

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาองค์ประกอบของเก้าอี้จากเตาเผาขยะเทศบาล
หลังจากการล้างและการใช้ประโยชน์ทดแทนซีเมนต์บางส่วน



✓
ณ ๙๒๙/๗
๙๕๕๐

เลขานู.....
เลขทะเบียน..... 107908
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ย. 2553

b. 1221362x
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study on composition of fly ash from MSW Incinerator
after washing and it's Utilization as partial cement.**



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

Academic year 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาองค์ประกอบของเถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาล
หลังจากการล้างและการใช้ประโยชน์ทดแทนซีเมนต์บางส่วน

นักศึกษา นายณรงค์ฤทธิ์ คำตา
นางสาวพจนีย์ ฝึกทอง
นายอนุพงษ์ มะเหศวร

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2550
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติ
ให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธาน ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
กรรมการ ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน	
กรรมการ ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค	


.....
(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาองค์ประกอบของเถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาล
หลังจากการล้างและการใช้ประโยชน์ทดแทนซีเมนต์บางส่วน

นักศึกษา นายณรงค์ฤทธิ์ คำตา
นางสาวพจณีย์ พิภทอง
นายอนุพงษ์ มะเหศวร

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พรชวรณ ศรีนาค

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบของเถ้าลอย จากเตาเผาขยะชุมชนหลังจากกระบวนการล้าง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำที่อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง เท่ากับ 5:1 ที่ระยะเวลา 15 นาที ด้วย วิธี X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) พบว่า สามารถกำจัดโลหะอัลคาไล ($\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$) และ คลอไรด์มากที่สุด ในขณะที่องค์ประกอบหลักของซีเมนต์เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น $\text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{P}_2\text{O}_5, \text{SO}_3, \text{CaO}$ และ Fe_2O_3 เมื่อนำ เถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำและไม่ล้างไปใช้ประโยชน์ในการทดแทนซีเมนต์บางส่วนที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ผลจากการทดลองพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าความหนาแน่น ของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยผ่านการล้างน้ำเป็นส่วนผสมลดลงน้อยกว่า มอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม เมื่อเปอร์เซ็นต์การแทนที่ซีเมนต์เพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอย และเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำเป็นส่วนผสมสามารถนำไปใช้ได้ มีค่าอยู่ในช่วง 9.16- 13.95 MPa และ 11.71-20.71 MPa ตามลำดับ

ผลความเข้มข้นของโลหะหนักจากการทดสอบการชะละลายของเถ้าลอย และก้อนซีเมนต์ทุกชนิด พบว่า มีปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ตอนพิเศษ) พ.ศ. 2548

คำสำคัญ : เถ้าลอย, กำลังรับแรงอัด, ซีเมนต์, มอร์ตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Study on composition of fly ash from MSW Incinerator after washing and it's utilization as partial cement

Name Mr Narongrit Kamta
Miss Podchaneer Fugtong
Mr Anupong Maheasuan

Department Chemistry

Academic Year 2007

Special Project Adviser Asst. Prof. Passawan Srinak

ABSTRACT

This special this project studied the composition of MSWI fly ash after washing process. The composition from X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) showed that washed MSWI fly ash at liquid/solid ratio of 5:1, washing time of 15 min can remove most of alkali metal ($\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$) and Cl ; and increase main composition of cement, for example $\text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{P}_2\text{O}_5, \text{SO}_3, \text{CaO}$ and Fe_2O_3 .

Then, MSWI fly ash and washed MSWI fly ash were utilized as partial cement at 0, 5, 10, 15, and 20 percent at 28 days curing time to prepare concrete motars. The result showed that compressive strength and density of cement motars prepared from cement-washed MSWI fly ash lesser decrease than cement-MSWI fly ash as percent of partial cement. The cement motars prepared from cement-MSWI fly ash and cement- washed MSWI fly ash can de use in ranging of compressive strength of 9.16- 13.95 MPa and 11.71- 20.71 MPa respectively

The concentration of heavy metals from leachability test of all fly ash and all cement motars are very low compared standard reglation of hazardus waste of Ministry of Industry (2005)

Keywords: fly ash, compressive strength, cement, motar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ตลอดจน การดูแลเอาใจใส่ที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ผศ.พรชัยวรรณ ศรีนาค อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และ ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน อาจารย์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษนี้ ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ในการให้ความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์ และสารเคมี การติดต่อสำนักงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ ตลอดจนการขอใช้ห้องปฏิบัติการนอกเวลา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อ อุปกรณ์ สถานที่ และให้ความช่วยเหลือตลอดจนแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง และเพื่อน ๆ ทั้งหลายที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจที่สำคัญ ตลอดจนสนับสนุนจนกระทั่งโครงการพิเศษนี้สำเร็จ รวมถึง ให้คำแนะนำและคำติชมต่างๆ

นายณรงค์ฤทธิ์ คำตา

นางสาวพจณีย์ พิภทอง

นายอนุพงษ์ มะหะเสว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามคำศัพท์

AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
ASTM	American Society for Testing and Material
FA	ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะชุมชน
FA-washed	ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำ
g.	กรัม
kg.	กิโลกรัม
kN	กิโลนิวตัน
M	โมลาร์
mg.	มิลลิกรัม
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
MPa	เมกะพาสคาล
MSWI	ถ้ำจากเตาเผาขยะชุมชน
SD	Standard Deviation
TDS	Total Dissolved Solids
XRF	X-ray fluorescence spectroscopy
ก.	กรัม
กก.	กิโลกรัม
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มม.	มิลลิเมตร
มล.	มิลลิลิตร
ลบ.ซม.	ลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
นิยามคำศัพท์	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต	4
2.1.1 ระบบเตาเผามูลฝอย	4
2.1.2 คุณลักษณะเฉพาะของโรงเผาขยะมูลฝอย	5
2.1.3 กระบวนการเผาไหม้ของระบบเตาเผา	5
2.1.4 การจัดการกับเถ้ามูลฝอย	6
2.2 เถ้าลอย (Fly ash)	7
2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอย	7
2.2.2 คุณสมบัติเหมือนซีเมนต์ (Cementlike) ของเถ้าลอย	9
2.3 โลหะหนัก	11
2.3.1 ตะกั่ว (Pb)	11
2.3.2 แคดเมียม (Cd)	12
2.4 การปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization and solidification)	12
2.4.1 หลักการ	13
2.4.2 กลไกของการทำให้กึ่งตัว	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.3 เทคโนโลยีการทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง	15
2.4.4 ข้อดีของวิธีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเติมเพื่อช่วยในการคงตัว	19
2.4.5 ข้อเสียของวิธีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเติมเพื่อช่วยในการคงตัว	20
2.5 ปฏิกริยาไฮเดรชัน	20
2.5.1 ปฏิกริยาไฮเดรชันของคัลเซียมซิลิเกต (C ₃ S, C ₂ S)	20
2.5.2 ปฏิกริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C ₃ A)	21
2.5.3 ปฏิกริยาไฮเดรชันของเตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C ₄ AF)	23
2.5.4 การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เฟสค์	23
2.6 ผลของอัลคาไลออกไซด์ต่อซีเมนต์	25
2.7 การบ่มคอนกรีต	25
2.7.1 กรรมวิธีการบ่ม	25
2.8 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต	27
2.8.1 ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength)	27
2.8.2 วิธีการสกัดและการทดสอบการชะละลาย (Extraction procedure and leaching test)	27
2.8.3 มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย	28
2.8.4 มาตรฐานในการทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์	29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	34
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	34
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	34
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	34
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	35
3.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย	35
3.2.2 กระบวนการล้าง (Washing Process) ถ้ำลอย	37
3.2.3 การนำถ้ำลอยมาเป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์	39
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	40
3.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.2 กระบวนการล้าง (Washing Process) ถ้ำลอย	41
3.3.3 การนำถ้ำลอยมาเป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	46
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย	46
4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy	46
4.1.2 ผลการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก	48
4.2 ผลการศึกษาจำนวนรอบและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างถ้ำลอย	49
4.2.1 ผลการศึกษาจำนวนรอบในการล้างถ้ำลอย	49
4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างถ้ำลอย	50
4.3 การนำถ้ำลอยมาเป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์	52
4.3.1 ผลของค่าความหนาแน่น	52
4.3.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด	53
4.3.3 ผลการทดสอบการชะละลาย	54
4.3.4 การนำไปใช้	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ข้อมูลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย	62
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการศึกษาจำนวนรอบและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างถ้ำลอย	66
ภาคผนวก ค ข้อมูลแสดงรายละเอียดสมบัติของก้อนมอร์ตาร์	69
ภาคผนวก ง หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุ ที่ไม่ใช่แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)	73
ภาคผนวก จ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือ วัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. ๒๕๔๘ (ตอนพิเศษ) ลักษณะและคุณสมบัติ ของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากการเผาขยะชุมชนที่วิเคราะห์ โดย X-ray fluorescence spectroscopy	8
ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเถ้าลอย bag filter precipitator (BP) และ Scrubber residue (RA)	9
ตารางที่ 2.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกชะล้างได้จากเถ้าลอย เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต	11
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	18
ตารางที่ 2.5 สารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	18
ตารางที่ 2.6 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตาม มอก. 15-2532	19
ตารางที่ 2.7 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักสำเร็จ 80%	23
ตารางที่ 2.8 ปริมาณสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัดตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	30
ตารางที่ 4.1 ผลขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	47
ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน	48
ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณน้ำล้างที่ใช้ในการล้างเถ้าลอย	50
ตารางที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม	54
ตารางที่ 4.5 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่เถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ และไม่ล้างน้ำเป็นส่วนผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ	55
ตารางที่ 4.6 แสดงความต้านแรงอัดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ ก-1 องค์ประกอบทางเคมีของเถาจากเตาเผาขยะชุมชน (%)	62
ตารางที่ ก-2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถาลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ (Washing Process) (%)	63
ตารางที่ ก-3 ปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลายในเถาลอยและเถาลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ (Washing Process)	64
ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาจำนวนรอบในการล้างเถาลอย	66
ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำในการล้างเถาลอย	67
ตารางที่ ค-1 ข้อมูลความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถาลอยไม่ล้างน้ำเป็นส่วนผสม	69
ตารางที่ ค-2 ข้อมูลความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถาลอยผ่านการล้างน้ำเป็นส่วนผสม	70
ตารางที่ ค-3 ปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลายของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถาลอยเป็นส่วนผสมที่อัตราส่วนต่างๆ	71
ตารางที่ ค-4 ปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลายของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถาลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ (Washing Process) เป็นส่วนผสมที่อัตราส่วนต่างๆ	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบเตาเผามูลฝอย	4
รูปที่ 2.2 การเผาไหม้ ของระบบเตาเผา	6
รูปที่ 2.3 สัดส่วนผสมสารประกอบหลัก CaO, SiO ₂ และ Al ₂ O ₃ ของปูนซีเมนต์	9
รูปที่ 2.4 สัดส่วนผสมสารประกอบ CaO - SiO ₂ - Al ₂ O ₃ ของเถ้าลอย (FA)	10
รูปที่ 2.5 สัดส่วนผสมสารประกอบ CaO - SiO ₂ - Al ₂ O ₃ ของ reaction product (RA)	10
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของคัลเซียมซิลิเกต	21
รูปที่ 2.7 ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite	22
รูปที่ 2.8 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C ₃ A	22
รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์	24
รูปที่ 2.10 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีต	26
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบด้วยวิธี X-ray fluorescenc spectroscopy	35
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบการชะละลาย	36
รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาจำนวนรอบในการล้างเถ้าลอย	37
รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเถ้าลอย	38
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการนำเถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์	39
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
รูปที่ 4.1 ผลของจำนวนรอบในการล้างเถ้าลอยต่อปริมาณเกลือที่ละลาย	49
รูปที่ 4.2 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy	51
รูปที่ 4.3 ผลของความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาร์ที่อัตราส่วนต่างๆจากการแทนที่ของเถ้าลอย	52
รูปที่ 4.4 ผลของกำลังรับแรงอัด	53
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่ว กับค่าดูดกลืนแสง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง

รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเข้มข้นของแคดเมียม กับค่าคลอกรีนแสง

หน้า

65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร โดยที่ของเสียหรือขยะมูลฝอยส่วนมากเกิดมาจากการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ในแต่ละชุมชน จากปัญหาดังกล่าวนี้ก็จะส่งผลให้หน่วยงานหรือเทศบาลต้องหาทางในการจัดการหรือแก้ไขปัญหาขยะชุมชน

ในปัจจุบันการกำจัดขยะชุมชนมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ การฝังกลบ การเผาทำลายด้วยความร้อน และการหมักทำปุ๋ย ซึ่งวิธีที่สามารถลดปริมาณขยะได้มากที่สุด คือ การเผา โดยสามารถลดปริมาณขยะได้ถึง 90 % เทคโนโลยี Incineration คือการเผาขยะในเตาเผาที่ได้ออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้เข้ากับคุณสมบัติของขยะชุมชน คือ ขยะมีความชื้นสูง และมีค่าความร้อนไม่แน่นอน (แปรผันตามฤดูกาล) ในประเทศไทยมีการติดตั้งใช้งานแล้วคือ เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต (<http://www.mea.or.th/internet/hdd/vitcha.pdf>) ซึ่งมีความสามารถในการเผาขยะมูลฝอยได้ถึง 250 ตันต่อวัน ทำการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ 800 – 900 องศาเซลเซียส และหลังจากการเผาผลที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ เถ้าในปริมาณมาก โดยเถ้าที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เถ้าหนัก (Bottom ash) จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะออกมาจากระบบเผาไหม้และจะถูกระบายลงสู่บ่อพักเถ้า และ เถ้าลอย (Fly ash) จะมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยจะถูกดักไว้ด้วยอุปกรณ์กรองฝุ่นชนิดถุง (Bag filter) (<http://www.phuketcity.go.th>)

ในเถ้าลอย (Fly ash) นั้นจะพบว่ามีสารปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งถือว่าเป็นของเสียอันตรายประเภทหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดอย่างถูกวิธี และหากมีการนำเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ไปกำจัดในขั้นสุดท้ายโดยวิธีการฝังกลบโดยปราศจากการบำบัดขั้นต้น หรือการทำลายฤทธิ์ของสารพิษก่อน อาจจะทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมตามมาได้ ตัวอย่างเช่น การปนเปื้อนของโลหะหนักในรูปน้ำชะลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่ใช้แหล่งน้ำในการอุปโภคบริโภค ตลอดจนทำให้เกิดมลพิษทางน้ำและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศตามมา ซึ่งในที่นี้ได้ใช้วิธีบำบัดเถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต ด้วยวิธีการทำลายฤทธิ์โลหะหนักให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ (Cement-Bused Stabilization Solidification) จากการศึกษารายงานวิจัยพบว่า เถ้าลอยที่ประกอบด้วยแร่ธาตุหลักๆ คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิกาออกไซด์ (SiO₂), อลูมินาออกไซด์ (Al₂O₃) และเหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) และมีคลอไรด์ ในปริมาณมาก (Jill, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในเถ้าลอยมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่าข้อกำหนดตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) (ปราโมทย์, 2546) จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงคิดว่าถ้ำลอยน่าจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ หากผ่านกระบวนการบำบัดสารพิษตกค้างตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำถ้ำลอยมาเป็นส่วนผสมในการทำก้อนคอนกรีต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบและปริมาณโลหะหนักของถ้ำลอยจากเตาเผาขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการล้าง (Washing Process) และไม่ผ่านกระบวนการล้าง จากนั้นนำถ้ำลอยดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์ จะได้ก้อนคอนกรีต ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก้อนคอนกรีตทั้งที่มีถ้ำลอยที่ล้างน้ำ และไม่ล้างน้ำเป็นส่วนผสม โดยคุณสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และทดสอบการชะละลาย เพื่อหาโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) ตามหลักเกณฑ์การกำจัดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ. 2548 (ตอนพิเศษ)

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการล้างเกลือออกจากถ้ำลอยด้วยกระบวนการล้าง (Washing Process)
2. ศึกษาองค์ประกอบและปริมาณ โลหะหนักของถ้ำลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ และไม่ผ่านการล้างน้ำ
3. ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก้อนคอนกรีตที่มีถ้ำลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ และไม่ผ่านการล้าง เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการทำก้อนแข็ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการทดสอบโดยใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต ทั้งหมด 3.0 กิโลกรัม โดยช่วงระยะเวลาที่เก็บคือ เดือน กันยายน - เดือนตุลาคม 2550
2. ทำการล้างเกลือจากถ้ำลอยด้วยน้ำกลั่น โดยแปรค่าปริมาณน้ำที่ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร ต่อถ้ำลอย 5 กรัม ทำการเขย่าเป็นเวลา 15 นาที และ วิเคราะห์หาค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS)
3. ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของถ้ำลอยด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRFs) และทำการหาปริมาณโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) โดยทำการวิเคราะห์น้ำชะด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยทดแทนซีเมนต์บางส่วน โดยแปรค่าอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ที่ 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 20:80 ซึ่งเถ้าลอยที่ใช้เป็นเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำและเถ้าลอยที่ไม่ผ่านการล้าง
5. ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก้อนคอนกรีต โดยคุณสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่ารับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109 และทดสอบการชะตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมตอนพิเศษ(พ.ศ. 2548)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงองค์ประกอบและปริมาณโลหะหนักของเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน
2. ทราบถึงปริมาณเกลือที่ละลาย องค์ประกอบ และปริมาณโลหะหนักของเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ
3. สามารถทราบความแตกต่างของของคุณสมบัติก้อนคอนกรีตที่มีเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำและเถ้าลอยที่ไม่ผ่านการล้างน้ำ เป็นส่วนผสม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและ การนำก้อนคอนกรีตไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

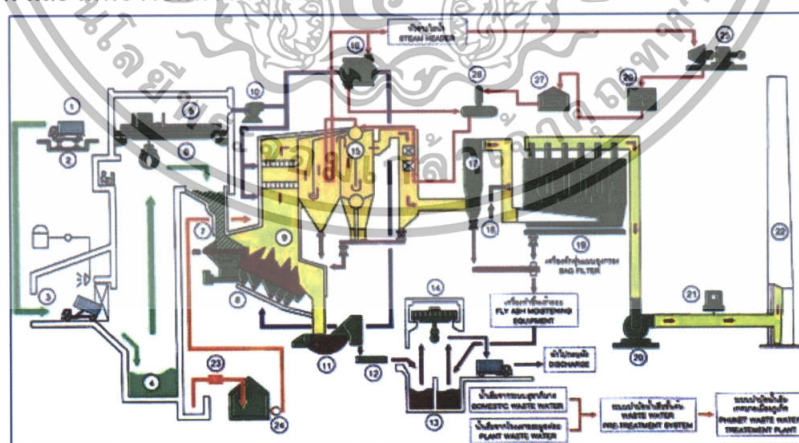
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต

เตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ตตั้งอยู่ที่ หมู่ 1 ถนนรัตนโกสินทร์ 200 ปี ตำบล วิจิต อำเภอเมือง จังหวัด ภูเก็ต 83000 ประเทศไทย โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 43,000 ตารางเมตร มีลักษณะอาคารเตาเผาเป็นอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 6 ชั้น ขนาด 42 x 84 ม. สูง 37 ม. ภายในประกอบด้วยพื้นที่ใช้สอย เช่น พื้นที่สำหรับรถทำการถ่ายเทมูลฝอย บ่อรับมูลฝอย เตาเผา หม้อไอน้ำ เทอร์ไบน์ผลิตกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์กำจัดฝุ่น/มลสาร อุปกรณ์บำบัดน้ำเสีย ห้องเก็บ/รวบรวมเถ้า ห้องเครื่องจักรกล และไฟฟ้า ห้องทำงาน/ควบคุม ห้องทดสอบ/วิเคราะห์ เป็นต้น มีปล่องควันซึ่งเป็นท่อเหล็ก คุ้มด้วยปลอกคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 59 เมตร ก่อสร้างเสร็จ เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2541

2.1.1. ระบบเตาเผามูลฝอย

เตาเผา 1 ชุด อัตราการเผามูลฝอย 250 ตัน/วัน เป็นแบบตะกรับเคลื่อนตัวได้ (Moving Grate) ชนิดทำงาน ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ของ MITSUBISHI MARTIN อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ระหว่าง 800-900 องศาเซลเซียส ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ มีเวลาอยู่ในห้องเผาไหม้ ไม่น้อยกว่า 2 วินาที การเคลื่อนไหวของตะกรับ เพื่อให้การเผาไหม้ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ควบคุมการเผาไหม้ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยจะเป็นระบบอัตโนมัติ จากห้องควบคุมกลาง ระบบของห้องควบคุมกลางนั้น ง่ายต่อการทำงาน และไม่ต้องใช้คนจำนวนมาก



รูปที่ 2.1 ระบบเตาเผามูลฝอย

(ที่มา http://www.phuketcity.go.th/html/incinerator/pm_inc00.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2. คุณลักษณะเฉพาะของโรงเผาขยะมูลฝอย

- ลักษณะสมบัติของมูลฝอยที่สามารถนำเผาได้

- ◆ เป็นมูลฝอยที่สามารถติดไฟได้และมีขนาดความยาวด้านใดด้านหนึ่งไม่เกิน 50 เซนติเมตร

- ลักษณะสมบัติของมูลฝอยที่ห้ามนำเข้า

- ◆ มูลฝอยที่เป็นวัสดุที่ระเบิดได้ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อะไหล่มอเตอร์ไซค์ ยางรถยนต์ทุกชนิดและของเสียอันตรายจากโรงพยาบาล

- อุปกรณ์ที่ใช้ได้รับการออกแบบที่ผ่านการพิสูจน์แล้วว่ามีความสามารถสูงในด้าน: ป้องกันมลภาวะ

- ◆ โรงเผาขยะมูลฝอย ได้รับการติดตั้งระบบควบคุมมลพิษทางอากาศแบบแห่งประสิทธิภาพสูง เครื่องดักฝุ่นและก๊าซอันตราย (ซัลเฟอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์)
- ◆ น้ำเสียจากโรงเผาขยะมูลฝอย ได้รับการบำบัดขั้นต้นด้วยระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานก่อนส่งไปยังโรงบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองภูเก็ต
- ◆ ระดับเสียงได้รับการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ
- ◆ ปริมาณของ HCl, SO_x และ NO_x ในปล่องควันได้รับการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง

- จัดปัญหากลิ่นเหม็น

- ◆ โรงเผาขยะมูลฝอย ได้ถูกออกแบบให้มีการป้องกัน การแพร่กระจายของกลิ่นออกสู่ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- การดำเนินการแบบอัตโนมัติ

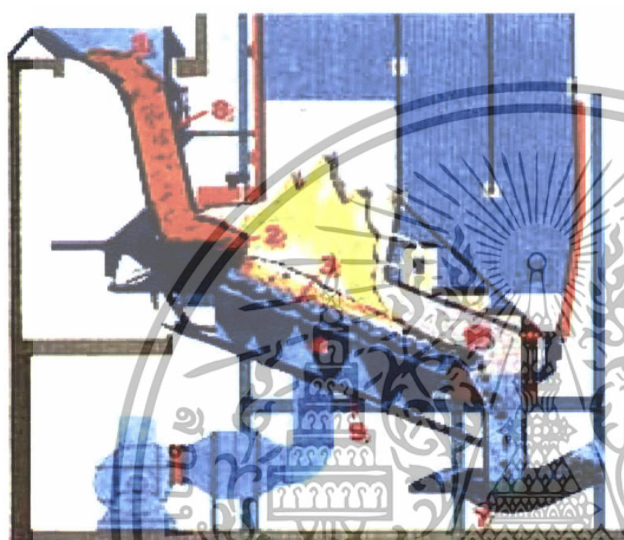
- ◆ การดำเนินการของโรงเผาขยะมูลฝอย ถูกควบคุมและตรวจสอบโดยระบบคอมพิวเตอร์จากห้องควบคุมกลาง

2.1.3. กระบวนการเผาไหม้ ของระบบเตาเผา

1. มูลฝอยที่เก็บรวบรวมมาจะถูกนำมาชั่งน้ำหนัก และพักไว้ในบ่อพักมูลฝอยชั่วคราว เคนยกมูลฝอย จะนำมูลฝอยไปใส่ในช่องรับมูลฝอยของเตา
2. มูลฝอยจะไหลลงในช่องทางสู่เครื่องป้อนมูลฝอย และแผงเคล้ามูลฝอย เรียกว่าตะกรับ (STOKER)
3. มูลฝอยใหม่ที่เข้าสู่ช่วงแรกของแผงเคล้ามูลฝอย จะถูกผสมกับมูลฝอยที่กำลังเผาไหม้ทำให้แห้ง และติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มูลฝอยที่ถูกไหม้อย่างสม่ำเสมอจะค่อยๆ เคลื่อนที่ลงมาตามแผงเคล้ามูลฝอยสู่จุดต่ำสุด ด้วยการ ขยับขึ้น-ลง ของแผงเคล้ามูลฝอย มูลฝอยที่ติด ไฟแล้วส่วนหนึ่ง จะถูกผลักรับขึ้น ไป ผสมกับมูลฝอยใหม่ ที่เพิ่งเคลื่อนที่ลงมา
5. ชั้นมูลฝอยจะถูกคลุกเคล้าข้างลงเมื่อเลื่อนต่ำลงมา และหลังจาก กระบวนการเผาไหม้ ครั้งสุดท้าย มูลฝอยจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลูกกลิ้งที่ปลายสุดของแผงเคล้า จะส่งถ้ำมูลฝอย ไปยังช่องระบายถ้ำ



- 1 ช่องรับมูลฝอย
- 2 เครื่องป้อนมูลฝอย
- 3 แผงเคล้ามูลฝอย
- 4 ช่องอากาศใต้แผง GRATE
- 5 ปล่องร้อน
- 6 ลูกกลิ้งหินแข็ง
- 7 เครื่องระบายถ้ำ
- 8 ปล่องป้อนมูลฝอย

รูปที่ 2.2 การเผาไหม้ ของระบบเตาเผา

(ที่มา http://www.phuketcity.go.th/html/incinerator/pm_inc00.html)

2.1.4. การจัดการกับถ้ำมูลฝอย

ปกติถ้ำจากเตาเผาที่ขนไปฝังกลบจะเป็นถ้ำร้อน เพราะจะทำให้ไม่เกิดฝุ่น คุณลักษณะคล้าย ๆ กับปูนผสมเสร็จใหม่

ถ้ำที่เกิดจากการกำจัดขยะเตาเผาไหม้มี 2 ประเภท คือ

1. ถ้ำหนัก (Bottom ash) เกิดจากเมื่อเผาขยะแล้ววัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น โลหะ แก้ว เศษอิฐ หิน ดิน จะออกมาข้างล่างเตาเรียกถ้ำหนัก ถ้ำหนักที่ออกจากเตาจะร้อนมาก ในกระบวนการเตาเผาจะมีระบบทำให้เย็น โดยทิ้งลงไปใต้น้ำเย็นก่อนนำออกจากระบบเตา ดังนั้น ถ้ำที่ออกจากเตาจึงมีอุณหภูมิไม่เกินจุดเดือดของน้ำคือ 100 องศาเซลเซียส และถ้ำดังกล่าวทางโรงเตาเผาจะนำไปเก็บไว้ประมาณ 2 วัน เพื่อให้เย็นลงไปอีก แต่บางส่วนของถ้ำที่อยู่ด้านล่างอาจเย็นช้าหรือยังพอร้อนอยู่บ้าง จากนั้นขนไปฝังกลบในหลุมฝังกลบที่เตรียมไว้สำหรับถ้ำหนัก และถ้ำหนักนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์บางอย่างได้ เพราะเป็นถ้ำที่ไม่เป็นอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เถ้าลอย (Fly ash) เป็นเถ้าที่เกิดจากเตาเผาเช่นกัน ซึ่งจะประกอบด้วย

1. ขยะที่ถูกเผาจะมีขนาดที่เล็กลงมาก จนถูกลมพัดพาออกจากเตาไปตามท่อแล้ว ถูกกรองออกโดยถุงกรอง (Bag Filter) ก่อนปล่อยก๊าซออกจากปล่องควัน
2. เถ้าเบาอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการที่ระบบเตาเผา มีการกำจัดก๊าซจากการเผา (ซึ่งการเผาทั้งทั่ว ๆ ไป ไม่สามารถทำได้) โดยการพ่นสารเคมี ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เข้าไปจับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ 2 ตัว (SO_x , NO_x) ออกจากก๊าซ ซึ่งสารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นฝุ่นเล็ก ๆ ก็จะถูกจับแยกจากก๊าซ โดยถุงกรองรวมอยู่กับเถ้า

เถ้าเบาทั้งหมดเมื่อถุงกรอง (Bag Filter) แยกออกมาจะนำมาเก็บไว้ในบ่อพักแยกต่างหาก จากเถ้าหนัก มีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายปูนซีเมนต์ ในกระบวนการก่อนนำไปฝังกลบจะมีการฉีดน้ำทำให้จับตัวกันเป็นก้อนเหลว ๆ ในหลุมฝังกลบเถ้าเบาจะมีวัสดุรองพื้น ซึ่งปูด้วยแผ่นพลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) เพื่อป้องกันน้ำชะล้างรั่วซึม ออกจากหลุมฝังกลบดังกล่าว (http://www.phuketcity.go.th/html/incinerator/pm_inc00.html)

2.2 เถ้าลอย (Fly ash)

2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอย

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเถ้าลอย (Fly ash) จากการเผาขยะชุมชนโดยใช้ X-ray fluorescence spectroscopy พบว่าองค์ประกอบของแร่ธาตุหลักๆ มีดังนี้ คือแคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Pan, 2007)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากการเผาขยะชุมชนที่วิเคราะห์โดย X-ray fluorescence spectroscopy (% โคนน้ำหนัก)

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ				
	MSWIFA ₁	MSWIFA ₂	MSWIFA ₃	MSWIFA ₄	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
Na ₂ O	4.16	5.28	6.59	3.70	0.14
MgO	3.16	2.64	1.77	1.30	1.50
Al ₂ O ₃	0.42	8.18	2.32	2.08	4.58
SiO ₂	13.6	23.64	4.07	5.88	21.33
P ₂ O ₅	1.72	2.49	1.63	0.95	0.06
SO ₃	6.27	13.99	6.23	4.15	4.07
Cl	9.73	6.40	23.94	27.8	0.00
K ₂ O	3.85	5.60	6.90	5.27	0.39
CaO	45.42	22.78	34.83	34.26	62.05
TiO ₂	3.12	1.36	0.59	0.39	0.19
Fe ₂ O ₃	3.83	4.83	0.82	0.68	3.16
CuO	0.25	0.14	0.05	0.05	0.00
ZnO	2.32	0.93	0.18	0.58	0.00
PbO	0.57	0.55	0.12	0.15	0.00

หมายเหตุ: MSWIFA₁ คือ เถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน (Pan, 2007)

MSWIFA₂ คือ เถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน (Wan, 2007)

MSWIFA₃ คือ เถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต (Inthasaro, 2002)

MSWIFA₄ คือ เถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต (Sancharoen, 2003)

ข้อมูลองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คัดแปลงจาก (Sancharoen, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติเหมือนซีเมนต์ (Cementlike) ของเถ้าลอย

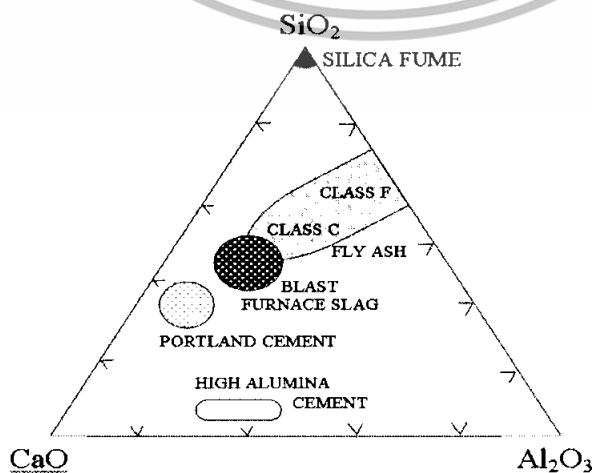
Wu-jang Huang และ Suey-Chun Chu ได้ศึกษาสมบัติเหมือนซีเมนต์ (Cementlike) ของเถ้าจากเตาเผาขยะเทศบาล bag filter precipitator (BP) ซึ่งเรียกว่า เถ้าลอย (FA) และ Scrubber residue เรียกว่า reaction product (RA) ซึ่งมีองค์ประกอบหลายชนิดเหมือนองค์ประกอบที่มีในซีเมนต์ พบว่ามีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งศึกษา stabilization treatment

Huang และ Chu (2003) ได้เก็บเถ้าลอยและวิเคราะห์องค์ประกอบผลการทดลองดังตารางที่

2.2

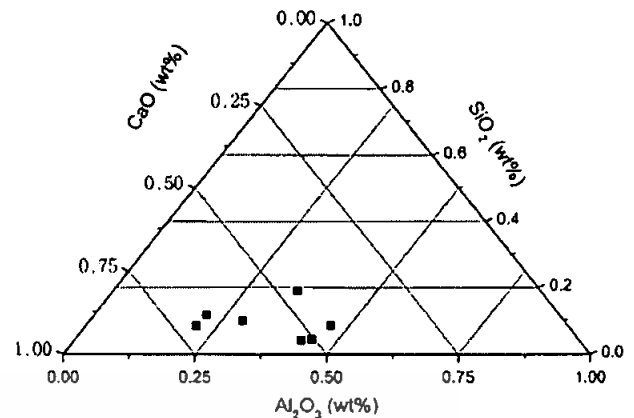
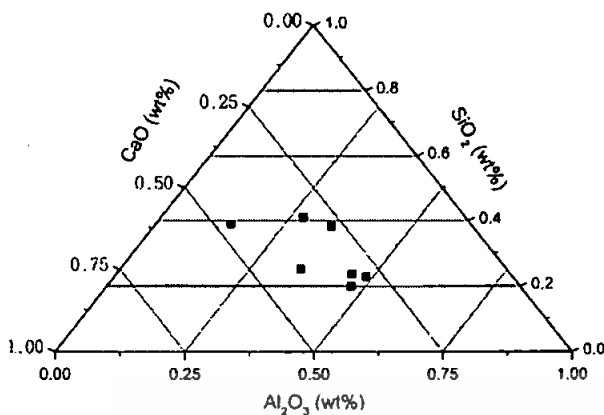
ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเถ้าลอย bag filter precipitator (BP) และ Scrubber residue (RA)

Plant	SiO ₂ (wt%)		Al ₂ O ₃ (wt%)		CaO (wt%)		CaO/SiO ₂ (wt%)		CaO/Al ₂ O ₃ (wt%)	
	(BP)	(RA)	(BP)	(RA)	(BP)	(RA)	(BP)	(RA)	(BP)	(RA)
1	9.26	32.20	26.33	12.0	55.21	38.45	5.96	1.19	0.35	3.20
2	9.12	20.60	16.15	39.31	50.75	26.71	5.56	1.30	0.56	0.68
3	17.57	19.60	32.30	46.31	42.36	32.20	2.41	1.64	0.54	0.69
4	3.12	36.48	42.82	32.63	41.39	26.25	13.27	0.72	0.19	0.80
5	3.76	21.08	37.48	44.71	45.65	26.14	12.14	1.24	0.10	0.58
6	6.80	24.28	16.40	33.59	55.20	38.28	8.12	1.58	0.41	1.14
7	3.91	36.68	37.93	24.61	42.60	28.16	10.90	0.77	0.10	1.14
cement	17-25		3-8		60-67		-		-	



รูปที่ 2.3 สัดส่วนผสมสารประกอบหลัก CaO, SiO₂ และ Al₂O₃ ของปูนซีเมนต์ (Glasser, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สัดส่วนผสมสารประกอบ CaO - SiO₂ - Al₂O₃ ของถ้ำลอย (FA) รูปที่ 2.5 สัดส่วนผสมสารประกอบ CaO - SiO₂ - Al₂O₃ ของ reaction product (RA)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรกระจายองค์ประกอบหลักในซีเมนต์เป็นดังรูปที่ 2.3 และถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลเมืององค์ประกอบหลักเหมือนองค์ประกอบของซีเมนต์รูปที่ 2.4 และ 2.5 ดังนั้นจึงเหมาะสมต่อการทำเสถียรด้วยซีเมนต์ นอกจากนี้ Huang และ Chu (2003) ยังศึกษาพบว่าโลหะหนักที่ปนอยู่ในถ้ำลอยสามารถถูกขจัดได้ดีเมื่อผ่านกระบวนการ S/S ด้วยซีเมนต์ จากปริมาณโลหะในน้ำชะที่มีความเข้มข้นต่ำ

จากการศึกษารายงานวิจัย ของ Sancharoen (2003), Inthasaro (2002) และปราโมทย์ (2546) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต ด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ได้ผลสรุปว่า ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.3 และนอกจากนี้ยังพบว่าโลหะหนักที่พบในปริมาณมากคือ ตะกั่ว (Pb) ดังนั้นจึงควรทำลาบฤทธิ์เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ปราโมทย์, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกระงับได้จากถ้ำลอยเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต

ธาตุ	ค่ามาตรฐาน (มก./ล)	ปริมาณความเข้มข้น (มก./ล)		
		MSWIFA ₁	MSWIFA ₂	MSWIFA ₃
Ag	5.00	<0.007	<0.007	<0.007
As	5.00	<0.100	<0.007	<0.05
Ba	100.00	0.965	0.393	0.957
Cd	1.00	<0.005	<0.004	0.009
Cr	5.00	0.062	0.060	0.068
Hg	2.00	<0.005	<0.005	<0.03
Pb	5.00	3.344	<0.050	2.94
Se	1.00	<0.100	<0.080	<0.09

หมายเหตุ: MSWIFA₁ คือ ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต (Sancharoen, 2003)

MSWIFA₂ คือ ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต (Inthasaro, 2002)

MSWIFA₃ คือ ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต (ปราโมทย์, 2546)

2.3 โลหะหนัก

ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาถึงโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ดังนั้นจึงขออธิบายถึงโลหะหนักดังกล่าวไว้ข้างต้นเท่านั้น

2.3.1 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วมีลักษณะเป็น ของแข็ง ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 207.19 มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวเป็น 1740 และ 327.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 11.34

ตะกั่วสามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ ดินระเบิด นิวเคลียร์ ใช้เป็นฉนวนกันรังสีเอ็กซ์ - เรย์ ใช้เคลือบสายเคเบิลไฟฟ้า ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับคมนาคม ใช้ทำหลังคา ใช้เป็นวัสดุในการควบคุมเสียง ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า รถยนต์ ใช้ในการเชื่อมด้วยทองเหลือง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

- การหายใจเข้าไป จะทำให้ปวดศีรษะ เมื่อยล้า คลื่นไส้ ปวดท้อง ปวดข้อต่อ อาเจียน ท้องผูก นอนไม่หลับ อุจจาระเป็นเลือด การสะสมของตะกั่วทำให้เป็น โรคแพ้พิษตะกั่ว
- การสัมผัสทางผิวหนัง สารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ จะทำให้เกิดการระคายเคืองและสามารถดูดซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายน้อยมาก
- การกลืนหรือกินเข้าไป ทำให้ปวดศีรษะ เมื่อยล้า คลื่นไส้ เป็นตะคริวในช่องท้องและข้อต่อ มีรสชาติคล้ายโลหะในปาก อาเจียน ท้องผูก อุจจาระเป็นเลือด การสะสมของตะกั่วทำให้เป็น โรคแพ้พิษตะกั่วได้ (<http://msds.pcd.go.th>)

2.3.2 แคดเมียม (Cd)

คือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 48 และสัญลักษณ์คือ Cd แคดเมียมเป็น โลหะทรานซิชันสีขาว-ฟ้า เป็นธาตุมีพิษ ในธรรมชาติพบอยู่ในแร่สังกะสี แคดเมียมใช้ประโยชน์ในการทำแบตเตอรี่ แคดเมียมส่วนใหญ่ (3 ใน 4 ส่วน) ใช้สำหรับผลิตถ่านไฟฟ้า (โดยเฉพาะ ถ่าน Ni-Cd) และส่วนที่เหลือ (1 ใน 4 ส่วน) ส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำสีผง สารเคลือบ และโลหะชุบ และเป็นสารทำให้พลาสติกมีความเสถียร อื่น ๆ

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

- การรับสัมผัสแคดเมียมโดยทางหายใจ มีผลทำให้เกิดอาการเจ็บได้อก เหนื่อย อ่อนเพลีย เกิดภาวะหัวใจล้มเหลวได้
- การรับสัมผัสโดยการกิน ถ้ามีการปนเปื้อนในน้ำดื่มที่มีปริมาณแคดเมียมมากกว่า 15 ไมโครกรัมเข้าไป หรือกินอาหารที่มีแคดเมียม 30 ไมโครกรัมเข้าไป จะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดินรุนแรง และหมดสติ ถ้าได้รับแคดเมียมในปริมาณ 350 มิลลิกรัม - 1 กรัม อาจจะทำให้เกิดอาการช็อค อาจเสียชีวิตภายใน 24 ชั่วโมง หรือภายใน 1-2 สัปดาห์ (<http://advisor.anamai.moph.go.th/283/28305.ht>)

2.4 การปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization and solidification)

การปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง เป็นกระบวนการบำบัดทางกายภาพ – เคมีซึ่งเป็นการบำบัดขั้นกลาง เพื่อเตรียมของเสียให้มีสภาพเหมาะสมที่จะนำไปกำจัด (disposal) ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การฝังกลบอย่างปลอดภัย ตัวอย่างของเสียที่จะนำมาทำให้คงตัวได้แก่ กากตะกอนที่มีโลหะหนัก เศษชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แก้วที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาเผา ของเสียเหล่านี้ถึงแม้จะผ่านกระบวนการบำบัดต่างๆ จนเป็นอันตรายลดลงแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอในการที่จะนำไปทำการฝังกลบซึ่งจะต้องถูกกักเก็บเป็นเวลานานๆ ได้ ของเสียเหล่านี้อาจถูกฝนชะล้างซึมลงสู่ใต้ดินทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ (มัลลิกา , 2549)

2.4.1 หลักการ (เกรียงศักดิ์, 2546)

ในการกำจัดของเสียอันตรายด้วยการฝังกลบบนพื้นที่หนึ่ง อาจส่งผลกระทบต่อน้ำใต้ดินได้ แต่การนำวิธีปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งจะช่วยป้องกันการเกิดชะของเสีย ซึ่งต่อไปนี่คือข้อดีของการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง

- 1) ช่วยป้องกันการละลายของสารปนเปื้อนออกมา
- 2) ช่วยลดขนาดพื้นที่ผิวของของเสีย
- 3) ช่วยเสริมสภาพของของเสียด้านกายภาพให้อยู่ในสภาพดี มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม

- การปรับเสถียร (Stabilization)

การปรับเสถียรเป็นกระบวนการที่ใส่วัสดุหรือสารเพิ่มเติมที่ใช้ลดขนาดอันตรายลงของของเสีย ทำให้ลดอัตราการเคลื่อนที่ออกของสารปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม และช่วยลดระดับความเป็นพิษด้วย เปรียบเสมือนเป็นกระบวนการบำบัดของเสีย

- การทำก้อนแข็ง (Solidification)

การทำก้อนแข็งเป็นกระบวนการที่ใส่สารที่ก่อให้เกิดความแข็งแรงโดยทำการใส่วัสดุก่อให้แข็งตัวผสมกับของเสียอันตราย ทำให้ได้ของเสียที่สามารถทำให้มีความแข็งแรง รับแรงกดได้มากขึ้นและสามารถช่วยลดความสามารถของน้ำซึมผ่านได้ วัสดุที่ช่วยก่อให้แข็งตัวได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ส่งผลให้ของเสียอันตรายมีเสถียรภาพดีขึ้น โดยความแข็งแรงจะใช้ตัวชี้วัดทางวิศวกรรม เช่น ความแข็งแรง (strength) การรับแรงอัด (compressibility)

วัตถุประสงค์ของการทำให้คงตัวคือเพื่อลดความเป็นพิษของสาร ลดอัตราการเคลื่อนตัวของสารอันตราย (migration) ลดอัตราการละลาย (solubility) การชะล้างสารอันตราย (leaching) ออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งเพิ่มความแข็งแรง การรับแรงอัด และลดการซึมผ่านของแข็งที่จะนำไปฝังกลบนอกจากนั้นการทำให้คงตัวยังเป็นการลดพื้นที่ผิวที่ของเสียสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม เป็นการลดโอกาสที่ของเสียจะกระจายสู่สิ่งแวดล้อม หลักการทำให้คงตัวคือการเติมสารที่สามารถเกาะยึดกับของเสีย ทำให้เกิดโครงสร้างที่ของเสียถูกจับยึดไว้ เป็นผลให้ของเสียนั้นมีการละลาย การถูกชะล้าง และการเคลื่อนตัวลดลง

2.4.2 กลไกของการทำให้คงตัว (มัลลิกา, 2549)

ในการทำของเสียให้คงตัว จะต้องเกิดกลไกต่างๆ เหล่านี้อย่างน้อย 1 กลไกหรือมากกว่า กลไกต่าง ๆ ได้แก่ Macroencapsulation, Microencapsulation, การดูดซึม (Absorption), การดูดซับ (Adsorption), การตกตะกอน (Precipitation) และ การลดความเป็นพิษ (Detoxification) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Macroencapsulation

Macroencapsulation เป็นกลไกที่ของเสียถูกจับไว้ในช่องว่างเล็กๆ ภายในก้อนวัสดุทำให้คงตัวกักขังลักษณะนี้เป็นการจับทางกายภาพเท่านั้น ดังนั้นถ้าเวลาผ่านไปและมีการแตกหักของวัสดุก็จะทำให้ของเสียอันตรายมีการเคลื่อนตัวออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ ขนาดของของเสียที่ถูกจับไว้ในช่องว่างขึ้นกับพลังงานที่ใช้ในการกวนผสมของเสียและวัสดุทำให้คงตัว ตัวอย่างการทำให้ของเสียปนเปื้อนน้ำมันคงตัวโดยการเติมเถ้าลอย ปูนขาว และซีเมนต์

2. Microencapsulation

Microencapsulation เป็นกลไกที่ของเสียถูกจับไว้ในโครงสร้างผลึกของวัสดุที่ทำให้คงตัวด้วยแรงทางกายภาพ (ไม่เกิดแรงทางเคมี) เนื่องจากของเสียถูกจับไว้ในโครงสร้างผลึก ดังนั้นถึงแม้เกิดการแตกหักของก้อนวัสดุของเสียที่ถูกจับไว้ก็จะเกิดการเคลื่อนตัวออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้น้อยกว่ากรณีแรกอย่างไรก็ตามถ้าเกิดการแตกหักเป็นก้อนเล็กลงเท่าใดของเสียจะเกิดการเคลื่อนตัวออกมาได้มากขึ้นเท่านั้น

3. การดูดซึม (Absorption)

ดูดซึมเป็นการใช้วัสดุที่เป็นของแข็งเป็นตัวดูดซึมของเหลวในของเสีย (ที่มีของเหลวเป็นส่วนประกอบ) เพื่อปรับสภาพของเสียให้อยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งมากขึ้น ตัวอย่างวัสดุดูดซึม ได้แก่ ดิน, เถ้าลอย, ฝุ่นจากเตาเผาซีเมนต์, ฝุ่นปูนขาว, ซิเลียส, ฟางข้าว, และวัสดุ clay เช่น bentonite, kaolinite, vermiculite และ zeolite

4. การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกลไกที่ของเสียยึดเกาะกับตัวดูดซับที่พื้นด้วยแรงทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical interaction) เกิดการยึดเกาะด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ การเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีนี้ทำให้ของเสียมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่าเกิดเฉพาะแรงทางกายภาพ จึงมีความคงทนมากกว่ากรณี Macroencapsulation และ Microencapsulation ตัวอย่างการดูดซับ ได้แก่ การทำให้ของเสียอินทรีย์คงตัวโดยการดูดซับด้วย clay ปรับสภาพ (Organically modified clay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การตกตะกอน (Precipitation)

การตกตะกอนมักเกิดกับของเสียนินทรีย์โดยเฉพาะโลหะ การตกตะกอนอาจอยู่ในรูปเกลือ hydroxides, sulfides, silicates, carbonates และ phosphates ตัวอย่างเช่นการทำให้ตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์คงตัวด้วยการเติมสารประกอบคาร์บอเนต เนื่องจากโลหะคาร์บอเนตมีการละลายน้ำได้ต่ำกว่าไฮดรอกไซด์ อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องระวังคือโลหะคาร์บอเนตที่มีการละลายน้ำที่ดีที่ pH ต่ำ

6. การลดความเป็นพิษ (Detoxification)

เป็นการเปลี่ยนรูปของเสียให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษต่ำลงหรือไม่เป็นพิษ

2.4.3 เทคโนโลยีการทำให้คงตัวและเป็นก้อนแข็ง

สารที่เติมเพื่อช่วยในการคงตัวและเป็นก้อนแข็ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว (lime) อีพอกซี (epoxy) เรซิน โพลีเมอร์ และพลาสติก วัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและความเหมาะสมสำหรับของเสียต่างชนิดกัน ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการคัดเลือกสาร ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในของเสีย ผลของสารปนเปื้อนต่างๆ ในของเสียที่มีต่อกัน (synergistic effect)

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารช่วยในการคงตัวและเป็นก้อนแข็งในการวิจัย

2.4.3.1 ปูนซีเมนต์ (พรเทพ และคณะ, 2546)

ปูนซีเมนต์ (Cement) หมายถึง วัสดุยึดเกาะที่สามารถเกิดพันธะกับชิ้นส่วนหรืออนุภาคของสารที่เป็นของแข็งในสัดส่วนที่เหมาะสม การให้คำจำกัดความนี้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางของวัสดุหลายชนิด แต่วัตถุประสงค์ในเชิงวิศวกรรมและการก่อสร้าง ต้องการปูนซีเมนต์ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcareous Cement) หรือปูนขาวที่เป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งโดยทั่วไปปูนซีเมนต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ปูนซีเมนต์ที่ไม่สามารถก่อตัวหรือแข็งตัวในน้ำ หรือไม่เสถียรในน้ำเรียกว่า Non-Hydraulic Cement
2. ปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวหรือแข็งตัวในน้ำ และให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งซึ่งเสถียรในน้ำเรียกว่า Hydraulic Cement

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดในการวิจัยนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เรียก ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ดังนั้นปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้ คือ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland cement)

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland cement) คือ วัสดุซีเมนต์ที่ได้มาจากการผสมให้เข้ากันของสารที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต หรือวัสดุปูนขาวทนทานอื่น ๆ พร้อมทั้งสารที่สารดินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียว (Argillaceous) และวัสดุอื่น ๆ เช่น ซิลิกา อลูมินา หรือเหล็กออกไซด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ เป็นไปตามต้องการ จากนั้นทำการเผาจะเกิดปฏิกิริยาเคมี และรวมเป็นสารประกอบ ได้ปูนซีเมนต์ เม็ดหรือปูนเม็ด (Clinker) แล้วจึงลดอุณหภูมิให้เหมาะสม (Clinkering Temperature) โดยการทิ้งไว้ ให้เย็น (Clinker Cooler) ก่อนนำไปบดละเอียด (Grinding) ให้สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน เบอร์ 200 ได้หมด

2.4.3.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) (ประณต, 2548)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมากที่สุดในปัจจุบัน จำแนก ออกได้เป็น 5 ประเภทย่อย ๆ ด้วยกัน คือ

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (type I-normal Portland cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐาน เหมาะสำหรับงานก่อสร้าง ทั่ว ๆ ไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือไปกว่าธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงาน คอนกรีตเสริมเหล็ก อาทิ งานก่อสร้างคานคอนกรีต ทางเท้า ถนน อาคาร สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อ ระบายน้ำและอื่น ๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่เหมาะกับการที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตจากดินหรือน้ำ หรือที่ใช้ในที่ซึ่งความร้อนเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงขีดอันตราย ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ตราช้าง ตราอินทรีเพชร ตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว ตราทิพย์โอ (สีแดง) และตราภูเขา ส่วน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยส่งเข้ามาจากต่างประเทศ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราออกจิก

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (type II modified Portland cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เป็นปูนซีเมนต์ประเภทดัดแปลง เพื่อให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้ ปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะต่ำกว่าและเพิ่มได้ช้ากว่า ประเภทแรกจึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของคอนกรีตในอากาศร้อนได้เป็นอย่างดี ปูนซีเมนต์ ประเภทนี้เหมาะกับการงาน โครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิ ตอหม้อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือ กำแพงกั้นดินในบริเวณที่โดนน้ำเค็มเป็นครั้งคราว ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียว ปัจจุบันหันมาใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 แทน

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (type III high-early strength Portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดา เป็นผล ทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าแบบธรรมดา แต่จะต้องบ่มให้ดี โดยปกติจะสามารถรับแรงได้ เมื่อคอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 1 ถึง 3 วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องทำแข่งกับเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หรือในกรณีที่ต้องการลดหรือรูปแบบเร็วกว่าปกติ นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานที่จำเป็นต้องทำในช่วงอากาศหนาวเย็น เนื่องจากคอนกรีตจะแข็งตัวก่อนที่น้ำซึ่งใช้ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างรับกำลังอัดเร็ว ตราอินทรียี่คำ ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง และตราทีพีไอ (สีดำ)

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (type IV low-heat Portland cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมกับงานซึ่งต้องการควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้าไปอย่างช้า ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานคอนกรีตหลายซึ่งเป็นงานขนาดใหญ่ อาทิ เขื่อนกั้นน้ำซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างใหญ่หลวงกับตัวเขื่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ยังไม่มีการผลิตขึ้นในประเทศไทย แต่มีการคิดแปลงโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผสมกับวัสดุผสมเพิ่มจำพวกเถ้าเชื้อเพลิงบดและตระกรันเตาถลุงบดแทน

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านซัลเฟตสูง (type V sulfate-resistance Portland cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อซัลเฟตได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่าประเภทอื่น ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับการก่อสร้างโครงสร้าง และอาคารที่อยู่ชายทะเล หรือที่อยู่ในทะเล ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างทนซัลเฟตสูง ตราอินทรีฟ้า ตราปลาฉลาม และตราทีพีไอ (สีฟ้า)

2.4.3.3 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ (ปริญญญา และคณะ, 2549)

(1) องค์ประกอบทางเคมี

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะประกอบไปด้วยออกไซด์หลัก 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- ออกไซด์หลัก (major oxides) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกาออกไซด์ (SiO₂) อลูมินาออกไซด์ (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ออกไซด์ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละกว่า 90 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์
- ออกไซด์รอง (minor oxides) ซึ่งได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไลน์ (Na₂O และ K₂O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดรวมอยู่ในรูปของการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการเผา (loss on ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	สัญลักษณ์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก (major oxides)		
CaO	C	60-67
SiO ₂	S	17-25
Al ₂ O ₃	A	3-8
Fe ₂ O ₃	F	0.5-6.0
ออกไซด์รอง (minor oxides)		
MgO	M	0.1-4.0
Na ₂ O	N	0.1-1.8
K ₂ O	K	0.1-1.8
SO ₃	S	0.5-3.0
สารประกอบอื่นๆ	G	0.5-3.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition)	LOI	0.1-3.0
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue)	-	0.20-0.75

ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 อย่างดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	องค์ประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate)	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate)	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate)	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (tetracalcium aluminoferrite)	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตาม มอก. 15-2532 (ปริญญา และคณะ ,2549)

เกณฑ์กำหนดคุณลักษณะ	ประเภท หนึ่ง	ประเภท สอง	ประเภท สาม	ประเภท สี่	ประเภท ห้า
1. ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂) ต่ำสุด ร้อยละ		20.0			
2. อลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃) สูงสุด ร้อยละ		6.0			
3. เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด ร้อยละ		6.0		6.5	
4. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สูงสุด ร้อยละ	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0
5. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃) สูงสุด ร้อยละ					
5.1 เมื่อมี 3CaO.Al ₂ O ₃ ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
5.2 เมื่อมี 3CaO.Al ₂ O ₃ มากกว่าร้อยละ 8	3.5		4.5		
6. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) สูงสุด ร้อยละ	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
7. กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble residue) สูงสุด ร้อยละ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
8. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (3CaO.SiO ₂) ต่ำสุด ร้อยละ				35.0	
9. ไดแคลเซียมซิลิเกต (2CaO.SiO ₂) ต่ำสุด ร้อยละ				40.0	
10. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (3CaO.Al ₂ O ₃) สูงสุด ร้อยละ		8.0	15.0	7.0	5.0 ¹⁾
11. เศษแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกสองเท่าไตรแคลเซียมอลูมิเนต [4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ + 2(3CaO.Al ₂ O ₃)] หรือสารละลายแข็งของ (CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ + 2CaO.Fe ₂ O ₃) แล้วแต่กรณี สูงสุด ร้อยละ					25.0 ¹⁾

หมายเหตุ 1) ไม่กำหนด ในกรณีที่กำหนดการขยายตัวเนื่องจากซิลเฟต

2.4.4 ข้อดีของวิธีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเติมเพื่อช่วยในการคงตัว

- สามารถใช้ได้กับของเสียเกือบทุกประเภท
- สามารถลดการถูกชะล้างของของเสียได้ดี
- การใช้ปูนซีเมนต์เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายทำให้วัสดุและอุปกรณ์มีราคาถูก มีผู้ซึ่งมีความรู้ความชำนาญอยู่มาก
- คุณสมบัติที่เป็นค้างของคอนกรีตสามารถทำให้ของเสียที่เป็นกรดเปลี่ยนสภาพเป็นกลางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ข้อเสียของวิธีการใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเติมเพื่อช่วยในการคงตัว

- กากตะกอนซึ่งจะต้องนำไปทำการฝังกลบมีน้ำหนักและปริมาณมาก
- ถ้าผสมเนื้อคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้องแล้ว ก้อนของเสียที่ได้ อาจเกิดการแตกร้าวทำให้สารอันตรายถูกชะล้างออกมาได้
- ถ้าของเสียปะปนด้วยสารบางชนิด อาทิ สารอินทรีย์ชนิดต่างๆ silt หรือ clay คอนกรีตอาจไม่แข็งตัวหรือแข็งตัวได้ช้า เพราะสารเหล่านี้ขัดขวางกระบวนการ hydration ของซีเมนต์ และคอนกรีตที่ได้ยังมีความแข็งแรงต่ำเนื่องจากไม่เกิดโครงสร้างผลึก (crystalline structure) แต่จะเกิดเป็นรูป amorphous ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย

2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (www.cpac.co.th)

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดใน 2 ลักษณะ คือ

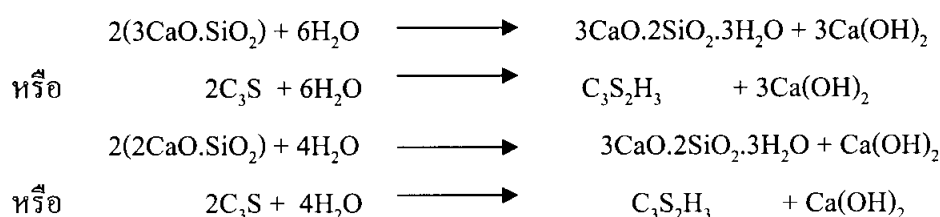
1. อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลายและ Ions จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น
2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย และในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง

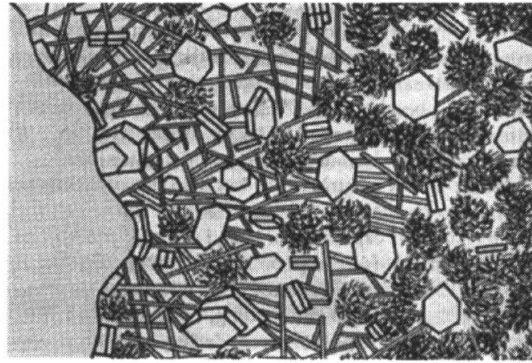
ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท

2.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของอัลซีมซิลิเกต (C₃S, C₂S)

อัลซีมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด Ca(OH)₂ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และสมการการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CSH

Ca(OH)₂

Ettringite

รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของอัลซีมซิลิเกต

ที่มา: <http://www.epac.co.th/techno/conbook/ch1.html>

จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิ และ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในที่นี้จะใช้ตัวย่อ CSH แทน Calcium Silicate Hydrate ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะมี องค์ประกอบและ โครงสร้างเป็นอย่างไร

Ca(OH)₂ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก คือมี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริม ได้อย่างดีมาก

2.5.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรอัลซีมอลูมินेट (C₃A)

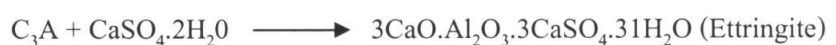
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A จะเกิดทันทีทันใดและก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของ ซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ



หรือ



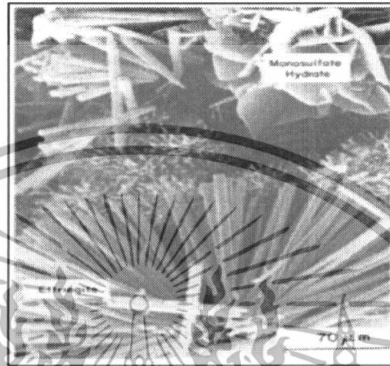
เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม (CaSO₄·2H₂O) เข้าไปในระหว่าง ขบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะปฏิกิริยากับ C₃A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C₃A ดังสมการ



ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C₃A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A และ C₂S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการ

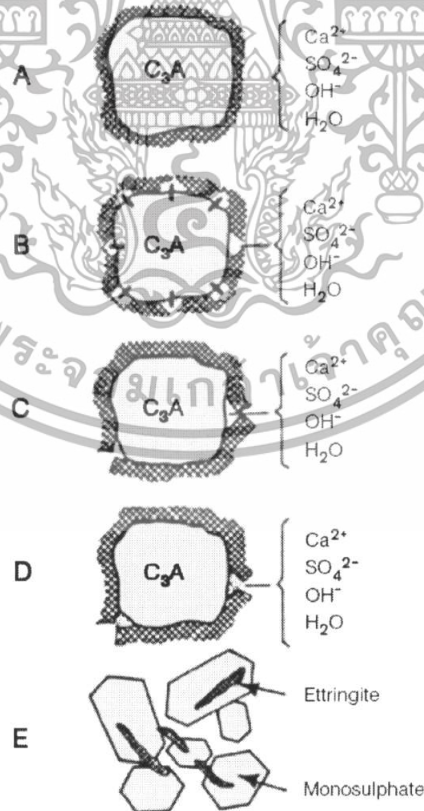
เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₃A กล่าวคือเมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มากจากการเพิ่มปริมาตรค้ำ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แยกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างไรไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite

ที่มา: <http://www.cpac.co.th/techno/conbook/ch1.html>

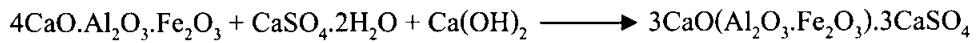


รูปที่ 2.8 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่มา: <http://www.cpac.co.th/techno/conbook/ch1.html>
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C₄AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C₄AF นี้จะเกิดในช่วงต้นโดย C₄AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซัม และ Ca(OH)₂ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ



เวลาที่ใช้เพื่อให้บรรลุ 80 % ของปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักทั้ง 4 แสดงในตารางที่ 2.8 ตารางที่ 2.7 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักสำเร็จ 80%

สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
C ₃ S	10
C ₂ S	100
C ₃ A	6
C ₄ AF	50

2.5.4 การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยรวมของสารประกอบหลักทั้ง 4 นั้นจะเกิด CSH gel และ Ettringite เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์ จะเป็นการหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งอธิบายการเกิด "Dormant Period" อันเป็นช่วงเวลาที่ค่อนข้างจะไม่มีอะไรเกิดขึ้นเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในขณะที่นั้นซีเมนต์เพสต์ยังคงเหลวและมีความสามารถเทได้

เมื่อสิ้นสุดช่วง "Dormant Period" ก็จะเข้าสู่จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) ซึ่งเป็นช่วงที่ CSH ที่เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์แตกตัวออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไป ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะมีขนาดใหญ่กว่า 2 เท่า ของซีเมนต์ก่อนปฏิกิริยา ผลก็คือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ และเกิดผิวสัมผัสก่อให้เกิดการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เวลาผ่านไปความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากก่อให้เกิดความเข้มข้นของจุดสัมผัส จำกัดการเคลื่อนที่ของเม็ดซีเมนต์ ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์กลายเป็นของแข็ง นั่นคือ การเข้าสู่จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Set) ดังแสดงในรูปที่ 2.8

แผนภาพแสดงขบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และ โครงสร้างของเพสต์ แสดงในรูปที่ 2.8 โดยซีเมนต์จะแสดงด้วยเม็ดสีดำในขณะที่ Ca(OH)₂ จะแสดงด้วยรูปเหลี่ยม ผลิตภัณฑ์ Ettringite แสดงโดยเส้นบางๆ สั้นๆ และ CSH เส้นเข็มมีความยาวพอสมควร จากรูปที่ 2.9 จะพบว่าระหว่าง Dormant period เม็ดซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก่อให้เกิด Ca(OH)₂ และ Ettringite เป็นส่วน

ใหญ่ หลังจาก 1 ชั่วโมง CSH gel เริ่มเกิดขึ้นโดยมีรูปร่างเป็นเส้นใยยาว การเกิดและการขยายตัวของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CSH gel ก่อให้เกิดการก่อตัว ในขณะที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ความพรุนของเพสต์จะลดลง และกำลังเริ่มพัฒนาขึ้น

หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว Sulphate Ions ถูกใช้หมดไป อลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์ เริ่มก่อตัวและ Ettringite ถูกเปลี่ยนไปเป็น Monosulphate ส่วน C_3S และ C_2S จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไป ได้ CSH ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยนั้นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้งหมดนี้ จะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ ทำให้ความพรุนของเพสต์ลดลงในระยะยาว



รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์

ที่มา: <http://www.cpac.co.th/techno/conbook/ch1.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลของอัลคาไลออกไซด์ต่อซีเมนต์

อัลคาไลออกไซด์ (alkali oxides) ได้แก่ Na_2O และ K_2O ที่อยู่ในปูนซีเมนต์จะส่งผลเสียในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภท ได้แก่ หินและทราย สามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไล ผลจากปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย ยกต่อการแก้ไข (ปริญญ, 2549)

Sancharoen (2003) ได้ทำการศึกษา คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ผสมเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน โดยศึกษา กำลังรับแรงอัด ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายน้ำ พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และคลอไรด์ที่ละลายในน้ำจากเถ้าลอยมีผลต่อการเร่งการแข็งตัวของคอนกรีต และมีผลต่อกำลังรับแรงอัด

2.7 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการคือ

- 1) ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต
- 2) รักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

- 1) เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน
- 2) เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วยทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว (www.cpac.co.th)

2.7.1 กรรมวิธีการบ่ม

เราแบ่งกรรมวิธีการบ่มออกเป็น 2 ชนิดตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่มคือ

- 1) การบ่มที่อุณหภูมิปกติ
- 2) การบ่มที่อุณหภูมิ และความกดดันสูง

รูปที่ 2.10 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

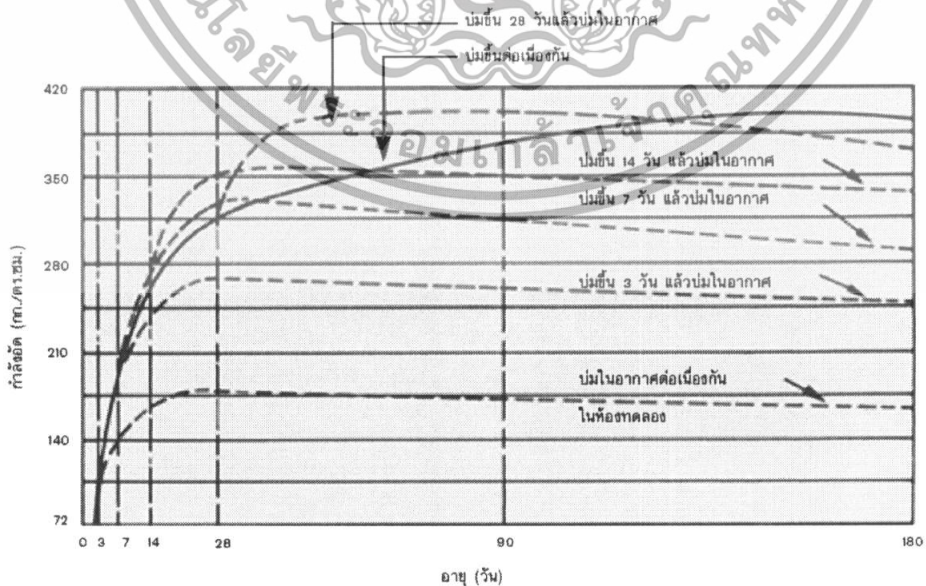
- กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรก ๆ ถ้าได้รับการบ่ม ซึ่งชี้ถึงความสำคัญของการบ่มในระยะแรก

- กำลังของคอนกรีตมีโอกาสเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังอายุ 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มของกำลังจะช้าลง แต่ก็ยังเพิ่มขึ้นตลอดเวลา หากได้รับการบ่มที่ดี

- หากขาดความชื้น กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นสักระยะหนึ่ง เพราะความชื้นที่เหลืออยู่ แต่หลังจากนั้นกำลังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เช่น กำลังของคอนกรีตที่ได้รับการบ่ม 3 วัน จะมีกำลังเพียง 75-80% ของกำลังคอนกรีตที่บ่มขึ้นครบ 28 วัน

จะเห็นได้ว่า เราควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือ บ่มจนกว่าคอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ต้องการ ในทางปฏิบัติมักไม่สามารถบ่มคอนกรีตได้นานนัก ทั้งนี้ก็เพราะข้อจำกัดในเรื่อง กำหนดการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่า การบ่มขึ้นถึง 7 วัน ทำให้เราสามารถได้กำลังของคอนกรีตสูงทัดเทียมกับกำลังคอนกรีตที่บ่มและทดสอบในสภาพชื้นถึง 28 วัน ตามมาตรฐานอเมริกาแนะนำให้ใช้เวลาบ่มขึ้น 7 วัน สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป หรือเวลาที่จำเป็นเพื่อให้ได้กำลัง 70% ของกำลังอัดหรือกำลังดัดที่กำหนด แล้วแต่ว่าเวลาไหนน้อยกว่ากัน แต่สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณมาก ๆ เช่น ฐานรากแผ่นขนาดใหญ่ เราจำเป็นต้องบ่มนานถึงอย่างน้อย 2 สัปดาห์

ในกรณีที่การบ่มต้องหยุดจะงักไประยะเวลาหนึ่งด้วยเหตุผลใด ๆ ก็ตาม เมื่อคอนกรีตได้รับความชื้น ปฏิกิริยาไฮเดรชันก็สามารถเกิดขึ้นต่อไป ทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นไปอีก



รูปที่ 2.10 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ที่ <http://www.epac.co.th/techno/conbook/ch1.html> ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

2.8.1 ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength)

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของคอนกรีต คือ ความสามารถต้านแรงอัด หรือค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความแปรผันตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะนำคอนกรีตชุดเดียวกันที่ผสมเรียบร้อยแล้วมาทำก้อนตัวอย่าง และทำการทดสอบที่อายุเดียวกัน ด้วยวิธีการที่เหมือนกันทั้งหมด จะพบว่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่ได้นี้ จะมีค่าต่างกัน ไม่มีผลทดสอบใดที่ได้ค่าเท่ากันพอดีเลย รวมทั้งถ้าเราแบ่งก้อนตัวอย่างออกเป็นส่วนย่อย ๆ กำลังอัดในแต่ละส่วนก็จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย

ความผันแปรของค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในโครงสร้างที่เกิดขึ้น อาจเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง หรืออาจเป็นการผสมกันหลายๆสาเหตุ ซึ่งความสามารถแยกได้ ดังนี้

1. ความผันแปรเนื่องจากฝีมือแรงงาน
2. ความผันแปรเนื่องจากผู้ผลิตคอนกรีต
3. ความผันแปรเนื่องจากเนื้อคอนกรีต โดยความผันแปรเนื่องจากเนื้อคอนกรีต มีสาเหตุหลัก 2 ประการคือ
 - การเชื่อมของเนื้อคอนกรีต
 - การแยกตัวของเนื้อคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุเนื้อผสมที่เกิดจากการนำปูนซีเมนต์ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เช่น หินทราย เถ้าลอย (Fly ash) มาผสมในสภาพคอนกรีตสด พบว่าในส่วนผสมจะถูกพองไม่ให้เกิดการแยกตัว แต่อย่างไรก็ตามผลจากแรงดึงดูดของโลก ไม่เพียงแต่ทำให้ส่วนผสมจมตัวลง แต่รวมตัวไปถึงเม็ดปูนซีเมนต์ด้วย

ส่วนผสมและเม็ดปูนซีเมนต์ จะจมตัวลงในเนื้อคอนกรีตสด จนกระทั่งแรงต้านทานการจมตัวมากกว่าน้ำหนักรวมของส่วนผสม ผลก็คือ น้ำซึ่งเบาที่สุด จะถูกดันขึ้นมาด้านบนเกิดการเชื่อมและน้ำบางส่วนจะถูกกักไว้ได้มวลรวม เมื่อคอนกรีตแข็งตัว บริเวณเหล่านี้จะเกิดเป็นโพรงอากาศ (Air Pocket) และโพรงอากาศจะมากยิ่งขึ้น ถ้าคอนกรีตที่ใช้เกิดการแยกตัวจะส่งผลให้ความพรุนในเนื้อคอนกรีตมีมากขึ้น และส่งผลให้กำลังอัดน้อยลงด้วย (วินิต, 2539)

2.8.2 วิธีการสกัดและการทดสอบการชะละลาย (Extraction procedure and leaching test)

การสกัดสาร (Extraction) หมายถึง วิธีมาตรฐานที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อกำหนดประเภทของของเสียว่า เป็นของเสียที่เป็นอันตรายหรือไม่ คำว่า การชะละลาย (leaching)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการทดสอบสมบัติของน้ำชะละลาย เพื่อใช้อ้างอิงในพฤติกรรมงานสนาม อย่างไรก็ตาม คำสองคำนี้สามารถใช้แทนกันได้

วิธีการทดสอบที่ใช้ทั่ว ๆ ไป สามารถแบ่งเป็น 2 วิธีคือ การทดสอบแบบแบตช์ (Batch test) และการทดสอบแบบคอลัมน์ (Column test) สำหรับการทดสอบแบบแบตช์ ของเสียจะสัมผัสกับสารละลาย ภายในภาชนะบรรจุอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาของช่วงการทดลอง แต่การทดสอบแบบคอลัมน์ สารละลายที่ใช้ในการสกัดจะถูกป้อนผ่านคอลัมน์ซึ่งบรรจุด้วยของเสียที่อัดแน่นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา หรือเป็นช่วงเวลา

2.8.3 มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย

1) การทดสอบการชะละลาย (Leaching Procedure) ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (ตอนพิเศษ) พ.ศ.2548 ได้กำหนดวิธีการสกัดสาร ในการหาปริมาณของสารมลพิษในน้ำสกัดดังนี้

(1) การเตรียมสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ตามสภาพดังนี้

(1.1) ของแข็งที่สามารถบดได้ จะต้องนำไปร่อนหรือไปบดเพื่อร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ก่อนนำไปสกัด

(1.2) ของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่สามารถนำไปกรองได้ โดยมีองค์ประกอบของของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก ต้องทำการกรองตัวอย่างผ่านแผ่นกรองเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.45 ไมครอน สารละลายที่กรองได้เรียกว่า Initial filtrate นำของแข็งส่วนที่กรองได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) แล้วนำสกัดด้วยน้ำสกัดในอัตราส่วน 10 มิลลิลิตร ของน้ำสกัดต่อ 1 กรัมของของแข็ง เมื่อสกัดแล้วกรองแยกสารละลายใส นำสารละลายนี้ไปผสมกับ Initial filtrate แล้วนำไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนต่อไป

(1.3) กากตะกอน (sludge) หรือ เลน (slurry) ที่ไม่สามารถกรองหรือบดได้ ให้แยกสิ่งแปลกปลอมออกแล้วนำตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดไปดำเนินการต่อไป

(2) การสกัด

(2.1) สารละลายที่ใช้สกัด ในการวิเคราะห์สารปนเปื้อนต่าง ๆ ใช้สารละลาย 0.2 M Sodium citrate ที่ pH 5.0 ± 0.1 ยกเว้นการวิเคราะห์เฮกซะวาเลนท์โครเมียมใช้น้ำ deionized ในการสกัด

(2.2) การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

- นำตัวอย่าง 50 กรัมใส่ลงในภาชนะแก้วหรือพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (กรณี

วิเคราะห์สารอินทรีย์ควรใช้ภาชนะแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เติมน้ำสกัด 500 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด นำของผสมไปใส่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที แล้วปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว
- นำไปเขย่าเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ด้วยเครื่องมือที่สามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมตลอดเวลา ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส
- นำของผสมไปกรองหรือปั่นด้วยแรงเหวี่ยงแล้วกรองผ่านแผ่นเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.45 ไมครอน
- ถ่ายสารละลายที่กรองได้ลงในภาชนะที่เหมาะสมเพื่อนำไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนต่อไป

(3) การนำน้ำสกัดไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนตามวิธีการที่กำหนด เช่น กรณีสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ยกเว้นสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว ใช้วิธีการมาตรฐานที่กำหนดใน US EPA Publication SW 846 นำผลการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับปริมาณสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ.2548)

2.8.4 มาตรฐานในการทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

ตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ได้กำหนดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และ การทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย
 2. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
- ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตอนพิเศษ (พ.ศ.2548) ได้กำหนดปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ดังตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ปริมาณสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมรับได้ในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ชนิดของสาร	ความเข้มข้นในน้ำสกัด (มก./ล.)
สารหนู และ/หรือสารประกอบของสารหนู	5.0
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต)	100
เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม	0.75
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม	1.0
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์	5
โครเมียม และ/หรือสารประกอบโครเมียมไตรวา เลนต์	5
โคบอลต์ และ/หรือสารประกอบโคบอลต์	80
ทองแดง และ/หรือสารประกอบทองแดง	25
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์	180
ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว	5.0
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท	0.2
โมลิบดีนัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดีนัม (ไม่รวม โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์)	350
นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล	20
ซิลิเนียม และ/หรือสารประกอบซิลิเนียม	1.0
เงิน และ/หรือสารประกอบเงิน	5
ซาลเลียม และ/หรือสารประกอบซาลเลียม	7.0
วานาเดียม และ/หรือสารประกอบวานาเดียม	24
สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี	250
แอลดริน	0.14
คลอเดน	0.25
ดีดีที ดีดีอี หรือดีดีดี	0.1
2, 4-ดี	10
ดีลดริน	0.8
ไดออกซิน (2, 3, 7, 8-TCDD)	0.001
เอนดริน	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับราชการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของสาร	ความเข้มข้นในน้ำสกัด (มก./ล.)
เฮปตาคลอร์	0.47
ดีโปน	2.1
ลินเดน	0.4
เมททอซีคลอร์	10
ไมเร็ก	2.1
เพนตาคลอโรฟีนอล	1.7
โพลีคลอริเนตเต็ดโบฟีนิล	5.0
ทอกซาฟีน	0.5
ไตรคลอโรเอทิลีน	204

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดของสารอินทรีย์เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนของสารประกอบ

ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ.2548)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบและการปรับเสถียรเถ้าของเถ้าลอยจากการเผาขยะชุมชน มีดังนี้ คือ

Wu-jiang และ คณะ (2003) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับที่มาของเถ้าของจากเตาเผาขยะชุมชน (MSW) โดยเฉพาะการกรองตะกอน (BP) ที่เหลือ (เถ้าลอย; FA) และการทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่เหลือ (การเกิดปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์; RP) ซึ่งมีองค์ประกอบคล้ายซีเมนต์ทั้งหมดนี้เป็นการทำเถ้าเถ้าไม่ให้เคลื่อนที่สำหรับซีเมนต์ องค์ประกอบที่คล้ายซีเมนต์เป็นศักยภาพของการใช้อีกครั้ง เหมือนกับการบำบัดที่มีความเสถียร ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและเกลือเถ้าของแข็ง กับการชะของน้ำมีผลต่อองค์ประกอบ

Jill และ คณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการนำเถ้าลอยและเถ้าหนักจาก MSWI มาใช้เป็นวัสดุดับหลักในซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เถ้าที่เกิดจากเตาเผาขยะชุมชน (MSWI) มีโลหะหนักและเกลืออยู่มาก การจัดการเถ้า MSWI โดยไม่มีการบำบัดอย่างเหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่นานมานี้อุตสาหกรรมซีเมนต์ในไต้หวันได้ให้ความสำคัญกับการจัดการของเสียจากขยะชุมชน เพราะมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิง หรือวัสดุดับหลัก วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSWI มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตซีเมนต์ ซีเมนต์ถูกล้างครั้งแรกด้วยน้ำและกรดเพื่อกำจัดคลอไรด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนในเตาเผาซีเมนต์ ซีเมนต์ที่ล้างคลอไรด์ที่ขอมให้มีในถ้ำลอยและถ้ำหนักที่ถูกพบคือ 1.75 % และ 3.50 % ตามลำดับ ผลระบุว่าผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการจัดการซีเมนต์จาก MSWI ซึ่งชัดเจนว่าการเพิ่มทั้งถ้ำลอย หรือ ถ้ำหนัก ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของอิฐ ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานประเทศจีน (CNS) ชนิดซีเมนต์พอร์ตแลนด์ II ซึ่งเป็นที่ยอมรับและเวลาการเกิดอิฐเป็นเวลานานมาก

Maria และ คณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการนำถ้ำลอยอัดแน่นที่ได้จากเตาเผาขยะชุมชนกลับมาใช้ (ของแข็ง/ของแข็งเสถียร (S/S)) โดยการนำมารวมกันแล้วผสมกับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ของแข็ง/ของแข็งเสถียรนี้ประกอบด้วยของผสมระหว่างถ้ำลอย MSWI 48% ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 20% น้ำ 32% ใช้เวลา 365 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ RH 100% โดยที่ส่วนผสมต่างๆของซีเมนต์ (อัตราส่วนของน้ำ/ปูน = 0.62) ประกอบด้วยปูนพอร์ตแลนด์ ผลิตภัณฑ์ของแข็ง/ของแข็งเสถียรและทรายธรรมชาติซึ่งในการทดลองใช้เป็น 3 อัตราส่วน (0%, 10% และ 50% โดยมวล) หลังจากผ่านกรรมวิธี 28 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ RH 100% ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ดังกล่าวถูกนำไปตรวจสอบลักษณะทางกลกายภาพ (ความพรุน, ความหนาแน่น) และพฤติกรรมการชะ พบว่าไม่มีการชะลอในการทดสอบความหนาแน่น คือมีความแน่นค่อนข้างสูง 36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีอัตราการชะของโลหะหนักที่ต่ำ (Cr, Cu, Pb และ Zn) การชะอย่างเป็นอย่างระมัดระวังให้ผลการทดลองเป็นอย่างดีด้วยรูปแบบ pseudo-diffusion รวมไปถึงปัจจัยการชะลอทางเคมีซึ่งเกี่ยวกับการที่มีส่วนผสมบางส่วนที่ไม่ละลายน้ำ

Andac และ Glasser (1998) ได้ทำการศึกษาผลของสภาวะทดสอบต่อการชะของถ้ำลอย MSWI ที่ถูกปรับเสถียรในซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ถ้ำลอยปรับเสถียรที่ได้จากเตาเผาขยะชุมชน (MSWI) ถูกตรวจสอบคุณสมบัติทางการชะของธาตุหลัก โดยการปรับสภาวะซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมชาติ พิจารณาจากฟังก์ชันของเวลาโดยประมาณ 544 วัน โดยใช้ Dutch tank leaching test, NEW 7345 แบบธรรมดาและแบบปรับปรุงซึ่งมีการควบคุม pH โดยการผ่านสารถูกชะด้วยฟองอากาศ พบว่าในทั้ง 2 กรณีการชะแบบ short - term ที่ค่อนข้างรวดเร็วและการชะแบบช้าจะเริ่มต้นที่ประมาณ 10-100วัน ซึ่งสามารถบอกความแตกต่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minocha, Neeraj Jain and Verma (2003) ได้ศึกษาผลของสารอนินทรีย์ได้แก่ Cu , Zn , Pb , Sodium hydroxide และ Sodium sulfate ต่อกระบวนการทำก้อนแข็งของตะกอนโลหะหนัก โดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เถ้าลอย ปูนขาว ปูนขาวและเถ้าลอย เป็นตัวประสานพบว่าเกลืออนินทรีย์เพิ่มความหนาแน่นให้กับก้อนซีเมนต์ และ พบว่าการเติม NaOH และ Na_2SO_4 มีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง เมื่อมีความเข้มข้นสูงในตัวอย่างที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

Nzihou and Sharrock (2002) ได้นำเถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลมาใช้ประโยชน์ด้วยการแยกเอา soluble alkali chlorides ออกและทำให้สารที่เป็นพิษอยู่ในรูปของตะกอน โดยการสกัด alkali chlorides ในสารละลายaqueous และร่วมด้วยการตกตะกอนด้วยแคลเซียมฟอสเฟต ผลการสกัดได้ โซเดียมและโปตัสเซียมคลอไรด์ และโลหะหนักจะถูกยับยั้งให้เป็นตะกอนร่วมกับแคลเซียมฟอสเฟต

Aubert, Husson and Sarramone (2006) ได้ทำการทดลองใช้น้ำล้างเกลือที่ละลายออกจากเถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลเพื่อนำไปใช้ใน cement – based materials โดยใช้น้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร
2. ตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร
3. เครื่องวัด pH (pH meter) รุ่น 225/pH/ISE METER, บริษัท Denver Instrument
4. เครื่องเขย่า (Orbital shaker), บริษัท Gallenkamp
5. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) รุ่น TC-254, บริษัท Denver Instrument
6. เครื่องแก้ว
7. กระดาษกรองใยแก้วขนาด 0.45 ไมครอน
8. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS
9. เครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRFs) รุ่น SRS 3400 บริษัท BRUKER AXS
10. Grinding vessel รุ่น 7KP9001-8AN บริษัท Rock LABS
11. Palletizing รุ่น TP 40 บริษัท HERZOG
12. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราเสือ
13. ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต
14. เครื่องผสมปูนซีเมนต์, ยี่ห้อ King
15. เครื่องขนาดหน้ากว้างของใบ 4-6 นิ้ว
16. แบบหล่อขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
17. เครื่องทดสอบแรงอัด (Compressive Strength Test Machine)
18. เวอร์เนีย

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. อะลูมิเนียมออกไซด์ เกรดวิเคราะห์, บริษัท Merck
2. กรดไนตริกเข้มข้น 65% เกรดวิเคราะห์, บริษัท Carlo erba
3. กรดซิดิก เกรดวิเคราะห์, บริษัท Fisher scientific
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์, บริษัท Carlo erba
5. กรดบอริก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher scientific
6. น้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย

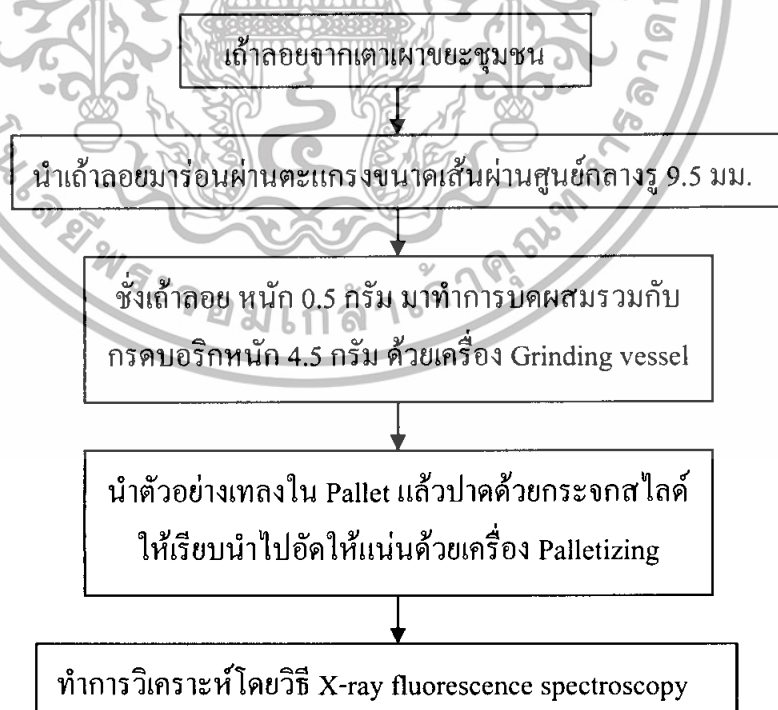
การวิจัยประกอบไปด้วยการทดลองทั้งหมด 3 การทดลองดังนี้ คือ

- 1) การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย
 - การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy
 - การทดสอบการชะละลาย
- 2) กระบวนการล้าง (Washing Process) ถ้ำลอย
 - การหาจำนวนรอบที่ใช้ในการล้างถ้ำลอย
 - การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างถ้ำลอย
- 3) การนำถ้ำลอยมาเป็นวัสดุทดแทนในซีเมนต์
 - การทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต
 - การทดสอบการชะละลาย

3.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย

(ก) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy มีวัตถุประสงค์เพื่อหาองค์ประกอบและปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในถ้ำลอย โดยมีการทดลองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยวิธี X-ray fluorescence

spectroscopy เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การทดสอบการชะละลาย

การทดสอบการชะละลายมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในเถ้าลอย
ทำการทดลองโดยใช้มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย โดยวิธีการสกัดสาร (Leachate exteaction
procedure) ซึ่งระบุไว้ตามหลักเกณฑ์การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (ตอน
พิเศษ) โดยมีการทำลองดังรูปที่ 3.2



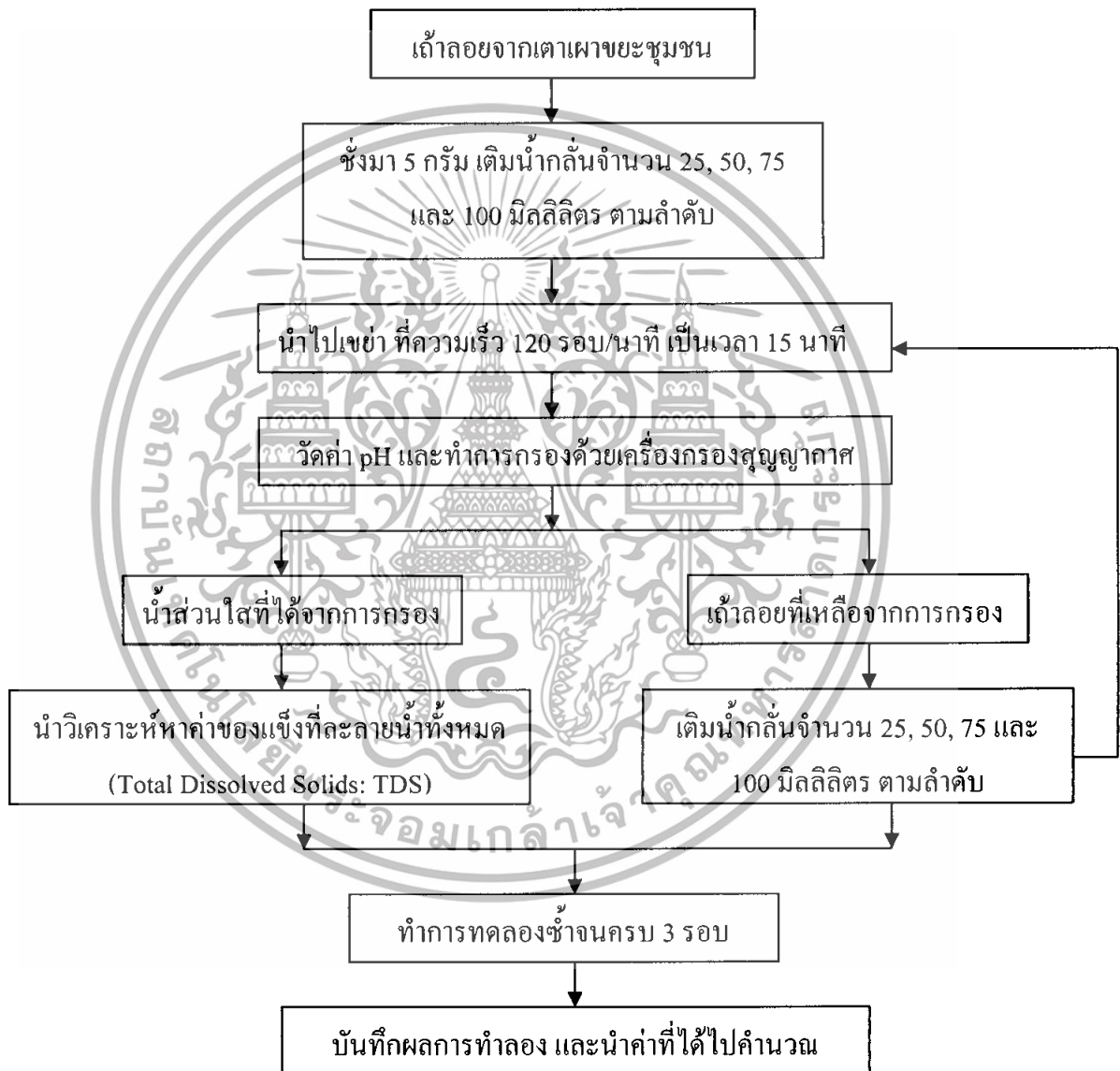
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดสอบการชะละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2) กระบวนการล้าง (Washing Process) ถ้ำลอย

(ก) การหาจำนวนรอบในการล้างถ้ำลอย

การล้างถ้ำลอยมีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณเกลือที่มีอยู่ในถ้ำ และต้องการหาปริมาณเกลือทั้งหมดที่ละลายน้ำ โดยจะทำการล้างถ้ำลอยจำนวน 3 รอบ จากนั้นจะได้จำนวนรอบที่ใช้ในการล้างถ้ำลอย ซึ่งมีการทดลองดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาจำนวนรอบในการล้างถ้ำลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างถั่วลันเตา

จากการทดลองในข้อ 3.2.2 ทำให้ทราบผลของจำนวนรอบที่ใช้ในการล้าง นั่นคือ 1 รอบ และนำผลการทดลองนี้มาใช้สำหรับการหาปริมาณน้ำล้างที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดการทดลองดังรูปที่ 3.4

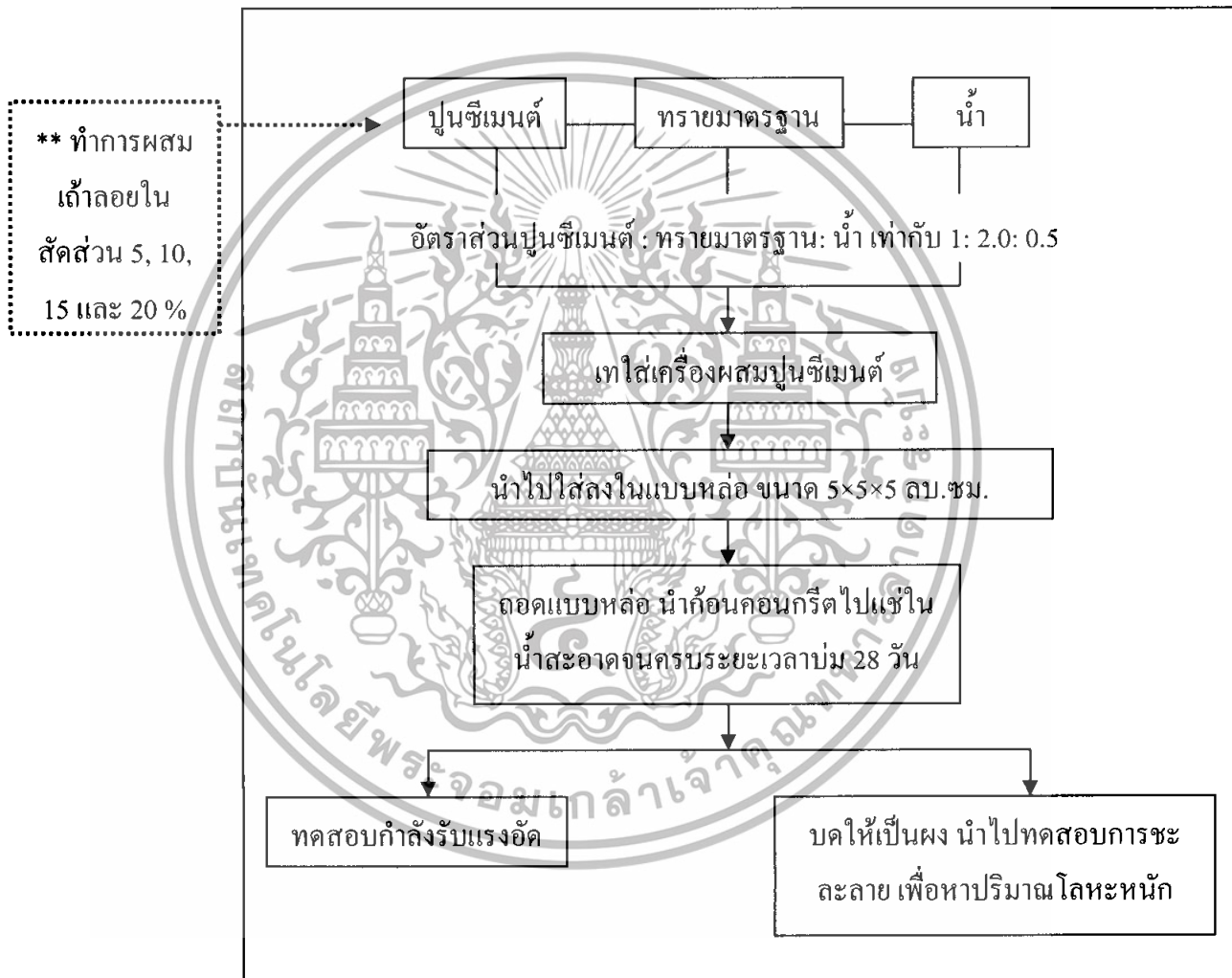


รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างถั่วลันเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การนำเถ้าลอยมาเป็นวัสดุทดแทนในซีเมนต์

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของก้อนคอนกรีตที่มีเถ้าลอยผ่านกระบวนการล้างน้ำและไม่ล้าง ซึ่งคุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการชะละลาย ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน โดยมีรายละเอียดการทดลองดังรูปที่ 3.5



หมายเหตุ ** เถ้าลอยที่ทำการผสมประกอบไปด้วย

- เถ้าลอยที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำ
- เถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการนำเถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมในการทำซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย

(ก) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy

- 1) นำถ้ำลอยมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 9.5 มิลลิเมตร
- 2) นำถ้ำลอยที่ได้จากข้อ 1 หนัก 0.5 กรัม มาทำการบดผสมรวมกับกรวดบอริกหนัก 4.5 กรัม ด้วยเครื่อง Grinding vessel โดยตั้งเวลาไว้ที่ 1 นาที
- 3) นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2 มาเทลงใน Pallet แล้วปาดด้วยกระจกสไลด์ให้เรียบ แล้วนำไปอัดให้แน่นด้วยเครื่อง Palletizing โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที
- 4) นำตัวอย่างที่อัดแน่นเรียบร้อยแล้ว ไปทำการวิเคราะห์โดยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy

(ข) การทดสอบการชะละลายของถ้ำลอยจากเตาเผาขยะเทศบาล

ทำการทดลองโดยใช้มาตรฐานการทดสอบการชะละลาย โดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ซึ่งระบุไว้ตามหลักเกณฑ์การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (ตอนพิเศษ) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) นำถ้ำลอยมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 2 มิลลิเมตร
- 2) เตรียมน้ำชะ (Leachant) โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต 0.2 โมลาร์ 100 มิลลิลิตร (เตรียมได้จาก ใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ ปรับพีเอชให้เป็น 5.0 ± 0.1 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 นอร์มัล)
- 3) นำถ้ำลอยที่ได้จากข้อ (1) หนัก 10 กรัม ใส่ลงในภาชนะแก้ว และเติมน้ำชะที่ได้จากข้อ (2) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดฝาภาชนะให้สนิท
- 4) นำไปเขย่าบนเครื่อง shaker ที่มีอัตราการหมุน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- 5) กรองสารละลายจากการชะละลาย (Leachate) ด้วยแผ่นกรองเมมเบรนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน
- 6) วัดค่าพีเอช และปรับค่าให้อยู่ในช่วง 2-3 ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น
- 7) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 กระบวนการล้าง (Washing Process) เถ้าลอย

(ก) การหาจำนวนรอบที่ใช้ในการล้างเถ้าลอย

- 1) ชั่งเถ้าลอยหนัก 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
- 2) เติมน้ำกลั่นปริมาณ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ
- 3) นำไปเขย่าด้วยเครื่อง shaker ที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที
- 4) วัดค่าพีเอช และจากนั้นทำการกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บน้ำที่ได้จากการกรองไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป
- 5) นำน้ำกลั่นจำนวน 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำเถ้าลอยที่เหลือจากการกรองและทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (1-4) จากนั้นทำซ้ำอีก 1 รอบ จะได้การล้างทั้งหมด 3 รอบ
- 6) นำน้ำที่ผ่านการกรองจากทุกรอบไปวิเคราะห์หาค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS)

การวิเคราะห์หาค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS)

1. นำถ้วยระเหยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโลทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก
2. บีบน้ำที่ได้จากข้อ (4) มา 10 มิลลิลิตรใส่ในถ้วยระเหย
3. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
4. นำถ้วยระเหยใส่ใน โลทำแห้งและปล่อยให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผลการ

ทดลอง

(ข) การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเถ้าลอย

- 1) ชั่งเถ้าลอยหนัก 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ และ เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
- 2) นำไปเขย่าด้วยเครื่อง shaker ที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที
- 3) วัดค่าพีเอช และจากนั้นทำการกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
- 4) นำเถ้าที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบด้วยวิธี X-ray fluorescence spectroscopy โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1-ก

5) นำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์หาค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS)

- 6) ทำการทดลองซ้ำ บันทึกผลการทดลอง และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
- 7) ทำการทดลองเช่นเดิมตามข้อ 1- 6 แต่เปลี่ยนปริมาณน้ำกลั่นเป็น 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การนำเถ้าลอยมาเป็นวัสดุทดแทนในซีเมนต์

(1) การเตรียมแบบหล่อ

1) ทำความสะอาดแบบหล่อขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลบ.ซม. อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ที่ผิวด้านในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2) ตรวจสอบสกรูสำหรับแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแล้วขันหรือรัดให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือขณะกระทุ้งให้คอนกรีตแน่น

(2) การเตรียมมอร์ตาร์สำหรับหล่อตัวอย่าง (ชุดควบคุม)

1) ชั่งปูนซีเมนต์ 340 กรัม ทรายมาตรฐาน 680 กรัม และน้ำปริมาตร 170 มิลลิลิตร (อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์: ทรายมาตรฐาน: น้ำ เท่ากับ 1: 2.0: 0.5)

2) เตรียมภาชนะผสมและใบพายในสภาพที่แห้งสนิท

3) เทปูนที่เตรียมไว้ลงในภาชนะและค่อยๆ เทน้ำที่ตวงไว้ลงไป จากนั้นเดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำเป็นเวลา 30 วินาที ขณะเดินเครื่องให้เติมทรายที่เตรียมไว้ให้หมดภายในเวลา 30 วินาที หยุดเครื่องผสมทิ้งไว้ภายในภาชนะผสม 90 วินาที และปาดมอร์ตาร์ที่ติดข้างๆ ภาชนะลงไปแล้วเดินเครื่องผสมในอัตราเร็วปานกลางอีก 15 วินาที จากนั้นร่อนส่วนผสมไปใส่ในแบบหล่อที่เตรียมไว้

(3) การเตรียมมอร์ตาร์สำหรับหล่อตัวอย่างที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆ

1) ชั่งเถ้าลอยในปริมาณต่างๆตามอัตราส่วน เถ้าลอย : ปูนซีเมนต์ ดังต่อไปนี้คือ 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 20:80 จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดควบคุมตามข้อ 1-3

2) ก. ชั่งเถ้าลอย 900 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่น 4500 มิลลิลิตร ทำการกวนผสมเป็นเวลา 30 นาที นำสารผสมที่ได้ไปกรอง และนำเถ้าลอยที่ผ่านการกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ข. ชั่งเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำตามข้อ (ก) ให้ได้ตามอัตราส่วนเถ้าลอย : ปูนซีเมนต์ ดังต่อไปนี้คือ 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 20:80 จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับชุดควบคุมตามข้อ (1-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) การหล่อแบบตัวอย่าง

1) เอมอร์ตาร์ที่เตรียมไว้ใส่แบบหล่อทุกช่องหนาประมาณ 25 มิลลิเมตร กระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง (Temper) ช่องละ 32 ครั้ง ภายในเวลาประมาณ 10 วินาที กระทุ้งช่องละ 4 รอบ รอบละ 8 ครั้ง โดยแต่ละรอบกระทุ้งให้ตั้งฉากทั่วทั้งแบบหล่อ

2) ใส่มอร์ตาร์ที่เหลือในช่องแบบหล่อทุกช่องให้สูงสูงกว่าขอบแล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วมอร์ตาร์ควรสูงกว่าขอบเล็กน้อย

3) ใช้เกรียงปาดผิวหน้ามอร์ตาร์ตามแบบหล่อให้เรียบตลอดความยาวของแบบหล่อ จากนั้นทิ้งไว้จนครบ 24 ชั่วโมง

4) ทำการถอดแบบหล่อออกแล้วนำไปแช่ในน้ำสะอาดจนครบระยะเวลาบ่ม 28 วัน

(5) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต

หลังจากทำการหล่อคอนกรีตและบ่มจนครบกำหนดเวลาที่กำหนดไว้คือ 28 วันจึงทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยให้คอนกรีตกดทับด้านบนของก้อนคอนกรีตซึ่งทำการทดสอบตามมาตรฐาน (ASTM C 109) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) นำตัวอย่างออกจากห้องบ่ม ทำความสะอาด โดยปัดเม็ทรายและสะเก็ดที่ติดผิวออกให้หมด เช็ดผิวหน้าให้แห้ง

2) วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกดและชั่งน้ำหนักของก้อนคอนกรีตแต่ละก้อน

3) นำก้อนทดสอบไปวางให้อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของแป้นทดสอบของเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด แล้วเคลื่อนแป้นกดให้สัมผัสกับผิวของก้อนตัวอย่าง จากนั้นเพิ่มแรงอัดที่เหมาะสมและสม่ำเสมอจนก้อนคอนกรีตตัวอย่างเกิดความเสียหาย

4) บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ และคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัด ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองและนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

(6) การทดสอบการชะละลาย

ถ้าลอมที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง เมื่อนำไปฝังกลบอาจมีมลสารถูกชะออกมาเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวประเมินประสิทธิภาพการปรับเสถียรที่ระบุไว้ตามหลักเกณฑ์การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (ตอนพิเศษ) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ทำการย่อยหรือบดก้อนคอนกรีตให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1-ข แต่เปลี่ยนจากถั่วลอมมาเป็นถั่วลอมที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว

3) นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer)

4) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลการทดลองนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(g)



(h)



(i)

(j)

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (a) เครื่อง X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)
- (b) เครื่องอะตอมมิกแอพซอพชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)
- (c) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression testing Machine)
- (d) แบบหล่อตัวอย่าง ขนาด 5x5x5 ลบ.ซม.
- (e) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement ;OPC)
- (f) เครื่องผสม
- (g) ตัวอย่างเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน
- (h) ตัวอย่างเศษก้อนคอนกรีต
- (i) การบ่มก้อนมอร์ต้าซีเมนต์
- (j) ก้อนซีเมนต์หลังจากถอดแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของเถ้าลอย

เถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต เป็นตัวอย่างที่ถูกเก็บในช่วง เดือน กันยายน และ ตุลาคม พ.ศ. 2550 การศึกษาลักษณะทางเคมีของเถ้าลอยนี้ ใช้วิธีการดังต่อไปนี้คือ X-ray fluorescence spectroscopy เพื่อทดสอบหาองค์ประกอบหลักของเถ้าลอย และ การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) ตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องหลักเกณฑ์การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (ตอนพิเศษ) โดยมีผลการทดลองดังนี้คือ

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy

ผลการทดสอบจาก XRF แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน ดังตารางที่ 4.1 จากการศึกษาค้นพบว่า เถ้าลอยมีองค์ประกอบหลักๆคือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) พบในปริมาณร้อยละ 34.27 และคลอไรด์ (Cl) ร้อยละ 22.80 โดยที่แร่ธาตุหลักทั้ง 2 นี้ได้มาจากระบบควบคุมมลพิษทางอากาศของเตาเผาขยะชุมชน โดยที่ระบบจะทำการพ่นผงปูนขาวแห้ง (CaO) เข้าไปในท่อนำก๊าซที่ออกมาจากการเผาไหม้ เพื่อทำปฏิกิริยากับ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และ ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) กลายเป็นผงของ แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) และ แคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄) ซึ่งจะถูกรองออกมาพร้อมกับเถ้าลอย (Fly ash) ด้วยอุปกรณ์ควบคุมฝุ่นชนิดถุงกรอง (Bag Filter) (<http://www.phuketcity.go.th>) ส่วนคลอไรด์ (Cl) ที่พบในเถ้าลอยเกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุประเภทพลาสติก

และนอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบส่วนใหญ่อื่นๆที่พบ คือ ออกไซด์ของอัลคาไลน์ (Na₂O, K₂O) ซิลิกาออกไซด์ (SiO₂) และ ซัลเฟต (SO₃) ในส่วนของโลหะที่พบได้แก่ Mg, Ti, Fe, Cu, Zn และ Pb ซึ่งจะพบในปริมาณเล็กน้อย

จากตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-1, ภาคผนวก ก) เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบของเถ้าลอยกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะพบว่า เถ้าลอยมีองค์ประกอบหลายชนิดที่คล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ แต่จะพบปริมาณเกลือสูงกว่า เช่น เกลือของโลหะหมู่ 1 (Na₂O, K₂O), คลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งทั้งนี้จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของซีเมนต์ (Sancharoen, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลขององค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอยจากเตาเผาขยะชุมชนและปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบ	ร้อยละของ องค์ประกอบถ้ำลอย	ปูนซีเมนต์ ¹ ปอร์ตแลนด์
Na ₂ O	8.52 ± 1.06	0.14
MgO	1.39 ± 0.22	1.50
Al ₂ O ₃	1.40 ± 0.12	4.58
SiO ₂	4.07 ± 0.28	21.33
P ₂ O ₅	1.81 ± 0.18	0.06
SO ₃	9.33 ± 0.46	4.07
Cl	22.80 ± 0.75	0.00
K ₂ O	17.10 ± 3.36	0.39
CaO	34.27 ± 2.08	62.05
TiO ₂	1.08 ± 0.06	0.19
Fe ₂ O ₃	1.25 ± 0.12	3.16
CuO	0.28 ± 0.02	0.00
ZnO	1.07 ± 0.06	0.00
PbO	0.32 ± 0.03	0.00

หมายเหตุ (1) ที่มา: Sancharoen (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก

การทดสอบการชะละลาย ของโลหะหนักที่มีอยู่ในถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะชุมชน ด้วยวิธีการสกัดสาร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ตอนพิเศษ) พ.ศ. 2548 ซึ่งโลหะหนักที่สนใจได้แก่ ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) โดยวิเคราะห์น้ำชะ ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ซึ่งให้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-3, ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะชุมชน

ตัวอย่างที่	ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)	
		Pb	Cd
	ค่ามาตรฐาน	5.0	1.0
1	FA	0.0025	0.0197
2	FA-washed	0.0024	0.0196

หมายเหตุ: FA คือ ถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะชุมชน

FA-washed คือ ถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำ

จากการศึกษางานวิจัย พบว่าปริมาณโลหะหนักในถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ต มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่เนื่องจากต้องการนำถ้ำล่อยมาใช้ประโยชน์ดังนั้น จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเพื่อยืนยันผลว่าโลหะหนักมีปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์โลหะหนัก 2 ชนิดคือ ตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) เนื่องจากโลหะหนักทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมาก ถึงแม้จะมีการปนเปื้อนในปริมาณเล็กน้อย

จากการทดสอบการชะละลายพบว่า ปริมาณของ ตะกั่ว (Pb) ในถ้ำล่อยมีค่าต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าเพียง 0.0025 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่มาตรฐานยอมให้มีได้ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำถ้ำล่อยมาล้าง จะพบว่า ปริมาณ ตะกั่ว (Pb) มีค่าไม่แตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับถ้ำล่อยที่ไม่ล้าง โดยมีค่าเพียง 0.0024 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับปริมาณ แคดเมียม (Cd) ในถ้ำล่อย และถ้ำล่อยที่ผ่านการล้างน้ำ ก็ให้ผลใกล้เคียงกัน คือ 0.0197, 0.0196 ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน กำหนดให้มี 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

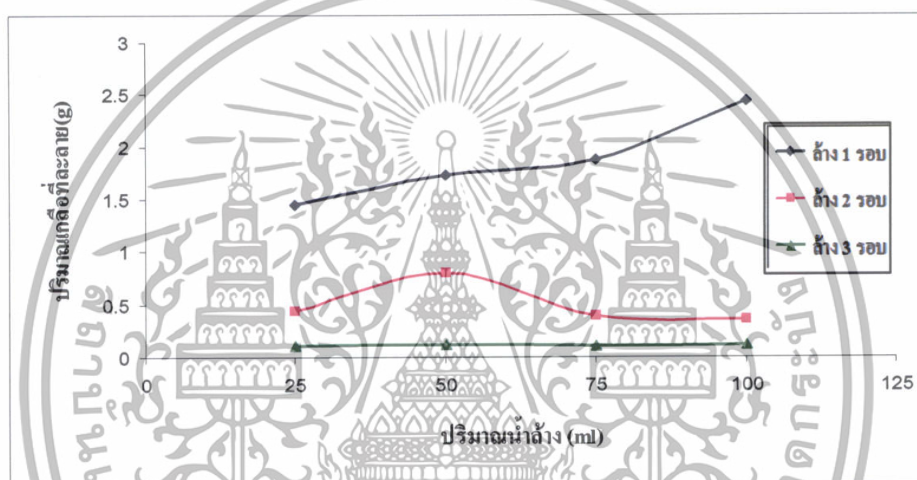
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาจำนวนรอบและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเถ้าลอย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาน้ำจำนวนรอบและปริมาณที่เหมาะสมในการล้างเถ้าลอย โดยใช้เถ้าลอยจำนวน 5 กรัมและแปรค่าปริมาณน้ำกลับที่ใช้ล้าง เป็น 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปล้างจำนวน 3 รอบ และนำน้ำที่ได้จากการล้างไปวิเคราะห์หาค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) และ คำนวณหาปริมาณเกลือที่ละลายน้ำ เมื่อได้จำนวนรอบที่เหมาะสมก็นำไปใช้ในการหาปริมาณน้ำล้างที่เหมาะสมในขั้นต่อไป

4.2.1 ผลการศึกษาจำนวนรอบในการล้างเถ้าลอย

จากการทดลองผลของจำนวนรอบในการล้างต่อปริมาณเกลือที่ละลาย แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลของจำนวนรอบในการล้างเถ้าลอยต่อปริมาณเกลือที่ละลาย

จากรูปที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณเกลือที่ละลาย ต่อน้ำหนักเถ้าลอย 1 กรัม พบว่า ในรอบที่ 1 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำล้าง ปริมาณเกลือที่ละลาย ต่อน้ำหนักกรัมของเถ้าลอย มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่รอบที่ 2 และ 3 ปริมาณเกลือที่ละลายมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่

เมื่อเปรียบเทียบ ปริมาณเกลือที่ถูกล้างในรอบที่ 1, 2 และ 3 พบว่า ปริมาณเกลือจะถูกล้างออกมาในรอบที่ 2 และ 3 เพียงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการล้าง ในรอบแรก จะพบว่าเกลือจะละลายออกมาได้มากที่สุดทั้งนี้ เนื่องจาก เกิดการละลายของเกลือ โลหะหมู่ 1 และคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือที่ละลายง่าย แต่เมื่อทำการล้างรอบที่ 2 และ 3 เกลือที่ละลายยากกว่า เช่น เกลือของโลหะหมู่ 2 (MgO , CaO) จะเริ่มละลายออกมาแต่เมื่อเปรียบเทียบกับรอบแรกจะพบว่ามีค่าน้อยมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เกลือส่วนมากจะถูกล้างออกมา ในรอบที่ 1 จึงเลือกการล้าง 1 รอบไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ผลของการวิเคราะห์น้ำล้างยังพบว่า ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 12.19 – 12.63 ซึ่งผลการทดลองแสดงดัง ตารางที่ ข-1 ภาคผนวก ข

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเต็ลลอย

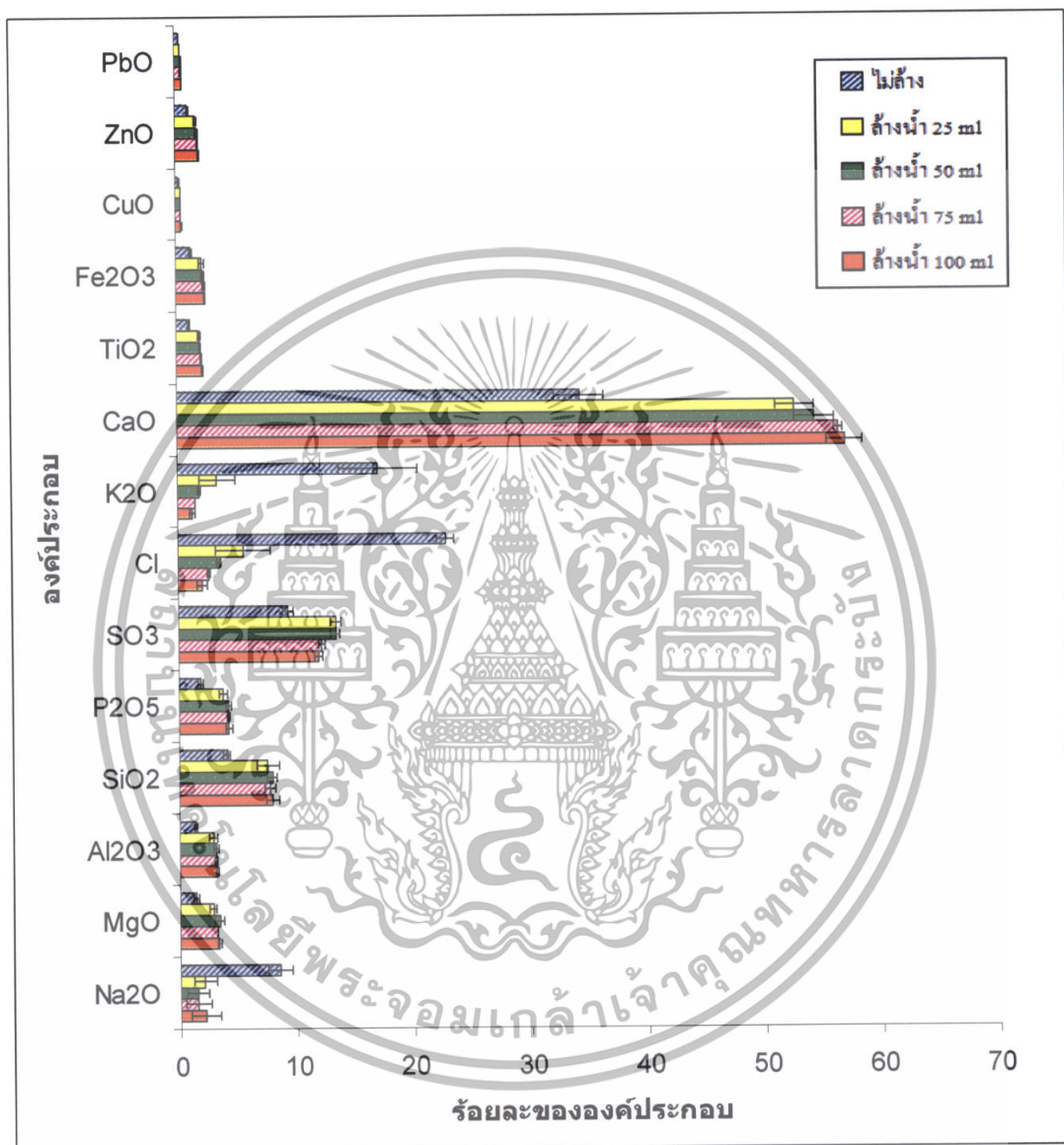
จากผลการทดลองในข้อ 4.2.1 จะพบว่าจำนวนรอบที่เหมาะสมในการล้างคือ 1 รอบ จากนั้นทำการทดลองต่อ โดยหาอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง ซึ่งทำการทดลองโดยแปรค่าปริมาณน้ำล้างดังนี้ คือ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ต่อเต็ลลอย 5 กรัม และจากนั้นนำเต็ลลอยดังกล่าว ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหองค์ประกอบด้วย XRF ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2, ภาคผนวก ข) และ รูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-2, ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณน้ำล้างที่ใช้ในการล้างเต็ลลอย

ปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง (ml)	pH _{ก่อนล้าง}	pH _{หลังล้าง}	TDS (g/L)	ปริมาณเกลือที่ละลาย (g)	ปริมาณเกลือที่ละลายต่อเต็ลลอย (mg/g)
25	11.29	11.85	56.57	1.4144	280.8
50	12.24	12.30	43.55	2.1777	431.3
75	12.34	12.39	29.19	2.1892	435.8
100	12.33	12.43	23.28	2.3283	465.3

จากผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของน้ำล้าง อยู่ในช่วง 11.85- 12.43 และปริมาณเกลือที่ละลายจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อน้ำเต็ลลอยที่ผ่านการล้างน้ำในปริมาณต่างๆ ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy พบว่า เกลือของโลหะหมู่ที่ 1 ได้แก่ Na₂O และ K₂O และเกลือของสารประกอบคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี และไม่สารตกตัวเป็นผลึกได้ จึงถูกชะล้างออกมามากที่สุด ที่ปริมาณน้ำล้างเท่ากับ 25 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 4.2 และในทางกลับกันจะพบว่า องค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, CaO, TiO₂, Fe₂O₃, CuO, PbO, ZnO มีอัตราส่วนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเต็ลลอยที่ไม่ได้ล้าง ทั้งนี้จะเห็นๆได้ว่า ผลจากการล้างเกลือ จะส่งผลทำให้ Al₂O₃, SiO₂, CaO, และ Fe₂O₃ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์ มีค่าเพิ่มสูงขึ้น จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นและจากการพิจารณาจากค่าทางสถิติพบว่า องค์ประกอบของเต็ลลอยที่อัตราส่วนน้ำ 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ กับปริมาณน้ำที่ 25 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ ปริมาณน้ำที่ 25 มิลลิลิตร ในการล้างตัวอย่าง 5 กรัม นั่นคือ อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง (Liquid: Solid ratio) เท่ากับ 5



รูปที่ 4.2 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ ด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy

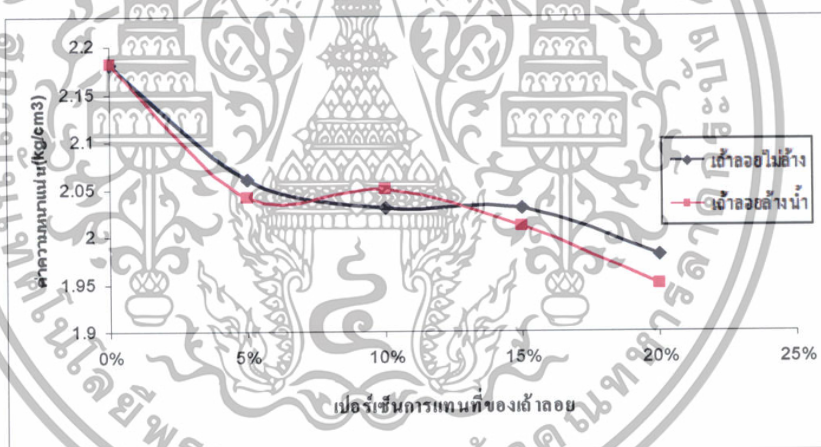
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การนำเถ้าลอยมาเป็นวัสดุทดแทนในซีเมนต์

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอยต่อซีเมนต์ในกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชนทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนดังต่อไปนี้ คือ 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 80:20 (สินีนาฏ และคณะ, 2545) ในการทำก้อนแข็ง และใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์: ทรายมาตรฐาน: น้ำ กงที่ที่ 1: 2.0: 0.5 โดยมีระยะเวลาการบ่มก้อนคอนกรีตเท่ากับ 28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด หาค่าความหนาแน่น และนำมาบดเพื่อ นำไปทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ตอนพิเศษ) พ.ศ. 2548

4.3.1 ผลของค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยซึ่งผ่านกระบวนการล้างน้ำ และไม่ล้าง ที่อัตราส่วน 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 80:20 มีค่าลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดใน ตารางที่ ก-1 และ ก-2, ภาคผนวก ก)



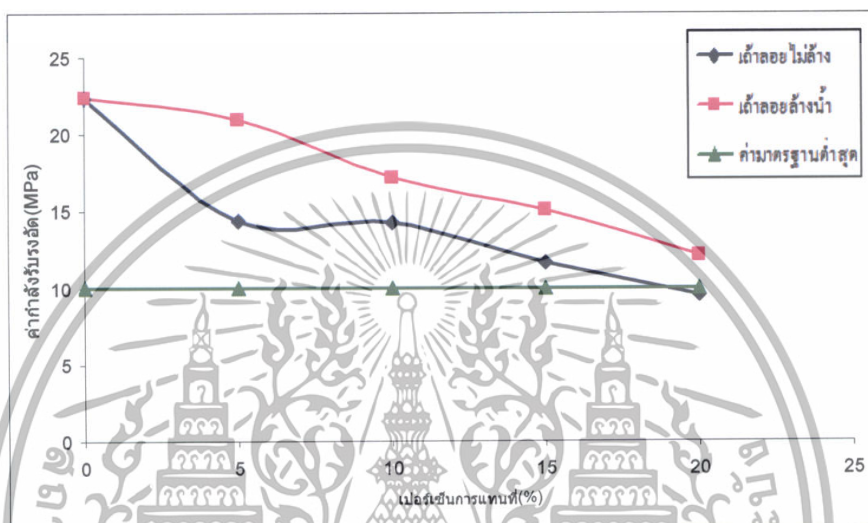
รูปที่ 4.3 ผลของความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาร์ที่อัตราส่วนต่างๆจากการแทนที่ของเถ้าลอย

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยซึ่งผ่านกระบวนการล้างน้ำ และไม่ล้างเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 1.95 – 2.08 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีค่ามากกว่ามาตรฐาน ซึ่งตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) เรื่องหลักเกณฑ์ หรือและวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง ฟังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ได้กำหนดไว้ว่าต้องมีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

ผลของค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่มีเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ และไม่ผ่านการล้างน้ำ เป็นส่วนผสมในอัตราส่วน 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 80:20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดใน ตารางที่ ค-1 และ ค-2, ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.4 ผลของกำลังรับแรงอัด

จากรูป จะเห็นว่า มอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม จะมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าก้อนมอร์ตาร์ที่ไม่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม และค่าจะลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้น ที่เปอร์เซ็นต์การแทนที่ของเถ้าลอยมากที่สุดจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดค่าสุด ส่วนก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำเป็นส่วนผสมก็ให้ผล ในทำนองเดียวกัน ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 213-2520) อยู่ในช่วง 10 – 45 เมกะปาสคาล ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ และไม่ล้างน้ำ มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าค่าต่ำสุดตามมาตรฐาน

เมื่อทำการเปรียบเทียบ ก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ และไม่ผ่านการล้างน้ำ เป็นส่วนผสม พบว่า ก้อนมอร์ตาร์ที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า มอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยไม่ผ่านการล้างน้ำเป็นส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจาก เกลือที่พบในเถ้าลอยส่วนใหญ่เป็นเกลือที่ละลายง่าย เช่นเกลือของโลหะหมู่ 1 (Na_2O , K_2O) เกลือของสารประกอบคลอไรด์ ซึ่งจะส่งผลทำให้ระยะเวลาก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์ช้าลง ตลอดจนกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง (Sancharoen, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดสอบการชะละลาย

ทำการทดสอบหาปริมาณโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4 (ดูรายละเอียดใน ตารางที่ ก-3 และ ก-4, ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม

ตัวอย่าง ที่	อัตราส่วนที่ (fly ash: cement)	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)			
		FA		FA-washed	
		Pb	Cd	Pb	Cd
	ค่ามาตรฐาน	< 5.0	< 1.0	< 5.0	< 1.0
1	0:100	0.0003	< 0.007	0.0002	< 0.007
2	5:95	0.0003	< 0.007	0.0003	< 0.007
3	10:90	0.0003	< 0.007	0.0002	< 0.007
4	15:85	0.0003	< 0.007	0.0002	< 0.007
5	20:80	0.0003	< 0.007	0.0002	< 0.007

หมายเหตุ: FA คือ เถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชน

FA-washed คือ เถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำ

จากการทดสอบการชะละลายพบว่า ปริมาณของ ตะกั่ว (Pb) ในก้อนคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมในอัตราส่วน 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 20:80 มีค่าต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าเพียง 0.0003 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่มาตรฐานยอมให้มีได้ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำเถ้าลอยมาล้าง จะพบว่า ปริมาณ ตะกั่ว (Pb) มีค่าไม่แตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ล้าง โดยมีค่าเพียง 0.0002 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับปริมาณ แคดเมียม (Cd) ในเถ้าลอย และเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ ก็ให้ผลใกล้เคียงกัน คือน้อยกว่า 0.007 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน กำหนดให้มี 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น จะเห็นได้ว่า เถ้าลอยจากเตาเผาขยะเทศบาลสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากเมื่อนำมาทำเป็นก้อนคอนกรีตแล้วปรากฏว่า พบปริมาณโลหะหนักน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การนำไปใช้

เนื่องจาก ผลของกำลังรับแรงอัด มอร์ตาร์ที่ทำการทดลองมีค่าดังตารางที่ 4.5 (ดูรายละเอียดใน ตารางที่ ค-1 และ ค-2, ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.5 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ที่เถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ และไม่ล้างน้ำเป็นส่วนผสมที่ อัตราส่วนผสมต่างๆ

การแทนที่ (cement : fly ash)	กำลังต้านแรงอัด (MPa)	
	เถ้าลอยที่ไม่ล้าง	เถ้าลอยที่ล้างน้ำ
100 : 0	21.66	21.66
95 : 5	13.95	20.71
90 : 10	13.96	16.77
85 : 15	11.23	14.31
80 : 20	9.16	11.71

จากตาราง แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของเถ้าลอยที่ไม่ล้าง มีค่าอยู่ในช่วง 9.16- 13.95 เมกะปาสคาล และ ของเถ้าลอยที่ผ่านการล้างอยู่ในช่วง 11.71- 20.71 เมกะปาสคาล จากค่ากำลังรับแรงอัด ดังที่กล่าวมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตได้ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงความต้านแรงอัดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ผลิตภัณฑ์	ความต้านแรงอัด (MPa)	อ้างอิง
คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก	2.5	มอก. 58-2530
คอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก	13.7	มอก. 60- 2516
คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก	14.0	มอก. 57-2530
คอนกรีตบล็อกกลวงสำหรับคอนกรีตสำเร็จรูป	11.0	มอก. 445- 2525
สิ่งปลูกสร้างหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และการทำให้เป็นก้อนแข็ง(Solidification)	3.4	หลักเกณฑ์ หรือและวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด หึ่ง ผึ่งสิ่งปลูกสร้างหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา องค์ประกอบและปริมาณ โลหะหนักของเถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการล้าง (Washing Process) และไม่ผ่านกระบวนการล้าง และศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าลอยดังกล่าวไปใช้ทดแทนซีเมนต์บางส่วน โดยได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ และทางเคมี ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ คือ

1. จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของเถ้าลอย จากเตาเผาขยะเทศบาล โดยใช้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ตอนพิเศษ) พ.ศ. 2548 และการทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ตอนพิเศษ) พ.ศ. 2548 พบว่า เถ้าลอยมีองค์ประกอบองค์ประกอบหลักๆคือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) พบในปริมาณร้อยละ 34.27 และคลอไรด์ (Cl) ร้อยละ 22.80 และนอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบส่วนใหญ่อื่นๆที่พบ คือ ออกไซด์ของอัลคาไลน์ (Na_2O , K_2O) ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และ ซัลเฟต (SO_3) ในส่วนของโลหะที่พบได้แก่ Mg, Ti, Fe, Cu, Zn และ Pb ซึ่งจะพบในปริมาณเล็กน้อย และจากการทดสอบการชะละลาย ได้ทำการหาปริมาณ ตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) พบว่า โลหะหนักทั้ง 2 มีชนิด มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยที่ ตะกั่วไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียมไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. กระบวนการล้าง (Washing Process) เป็นการหา จำนวนรอบและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเถ้าลอย จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการล้างเถ้าลอย จำนวน 3 รอบ ปริมาณเกลือจะถูกล้างออกมาในรอบแรกมากที่สุด สำหรับรอบที่ 2 และ 3 มีเกลือที่ละลายออกมาเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกทำการล้างเถ้าลอยที่ 1 รอบ และจากการศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง ซึ่งทำการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลง โดย XRF พบว่า เมื่อแปรค่าอัตราส่วนของน้ำล้างที่ 25, 50, 75 และ 100 มิลลิตร เกลือของโลหะหมู่ที่ 1 ได้แก่ Na_2O และ K_2O และเกลือของสารประกอบคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี จะถูกชะล้างออกมามากที่สุด ที่ปริมาณน้ำล้างเท่ากับ 25 มิลลิตร ต่อเถ้าลอย 5 กรัม หรือ อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง(liquid:solid ratio) เท่ากับ 5 และในขณะเดียวกันยังพบว่าองค์ประกอบอื่น ๆ คือ MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 , CuO , PbO , ZnO มีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น

3. จากการศึกษาผลของการนำเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้าง และไม่ล้างมาเป็นวัสดุทดแทนในซีเมนต์ เมื่อแปรค่าอัตราส่วน เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ คือ 0:100, 5:95, 10:90, 15:85 และ 80:20 และทำการบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 28 วัน พบว่า ค่าความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์มีค่าลดลงตามอัตราส่วนเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยล้างน้ำ และไม่ล้างน้ำ เป็นส่วนผสม พบว่า มอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยล้างน้ำเป็นส่วนผสม มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า มอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยไม่ผ่านการล้างน้ำเป็นส่วนผสม และจากการทดสอบการชะละลาย ของมอร์ตาร์พบว่า การปนเปื้อนของ ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองพบว่า เถ้าลอยจากเตาเผาขยะชุมชนมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ใน ปริมาณน้อย ดังนั้นจึงควร ทำการศึกษาเพิ่มเติม ในเรื่องของการผสมสารที่เป็นองค์ประกอบหลักเพิ่มเข้าไป เช่น อะลูมินา ซิลิกา เป็นต้น แล้วทำการเผาในเตาที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ผงปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพเพิ่ม สูงขึ้น

2. ควรทำการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) และ ค่าการดูดกลืนน้ำเพิ่มเติม
3. ควรทำการศึกษา ที่ระยะเวลาป้อมอื่นๆ เพิ่มเติม
4. ควรศึกษาวิธีการชะละลายแบบอื่นๆ แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2546) ของเสียอันตราย, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, ออกตาม
ความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535, กระทรวงอุตสาหกรรม
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เล่ม 123 ตอนพิเศษ (2548) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว,
กระทรวงอุตสาหกรรม
- ประณต กุลประสูติ (2548) เทคนิคงานปูน- คอนกรีต (ฉบับปรับปรุง), พิมพ์ครั้งที่ 7 สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- ปราโมทย์ พรหมทอง (2546) ผลของการคัดแยกมูลฝอยของเตาเผาขยะชุมชนจังหวัดภูเก็ตที่มีผลต่อการทำ
ถ้ำลอยให้เป็นถ้ำคอนกรีต, วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2549) ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต (ฉบับ
ปรับปรุง), ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พรเทพ มั่นกตัญญู และ นาย วสันต์ โพธิ์เต็ง (2546) การปรับเสถียรถ้ำจากเตาเผาขยะโรงพยาบาลด้วย
วิธีการยัดจับด้วยซีเมนต์, วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเคมี, คณะ
วิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มัลลิกา ปัญญาคะโป (2549) การจัดการของเสียอันตราย, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร.
- วินิต ซ่อวิเชียร (2539) คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete technology), ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สินีนานู พวงมณี, อุดมผล พิษณุไพบูลย์, สุรพล อารีย์กุล และ พนาลี ชีวภิกดาการ (2545) การศึกษาความ
เป็นไปได้ในการนำถ้ำลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับ
น้ำหนัก, วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม, มอก. 57 – 2530. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก**, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2531
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม, มอก. 58 – 2530. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก**, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2531
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม, มอก. 60 – 2516. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2535
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม, มอก. 213 – 2520. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2526
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอุตสาหกรรม, มอก. 445 – 2525. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลวงสำหรับพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2535
- Aubert, J.E., Husson, B. and Sarramone, N. (2006) **Utilization of municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash in blended cement Part 1: Processing and characterization of MSWI fly ash**. Laboratoire Materiaux et Durabilite des Constructions (L.M.D.C.), France
- Andac, M. and Glasser, F.P. (1998) **The effect of test conditions on the leaching of stabilised MSWI-fly ash in Portland cement**. Department of Chemistry, University of Aberdeen, Scotland
- American Society for testing and Materials.2000, ASTM C 109/C 109M – 99: **Standard Method of Testing for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens)**. Annual Book of ASTM Standards. Section 4, Vol.04.01. page 84-89.
- Cinquelpalmi, M-A., Manialardi, T., Panei, L., Paolini, A-E. and Pane,L. (2007) **Reuse of cement-solidified municipal incinerator fly ash in cement mortars: Physico-mechanical and leaching characteristics**. Facolt'a di Ingegneria, Universit'a di Roma "La Sapienza", via Eudossiana, Italy
- Glasser, F.P. (1997) **Fundamental aspects of cement solidification and Stabilization**. Department of Chemistry, University of Aberdeen, United Kingdom.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Huang, W-J. and Chu, S. (2003) **A study on the cement properties of municipal waste incineration ashes.** Department of Environmental Science and Engineering, National Ping-Tun University of Science and Technology, Taiwan.
- Inthasaro, P. (2002) **Utilization of Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash as a Partial Cement Replacement.** Master's Thesis, Inter-Departmental Program in Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn university, Bangkok.
- Minocha, A.K., Jain, N. and Verma, C.L. (2003) **Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metal sludge.** Environmental Science and Technology Division, India
- Nzihou, A. and Sharrock, P. (2002) **Calcium phosphate stabilization of fly ash with chloride extraction.** Centre Energetique-Environnement, France
- Pan, J., Huang, C., Kuo, J-J. and Lin, S-H. (2007) **Recycling MSWI bottom and fly ash as raw materials for Portland cement.** Biotechnology Center, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.
- Sanchaen, P. (2003) **Utilization of Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash as a Partial Cement Replacement in Concrete,** Master's Thesis, Inter-Departmental Program in Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn university, Bangkok.
- Wan, X., Wang, W., Ye, T., Guo, Y., Gao, X. (2005) **A study on the chemical and mineralogical characterization of MSWI fly ash using a sequential extraction procedure.** Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University China.

<http://advisor.anamai.moph.go.th/283/28305.ht>

<http://www.cpac.co.th/techno/conbook/write.htm>

<http://www.mea.or.th/internet/hdd/vitcha.pdf>

http://www.phuketcity.go.th/html/incinerator/pm_inc00.html

<http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/periodic-table/Cu.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ้ำลอย

ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำ

ตารางที่ ก-1 องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำจากเตาเผาขยะชุมชน (%)

องค์ประกอบ	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)	เฉลี่ย	SD
Na ₂ O	9.38	7.33	8.85	8.52	1.06
MgO	1.59	1.15	1.43	1.39	0.22
Al ₂ O ₃	1.51	1.42	1.28	1.40	0.12
SiO ₂	4.39	3.91	3.90	4.07	0.28
P ₂ O ₅	1.97	1.86	1.61	1.81	0.18
SO ₃	9.79	9.32	8.87	9.33	0.46
Cl	22.7	22.1	23.6	22.8	0.75
K ₂ O	13.3	18.3	19.70	17.10	3.36
CaO	35.8	35.10	31.90	34.27	2.08
TiO ₂	1.13	1.10	1.02	1.08	0.06
Fe ₂ O ₃	1.34	1.29	1.12	1.25	0.12
CuO	0.28	0.29	0.26	0.28	0.02
ZnO	1.12	1.10	1.00	1.07	0.06
PbO	0.35	0.32	0.29	0.32	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำล่อยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ (Washing Process) (%)

องค์ประกอบ	ปริมาณน้ำล้าง 25 ml					ปริมาณน้ำล้าง 50 ml					ปริมาณน้ำล้าง 75 ml					ปริมาณน้ำล้าง 100 ml				
	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)	เฉลี่ย	SD	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)	เฉลี่ย	SD	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)	เฉลี่ย	SD	S1 (%)	S2 (%)	S3 (%)	เฉลี่ย	SD
Na ₂ O	1.110	2.940	2.240	2.10	0.92	0.958	0.950	2.47	1.460	0.88	2.72	0.900	0.938	1.520	1.04	2.150	NR	NR	2.150	1.24
MgO	3.080	2.570	2.710	2.79	0.26	3.020	3.260	3.82	3.370	0.41	3.04	2.970	3.050	3.190	0.04	3.110	3.390	3.420	3.310	0.17
Al ₂ O ₃	3.240	2.750	2.580	2.86	0.34	3.020	2.940	3.38	3.110	0.23	2.96	3.130	3.060	3.050	0.09	3.040	3.330	3.130	3.170	0.15
SiO ₂	8.650	6.730	7.250	7.54	0.99	7.830	7.580	8.39	7.930	0.41	7.25	7.830	8.090	7.720	0.43	7.640	8.590	7.600	7.940	0.56
P ₂ O ₅	4.150	3.580	3.480	3.74	0.36	4.200	4.020	4.51	4.240	0.25	4.11	4.090	4.320	4.170	0.13	3.970	4.550	4.160	4.230	0.29
SO ₃	13.900	13.000	13.300	13.4	0.46	12.90	13.700	13.50	13.370	0.17	11.9	12.400	12.300	12.20	0.26	11.60	12.20	12.00	11.93	0.31
Cl	2.940	7.310	6.340	5.53	2.29	3.430	3.660	3.32	3.470	0.09	2.73	2.540	2.590	2.620	0.10	2.550	2.060	1.570	2.060	0.49
K ₂ O	1.600	4.660	3.800	3.35	1.58	1.780	1.940	1.77	1.830	1.75	1.47	1.470	1.440	1.460	0.02	1.500	1.250	1.010	1.250	0.25
CaO	54.400	51.000	52.60	52.63	1.70	55.80	54.800	52.40	54.330	0.09	56.1	56.700	56.300	56.370	0.31	56.50	55.60	58.60	56.90	1.54
TiO ₂	2.090	1.830	1.85	1.92	0.14	2.090	2.000	1.92	2.000	0.11	2.06	2.210	2.150	2.140	0.08	2.140	2.190	2.340	2.220	0.10
Fe ₂ O ₃	2.400	1.990	2.14	2.18	0.21	2.330	2.300	2.130	2.250	0.02	2.29	2.470	2.430	2.390	0.09	2.430	2.480	2.540	2.480	0.06
CuO	0.455	0.425	0.429	0.43	0.02	0.473	0.475	0.432	0.460	0.11	0.447	0.479	0.492	0.730	0.02	0.482	0.461	0.516	0.486	0.03
ZnO	1.850	1.620	1.650	1.71	0.13	1.830	1.920	1.70	1.820	0.02	1.85	1.920	1.930	1.900	0.04	2.000	1.960	2.110	2.020	0.08
PbO	0.486	0.468	0.462	0.47	0.01	0.526	0.530	0.499	0.518	0.02	0.503	0.529	0.536	0.523	0.02	0.561	0.557	0.593	0.570	0.02

ตารางแสดงปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลาย

ตารางที่ ก-3 ปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลายในตัวอย่างและตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ (Washing Process)

ตัวอย่าง	ตัวอย่างที่	ปริมาณโลหะหนัก (mg/L)					
		Pb			Cd		
	ค่ามาตรฐาน	5	เฉลี่ย	SD	1	เฉลี่ย	SD
FA	1	0.0025	0.0025	0	0.02	0.0197	0.00025
	2	0.0025			0.0195		
	3	0.0025			0.0198		
FA - washed	1	0.0024	0.0024	0	0.0199	0.0196	0.00052
	2	0.0024			0.019		
	3	0.0025			0.0199		

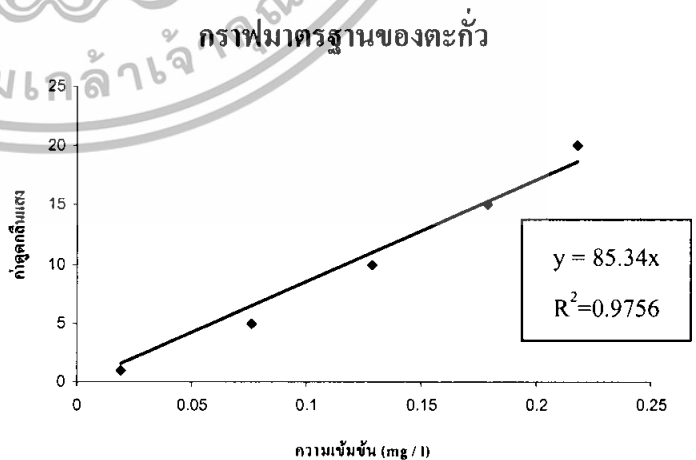
หมายเหตุ: FA คือ ตัวอย่างจากเตาเผาขยะชุมชน

FA-washed คือ ตัวอย่างจากเตาเผาขยะชุมชนที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำ

การคำนวณ

1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของตะกั่ว	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.000
1	0.019
5	0.076
10	0.129
15	0.179
20	0.218



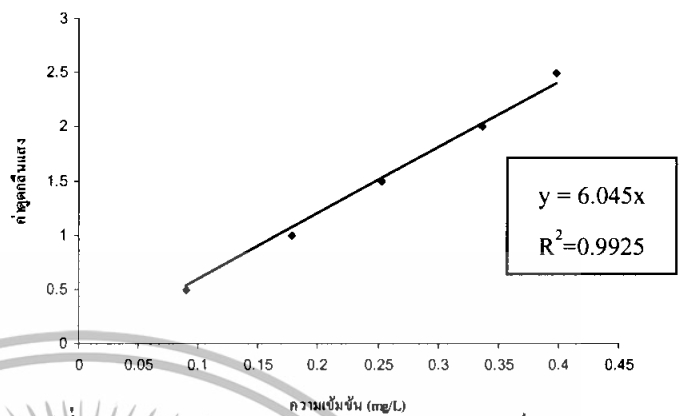
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเข้มข้นของตะกั่ว กับค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น ของแคดเมียม	ค่าการดูดกลืน แสง
0.0	0
0.5	0.09
1.0	0.178
1.5	0.253
2.0	0.337
2.5	0.398

กราฟมาตรฐานของแคดเมียม



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเข้มข้นของแคดเมียม กับค่าดูดกลืนแสง

2. วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน : $y = 85.34x$

โดยกำหนดให้ x คือ ความเข้มข้นของ ตะกั่ว และแคดเมียม หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
 y คือ ค่าดูดกลืนแสง

3. วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นของสาร

ตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณตะกั่ว ของถ้ำลอย (FA) โดยที่มีค่า ดูดกลืนแสง = 0.219

จากสมการ $y = 85.34x$

จะได้ $0.219 = 85.34 x$

$$x = 0.0025$$

เพราะฉะนั้น ปริมาณตะกั่วในถ้ำลอย (FA) มีค่า เท่ากับ 0.0025 mg/L

ตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณแคดเมียม ของถ้ำลอย (FA) โดยที่มีค่า ดูดกลืนแสง = 0.1209

จากสมการ $y = 6.045x$

จะได้ $0.1209 = 6.045x$

$$x = 0.02$$

เพราะฉะนั้น ปริมาณแคดเมียมในถ้ำลอย (FA) มีค่า เท่ากับ 0.02 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการศึกษาจำนวนรอบและปริมาณน้ำที่ในการล้างถ้วย

ตารางแสดงผลการศึกษาจำนวนรอบและปริมาณน้ำที่ในการล้างถ้วย

ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาจำนวนรอบในการล้างถ้วย

รอบที่	ปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง (ml)	pH	TDS (g/L)	ปริมาณเกลือที่ละลาย (g)
1	25	12.19	57.72	1.4430
	50	12.23	34.39	1.7195
	75	12.26	24.92	1.8690
	100	12.33	24.37	2.4370
2	25	12.37	17.07	0.4268
	50	12.63	15.71	0.7855
	75	12.57	5.07	0.3803
	100	12.53	3.49	0.3490
3	25	12.48	4.12	0.1035
	50	12.59	2.13	0.1065
	75	12.49	1.39	0.1043
	100	12.26	1.12	0.1120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำในการล้างถั่วลอย

ปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง (ml)	ขวดที่	pH _{ก่อนแช่}	pH _{หลังแช่}	TDS (g/L)	ปริมาณเกลือที่ละลาย (g)	ปริมาณเกลือที่ละลายต่อถั่วลอย (mg/g)
25	1	10.90	11.29	45.25	1.1313	225.2
	2	11.60	12.21	70.04	1.7510	345.7
	3	11.36	12.06	54.43	1.3608	271.5
เฉลี่ย		11.29	11.85	56.57	1.4144	280.8
SD		0.36	0.50	12.53	0.31	60.79
50	1	12.18	12.29	37.96	1.8980	379.2
	2	12.25	12.30	45.33	2.2665	451.8
	3	12.28	12.31	47.37	2.3685	463.0
เฉลี่ย		12.24	12.30	43.55	2.1777	431.3
SD		0.05	0.01	4.95	0.25	45.49
75	1	12.36	12.39	28.16	2.1120	420.0
	2	12.33	12.39	28.01	2.1008	420.1
	3	12.34	12.40	31.40	2.3550	467.4
เฉลี่ย		12.34	12.39	29.19	2.1892	435.8
SD		0.02	0.01	1.92	0.14	27.33
100	1	12.34	12.47	24.45	2.4450	488.6
	2	12.33	12.42	23.12	2.3120	462.0
	3	12.32	12.41	22.28	2.2280	445.2
เฉลี่ย		12.33	12.43	23.28	2.3283	465.3
SD		0.01	0.03	1.09	0.11	21.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

การคำนวณ หาค่าของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids: TDS) ปริมาณเกลือที่ละลายน้ำ และปริมาณเกลือที่ละลายต่อแฉะลอย (mg/g) สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

เมื่อ A = น้ำหนักของถ้วยระเหยและของแข็งที่แห้ง (มก.)

B = น้ำหนักของถ้วยระเหย (มก.)

ตัวอย่าง การหาค่าของแข็งละลายน้ำ ของแฉะลอยที่ผ่านการล้าง 1 รอบ ที่ปริมาณน้ำ 25 มล. ขวดที่

1 เมื่อ: น้ำหนักของถ้วยระเหยและของแข็งที่แห้ง = 47.3106 กรัม

น้ำหนักของถ้วยระเหย = 46.8581 กรัม

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร จะได้ ; ของแข็งละลายน้ำ (ก/ล)} &= \frac{(47.3106 - 46.8581) \times 1000}{10 \text{ (มล.)}} \\ &= 45.25 \text{ (ก/ล)} \end{aligned}$$

- ปริมาณเกลือที่ละลายน้ำ จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ จะได้

25 ml ขวดที่ 1 ; ในน้ำ 10 ml มีปริมาณเกลือที่ละลาย = 0.4525 กรัม

ถ้าในน้ำ 25 ml จะมีปริมาณเกลือที่ละลาย = $0.4525 \text{ (ก)} \times 25 \text{ (มล.)}$

10 (มล.)

= 1.1313 กรัม

- ปริมาณเกลือที่ละลายต่อแฉะลอย (มก./ กรัม แฉะลอย)

เมื่อ ; น้ำหนักแฉะลอยเริ่มต้น = 5.0233 กรัม

จะได้ว่า ; แฉะลอย 5.0233 กรัม มีปริมาณเกลือละลายออกมา = 1.1313 กรัม

ถ้าแฉะลอย 1 กรัม จะมีปริมาณเกลือละลายออกมา = $\frac{1.1313 \text{ กรัม}}{5.0233 \text{ กรัม}}$

= 225.2 (มก./ กรัม แฉะลอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลแสดงรายละเอียดสมบัติของก้อนมอร์ตาร์

ตารางแสดง ข้อมูลความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ และไม่ล้างน้ำ แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยไม่ล้างน้ำเป็นส่วนผสม

%ผสม	กว้าง	ยาว	สูง	น้ำหนัก	แรงดัน	กำลังรับแรงอัด	เฉลี่ย	SD	ความหนาแน่น	เฉลี่ย	SD
Fly ash	cm	cm	cm	kg	kN	Mpa			kg/cm ³		
0%	5.04	5.02	5.04	0.278	58.55	23.14			2.18		
	5.03	5.04	5.02	0.279	55.33	21.83	22.32	0.72	2.19	2.18	0.02
	5.06	5.08	5.03	0.279	56.51	21.98			2.16		
5%	5.02	5.05	5.23	0.28	37.81	14.92			2.11		
	5.26	5.04	5.2	0.285	39.71	14.98	14.36	1.02	2.07	2.06	0.06
	5.14	5.18	5.17	0.274	35.09	13.18			1.99		
10%	5.16	5.12	5.18	0.277	40.79	15.44			2.02		
	5.19	5.06	5.09	0.277	36.31	13.83	14.27	1.02	2.07	2.03	0.04
	5.13	5.22	5.2	0.277	36.28	13.55			1.99		
15%	5.05	5.22	5.06	0.269	30.75	12.33			2.02		
	5.17	5.07	5.01	0.268	28.71	10.95	11.66	0.69	2.04	2.03	0.02
	5.02	5.2	5.02	0.269	30.36	11.63			2.05		
20%	5.06	5.13	5.1	0.265	9.58	9.58			2		
	5.18	5.04	5.2	0.264	9.48	9.48	9.52	0.05	1.94	1.98	0.03
	5.07	5.12	5.06	0.262	9.5	9.5			1.99		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของก้อน mortar ที่มีเถ้าลอยผ่านการล้างน้ำเป็นส่วนผสม

%ผสม Fly ash	กว้าง cm	ยาว cm	สูง cm	น้ำหนัก kg	แรงดัน kN	กำลังรับ แรงอัด Mpa	เฉลี่ย	SD	ความ หนาแน่น kg/cm ³	เฉลี่ย	SD
0%	5.04	5.02	5.04	0.278	58.55	23.14			2.18		
	5.03	5.04	5.02	0.279	55.33	21.83	22.32	0.72	2.19	2.18	0.02
	5.06	5.08	5.03	0.279	56.51	21.98			2.16		
5%	5.02	5.06	5.17	0.268	53	20.87			2.04		
	5.01	5.1	5.03	0.264	54	21.13	20.9	0.21	2.05	2.04	0.02
	5.01	5.05	5.18	0.266	52.4	20.71			2.02		
10%	5.27	5.06	5.05	0.272	43.7	17.1			2.02		
	5.05	5.08	5.04	0.274	47.2	18.4	17.17	1.19	2.12	2.05	0.06
	5.07	5.22	5.1	0.273	42.4	16.02			2.02		
15%	5.03	5.07	4.97	0.261	37.7	14.78			2.06		
	5.1	5.05	4.97	0.256	40	15.53	15.08	0.40	2	2.01	0.04
	4.98	5.02	5.1	0.252	37.3	14.92			1.98		
20%	5.07	5.01	5.01	0.252	28.9	11.51			1.98		
	5.06	5.06	5.08	0.252	29.8	11.59	12.02	2.44	1.94	1.95	0.03
	5.06	5.11	5.02	0.251	33.5	12.96			1.93		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลาย

ตารางที่ ค-3 ปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลายของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนที่ Fly ash : cement	ก้อนที่	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)					
		Pb			Cd		
		ค่าที่ วัดได้	เฉลี่ย	SD	ค่าที่วัด ได้	เฉลี่ย	SD
0 : 100	1	0.0003			0.0600		
	2	0.0003	0.0003	0.00	0.0612	0.0603	0.00
	3	0.0002			0.0598		
5 : 95	1	0.0003			0.0631		
	2	0.0002	0.0003	0.00	0.0645	0.0623	0.00
	3	0.0003			0.0592		
10 : 90	1	0.0003			0.0596		
	2	0.0003	0.0003	0.00	0.0614	0.0592	0.00
	3	0.0002			0.0566		
15 : 85	1	0.0002			0.0612		
	2	0.0003	0.0003	0.00	0.0643	0.0615	0.00
	3	0.0004			0.0589		
20 : 80	1	0.0004			0.0615		
	2	0.0003	0.0003	0.00	0.0631	0.0627	0.00
	3	0.0003			0.0634		
ค่ามาตรฐาน		5			1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 ปริมาณโลหะหนักในการทดสอบการชะละลายของก้อนมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำ (Washing Process) เป็นส่วนผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนที่ Fly ash : cement	ก้อนที่	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)					
		Pb			Cd		
		ค่าที่ วัดได้	เฉลี่ย	SD	ค่าที่ วัดได้	เฉลี่ย	SD
0 : 100	1	0.0003			0.0600		
	2	0.0003	0.0003	0.00	0.0612	0.0603	0.00
	3	0.0002			0.0598		
5 : 95	1	0.0002			0.0646		
	2	0.0003	0.0002	0.00	0.0612	0.0613	0.00
	3	0.0002			0.0581		
10 : 90	1	0.0003			0.0602		
	2	0.0002	0.0003	0.00	0.0578	0.0585	0.00
	3	0.0003			0.0576		
15 : 85	1	0.0002			0.0547		
	2	0.0003	0.0002	0.00	0.0559	0.0556	0.00
	3	0.0002			0.0562		
20 : 80	1	0.0003			0.0562		
	2	0.0002	0.0002	0.00	0.0630	0.0608	0.00
	3	0.0002			0.0632		
ค่ามาตรฐาน		5			1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

หลักเกณฑ์ หรือและวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง ฟังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่ แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ข้อ 1 การทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฟังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ให้ผู้ประกอบการโรงงานดำเนินการโดยวิธีการบำบัด (Treatment) หรือการกำจัด (Disposal) วิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรือหลายวิธีต่อเนื่องกัน (Chain treatments) ขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ๆ ซึ่งต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย ดังต่อไปนี้

1.1 การบำบัดโดยวิธีฟิสิกส์ (Physical treatment) ได้แก่

- 1) การเหวี่ยงแยก (Centrifugation)
- 2) การกลั่นแยกด้วยไอน้ำ (Steam distillation and Steam stripping)
- 3) การกรองผ่านตัวกรองหลายชั้น (Multi-media filtration)
- 4) การกรอง แยกด้วยเยื่อเมมเบรน (Reverse osmosis, Micro-/Ultra-filtration)
- 5) การทำระเหย (Evaporation)
- 6) การแยกด้วยฟองอากาศ (Air flotation)
- 7) การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity thickening)
- 8) การแยกด้วยเครื่องแยกน้ำและน้ำมัน (Oil/water separator or Coalescence separator)

1.2 การบำบัดโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ (Physical/chemical treatment) ได้แก่

- 1) การชะล้างดิน (Soil washing)
- 2) การแยกด้วยอากาศ (Air stripping)
- 3) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption)
- 4) การจับตัวตกตะกอน (Precipitation/Flocculation)
- 5) การแยกด้วยอากาศละลายน้ำและสารเคมี (Dissolved air flotation)
- 6) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange)
- 7) การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid/liquid extraction)
- 8) การกรองรีดน้ำ (Filter press, dewatering, vacuum filtration and belt-press filtration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การบำบัดโดยวิธีเคมี (Chemical treatment) ได้แก่

- 1) การปรับค่าความเป็นกรดด่างและทำให้เป็นกลาง(Neutralizaion and pH adjustment)
- 2) การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน (Oxidation/reduction reactions)
- 3) การทำลายความเป็นพิษด้วยก๊าซโอโซน หรือรังสีเหนือม่วง (Ozonation and UV/ozonation)
- 4) การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis)
- 5) การตกตะกอน (Precipitation)
- 6) การทำลายคลอรีนอิสระ (Dechlorination)
- 7) การทำลายสารประกอบฮาโลเจน (Dehalogenation)

1.4 การบำบัดโดยวิธีชีวภาพ (Biological treatment) ได้แก่

- 1) ถังปฏิกิริยานิดฟิล์มตรึง (Attached film reactors)
- 2) ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)
- 3) ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)
- 4) การหมัก (Composting)
- 5) ระบบบ่อฝัง (Stabilization ponds)
- 6) การย่อยสลายทางชีวภาพแบบอยู่กับที่ (In situ biological decomposition)
- 7) การทำลายพิษทางชีวภาพ (Biological detoxification)

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

- 1) การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Wet-air oxidation)
- 2) การฉีดเผาในรูปของเหลว (Liquid injection incineration)
- 3) การเผาในเตาเผาซีเมนต์ และการเผาในเตาหมุน (Cement kiln incineration and Rotary kiln incineration)
- 4) การเผาในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed incineration)
- 5) การทำระเหยด้วยแสงแดด (Solar evaporation)

1.6 การบำบัดโดยกระบวนการปรับเสถียร กระบวนการตรึงสาร กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization/fixation/solidification processes) ได้แก่

- 1) การหลอมในแก้วหลอม (Molten glass)
- 2) การตรึงด้วยสารเคมี (Chemical fixation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยสารประสาน (Pozzolan and cement based solidification)

4) การห่อหุ้มด้วยสารเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic encapsulation)

5) การทำเป็นโพลิเมอร์ (Polymer encapsulation)

1.7 การบำบัด หรือการกำจัดแบบ land treatment and/or disposal ได้แก่

1) การทำลายฤทธิ์ในหน้าดิน (Land farming)

2) การพ่นรดน้ำ (Spray irrigation)

3) การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Engineered, secured landfill)

4) การเก็บบนพื้นดินระยะยาว (Above ground long-term storage)

5) การฉีดลงชั้นน้ำใต้ดินลึก (Deepwell injection)

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

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

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

2.2 มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 3 ก่อนการนำไปฝังกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.1 การสกัดสารเพื่อทดสอบหาปริมาณสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable) จากสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว และเพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช่แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

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

2) หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว มีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.5 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

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

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

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

(5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 3.2

3.2 การวิเคราะห์หาค่าสารอันตรายต่างๆ ในของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วจากข้อ 3.1.1

1) ให้ใช้วิธีมาตรฐาน US EPA SW 846 หรือวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2539 ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์ของสารละลายจากการสกัด (Leachate) มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานดังที่ระบุในข้อ 5 หมวด 1 ของภาคผนวกที่ 1 ให้ดำเนินการทำลายฤทธิ์ใหม่ เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือ

วัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. ๒๕๔๘ (ตอนพิเศษ)

ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย

ข้อ 1 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารไวไฟ (Ignitable substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

1.1 เป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่ไม่รวมถึงสารละลายที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่น้อยกว่า 24 % โดยปริมาตร วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำการวัดด้วยเครื่องมือ Pensky-Martens Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM Standard D-93-79หรือ D-93-80 หรือการวัดด้วยเครื่องมือ Setflash Closed Cup Tester ตามวิธีทดสอบของมาตรฐาน ASTM Standard D-3278-78

1.2 เป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถถูกเป็นไฟได้ เมื่อมีการเสียดสี หรือเมื่อมีการดูดความชื้น หรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเองภายในสารนั้น และเมื่อเกิดถูกเป็นไฟจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและอย่างต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส)

1.3 เป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้ (Ignitable compressed gas) ซึ่งก๊าซอัดนี้ ให้หมายถึงวัสดุหรือของผสมใด ๆ ที่บรรจุอยู่ในถังบรรจุที่มีความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure) มากกว่า 2.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส หรือมีความดันสมบูรณ์ มากกว่า 7.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำการวัดตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D-323

1.4 เป็นสารออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) ซึ่งสามารถไปกระตุ้นให้เกิดการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ขึ้นได้ ได้แก่ สารประกอบจำพวก chlorate permanganate inorganic peroxide และ nitrate

ข้อ 2 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารกัดกร่อน (Corrosive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังนี้

2.1 เป็นสารละลาย (Aqueous solution) ที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำการวัดด้วย pH-meter ตามวิธีทดสอบของ USEPA Method 9040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีผู้ใดนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เป็นของเหลวที่กัดกร่อนเหล็กกล้าชั้น SAE 1020 ได้ในอัตราสูงกว่า 6.35 มิลลิเมตรต่อปี ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำโดยการใช้วิธีทดสอบของ NACE (National Association of Corrosion Engineers) Standard TM-01-69

ข้อ 3 สิ่งปฏิภนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

3.1 เป็นสารที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและอย่างรุนแรงโดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น

3.2 เป็นสารซึ่งทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ

3.3 เป็นสารซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้ของผสมที่จะระเบิดได้

3.4 เป็นสารซึ่งเมื่อผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดมีก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้น ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

3.5 เป็นสารที่มีองค์ประกอบของไฮยาไดรอกไซด์หรือซัลไฟด์ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระหว่าง 2 ถึง 11.5 แล้ว สามารถก่อให้เกิดมีก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้นในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

3.6 เป็นสารซึ่งเมื่อถูกทำให้ร้อนในที่จำกัดจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาระเบิดรุนแรงได้

3.7 เป็นสารซึ่งสามารถระเบิดได้ทันที หรือเกิดปฏิกิริยาระเบิดได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) จะมีปฏิกิริยารุนแรง

ข้อ 4 สิ่งปฏิภนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารพิษ (Toxic substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

4.1 เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยหรือสิ่งแวดล้อม เพราะมีคุณสมบัติของความเป็นสารก่อมะเร็ง สารพิษแบบเฉียบพลัน สารพิษแบบเรื้อรัง สารที่มีคุณสมบัติสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามบัญชีรายชื่อในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2A และกลุ่มที่ 2B ของ International Agency for Research on Cancer เป็นต้น

4.2 เป็นสารที่มีค่าความเป็นพิษ ดังต่อไปนี้ เป็นสารที่มีค่า Acute oral LD50 น้อยกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมเมื่อใช้หนู (Rat) เป็นสัตว์ทดลอง หรือมีค่า Acute inhalation LC50 น้อยกว่า 10,000 ส่วนในล้านส่วนในสภาพของไอหรือก๊าซ หรือเมื่อใช้กระต่ายเป็นสัตว์ทดลอง มีค่า acute dermal LD50 น้อยกว่า 4,300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ ค่า LD50 หมายถึง ค่า(ปริมาณ)เฉลี่ยของสารพิษ (Mediumlethal dosage) ที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD50 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LC50 หมายถึง ค่า(ความเข้มข้น)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง(50%) ค่า LC50 มีหน่วยเป็นส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของสารพิษต่อล้านส่วน(โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

4.3 เป็นสารที่มีค่า Acute aquatic 96-hour LC50 น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อวัดในน้ำอ่อน (ความกระด้าง ทั้งหมด เท่ากับ 40-48 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต)กับปลา fathead minnows (*Pimephales promelas*) ปลา rainbow trout (*Salmo gairdneri*) หรือปลา golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) ตามที่กำหนดใน Part 800 ของ the “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (16th Edition),” American Public Health Association, 1985

4.4 เป็นสารที่มีองค์ประกอบของสารที่ระบุข้างล่างนี้ ในปริมาณความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งหรือปริมาณรวมของสารทั้งหมด มากกว่าหรือเท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนัก

- 1) 2-Acetylaminofluorene (2-AAF)
- 2) Acrylonitrile
- 3) 4-Aminodiphenyl
- 4) Benzidine and its salts
- 5) bis (Chloromethyl) ether (BCME)
- 6) Methyl chloromethyl ether
- 7) 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)
- 8) 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts (DCB)
- 9) 4-Dimethylaminoazobenzene (DAB)
- 10) Ethyleneimine (EL)
- 11) alpha-Naphthylamine (1-NA)
- 12) beta-Naphthylamine (2-NA)
- 13) 4-Nitrobiphenyl (4-NBP)
- 14) N-Nitrosodimethylamine (DMN)
- 15) beta-Propiolactone (BPL)
- 16) Vinyl chloride (VCM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 5 สิ่งปลูกสร้างหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ที่กำหนดไว้ดังนี้

5.1 เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสาร

อนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่ง
 ปลูกสร้างหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit
 Concentration (TTLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ แอนติโมนี และ/หรือสารประกอบแอนติโมนี 500
 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Antimony and/or antimony compounds) สารหนู และ/หรือสารประกอบของ
 สารหนู 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Arsenic and/or arsenic compounds) แร่ใยหินหรือแอสเบสตอส
 (Asbestos) 1.0 (ร้อยละ)แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต)(Barium and/or barium compounds (excluding barite and
 barium sulfate)เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม 75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Beryllium
 and/or beryllium compounds) แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม 100 มิลลิกรัมต่อ
 กิโลกรัม (Cadmium and/or cadmium compounds) สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ 500
 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Chromium (VI) compounds) โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียม
 ไตรวาเลนต์ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Chromium and/or chromium (III) compounds) โคบอลต์
 และ/หรือ สารประกอบของโคบอลต์ 8,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Cobalt and/or cobalt
 compounds) ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Copper and/or
 copper compounds) สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts) 18,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Lead and/or lead compounds)
 ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Mercury and/or mercury
 compounds) โมลิบดีนัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดีนัม 3,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ไม่รวมโม
 ลิบดีนัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum
 disulfide) นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Nickel and/or nickel
 compounds) ซีลีเนียม และ/หรือสารประกอบซีลีเนียม 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Selenium and/or
 selenium compounds) เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Silver and/or
 silver compounds) ธาเลียม และ/หรือสารประกอบธาเลียม 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Thallium
 and/or thallium compounds) วาเนเดียม และ/หรือสารประกอบวาเนเดียม 2,400 มิลลิกรัมต่อ
 กิโลกรัม (Vanadium and/or vanadium compounds) สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี 5,000
 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Zinc and/or zinc compounds) แอลดริน (Aldrin) 1.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 คลอเดน (Chlordane) 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดีดีที ดีดีอี หรือ ดีดีดี (DDT, DDE, DDD) 1.0
 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 2,4-ดี (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid) 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คีลดริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Dieldrin) 8.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD)) 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เอนดริน (Endrin) 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) 4.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คีโปน (Kepone) 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Lead compounds, organic) 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลินเดน (Lindane) 4.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมททอกซีคลอร์ (Methoxychlor) 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไมเร็กซ์ (Mirex) 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพนตาคลอโรฟีนิล (Pentachlorophenol) 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพลีคลอริเนตเตดไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls (PCBs)) 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทอกซาเฟน (Toxaphene) 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไตรคลอโรเอทีลีน (Trichloroethylene) 2,040 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซิลเว็กซ์ (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid) 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (หมายเหตุ - ค่าที่กำหนดของสารอินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบในกรณีของแอสเบสตอสและโลหะ ธาตุ ค่าที่กำหนดไว้ให้ใช้กับสารที่อยู่ในสภาพร่วนเป็นผงละเอียดเท่านั้น ทั้งนี้ แอสเบสตอส จะรวมถึง chrysotile amosite crocidolite tremolite anthophyllite และ actinolite)

5.2 สิ่งปลูกสร้างหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/L) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

สารหนู และ/หรือสารประกอบของสารหนู 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Arsenic and/or arsenic compounds) แบริยม และ/หรือสารประกอบแบริยม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ยกเว้นแบริท์และแบริยมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate) เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (Beryllium and/or beryllium compounds) แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Cadmium and/or cadmium compounds) สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chromium (VI) compounds) โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนต์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chromium and/or chromium (III) compounds) โคบอลต์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลต์ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร (Cobalt and/or cobalt compounds) ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (Copper and/or copper compounds) สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts) 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mercury and/or mercury compounds) โมลิบดีนัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดีนัม 350 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไม่รวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum disulfide) นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (Nickel and/or nickel compounds) ซีลีเนียม และ/หรือสารประกอบซีลีเนียม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Selenium and/or selenium compounds) เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds) 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ธาเลียม และ/หรือสารประกอบธาเลียม 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Thallium and/or thallium compounds) วาเนเดียม และ/หรือสารประกอบวาเนเดียม 24 มิลลิกรัมต่อลิตร (Vanadium and/or vanadium compounds) สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (Zinc and/or zinc compounds) แอลดริน (Aldrin) 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอเดน (Chlordane) 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ดีดีที ดีดีอี หรือ ดีดีดี (DDT, DDE, DDD) 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร 2,4-ดี (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid) 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดีลด์ริน (Dieldrin) 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD)) 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร เอนดริน (Endrin) 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) 0.47 มิลลิกรัมต่อลิตร เคโปเน (Kepone) 2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลินเดน (Lindane) 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เมทอซไคลอร์ (Methoxychlor) 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไมเร็กซ์ (Mirex) 2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) 1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร โพลีคลอโรอินเตเตไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls (PCBs)) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทอกซาเฟน (Toxaphene) 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) 204 มิลลิกรัมต่อลิตร ซิลเว็กซ์ (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (หมายเหตุค่าที่กำหนดของสารอินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ)

5.3 การทดสอบสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว โดยนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) จะทำขึ้นก็ต่อเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Concentration) ของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกินค่า TTLC ในข้อ 5.1 แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดในข้อ 5.2 หรือเมื่อต้องการนำสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

ข้อ 6 การหาค่าความเข้มข้นทั้งหมด การสกัดสาร และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด ให้ใช้วิธี ดังต่อไปนี้

6.1 ในการเตรียมตัวอย่างสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ที่ต้องการทดสอบหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Total Concentration) หรือปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (Extractable Concentration) ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

1) ชนิดที่ 1 – สำหรับสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถบดได้ จะต้องนำไปร่อน หรือไปบดเพื่อให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานก่อนนำไปวิเคราะห์ หากตัวอย่างมีวัสดุที่ไม่สามารถบดได้ และร่อนไม่ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ และเป็นวัสดุที่ปนเปื้อนมาไม่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเดิมของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ให้แยกออกแล้วทิ้งเสีย ส่วนที่เหลือของตัวอย่างให้นำไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ก่อนจะนำไปรวมและผสมกันอย่างทั่วถึงกับส่วนของตัวอย่างที่ไม่ต้องผ่านการบด เพื่อรอการวิเคราะห์ ต่อไป

2) ชนิดที่ 2 – สำหรับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของผสม

ระหว่างของแข็งและของเหลวที่สามารถนำไปกรองได้ โดยมีองค์ประกอบของของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะต้องทำการกรองตัวอย่างเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยการกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน จากนั้นทำการวัดปริมาณของส่วนที่กรองได้และเก็บไว้ โดยส่วนนี้จะถือว่าเป็น Initial Filtrate ส่วนของแข็งที่แยกได้จะนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (สิ่งแปลกปลอมจะถูกแยกทิ้งไป) และนำไปผสมกับของแข็งที่ผ่านตะแกรงโดยไม่ต้องบด ซึ่งส่วนที่เป็นของแข็งนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีในข้อ 6.4 โดย สักส่วนของน้ำสกัด (extraction solution) ที่ใช้ คือ 10 มิลลิลิตรของน้ำสกัดต่อหนึ่งกรัมของของแข็ง เมื่อเสร็จสิ้นการสกัดแล้ว สารละลายที่สกัดได้จะถูกนำไปกรองและไปผสมกับ Initial Filtrate อย่าง ทั่วถึงก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีในข้อ 6.5.2

3) ชนิดที่ 3 – สำหรับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นกากตะกอน

(sludge) เกลน (slurry) หรือเป็นน้ำมัน (oily) น้ำมันดิน(tarry) หรือ resinous material ที่ไม่สามารถกรองหรือบดได้ หลังจากแยกสิ่งแปลกปลอมออกแล้ว ตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4) หากจำเป็นต้องมีการตากแห้งตัวอย่างที่เป็นของแข็ง หรือองค์ประกอบของแข็งก่อนทำการร่อน บด หรือแยกสิ่งแปลกปลอมออก หรือได้มีการทำให้ของเสียนั้นแห้งก่อนทำการวิเคราะห์ จะต้องทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่หายไป และต้องบันทึกสภาพของการทำให้แห้งไว้ด้วย

5) ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ในการหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นในกรณีที่เป็นกรหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 มิลลิเมตร

6.2 สำหรับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของเหลว หรือมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะไม่ต้องนำมาสกัดโดยวิธี Waste Extraction Test (WET) แต่สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าของสารต่างๆ ได้โดยตรง และจะถือว่าเป็นของเสียนั้นๆ ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกิโลกรัมของสารใดๆ มีค่ามากกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้สำหรับสารนั้นอย่างไรก็ตาม หากค่า ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารนั้น มีค่าน้อยกว่าค่า TTLC แต่มากกว่า ค่า STLC เมื่อคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องนำ ตัวอย่างของเหลวนั้นมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรู กรอง 0.45 ไมครอน แล้วนำเอาของเหลวที่ผ่านการกรองไปทำการวิเคราะห์หาค่าของสารนั้น โดย จะถือว่าเป็นของเสียอันตราย ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในของเหลว ที่ผ่านการกรองมีค่ามากกว่าค่า STLC ที่ระบุไว้สำหรับสารนั้น

6.3 ให้ใช้ สารละลาย 0.2 M sodium citrate ที่ pH 5.0 ± 0.1 เป็นน้ำสกัดที่ใช้ในวิธี WET (WET extraction solution) โดยเตรียมจากการนำสารละลาย citric acid ในปริมาณที่เหมาะสมมา ปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วย สารละลาย 4.0 N NaOH สารละลาย citric acid สามารถเตรียมได้โดย นำเอา analytical grade citric acid ไปละลายใน deionized water สำหรับการวิเคราะห์หาค่าเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (chromium (VI)) ให้ใช้ deionized water เป็นน้ำสกัด

6.4 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีขั้นตอนดังนี้

1) นำ 50 กรัมของตัวอย่างใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกประเภท โพลีเอทิลีน (ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้วเมื่อต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตราย) ภาชนะที่ใช้ในการสกัด ควรผ่านการล้าง (rinsed) อย่างต่อเนื่องด้วยสารละลาย nitric acid ซึ่ง สามารถเตรียมได้จากการนำเอา nitric acid solution มาผสมกับ deionized water ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร)

2) เติม 500 มิลลิลิตรของน้ำสกัดลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปใส่ในภาชนะ ด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไป และป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงในตัวอย่าง เมื่อเสร็จแล้วให้ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และ นำไปเขย่าโดยใช้ table shaker หรือ overhead stirrer หรือ rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลา (vigorously agitated suspension) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์หาค่าสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น trichloroethylene จะต้องทำ การไล่อากาศและ ออกซิเจนออกจากน้ำสกัด ก่อนที่จะเติมลงในตัวอย่าง เพื่อหลีกเลี่ยงการระเหยของสารนั้น

3) จากนั้นนำเอาของผสมไปกรอง หรืออาจปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอนโดยใช้ thick-walled suction flask ที่สะอาด สำหรับของแข็งขนาดหยาบ สามารถใช้ Pressure filtration แทน vacuum filtration ได้ สำหรับของแข็งขนาดเล็ก อาจต้อง centrifuged ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบถึง 10,000 รอบก่อนนำไปกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน

4) ชนิดของแผ่นกรองที่ใช้ ควรมีองค์ประกอบของโลหะหนัก ฟลูออไรด์ และสารอินทรีย์ที่สามารถชะออกมาได้ในปริมาณที่น้อยมาก

5) อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็น ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน method 1310 ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods,” SW-846, 3rd edition, U.S.Environmental Protection Agency, 1986

6) ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส

7) ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะ (metal elements) เท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จาก ข้อ 6.4.3 ลงในขวดโพลีเอทิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริกจนความเข้มข้นของกรดในสารละลายผสม (สารละลายที่กรองได้จากข้อ 6.4.3 ผสมกับกรดไนตริก)เป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ให้ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)

8) ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายด้วย หรือต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จาก ข้อ 6.4.3 ลงในขวดแก้ว ยกเว้นถ้าเป็นการวิเคราะห์หาฟลูออไรด์ ควรใช้ขวดโพลีเอทิลีนกรณีที่เป็นวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตรายและฟลูออไรด์ ห้ามทำการปรับสภาพให้เป็นกรด แต่ต้องนำไปแช่แข็งทันที จนกว่าจะมีการนำไปวิเคราะห์ เว้นแต่จะทำกรวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง

9) ก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารเป้าหมาย เพื่อที่จะหาว่าปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (extractable concentration;EC) ในตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า STLC ของสารนั้นหรือไม่ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ (2)

6.5 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตราย (Total Concentration) ให้ใช้วิธีที่กำหนดดังนี้

1) สำหรับโลหะและสารประกอบ ให้ใช้วิธีสกัดที่กำหนดไว้ใน Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods,” SW-846, 2nd edition, U.S. Environmental Protection Agency, 1982 ดังนี้คือ

- Method 3050 สำหรับโลหะและสารประกอบทุกด้วยแก้วโครเมียมเฮกซาวาเลนท์
- Method 3060 สำหรับโครเมียมเฮกซาวาเลนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สำหรับ สารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆ ยกเว้น สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (organic lead compounds) ให้ใช้วิธีที่กำหนดไว้ใน Chapter Two, “Choosing the Correct Procedure” ใน “Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods,” EPA Publication SW-846, Third Edition and Updates

3) สำหรับ สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (organic lead compounds) ให้ใช้วิธีที่กำหนดไว้ในภาคผนวกที่ 11 ของ California Code of Regulations, Title 22 Social Security, Division 4.5 Environmental Health Standards for the Management of Hazardous Waste, Chapter 11 Identification and Listing of Hazardous Waste



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้