ MgO และเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะเหมือนกับ CaO คือปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการไม่อยู่ตัว การขยายตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณของ MgO ในปูนซีเมนต์
2. ขนาดของ MgO ถ้าขนาดเล็กมาก ๆ จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้เร็ว โดยจะไม่ก่อให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์ที่แข็งตัว

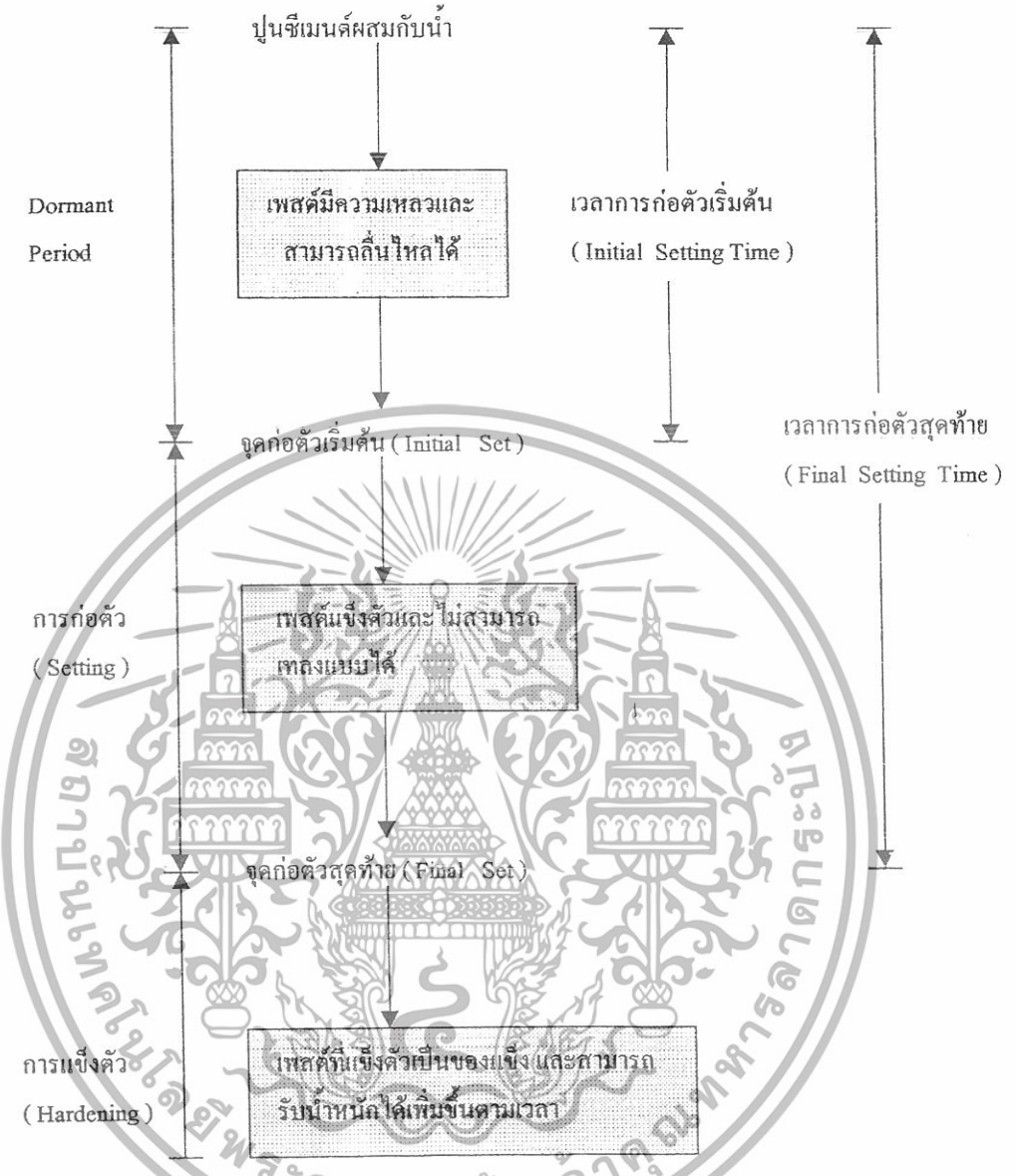
4. อัลคาไลท์ออกไซด์ (Na_2O , K_2O)

อัลคาไลท์ออกไซด์ ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสีย ในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลท์มาผสมเป็นคอนกรีต ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย ยากต่อการแก้ไข ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่ทำปฏิกิริยากับอัลคาไลท์ ควรจะเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีอัลคาไลท์ต่ำ

2.6.5 การก่อตัวและการแข็งตัว

ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ ก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวช่วงเวลาหนึ่ง โดยคุณสมบัติของเพสต์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเราเรียกช่วงนี้ว่า " Dormant Period " หลังจากนั้น เพสต์จะเริ่มแข็งตัวถึงแม้ว่ามันยังนิ่มอยู่ แต่ไม่สามารถลื่นไหลเข้าแบบได้แล้ว จุดนี้เราเรียกว่า " จุดก่อตัวเริ่มต้น " (Initial Set) เวลาตั้งแต่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดแข็งตัวเริ่มต้น เรียกว่า " เวลาการก่อตัวเริ่มต้น " (Initial Setting Time) การก่อตัวของเพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปจนถึงสภาพที่เป็นของแข็ง หรือ " จุดก่อตัวสุดท้าย " (Final Set) และเวลาที่ทำให้เพสต์ถึงช่วงนี้เรียกว่า " เวลาการก่อตัวสุดท้าย" (Final Set) เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป และสามารถรับน้ำหนักได้ ขบวนการทั้งหมดนี้เราเรียกว่า " การแข็งตัว " (Hardening) ขั้นตอนต่าง ๆ ของการก่อตั้งและการแข็งตัวของคอนกรีตแสดงไว้ใน รูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีต

2.6.6 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ

1. อาศัยสารละลายซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลาย และ Iorn นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะ แยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท

- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคัลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S)

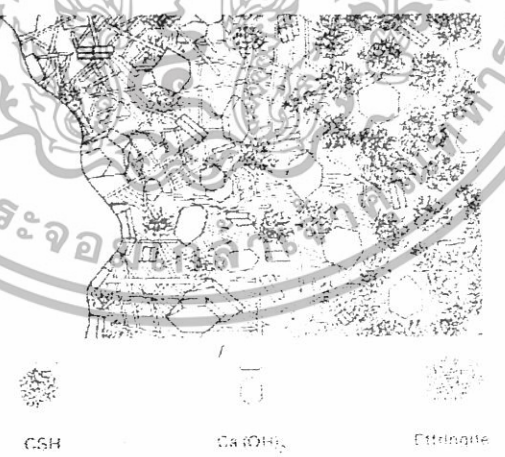
คัลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ สมการการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้

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

หรือ $$2C_2S + 6H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3CaO(OH)_2$$

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

หรือ $$2C_2S + 4H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$$



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของคัลเซียมซิลิเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือโครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิ และอัตรา ส่วนน้ำต่อซีเพสต์ ในที่นี้จะใช้ตัวย่อ CSH แทน Calcium Silicate Hydrateที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะมีองค์ประกอบและโครงสร้างเป็นอย่างไร

$Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก คือมี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของอลูมิเนต (C_3A) จะเกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ

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

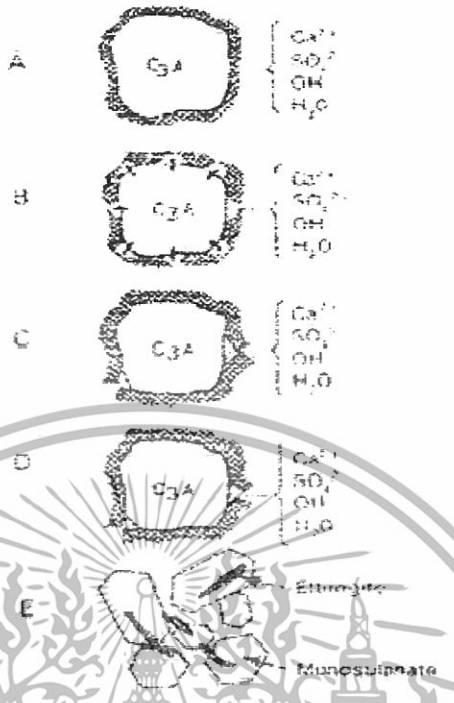
หรือ $$C_3A + 6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6$$

เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซั่ม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิบซั่มจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ

$$C_3A + CaSO_4 \cdot 2H_2O \longrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 31H_2O \text{ (Ettringite)}$$

ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A และ C_2A เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจากการเพิ่มปริมาตรของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหมเข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชั่นของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ดังแสดงใน รูปที่ 2.6 และ รูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดชั่นของ C_3A

รูปที่ 2.7 ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite

- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอริโรท์ (C_4AF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_4AF นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิบซั่ม และ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ

$$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + CaSO_4 \cdot 2H_2O + Ca(OH)_2 \longrightarrow 3Ca(Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3) \cdot 3CaSO_4$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นันทวัน และ สายตะวัน (2543) เป็นการศึกษาการทำลายฤทธิ์โลหะหนักของของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 6 ตัวอย่าง ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล แมงกานีส และโครเมียม โดยวิธีการปรับเสถียรด้วยปูนขาว (CaO) และทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักไฮดรอกไซด์ที่ได้โดย การทำให้เป็นก้อนด้วยพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำต่อทราย เท่ากับ 100 : 50 : 200 บ่มเป็นเวลา 7 วัน เมื่อทำการทดสอบสมบัติของซีเมนต์ก้อน พบว่า ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ และ ค่ากำลังรับแรงอัด สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก

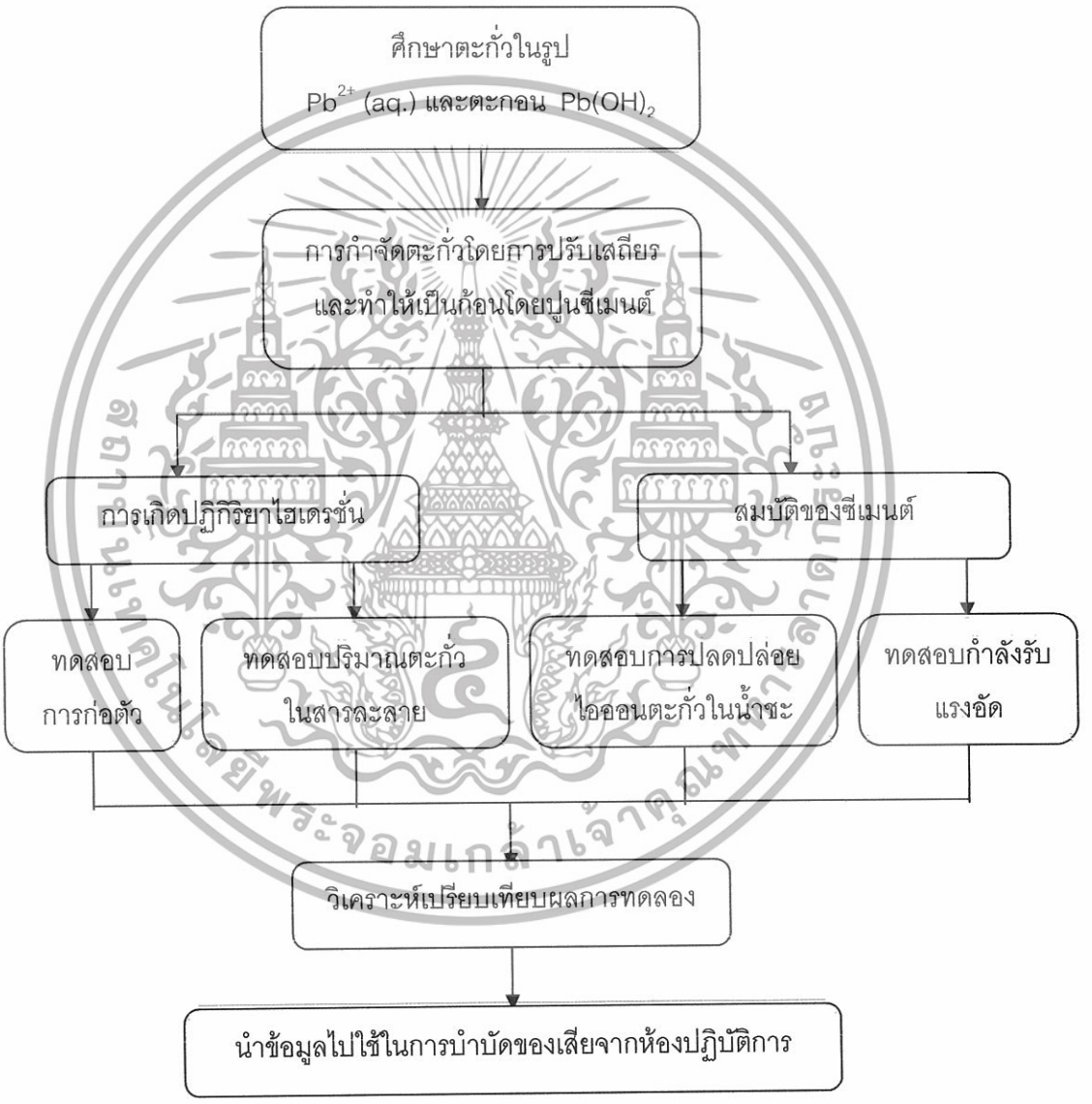
กุสุมา , พัฒน์ธิดา และ สิรินุช (2545) เป็นการศึกษาการกำจัดปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการตกตะกอนซัลไฟด์และนำปรอทซัลไฟด์มาทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ที่สภาวะเหมาะสมในการตกตะกอนสามารถกำจัดปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีความเข้มข้นเหลือ 1.549 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการตกตะกอนเท่ากับ 98.45% จากนั้นนำตะกอนปรอทซัลไฟด์ที่ได้ไปทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ให้มีอัตราส่วนผสมตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานเป็น 0.25 และ 0.50 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตะกอนปรอทซัลไฟด์ต่อวัสดุประสานจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง แต่สมบัติการชะละลาย และ ความเข้มข้นปรอทในน้ำสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (รูปที่ 3.1) มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. บีกเกอร์ ขนาด 250, 150 มล.
2. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 150 มล.
3. กระบอกตวง ขนาด 500, 100, 10 มล.
4. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000, 100 มล.
5. ขวดพลาสติก ขนาด 25 มล.
6. เกรียงเหล็ก
7. แท่งกระทุ้ง
8. นาฬิกาจับเวลา
9. ถุงมือยาง
10. แบบหล่อตัวอย่าง ขนาด 5 × 5 × 5 ลบ.ซม.
11. กระดาษกรองขนาดรูพรุน 0.45 µm.
12. กระดาษกรองใยแก้วเบอร์ 42
13. เครื่องวัดพีเอช
14. เครื่องชั่ง สามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.1 กรัม
15. เครื่องผสม
16. เครื่องกรองสุญญากาศ และ อุปกรณ์การกรอง
17. เครื่องหมุนเหวี่ยง
18. เครื่องทดสอบแบบไวแคต (Vicat Needle)
19. เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression testing Machine)
20. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Shimudzu รุ่น AA- 680

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น (glacial CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์
2. เลด(II)ไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) เกรดวิเคราะห์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc.NaOH) เกรดวิเคราะห์
4. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์
5. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (conc.HNO_3) เกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว
7. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ordinary portland cement ; OPC)
8. น้ำกลั่น

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์

3.3.1.1 การหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C150-99a)

<u>การเตรียมซีเมนต์เพสต์</u> (ชุดควบคุม)

1. ชั่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา 500 กรัม
2. ตวงน้ำกลั่นด้วยกระบอกตวงที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 (W/C = 0.5) หรือปริมาตร 250 มล.
3. เตรียมภาชนะผสมและใบพายสภาพที่แห้งสนิท
4. เทปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในภาชนะผสม
5. ค่อย ๆ เทน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ลงในภาชนะผสมและปล่อยทิ้งไว้ 30 วินาที เพื่อให้ปูนซีเมนต์ดูดน้ำ พร้อมบันทึกเวลาเริ่มต้นผสม
6. เดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำ เป็นเวลา 30 วินาทีและหยุดเดินเครื่อง 15 วินาที ให้ขูดปูนซีเมนต์ที่ติดอยู่ข้างภาชนะผสมลงไปรวมกันไว้
7. เดินเครื่องผสมอีกครั้งด้วยอัตราเร็วปานกลาง เป็นเวลา 1 นาที แล้วหยุดเครื่องพร้อมนำส่วนผสมไปใช้งาน

<u>การเตรียมซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปต่าง ๆ</u> (ชุดทดลอง)

1. เตรียมตะกั่วในรูป Pb^{2+} ซึ่งเป็นไอออนที่ละลายน้ำได้ เตรียมโดยแปรค่าปริมาณ $Pb(NO_3)_2$ ที่อัตราส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC ผสมลงในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มล. และทำการทดลองเช่นเดียวกับ การเตรียมซีเมนต์เพสต์ (ข้อ 1-7) *แต่เปลี่ยนจากผสมน้ำกลั่นเป็นผสมสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้แทน*

2. ตะกั่วในรูปตะกอน $Pb(OH)_2$ แปรค่า ปริมาณตะกอนที่อัตราส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองเช่นเดียวกับ การเตรียมซีเมนต์เพสต์ (ข้อ 1-7) *แต่ผสมกับปูนซีเมนต์ก่อนทำการผสมกับน้ำกลั่นเพื่อป้องกันการละลายน้ำของตะกอน*

การหล่อตัวอย่าง

1. สวมถุงมือยางนำซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมไว้ปั้นเป็นก้อนกลม โยนไปมา 6 ครั้ง โดยที่ให้มือทั้งสองข้างอยู่ห่างกันประมาณ 15 ซม.
2. วางภาชนะหล่อปูนซีเมนต์ (Mold) ให้ปลายด้านใหญ่ลงบนแผ่นกระจก
3. อัดก้อนปูนซีเมนต์ลงในภาชนะหล่อแล้วใช้เกรียงเหล็กปาดปูนซีเมนต์ที่ล้นออกมาจากด้านบนให้เรียบ เก็บไว้ในห้องชื้น โดยไม่ได้กระทบกระเทือนเมื่อครบ 30 นาที โดยเตรียมตัวอย่างทุกความเข้มข้นละ 3 อันของแต่ละชุดการทดลอง

การหาระยะเวลาในการก่อตัวด้วย Vicat Needle

1. วางภาชนะหล่อปูนซีเมนต์ที่บรรจุซีเมนต์ไว้ใต้เข็มไวแคตขนาด 1 มม. เลื่อนเข็มให้ปลายเข็มไวแคตสัมผัสผิวซีเมนต์และปรับเข็มสเกลบอกระดับที่ขีดศูนย์
2. ปล่อยให้เข็มไวแคตจมลงในซีเมนต์เพสต์ พร้อมอ่านค่าระยะการจมของเข็มสเกลหลังจากปล่อยแล้ว 30 วินาที
3. ทำซ้ำเช่นเดิมทุก ๆ 15 นาที จนกว่าได้ระยะการจมของเข็มสเกลบอกระยะเท่ากับ 25 มม. พร้อมบันทึกระยะเวลา
4. การปล่อยเข็มไวแคตแต่ละครั้ง ปลายเข็มไวแคตจะต้องอยู่ห่างจากรอยเข็มเก่าไม่น้อยกว่า 5 มม. และห่างจากขอบภาชนะหล่อปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 10 มม.
5. ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งถึงเวลาที่เข็มไวแคตจมลงในซีเมนต์เพสต์ 25 มม. คือค่าการก่อตัวระยะต้น (Initial Setting Time) ส่วนเวลาก่อตัวปลาย คือ เมื่อสังเกตว่าเข็มไม่จมลงในปูนซีเมนต์เพสต์

ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.3.1.2 การหาความเข้มข้นในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

การเตรียมซีเมนต์เพสต์ (ชุดควบคุม)

1. ชั่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 กรัม
2. ตวงน้ำด้วยกระบอกตวงที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 (W/C = 0.5) หรือปริมาตร 50 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เทปูนซีเมนต์ที่ชั่งไว้ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มล. ในสภาพที่แห้งสนิท ค่อย ๆ เทน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ลงในบีกเกอร์ปล่อยทิ้งไว้ 30 วินาที คนส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 30 วินาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วินาที ทำการคนต่อเป็นเวลา 1 นาที

<u>การเตรียมซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปต่าง ๆ</u> (ชุดทดลอง)

1. เตรียมตะกั่วในรูป Pb^{2+} ซึ่งเป็นไอออนที่ละลายน้ำได้ เตรียมโดยแปรค่าปริมาณ $Pb(NO_3)_2$ ที่ 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC ผสมลงในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มล. และทำการทดลองเช่นเดียวกับ การเตรียมซีเมนต์เพสต์ (ชุดควบคุม) ข้อ 1-3 *แต่เปลี่ยนจากผสมน้ำกลั่นเป็นผสมสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้แทน*

2. เตรียมตะกั่วในรูปตะกอน $Pb(OH)_2$ แปรค่าปริมาณตะกอนที่ 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC ทำการทดลองเช่นเดียวกับ การเตรียมซีเมนต์เพสต์ (ชุดควบคุม) ข้อ 1-3 *แต่ผสมกับปูนซีเมนต์ก่อนทำการผสมกับน้ำกลั่น*

<u>การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์</u>

1. เก็บสารละลายส่วนบน (excess water) ที่ระยะเวลาระหว่างการเกิด ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น 0, 15 , 30 , 45 และ 60 นาที ลงในขวดพลาสติก HDPE ขนาด 25 มล.

2. นำไปกรองแบบสุญญากาศและรักษาสภาพโดยการเติมกรดไนตริก (HNO_3) ควบคุมให้ pH ต่ำกว่า 2

3. นำไปหาความเข้มข้นของตะกั่ว โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

<u>ทำการทดลองทั้งหมดซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย</u>

3.3.2 ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์

<u>การเตรียมมอร์ตาร์สำหรับหล่อตัวอย่าง</u> (ชุดควบคุม)

1. ชั่งวัสดุที่ใช้ในการหล่อก้อนตัวอย่าง ใช้อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ : ทรายมาตรฐาน : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 2 : 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งในการทดลองจะใช้ส่วนผสมปูนซีเมนต์ 340 กรัม ทรายมาตรฐาน 680 กรัม น้ำกลั่นปริมาตร 170 มล.

2. เตรียมภาชนะผสมและใบพายในสภาพที่แห้งสนิท

3. เทปูนซีเมนต์ที่เตรียมไว้ลงในภาชนะผสมและค่อย ๆ เทน้ำกลั่นที่ตวงไว้ เดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำเป็นเวลา 30 วินาที ขณะเดินเครื่องให้เติมทรายที่เตรียมไว้ให้หมดภายในเวลา 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินาที หยุดเดินเครื่องผสมทิ้งไว้ในภาชนะผสม 90 วินาทีและให้ปาดมอร์ตาร์ที่ติดตามข้างอ่างลงไป แล้วเดินเครื่องผสมในอัตราเร็วปานกลางอีกครั้ง 15 วินาที จากนั้นให้รีบนำส่วนผสมไปใส่แบบหล่อที่เตรียมไว้

<u>การเตรียมมอร์ตาร์สำหรับหล่อตัวอย่างที่มีตะกั่วในรูปต่าง ๆเจือปน</u> (ชุดทดลอง)

1. เตรียมตะกั่วในรูป Pb^{2+} โดยแปรค่าปริมาณ $Pb(NO_3)$ ที่ 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC ผสมลงในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มล. และทำการทดลองเช่นเดียวกับ การเตรียมมอร์ตาร์ (ชุดควบคุม) ข้อ 1-3 *แต่เปลี่ยนจากผสมน้ำกลั่นเป็นผสมสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้แทน*
2. เตรียมตะกั่วในรูปตะกอน $Pb(OH)_2$ แปรค่าปริมาณตะกอนที่ 0 , 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 mol Pb / kg OPC ทำการทดลองเช่นเดียวกับ การเตรียมมอร์ตาร์ (ชุดควบคุม) ข้อ 1-3 *แต่ผสมกับปูนซีเมนต์ก่อนทำการผสมกับน้ำกลั่น*

<u>การหล่อแบบตัวอย่าง</u>

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่างลูกบาศก์ ขนาด 5 x 5 x 5 ซม.^{3} และทาน้ำมันบางๆ
2. เอามอร์ตาร์ที่เตรียมไว้ใส่ในช่องแบบหล่อทุกช่องหนาประมาณ 25 มม. กระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง (Tamper) ช่องละ 32 ครั้งภายในเวลาประมาณ 10 วินาที กระทุ้งช่องละ 4 รอบ รอบละ 8 ครั้ง โดยแต่ละรอบกระทุ้งให้ตั้งฉากทั่วทั้งแบบหล่อ
3. ใส่มอร์ตาร์ที่เหลือในช่องแบบหล่อทุกช่องให้นูนสูงกว่าขอบ แล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วมอร์ตาร์ควรสูงกว่าขอบเล็กน้อย
4. ใช้เกรียงปาดมอร์ตาร์ผิวหน้าแบบหล่อให้เรียบตลอดความยาวของแบบหล่อ
5. นำไปเก็บไว้ในห้องบ่มชื้นจนครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบ แล้วนำไปแช่ในน้ำปูนใส (saturated lime water) ที่สะอาดจนครบระยะเวลาบ่ม 3 , 7 , 14 , 21 และ 28 วัน

<u>การทดสอบกำลังรับแรงอัด</u> (ตามวิธีมาตรฐานของ มอก.15 เล่ม 1-2547)

1. นำตัวอย่างออกจากห้องบ่ม ทำความสะอาดโดยปัดเม็ดทรายและสะเก็ดที่ติดผิวออกให้หมด เช็ดผิวให้แห้งแล้วทดสอบกำลังอัดทันที
2. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน
3. นำก้อนทดสอบไปวางให้อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของแป้นทดสอบของเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดและเคลื่อนแป้นกดให้สัมผัสกับผิวก้อนตัวอย่าง จากนั้นให้เพิ่มแรงอัดที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาทดสอบระหว่าง 20 - 80 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบและคำนวณหากำลังรับแรงอัด ไม่ควรให้กำลังรับแรงอัดของแต่ละตัวอย่างแตกต่างเกินกว่า 10 % จากค่าเฉลี่ยของทั้งหมด

ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.3.3 ศึกษาการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์

หาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วโดยการชะละลายตามวิธีของ TCLP test (มาตรฐาน U.S. EPA Method 1311)

1. เตรียมก้อนปูนซีเมนต์ในแต่ละชุดการทดลองที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน เช่นเดียว กับการทดลองข้อ 3.3.2 (ทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองที่มีรูปของตะกั่วเจือปน)

2. บดก้อนตัวอย่างและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานที่มีขนาดรูตะแกรง 9.5 มม. จำนวน 5 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มล.

3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 96.5 มล. คนให้เข้ากัน

4. นำไปชะละลายด้วยสารละลายของกรดอะซิติก (CH_3COOH) ปริมาตร 3.5 มล. ที่มี pH ประมาณ 2.8 ปรับปริมาตร ให้ได้อัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 20 เท่าของน้ำหนักตัวอย่างปูนซีเมนต์ (เติมสารละลาย 100 มล.ในปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบด 5 กรัม)

5. เขย่าตัวอย่างบนเครื่องเขย่า (Horizontal shaker) เป็นเวลา 30 นาที , 1 ชั่วโมง , 9 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง (โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองตามระยะเวลาเขย่า) ที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที

6. กรองสารละลายที่ผ่านการเขย่าในแต่ละเวลา ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางรู 0.6 – 0.8 ไมครอน

7. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่ว โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.3.4 การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีตะกั่ว โดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

ทดสอบกำลังรับแรงอัด

1. วิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่าง
2. เตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำของเสียจากห้องปฏิบัติการมาทำการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.3.2

4. ทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามวิธีมาตรฐานของ มอก.15 เล่ม 1-2547

5. บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบและคำนวณหากำลังรับแรงอัด ไม่ควรให้กำลังรับแรงอัดของแต่ละตัวอย่างแตกต่างเกินกว่า 10 % จากค่าเฉลี่ยของทั้งหมด

6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

<u>การวิเคราะห์หาการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะ</u>

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 3.3.3 (ตามวิธีของ TCLP test มาตรฐาน U.S. EPA Method 1311) แต่เปลี่ยนมาใช้ก้อนปูนซีเมนต์ที่มีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดสอบกำลังรับแรงอัด ในการทดลองข้อ 3.3.4

2. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่ว โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

3. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการก่อตัวและการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของตะกั่วด้วยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาถึงรูปของตะกั่วต่อการก่อตัวและการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ ซึ่งรูปตะกั่วที่ทำการศึกษา ได้แก่ $Pb(NO_3)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ด้วยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยแปรค่าสัดส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol/kg จากนั้นนำซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วมาทดสอบการก่อตัวโดยใช้เข็มไวแคต หาความเข้มข้นของตะกั่วระหว่างการก่อตัว ระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด การปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ และ การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ

4.2 ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์

4.2.1 การหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191)

ในการทำการทดลองการหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต โดยทำการเตรียมตะกั่วในรูป $Pb(NO_3)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ที่อัตราส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC นำที่บรรจุซีเมนต์ไว้ใต้เข็มไวแคต ปล่อยให้เข็มไวแคตจมลงในซีเมนต์เพสต์ จนกว่าได้ระยะการจมของเข็มสเกลบอกระยะเท่ากับ 25 มม. จดบันทึกค่าระยะเวลาการก่อเริ่มต้น แสดงผลดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191)

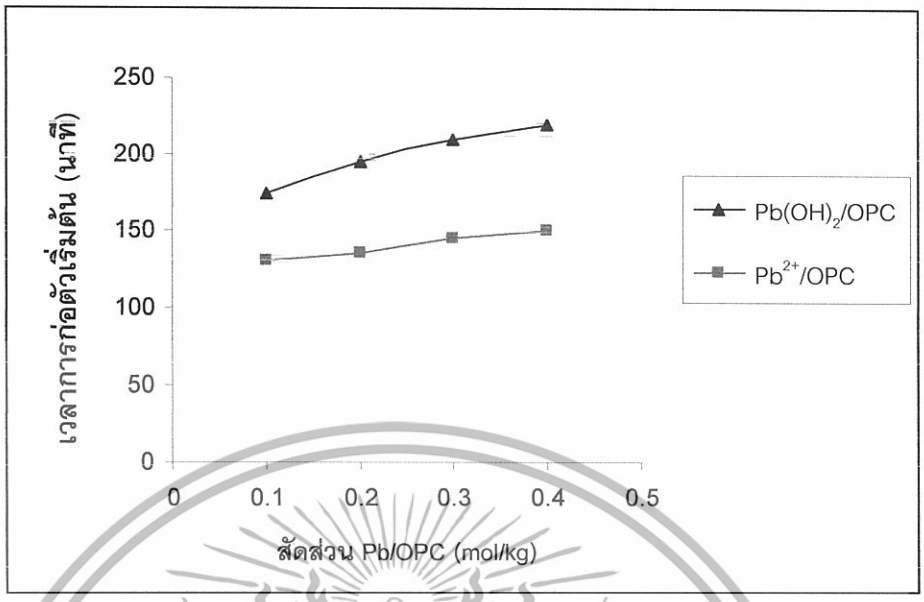
รูปตะกั่ว	สัดส่วน Pb/OPC (mol/kg)	เวลาเริ่มต้น	เวลาที่เข็มจม	ระยะเวลาก่อตัวต้นเฉลี่ย (นาที)
ชุดควบคุม	0.0	10.30 น.	13.00 น.	150
Pb^{2+}/OPC	0.1	10.35 น.	12.45 น.	130
	0.2	10.40 น.	12.55 น.	135
	0.3	10.45 น.	13.10 น.	145
	0.4	10.50 น.	13.20 น.	150
$Pb(OH)_2$/OPC	0.1	11.00 น.	13.55 น.	175
	0.2	11.30 น.	14.45 น.	195
	0.3	12.00 น.	15.30 น.	210
	0.4	12.30 น.	16.10 น.	220

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อสัดส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เพิ่มขึ้น ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วทุกรูปจะมีแนวโน้มของระยะเวลาในการก่อตัวต้นสูงขึ้น โดยที่ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูป $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน Pb/OPC 0.4 mol/kg มีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นสูงสุด คือ 220 นาที

จากรูปที่ 4.1 พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในรูปของ Pb^{2+} มีเวลาในการก่อตัวระยะต้นต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องมาจาก Pb^{2+} ในสารละลายเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ ทำให้สารละลายมีสภาพเป็นเบสและสามารถเข้าร่วมปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ดี จึงเกิดเป็นตะกอนผลึกของซีเมนต์ได้ทันที แต่สำหรับซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในรูปของ $Pb(OH)_2$ จะมีเวลาในการก่อตัวระยะต้นที่สูงกว่าชุดควบคุม เป็นเพราะว่าตะกอนไฮดรอกไซด์เป็นอนุภาคแขวนลอยที่กีดขวางการก่อตัวของซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ช้าลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าการก่อตัวระยะต้นจากการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191 พบว่า ระยะเวลาการก่อตัวต้นของซีเมนต์เพสต์ มีค่าสูงกว่า 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสัดส่วนของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ต่อเวลาการก่อเริ่มตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191)

<u>หมายเหตุ</u>

1. ชุดควบคุมที่มีความเข้มข้น 0.0 mol มีระยะเวลาในการก่อตัวระยะต้นคือ 150 นาที
2. ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C191 ค่าการก่อตัวระยะต้นมีค่าไม่น้อยกว่า 45 นาที

4.2.2 การหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

ในการทำการทดลองการหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยทำการเตรียมตะกั่วในรูป $Pb(NO_3)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ที่อัตราส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC เก็บสารละลายส่วนบน (excess water) ที่ระยะเวลาระหว่างการเกิด ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น 0, 15 , 30 , 45 และ 60 นาที นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่ว โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) แสดงผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

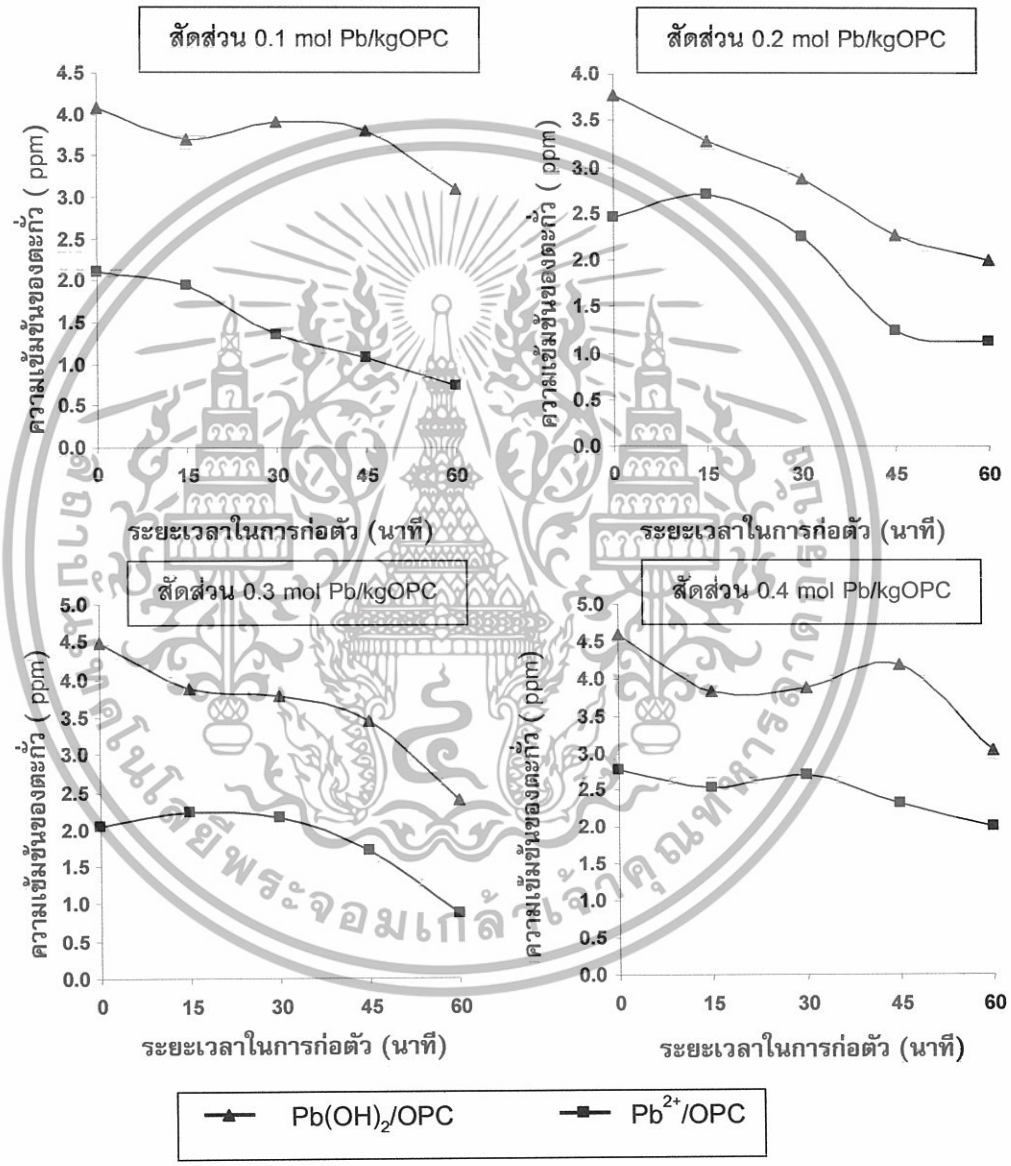
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

รูปของตะกั่ว	สัดส่วน Pb/OPC (mol/kg)	ความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายเฉลี่ย (ppm) ระยะเวลาในการก่อตัว (นาที)				
		0	15	30	45	60
ชุดควบคุม	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb^{2+}/OPC	0.1	2.122	1.944	1.359	1.079	0.748
	0.2	2.453	2.707	2.249	1.244	1.130
	0.3	2.046	2.237	2.160	1.702	0.863
	0.4	2.784	2.542	2.695	2.313	2.020
ค่าเฉลี่ย		2.351	2.358	2.116	1.585	1.190
SD		0.338	0.337	0.556	0.553	0.576
$Pb(OH)_2$/OPC	0.1	4.081	3.687	3.903	3.802	3.115
	0.2	3.763	3.267	2.885	2.275	1.995
	0.3	4.489	3.878	3.776	3.458	2.389
	0.4	4.590	3.827	3.878	4.183	3.038
ค่าเฉลี่ย		4.231	3.665	3.611	3.430	2.634
SD		0.382	0.277	0.487	0.825	0.536

จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนานขึ้นความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่ทุก ๆ สัดส่วน Pb/OPC (mol/kg) ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} จะมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ แสดงให้เห็นว่า ตะกั่วในรูป Pb^{2+} สามารถเข้าไปร่วมปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ดีกว่าตะกอน $Pb(OH)_2$ จึงทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายมีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ที่ระยะเวลาในการก่อตัว 60 นาที พบว่า ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วน้อยที่สุด คือ 0.748 ppm และ ที่ซีเมนต์เพสต์ตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.4 mol/kg มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วมากที่สุด คือ 4.590 ppm แสดงดังรูปที่ 4.2

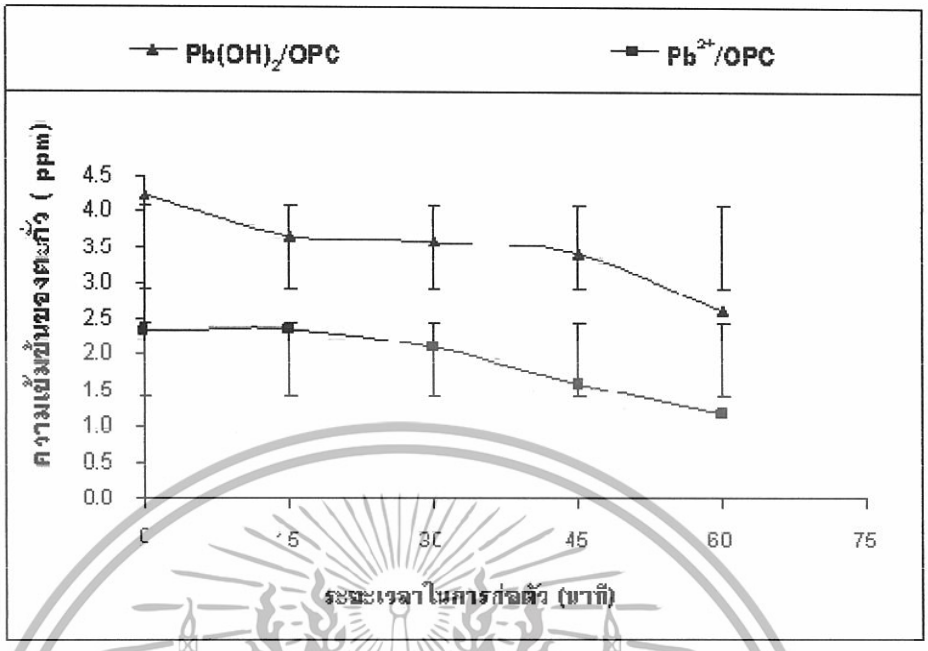
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 เมื่อนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทุกสัดส่วน Pb/OPC (mol/kg) มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบที่แต่ละรูปของตะกั่วในซีเมนต์เพสต์ พบว่ามีแนวโน้มลดลง โดยตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด คือ อยู่ในช่วง 2.634 - 4.231 ppm และตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ในช่วง 1.190 - 2.351 ppm ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายกับระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่สัดส่วน Pb/OPC 0.1 - 0.4 mol/kg กับระยะเวลาการในก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

4.3 การหาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์

ในการทำการทดลองการหาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ทำได้โดยทำการเตรียมตะกั่วในรูป $Pb(NO_3)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ที่อัตราส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC โดยใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.5 นำมอร์ตาที่เก็บไว้ในห้องจนครบ 24 ชั่วโมง แช่น้ำกลั่น จนครบระยะเวลา 3 , 7 , 14 , 21 และ 28 วัน แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้และคำนวณหากำลังรับแรงอัด แสดงผลดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของรูปตะกั่วต่าง ๆ

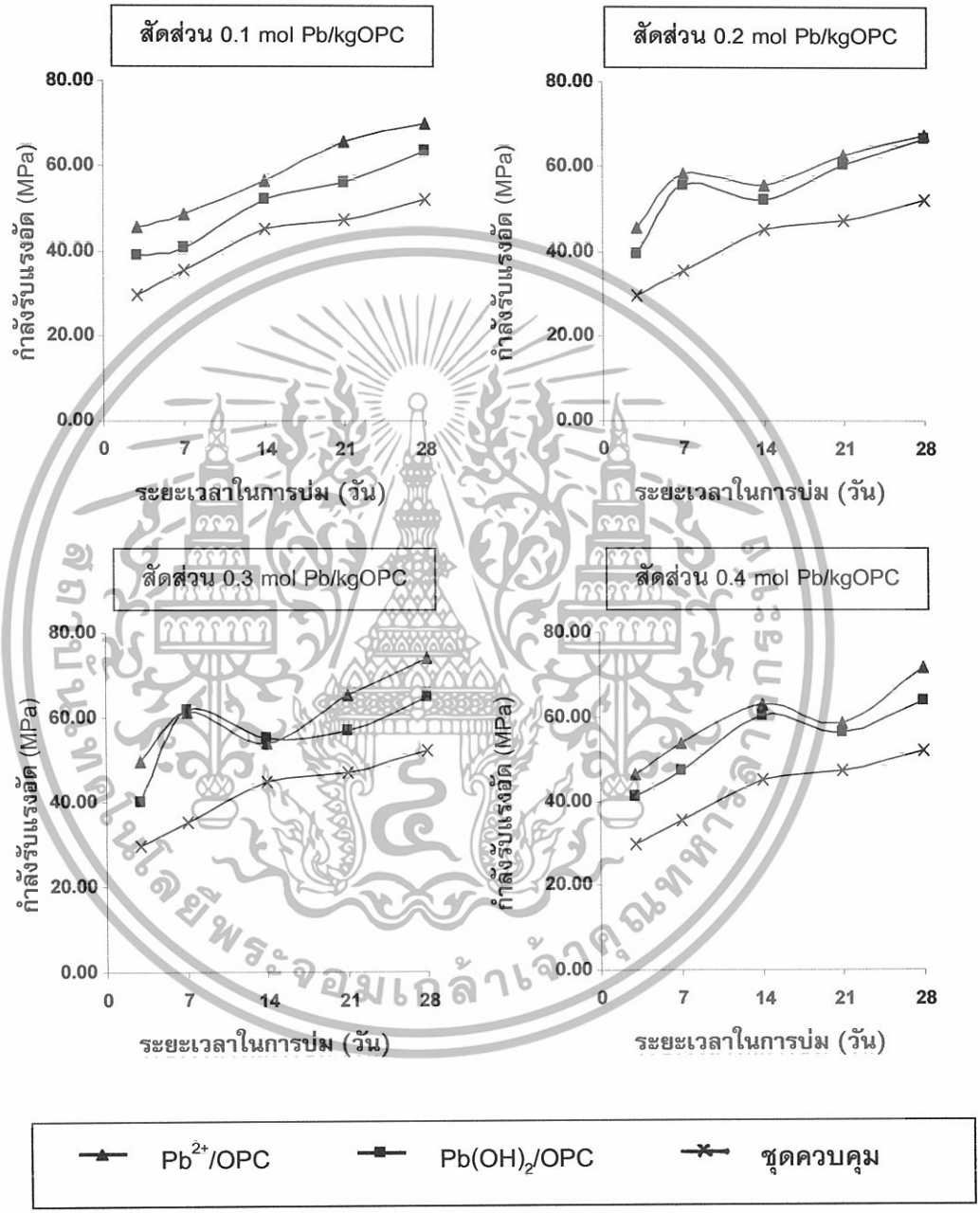
รูปของตะกั่ว	สัดส่วน Pb/OPC (mol/kg)	กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เฉลี่ย (MPa)				
		ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
		3	7	14	21	28
ชุดควบคุม	0.0	29.66	35.41	44.99	47.06	52.10
Pb^{2+}/OPC	0.1	45.56	48.68	56.53	65.45	69.90
	0.2	45.55	58.14	55.37	62.49	67.41
	0.3	49.62	61.32	53.88	65.33	74.12
	0.4	46.24	53.95	62.98	58.76	71.71
ค่าเฉลี่ย		46.74	55.52	57.19	63.01	70.79
SD		1.95	5.47	4.01	3.14	2.84
$Pb(OH)_2$/OPC	0.1	38.78	40.52	51.99	55.78	63.30
	0.2	39.36	55.33	51.88	60.31	66.55
	0.3	40.20	61.82	55.41	57.17	64.85
	0.4	41.00	47.40	60.28	56.34	63.89
ค่าเฉลี่ย		39.84	51.27	54.89	57.40	64.65
SD		0.97	9.28	3.95	2.02	1.42
เกณฑ์มาตรฐาน		12.00	19.00	-	-	28.00

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูป Pb^{2+} , ตะกอน $Pb(OH)_2$ และชุดควบคุมมีแนวโน้มของค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มมากขึ้น

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ซีเมนต์ที่มีตะกั่วทั้ง 2 รูป มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าชุดควบคุม โดยที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน ซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg มีค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์น้อยที่สุด คือ 38.78 MPa และ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+}ที่สัดส่วน 0.3 mol/kg มีค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มากที่สุด คือ 74.12 MPa จากรูปที่ 4.5 พบว่า ตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} เนื่องมาจากตะกอนไฮดรอกไซด์จะลดสัดส่วนของปูนซีเมนต์ลง ทำให้ความแข็งแรงในการยึดกันของซีเมนต์ลดลง และเมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ทุกสัดส่วน Pb/OPC (mol/kg) มาหา

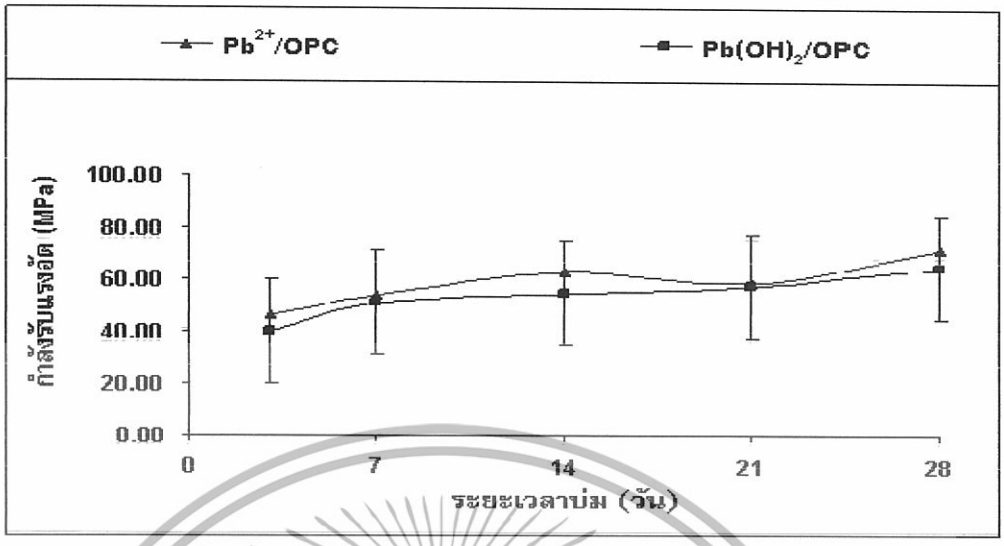
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบในแต่ละรูปของตะกั่ว พบว่า ตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คืออยู่ในช่วง 46.74 - 70.79 MPa และ ตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ มีค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ อยู่ในช่วง 39.84 - 64.65 MPa ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 **ผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของตะกั่วในรูป** Pb^{2+} , $Pb(OH)_2$ **ที่สัดส่วน** 0.1 – 0.4 mol/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ที่สัดส่วน Pb/OPC 0.1 - 0.4 mol/kg

4.4 ศึกษาการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำซะของก้อนซีเมนต์

หาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วโดยการชะละลายตามวิธีของ TCLP test (มาตรฐาน U.S. EPA Method 1311) ทำได้โดยทำการเตรียมตะกั่วในรูป $Pb(NO_3)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ที่อัตราส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เป็น 0.1 , 0.2 , 0.3 และ 0.4 mol Pb / kg OPC ระยะเวลาบ่ม 3 วัน ทำการชะละลายเป็นระยะเวลา 30 นาที ,1 ชั่วโมง , 9 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) แสดงผลดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

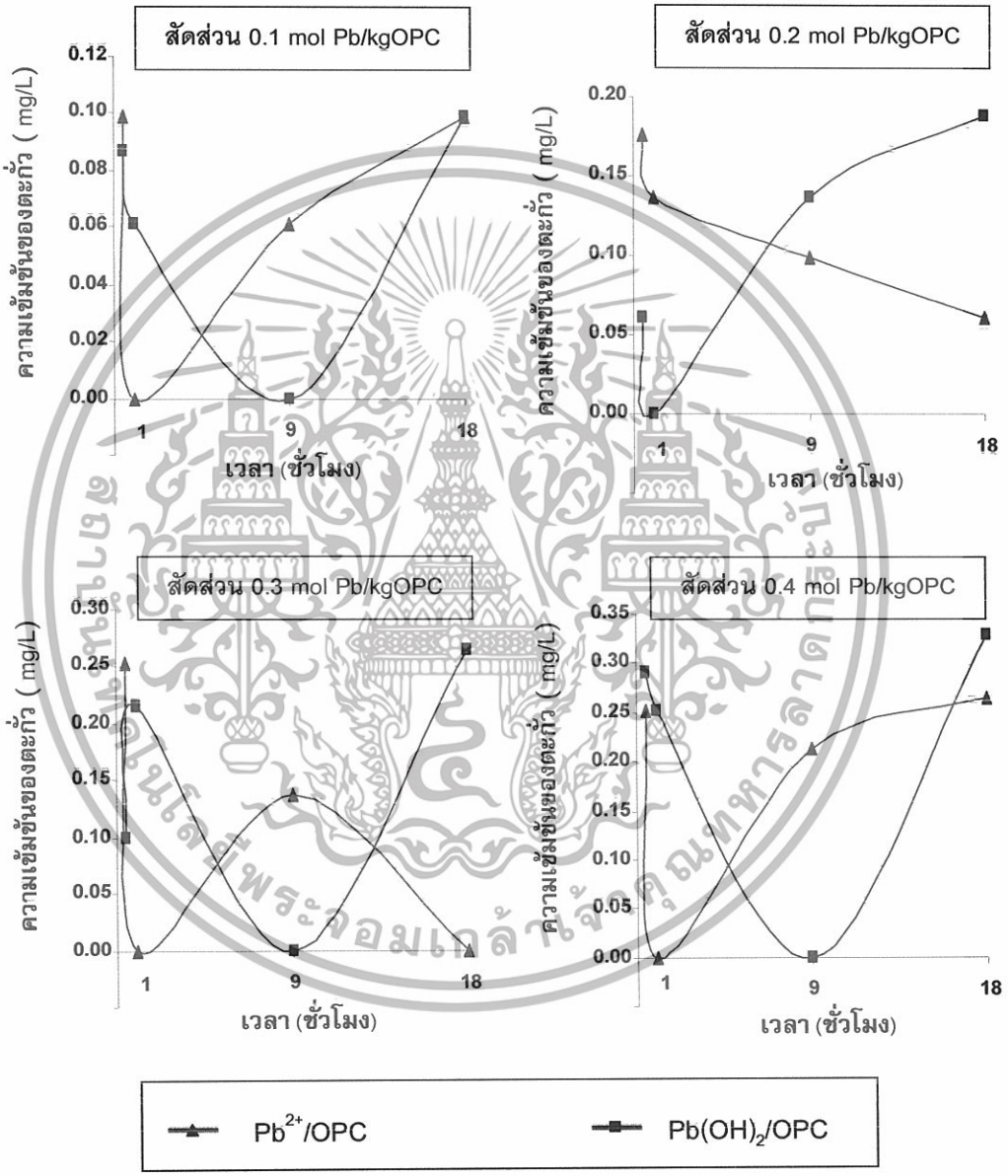
ตารางที่ 4.4 ผลของระยะเวลาในการชะละลายกับความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะ

รูปของตะกั่ว	สัดส่วน Pb/OPC (mol/kg)	ความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลาย (mg/L)			
		เวลาในการชะละลาย (ชั่วโมง)			
		0.5	1	9	18
ชุดควบคุม	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb^{2+}/OPC	0.1	0.099	0.000	0.061	0.099
	0.2	0.176	0.137	0.099	0.099
	0.3	0.252	0.000	0.137	0.000
	0.4	0.252	0.000	0.214	0.265
ค่าเฉลี่ย		0.195	0.034	0.128	0.116
SD		0.073	0.069	0.065	0.110
$Pb(OH)_2$/OPC	0.1	0.087	0.061	0.000	0.099
	0.2	0.061	0.000	0.137	0.188
	0.3	0.099	0.214	0.000	0.265
	0.4	0.290	0.252	0.000	0.328
ค่าเฉลี่ย		0.134	0.132	0.034	0.220
SD		0.105	0.121	0.069	0.099

จากการทดลองการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของซีเมนต์ ที่มีสัดส่วนของตะกั่วและระยะเวลาในการชะละลายที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าความเข้มข้นของตะกั่วมีความผันแปร อาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจาก สารละลายในน้ำชะมีสมบัติเป็นเบส ทำให้ Pb^{2+} ในสารละลายสามารถรวมตัวกับไฮดรอกไซด์เกิดเป็นตะกอน $Pb(OH)_2$ ซึ่งเป็นตะกอนที่มีน้ำหนักมาก ทำให้จมตัวอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาในการตั้งชุดทดลองทิ้งไว้ก่อนนำมากรองจึงมีผลต่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะ นอกจากนี้ตะกอน $Pb(OH)_2$ สามารถรวมกับไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่สามารถกลับเข้ามาอยู่ในรูปของสารละลายได้อีก ดังนั้นเมื่อทำการเขย่าเป็นเวลานาน อาจทำให้ซีเมนต์ปลดปล่อยไฮดรอกไซด์มากขึ้น และเกิดไอออนเชิงซ้อนของตะกั่วไฮดรอกไซด์ จึงพบว่า ซีเมนต์ที่มีตะกั่วเจือปนหลายสัดส่วนมีแนวโน้มที่จะพบตะกั่วในน้ำชะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการชะเป็น 18 ชั่วโมง

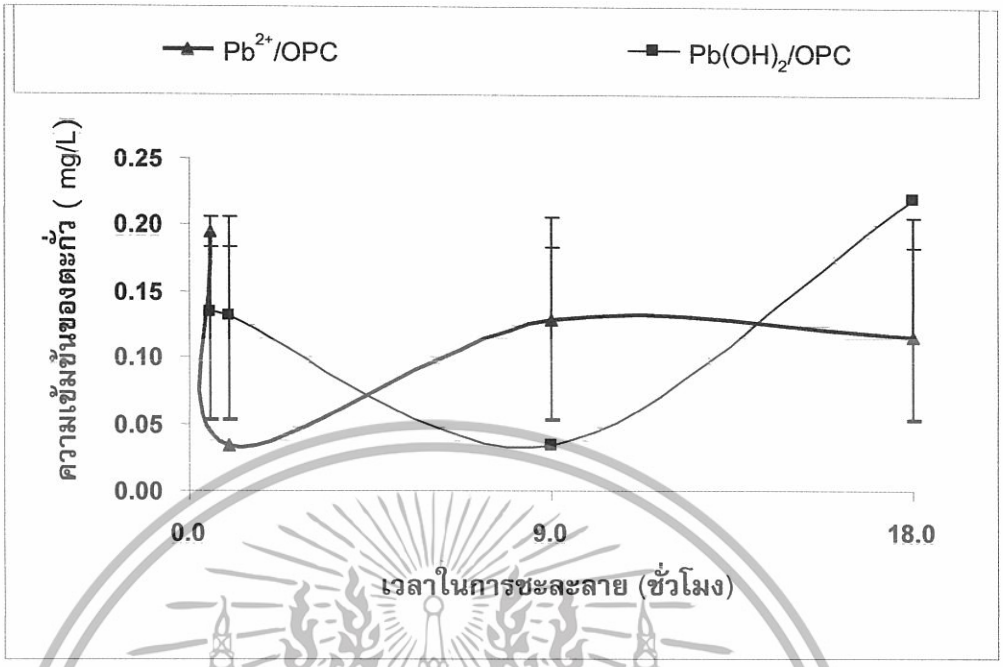
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 เมื่อนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วทุกสัดส่วน Pb/OPC (mol/kg) มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบในแต่ละรูปของตะกั่ว พบว่า ตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} มีค่าความเข้มข้น อยู่ในช่วง 0.034 – 0.195 mg/L และ ตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ มีค่าความเข้มข้นสูงสุด อยู่ในช่วง 0.034 - 0.220 mg/L ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ผลของระยะเวลาในการชะละลายต่อความเข้มข้นตะกั่วในน้ำชะของตะกั่วในรูป Pb^{2+} และ $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 – 0.4 mol/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลของเวลาในการชะละลายต่อความเข้มข้นของตะกั่วที่สัดส่วน Pb/OPC 0.1 - 0.4 mol/kg

4.5 การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีตะกั่ว โดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

การทดลองส่วนนี้เป็นการนำของเสียจากห้องปฏิบัติการมาทำการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง โดยการนำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองมาใช้ในการพิจารณา ดังนี้คือ ทำการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน ต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ และผลของการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะจากการชะละลายเป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง

4.5.1 **ลักษณะของเสีย**

นำของเสียโลหะหนักจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีทั้งโลหะหนักโครเมียมและตะกั่ว มาทำการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น นำมาทำการกรอง และนำสารละลายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นโลหะหนักโครเมียมและตะกั่วทั้งหมด โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงผลดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะทั่วไปของของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

ลักษณะทางกายภาพ		ค่าพีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ppm)	
สี	กลิ่น		โครเมียม	ตะกั่ว
สีเขียวอมดำ มีตะกอนนอนก้น	มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย	1.16	1081	253

4.5.2 **การบำบัดของเสีย**

การบำบัดของเสียทำได้โดยนำของเสียจากห้องปฏิบัติการมาทำลายฤทธิ์ด้วยการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ ซึ่งจากปริมาณน้ำเสีย 5.4 ลิตร นำมาตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้ปริมาณตะกอนเท่ากับ 36.82 กรัม ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการบำบัดของเสียโดยการตกตะกอนไฮดรอกไซด์

ปริมาณของเสีย (ลิตร)	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (กรัม)	น้ำหนักตะกอนแห้ง (กรัม)
5.4	24	36.82

จากตารางที่ 4.6 พบว่าในการบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการโดยการตกตะกอนใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.44 กรัมต่อปริมาณของเสีย 1 ลิตร และเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ของของเสีย 6.82 กรัมต่อปริมาณของเสีย 1 ลิตร

4.5.3 **การทำเสถียรตะกอนของเสีย**

นำตะกอนของเสียมาผ่านกระบวนการทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.5 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากนั้นนำก้อนซีเมนต์มาทดสอบกำลังรับแรงอัด และทดสอบการปลดปล่อยไอออนโครเมียมในก้อนซีเมนต์ โดยการชะละลายตามเกณฑ์วิธีมาตรฐาน TCLP test (US.EPA. Method 1311) ทำการชะละลายเป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการชะละลายไปหาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic absorption spectroscopy ; AAS) แสดงผลดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทำเสถียรของเสีย

นน.ตะกอน (กรัม)	นน. ปูนซีเมนต์ ที่ใช้ (กรัม)	สัดส่วนน้ำหนัก ตะกอน/kgOPC	ระยะ เวลาบ่ม (วัน)	กำลังรับ แรงอัด (MPa)	ความเข้มข้น ของตะกั่วใน น้ำชะ (mg/L)
36.00	90.0	0.4	7	29.21	0.0038

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการทำเสถียรในรูปตะกอนไฮดรอกไซด์ ในปริมาตรของเสีย 1 ลิตร ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 17.05 กรัมต่อน้ำหนักตะกอน 6.82 กรัม

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ที่สัดส่วน waste/OPC เท่ากับ 0.4 mol/kg เมื่อนำมาทำเป็นก้อนซีเมนต์แล้วบ่มทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า มีค่าเท่ากับ 29.21 MPa ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าชุดควบคุม คือ 35.41 MPa แต่ถึงอย่างไรกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์จากของเสียยังคงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2547 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน กำหนดให้มีค่าไม่น้อยกว่า 19.0 MPa เมื่อนำก้อนซีเมนต์ดังกล่าวไปทำการทดลองการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(AAS) พบว่า มีปริมาณการชะละลายของตะกั่ว เท่ากับ 0.0038 ppm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามวิธี TCLP test (US.EPA Method 1311) ที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง คือ ไม่เกิน 5.0 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงรูปของตะกั่วต่อการก่อตัวและการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ด้วยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ระยะเวลาในการก่อตัว ความเข้มข้นในสารละลายระหว่างการก่อตัว ระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด การปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ และ การบำบัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต พบว่า เมื่อสัดส่วนโมลของตะกั่วต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (OPC) เพิ่มขึ้น ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วทุกรูปจะมีแนวโน้มของระยะเวลาในการก่อตัวต้นสูงขึ้น โดยที่ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูป $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน Pb/OPC 0.4 mol/kg มีระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นสูงสุด คือ 220 นาที
2. การหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนานขึ้นความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่ซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} จะมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ซึ่งซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} จะมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ในช่วง 0.748 – 2.784 ppm และซีเมนต์เพสต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ จะมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ในช่วง 1.995 – 4.590 ppm
3. การหาผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะในการเวลาบ่มมากขึ้น โดยที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน ซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg มีค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์น้อยที่สุด คือ 38.78 MPa และ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+}ที่สัดส่วน 0.3 mol/kg มีค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มากที่สุด คือ 74.12 MPa
4. การทดลองการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ พบว่า ตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} มีค่าความเข้มข้น อยู่ในช่วง 0.034 – 0.195 mg/L และ ตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ มีค่าความเข้มข้นสูงสุดอยู่ในช่วง 0.034 - 0.220 mg/L ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดลองกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์และการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์จากของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8 พบว่า ที่สัดส่วน waste/OPC เท่ากับ 0.4 mol/kg เมื่อนำมาทำเป็นก้อนซีเมนต์แล้วบ่มทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่า มีค่าเท่ากับ 29.21 MPa และเมื่อนำก้อนซีเมนต์ดังกล่าวไปทำการทดลองการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง. จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.0038 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2540. **ประกาศกรมโรงงานอุตาสกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)**. กระทรวงอุตสาหกรรม.

[2] กษมา เพชรทับทิม และ พงศ์ภัทร ศรีขจร.2545. **การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม (VI) และ ตะกั่ว (II) โดยวิธีการระเหยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และกระบวนการยึดจับด้วยซีเมนต์**. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] กวี หวังนิเวศน์กุล.2546. **วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

[4] กุสุมา เอกสาโรจน์ พัฒน์ธิดา ทองขาว และ สิรินุช วชิรวัชรินทร์.2545. **การตกตะกอนปรอทซัลไฟด์จากน้ำเสียสังเคราะห์และสมบัติของก้อนซีเมนต์ที่มีปรอทซัลไฟด์เจือปน**. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] นันทวัน หมื่นเดช และ สายตะวัน เลียวสุต.2543. **การนำตะกอนโลหะหนักไฮดรอกไซด์จากของเสียจากห้องปฏิบัติการมาทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์**. ปริญญานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[6] ประเสริฐ ศรีไพโรจน์.2547. **เคมีวิเคราะห์กึ่งจุลภาค**. พิมพ์ครั้งที่ 2 : ภาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[7] นยพงษ์ คทาสิริ และ สานิต เพชรประเสริฐ . 2542. **การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้สารลดปริมาณน้ำบางชนิดที่มีต่อกำลังของคอนกรีต**. ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[8] พงศ์พัน และ วรพงศ์ วรสุนทโรสถ.2544. **วัสดุก่อสร้าง** .

[9] พรรษวรรณ ตันทวี.2545. **การควบคุมมลพิษทางน้ำ** . โครงการตำรา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[10] สุรางค์ อนุกูล.2532. **ปฏิบัติการเคมีคุณภาพวิเคราะห์**.พิมพ์ครั้งที่ 3 : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] American Society for testing and Materials.1986. **Stand Method of Testing for Compressive Strength of Hydrulic Cement Motars**.C109-86. Annual Book of ASTM Standard.Section 4. Vol.0402.page 74-79.

[12] American Society for testing and Materials.1995. **ASTM C191 Test Method for Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle**. Annual Book of ASTM Standard.Vol. 4.01.Philadelphia.

[13] Rijal, S.P. **Solidification of Laboratury Waste Using Cementitous Binders**. Thesis No. EV 90-20.Asian Institute of Technology.Bankok Thailand.1990.

[14] TCLP.1992.**Toxicity Characteristic Leching Prodcedure**. U.S Environment Protection Agency. Method1311. Test Methods for Evaluating SolidWaste: Physical/Chemical Methods (SW-846). Page 33.

[15] Tasi, C.E. and Hsu. C.P. **Hazardous Waste Management Technoloties**. Ou-Ya Inc.Taiwan.ROC.1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การเตรียมสารละลายมาตรฐานในการวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1,000 ppm
2. น้ำปราศจากไอออน
3. ขวดวัดปริมาตร 50 และ 100 ml
4. บีกเกอร์
5. ปิเปต 5 , 10 และ 25 ml

วิธีการเตรียม

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1,000 ppm จำนวน 2.5 ml เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตร 250 ml จะได้สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 10 ppm
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 3 , 6 , 9 และ 12 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 10 ppm จำนวน 7.5 , 15 , 22.5 และ 30 ml ตามลำดับ เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตร 25 ml
3. เก็บสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 3 , 6 , 9 และ 12 ppm ใส่ในขวดพลาสติกเพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการวัดความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
การปรับเสถียรของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ
การทดลองที่ 8

1. การวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่าง

อุปกรณ์และสารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น
2. สต็อกตะกั่ว
3. สต็อกโครเมียมบีกเกอร์ ขนาด 150, 250 มล.ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100, 250, 1000 มล
4. กระจกนาฬิกา
5. Hot plate
6. เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

วิธีการวิเคราะห์

1. ปิเปตน้ำเสีย มา 100 มล.ใส่บีกเกอร์ขนาด 150 ml ใส่กรด HNO_3 5 มล.
2. นำไปให้ความร้อนโดยใช้ hot plate จนปริมาตรลดลงเหลือ 40 มล.
3. ใส่กรดอีก HNO_3 5 มล. ปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปให้ความร้อนต่อจนใส (ถ้ายังไม่ใสให้เติมกรด HNO_3 ลงไปอีกจนได้สารละลายใส)
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปกรองใส่ขวดวัดปริมาตรพลาสติกขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนถึงขีดบอกปริมาตร ทำซ้ำ 4 ครั้ง
5. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชั่นสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer,AAS) ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

3. การตกตะกอนน้ำเสียด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

อุปกรณ์และสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
3. บีกเกอร์ ขนาด 150, 250 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100, 250, 1000 มล.
5. แท่งแก้วคนสาร
6. ช้อนตักสาร
7. เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

วิธีการวิเคราะห์

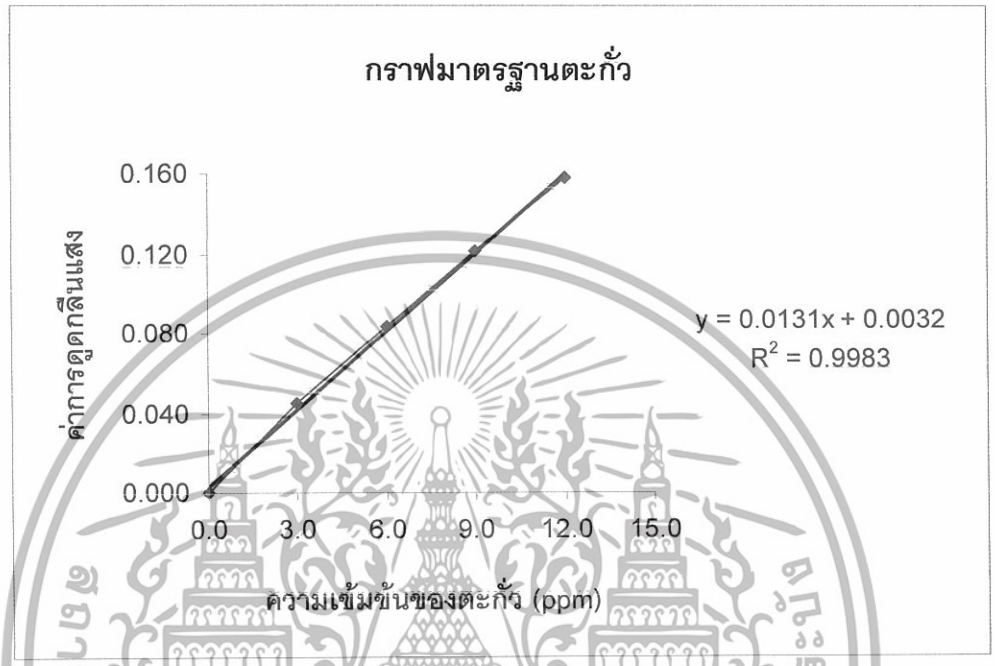
1. นำน้ำเสีย 5.4 ลิตร มาเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ลงไปประมาณปลายช้อนตักสารเล็ก (0.03 กรัม) คนสารละลายให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว จนเป็นสีฟ้าใส
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยปรับพีเอชเป็น 9 ตั้งทิ้งไว้ 1 ชม. และทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชม.
3. นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GFC) นำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ส่วนตะกอนนำไปอบให้แห้ง แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก

4. **การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง** AAS

นำสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมได้ และสารตัวอย่างทั้งหมดที่ผ่านการกรองและย่อยเพื่อทำลายสารอินทรีย์ก่อน มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
การคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน



วิธีคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน $y = 0.0131x + 0.0032$

โดย x คือ ความเข้มข้นของตะกั่ว หน่วยพีพีเอ็ม

y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

คำนวณความเข้มข้น

$$x = (y - 0.0032)/0.0131$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
การคำนวณปริมาณสาร

ตัวอย่าง $Pb(NO_3)_2$

จาก	$Pb(NO_3)_2$	1	โมล	จะมี Pb	อยู่	1	โมล
ดังนั้น	$Pb(NO_3)_2$	331.2	กรัม	จะมี Pb	เท่ากับ	207.2	กรัม

สมมติ สัดส่วน Pb/OPC ที่ใช้เท่ากับ 0.20 โมล Pb/kg OPC

จะต้องใช้ $Pb(NO_3)_2$ เท่ากับ (0.20 โมล Pb/kg OPC) × 331.2 กรัม $Pb(NO_3)_2$/โมล Pb เท่ากับ 66.24 กรัม/kg OPC

แสดงว่า ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ธรรมดา 1 กิโลกรัม จะต้องใช้ $Pb(NO_3)_2$ เท่ากับ 66.24 กรัม

หมายเหตุ ส่วน $Pb(OH)_2$ คิดเช่นเดียวกับ $Pb(NO_3)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
ข้อมูลผลการทดลอง

ศึกษาผลของรูปตะกั่วต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการหาระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์โดยใช้เข็มไวแคต (ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C150-99a)

รูปตะกั่ว	สัดส่วน Pb/OPC (mol/kg)	ระยะเวลาการก่อตัวต้น (นาที)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ชุดควบคุม	0.0	151	150	150	150	0.58
Pb^{2+}/OPC	0.1	129	131	130	130	1.00
	0.2	131	130	130	130	0.58
	0.3	145	143	146	145	1.53
	0.4	149	151	150	150	1.00
$Pb(OH)_2$/OPC	0.1	174	176	175	175	1.00
	0.2	194	195	198	196	2.08
	0.3	210	210	210	210	0.00
	0.4	220	219	220	220	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในรูป Pb^{2+} ในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

เวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (นาที)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)				
	สัดส่วน mol $Pb[Pb^{2+}]$/OPC				
	ชุดควบคุม	0.1	0.2	0.3	0.4
0	-0.550	1.969	2.885	1.969	2.427
	-0.855	2.122	2.656	2.122	3.115
	-0.702	2.275	1.817	2.046	2.809
ค่าเฉลี่ย	0.000	2.122	2.453	2.046	2.784
SD	0.153	0.153	0.563	0.076	0.344
15	-0.397	2.122	2.504	2.427	2.275
	-0.779	2.046	2.733	2.046	2.809
	-0.321	1.664	2.885	0.443	0.901
ค่าเฉลี่ย	0.000	1.944	2.707	2.237	2.542
SD	0.245	0.245	0.192	1.053	0.985
30	-1.389	1.893	2.275	2.427	2.809
	-2.076	0.824	2.427	1.893	2.580
	-1.084	-5.969	2.046	-4.366	0.519
ค่าเฉลี่ย	0.000	1.359	2.249	2.160	2.695
SD	0.508	4.265	0.192	3.778	1.261
45	-1.160	1.282	5.710	5.023	2.046
	-2.382	1.053	1.130	2.046	2.580
	-3.832	0.901	1.359	1.359	0.366
ค่าเฉลี่ย	0.000	1.079	1.244	1.702	2.313
SD	1.338	0.192	2.581	1.948	1.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในรูป Pb^{2+} ในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ (ต่อ)

เวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (นาที)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)				
	สัดส่วน mol $Pb[Pb^{2+}]$/OPC				
	ชุดควบคุม	0.1	0.2	0.3	0.4
60	-2.076	3.344	3.573	0.824	2.122
	-1.618	0.901	1.053	0.901	2.275
	-1.084	0.595	1.206	2.046	1.664
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.748	1.130	0.863	2.020
SD	0.497	1.506	1.412	0.684	0.318

ตารางที่ ค.3 แสดงผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในรูปตะกอน $Pb(OH)_2$ ในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์

เวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (นาที)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)				
	สัดส่วน mol $Pb[Pb(OH)_2]$/OPC				
	ชุดควบคุม	0.1	0.2	0.3	0.4
0	-0.550	4.336	4.641	4.947	1.359
	-0.855	4.565	4.718	4.412	3.878
	-0.702	3.344	4.412	4.107	3.649
ค่าเฉลี่ย	0.000	4.081	4.590	4.489	3.763
SD	0.153	0.649	0.159	0.425	1.393
15	-0.397	1.817	1.359	3.649	3.802
	-0.779	3.649	3.344	3.573	3.573
	-0.321	3.725	3.191	4.412	4.107
ค่าเฉลี่ย	0.000	3.687	3.267	3.878	3.827
SD	0.245	1.080	1.104	0.464	0.268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงผลการหาความเข้มข้นของตะกั่วในรูปตะกอน $Pb(OH)_2$ ในสารละลายระหว่างการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ (ต่อ)

เวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (นาที)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)				
	สัดส่วน mol $Pb[Pb(OH)_2]$/OPC				
	ชุดควบคุม	0.1	0.2	0.3	0.4
30	-1.389	4.107	3.344	3.954	3.802
	-2.076	3.649	2.122	3.802	3.725
	-1.084	3.954	3.191	3.573	4.107
ค่าเฉลี่ย	0.000	3.903	2.885	3.776	3.878
SD	0.508	0.233	0.665	0.192	0.202
45	-1.160	3.878	2.122	0.595	4.336
	-2.382	3.954	2.427	3.344	4.641
	-3.832	3.573	2.275	3.573	3.573
ค่าเฉลี่ย	0.000	3.802	2.275	3.458	4.183
SD	1.338	0.202	0.153	1.657	0.550
60	-2.076	3.344	2.046	0.061	2.809
	-1.618	2.885	1.664	2.122	3.344
	-1.084	3.115	2.275	2.656	2.962
ค่าเฉลี่ย	0.000	3.115	1.995	2.389	3.038
SD	0.497	0.229	0.309	1.371	0.275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัด (ชุดควบคุม)

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	5.01	5.00	5.09	280.70	73.70	29.42
	5.03	5.01	5.04	278.18	76.40	29.90
	5.04	5.02	5.01	277.78	67.30	26.60
ค่าเฉลี่ย						29.66
SD						1.78
7	5.00	5.06	5.18	285.72	97.81	38.66
	5.09	5.07	5.00	282.12	90.99	35.26
	5.23	4.93	5.00	285.08	91.69	35.56
ค่าเฉลี่ย						35.41
SD						1.88
14	5.00	5.08	5.04	281.55	101.90	40.12
	5.03	5.06	5.06	284.01	114.50	44.99
	4.96	5.04	5.04	282.55	116.70	46.68
ค่าเฉลี่ย						44.99
SD						3.41
21	5.00	5.16	5.00	285.12	122.16	47.35
	5.03	5.06	5.06	284.01	118.91	46.72
	5.02	5.05	5.02	287.90	119.43	47.11
ค่าเฉลี่ย						47.06
SD						0.32
28	5.02	5.05	5.02	287.90	132.31	52.19
	5.01	5.06	5.04	280.65	127.59	50.33
	5.06	5.04	5.03	287.08	132.61	52.00
ค่าเฉลี่ย						52.10
SD						1.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	4.97	4.98	5.01	275.43	113.50	45.86
	5.01	5.00	5.00	273.37	120.20	47.98
	4.98	5.00	5.01	274.95	112.70	45.26
ค่าเฉลี่ย						45.56
SD						1.43
7	5.00	5.01	5.00	276.11	111.60	44.55
	5.01	5.01	5.00	274.66	124.40	49.56
	4.98	5.00	5.01	273.08	131.50	52.81
ค่าเฉลี่ย						48.86
SD						4.16
14	4.99	4.97	5.02	277.68	157.60	63.55
	4.99	5.02	4.97	280.45	141.60	56.53
	5.03	5.00	5.00	277.38	126.50	50.30
ค่าเฉลี่ย						56.53
SD						6.63
21	5.00	5.00	5.03	277.76	177.00	70.80
	5.00	4.97	5.02	279.75	151.90	61.13
	5.00	4.99	5.00	278.48	163.30	65.45
ค่าเฉลี่ย						65.45
SD						4.85
28	5.00	5.01	5.01	279.65	178.60	71.30
	5.01	5.00	5.02	280.81	175.20	69.94
	4.99	5.00	5.00	278.54	174.30	69.86
ค่าเฉลี่ย						69.90
SD						0.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.2 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	5.00	4.98	5.00	274.84	120.60	48.43
	4.99	5.01	5.00	274.65	107.80	43.12
	5.01	5.00	5.00	275.23	114.10	45.55
ค่าเฉลี่ย						45.55
SD						2.17
7	4.98	5.01	4.99	273.91	143.70	57.60
	4.98	5.00	5.01	274.83	146.10	58.67
	4.97	5.01	5.00	274.88	150.80	60.56
ค่าเฉลี่ย						58.14
SD						1.29
14	4.97	5.01	5.00	278.63	125.90	50.56
	4.96	4.97	5.00	276.36	136.50	55.37
	5.03	5.00	5.00	276.26	156.80	62.35
ค่าเฉลี่ย						55.37
SD						4.85
21	5.01	5.00	5.00	280.26	162.30	64.79
	5.00	4.99	5.02	280.04	130.20	52.18
	4.98	4.99	5.00	280.02	155.30	62.49
ค่าเฉลี่ย						62.49
SD						5.64
28	5.01	4.99	5.02	275.43	169.50	67.80
	5.00	5.00	5.00	273.37	166.10	66.44
	4.98	4.97	5.00	274.95	168.30	68.00
ค่าเฉลี่ย						67.41
SD						0.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.3 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	4.99	4.98	5.01	275.35	162.30	65.31
	5.01	4.97	5.00	275.47	139.70	56.11
	5.00	4.99	5.02	276.18	153.00	61.32
ค่าเฉลี่ย						49.62
SD						4.62
7.00	4.99	4.98	5.01	275.35	162.30	65.31
	5.01	4.97	5.00	275.47	139.70	56.11
	5.00	4.99	5.02	276.18	153.00	61.32
ค่าเฉลี่ย						61.32
SD						4.62
14	4.97	5.00	5.00	277.36	133.90	53.88
	5.00	4.97	5.00	278.19	123.10	49.54
	5.00	5.00	4.97	276.37	168.20	67.28
ค่าเฉลี่ย						53.88
SD						9.25
21	4.97	4.99	5.01	276.29	175.60	70.81
	4.99	5.00	5.01	278.00	163.00	65.33
	4.99	5.00	5.00	276.68	159.40	63.89
ค่าเฉลี่ย						65.33
SD						3.65
28	5.02	5.00	5.01	284.35	174.50	69.52
	4.97	4.98	5.00	282.56	185.60	74.99
	5.01	5.00	4.99	281.95	183.50	73.25
ค่าเฉลี่ย						74.12
SD						2.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของ Pb^{2+} ที่สัดส่วน 0.4 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	5.01	4.98	5.00	273.45	113.80	45.61
	4.98	4.97	4.99	274.61	116.00	46.87
	4.99	4.98	5.00	273.35	104.40	42.01
ค่าเฉลี่ย						46.21
SD						2.52
7	4.98	5.01	4.99	276.49	134.60	53.95
	4.99	5.03	5.01	280.35	155.50	61.95
	5.01	5.00	5.00	276.75	129.90	51.86
ค่าเฉลี่ย						53.95
SD						5.33
14	5.01	4.97	4.97	278.51	142.30	57.15
	4.99	5.02	4.99	278.76	159.90	63.83
	5.00	4.98	5.00	277.87	154.70	62.13
ค่าเฉลี่ย						62.98
SD						3.47
21	5.01	4.99	5.01	280.22	156.40	62.56
	5.00	5.00	5.02	280.52	146.90	58.76
	4.98	4.99	5.01	279.50	105.50	42.45
ค่าเฉลี่ย						58.76
SD						10.68
28	4.98	4.99	5.00	267.64	176.50	71.03
	4.98	4.99	5.00	270.16	179.90	72.39
	5.00	5.01	5.00	272.53	173.20	69.14
ค่าเฉลี่ย						71.71
SD						1.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.1 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	5.00	5.00	5.00	272.71	92.50	37.00
	4.98	4.99	4.97	272.71	101.10	40.68
	5.00	5.01	5.00	272.49	103.50	41.32
ค่าเฉลี่ย						41.00
SD						2.02
7	5.00	4.99	5.02	277.55	100.80	40.40
	4.99	5.00	5.01	277.31	101.40	40.64
	5.00	5.00	5.00	276.70	114.30	45.72
ค่าเฉลี่ย						40.52
SD						2.60
14	4.99	4.99	5.03	277.43	135.10	54.26
	5.00	5.01	5.02	278.75	129.40	51.66
	5.00	5.00	5.00	279.80	130.80	52.32
ค่าเฉลี่ย						51.99
SD						1.17
21	4.99	4.98	5.00	255.96	141.30	56.86
	5.00	5.00	5.00	273.21	137.80	55.12
	5.02	5.02	5.03	271.95	139.50	55.36
ค่าเฉลี่ย						55.78
SD						0.77
28	5.01	5.00	5.00	275.43	154.60	61.72
	5.01	5.02	5.02	278.65	159.20	63.30
	5.01	5.00	5.00	269.54	167.20	66.75
ค่าเฉลี่ย						63.30
SD						2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.2 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	4.97	4.99	5.00	273.56	98.60	39.76
	4.98	5.00	5.01	273.38	101.90	40.92
	5.00	5.00	5.00	270.97	97.40	38.96
ค่าเฉลี่ย						39.36
SD						0.85
7	4.97	4.99	4.99	275.98	142.90	57.62
	5.01	5.00	5.02	276.53	139.20	55.57
	4.99	4.99	5.00	276.86	137.20	55.10
ค่าเฉลี่ย						55.33
SD						1.16
14	4.97	5.00	4.98	278.53	128.10	51.55
	4.96	4.99	4.97	279.65	114.40	46.22
	4.99	4.97	4.97	279.32	129.50	52.22
ค่าเฉลี่ย						51.88
SD						2.84
21	4.99	4.97	4.99	274.48	150.30	60.60
	5.02	5.00	5.00	272.13	149.80	59.68
	5.00	5.00	5.01	274.95	151.60	60.64
ค่าเฉลี่ย						60.31
SD						0.44
28	4.97	4.99	4.99	275.43	165.20	66.61
	4.99	4.97	5.00	273.37	166.10	66.97
	4.98	4.99	4.99	274.95	164.20	66.08
ค่าเฉลี่ย						66.55
SD						0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.3 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	4.99	5.00	5.02	272.89	100.20	40.16
	5.01	5.00	5.00	270.84	101.50	40.52
	4.98	4.97	4.99	271.79	98.80	39.92
ค่าเฉลี่ย						40.20
SD						0.25
7	5.00	5.00	5.02	275.54	155.00	62.00
	5.00	5.00	5.01	275.73	154.10	61.64
	4.99	4.97	5.00	275.69	128.00	51.61
ค่าเฉลี่ย						61.82
SD						5.11
14	5.00	5.01	5.00	279.95	135.20	53.97
	4.97	4.99	4.98	278.86	150.30	60.60
	5.01	5.00	5.02	278.26	138.80	55.41
ค่าเฉลี่ย						55.41
SD						2.92
21	4.96	4.97	5.00	274.12	149.80	60.77
	4.98	4.99	4.99	263.56	137.90	55.49
	4.99	4.96	5.01	271.54	141.50	57.17
ค่าเฉลี่ย						57.17
SD						2.22
28	4.99	5.00	5.01	284.35	151.90	60.88
	4.97	5.02	5.02	282.56	161.80	64.85
	4.98	4.98	5.00	281.95	170.20	68.63
ค่าเฉลี่ย						64.85
SD						3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 แสดงผลของระยะเวลาบ่มต่อสมบัติกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่มีตะกั่วในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$ ที่สัดส่วน 0.4 mol/kg OPC

อายุบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	แรงกด (kN)	กำลังอัด (MPa)
3	5.00	5.00	5.00	272.21	99.20	39.68
	4.99	4.97	5.01	270.61	94.20	37.98
	5.00	4.99	5.02	271.66	96.50	38.68
ค่าเฉลี่ย						38.78
SD						0.70
7	5.02	5.00	5.01	277.27	141.80	56.49
	4.99	4.97	5.00	277.92	99.40	40.08
	5.00	5.00	5.01	277.28	118.50	47.40
ค่าเฉลี่ย						47.40
SD						6.72
14	4.97	4.99	5.03	277.47	164.60	66.37
	4.97	4.98	5.02	282.17	133.80	54.06
	4.98	4.99	5.03	282.27	149.80	60.28
ค่าเฉลี่ย						60.28
SD						5.03
21	4.97	4.98	5.00	278.58	148.60	60.04
	5.01	5.00	5.02	274.89	141.20	56.37
	5.00	5.00	5.01	272.53	140.80	56.32
ค่าเฉลี่ย						56.34
SD						1.85
28	5.00	5.00	5.00	267.64	154.80	61.92
	4.98	4.97	4.98	270.16	159.20	64.32
	4.99	4.98	5.01	272.53	157.70	63.46
ค่าเฉลี่ย						63.89
SD						1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 แสดงผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ของตะกั่วที่อยู่ในรูปของ Pb^{2+}

เวลาการชะละลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)				
	สัดส่วน mol $Pb[Pb^{2+}]$/OPC				
	ชุดควบคุม	0.1	0.2	0.3	0.4
0.5	-1.237	0.366	0.137	0.137	0.214
	-3.908	1.053	0.290	0.901	0.290
	-4.824	0.290	2.427	0.366	0.519
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.328	0.214	0.252	0.252
SD	1.864	0.420	1.280	0.392	0.159
1	-7.725	-11.313	0.214	-4.366	-8.336
	-4.137	-8.794	0.901	-6.427	-8.183
	-4.443	-2.611	0.061	-5.359	-9.176
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000
SD	1.989	4.478	0.447	1.031	0.534
9	-1.519	0.290	21.899	-0.015	0.366
	-4.229	0.443	33.553	0.366	0.290
	-3.313	0.214	16.072	0.137	0.137
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.252	0.099	0.137	0.265
SD	1.378	0.117	8.901	0.192	0.117
18	-5.359	-4.137	0.061	-4.435	0.137
	-7.191	0.366	1.053	-1.313	0.290
	-4.824	-4.214	-3.450	-2.321	0.214
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.366	0.061	0.000	0.214
SD	1.241	2.623	2.366	1.593	0.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 แสดงผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์ของตะกั่วที่อยู่ในรูปของตะกอน $Pb(OH)_2$

เวลาการชะละลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)				
	สัดส่วน mol $Pb[Pb(OH)_2]$/OPC				
	ชุดควบคุม	0.1	0.2	0.3	0.4
0.5	-1.237	0.214	-0.168	0.137	-0.092
	-3.908	0.061	0.061	0.061	0.290
	-4.824	0.137	-0.092	0.595	0.901
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.137	0.061	0.099	0.029
SD	1.864	0.076	0.117	0.289	0.501
1	-7.725	0.061	-19.328	-9.176	0.290
	-4.137	-8.260	-10.931	0.214	0.595
	-4.443	0.519	-12.229	-8.489	0.214
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.061	0.000	0.241	0.252
SD	1.989	4.941	4.520	5.234	0.202
9	-1.519	-6.885	-7.725	-1.160	-0.855
	-4.229	-7.191	-8.794	-0.015	-7.954
	-3.313	-0.015	0.137	-0.626	-1.389
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000
SD	1.378	4.058	4.877	0.573	3.954
18	-5.359	0.366	0.443	0.061	-1.328
	-7.191	0.061	0.290	0.443	0.366
	-4.824	0.290	-0.092	0.290	0.290
ค่าเฉลี่ย	0.000	0.239	0.290	0.266	0.328
SD	1.241	0.159	0.275	0.192	0.957

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 แสดงผลกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์จากของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	กำลังรับแรงอัด (MPa)
ของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพฯ Labที่ 8	7	5.05	5.07	5.2	268.22	29.21

สัดส่วน waste/OPC 0.4 mol/kg ค่ามาตรฐานที่ 7 วัน เท่ากับ 19.00 MPa

ตารางที่ ค.16 แสดงผลการปลดปล่อยไอออนตะกั่วในน้ำชะของก้อนซีเมนต์จากของเสียในห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8

ตัวอย่าง	สัดส่วน Waste/OPC (mol/kg)	เวลาการชะละลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น (ppm)
ของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีตึกพระเทพ ฯ การทดลองที่ 8	0.4	18	0.0065
			0.0010
			0.0038
ค่าเฉลี่ย			0.0038
SD			0.0028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้