

การชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเติมแก้วตะกั่ว



นางสาวกัณธิมา ทุ่นใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEACHING OF LEAD FROM CRUCIBLE USED FOR RUBY TREATMENT WITH LEAD GLASS
ADDITIVE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเดิม แก้วตะกั่ว
โดย	นางสาวกัณธิมา ทุ่นใจ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุบล โชติพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ชูตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุบล โชติพงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ ประไพรัชสิทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ภูวดล วรรณชะชัยแสง)

กณธิมา ทุ่นใจ : การชะละลายของตะกั่วจากแก้วเผาพลอยทับทิมแบบเดิมแก้วตะกั่ว (LEACHING OF LEAD FROM CRUCIBLE USED FOR RUBY TREATMENT WITH LEAD GLASS ADDITIVE) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรุบล โชติพงษ์, อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, 112 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากแก้วเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอย ด้วยความร้อนแบบเดิมแก้วตะกั่ว โดยได้คัดเลือกตัวอย่างแก้วจากโรงงานเผาพลอย จำนวน 5 โรงงาน แบ่งเป็นโรงงานแบบเผาใหม่ที่มีการเติมแก้วตะกั่วจำนวน 4 โรงงาน และ 1 โรงงานที่มีทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแก้วตะกั่ว เพื่อเปรียบเทียบกับแก้วที่ยังไม่มีการใช้งาน ผลการศึกษาประกอบด้วยสามส่วน คือ 1.) ผลการศึกษารูปแบบการเป็นของเสียอันตราย พบว่าแก้วเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ถูกจัดประเภทเป็นของเสียอันตรายทุกโรงงาน โดยมีความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTL) และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) อยู่ในช่วง 17,092 – 29,367 มก./กก. และ 299.85 – 793.67 มก./ล.ตามลำดับ ซึ่งเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ที่ 1000 มก./กก. สำหรับ TTL และ 5 มก./ล.สำหรับ STLC ในขณะที่แก้วเผาพลอยทับทิมแบบเผาเก่าและแก้วที่ยังไม่ผ่านการใช้งานไม่ถูกจัดประเภทเป็นของเสียอันตราย 2.) ผลการศึกษารูปแบบการชะละลายของตะกั่วจากแก้วเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) พบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายของแก้วเผาพลอยแบบใหม่และแบบเก่า อยู่ในช่วง 247.77-335.73 มก./ล. และ 0.58 มก./ล. ด้วยวิธี TCLP และ 228.50 - 312.17 มก./ล. และ 0.35 มก./ล. ด้วยวิธี SPLP ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ถูกชะละลายจากแก้วเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้วในทุกโรงงานของทั้ง 2 วิธี มีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 0.2 มก./ล. ยิ่งไปกว่านั้นน้ำชะจากแก้วเผาใหม่ยังมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำชะจากตามกฎหมายว่าด้วยการบริหารจัดการขยะ (The Resource Conservation and Recovery Act: RCRA) จากประเทศสหรัฐอเมริกาในการชะละลายด้วยวิธี TCLP ที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 5 มก./ล. แต่ตัวอย่างแก้วเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วเมื่อชะละลายด้วยวิธี TCLP ให้ค่าต่ำกว่ามาตรฐาน RCRA เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีพบว่าการชะละลายด้วยวิธี TCLP มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าวิธี SPLP และมีแนวโน้มที่เหมือนกันในทุกโรงงาน ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของ TCLP และ SPLP ภายหลังการชะละลาย โดยความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP แสดงในรูปแบบของสมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 1.3021x - 68.507$ โดยตัวแปร x และ y คือ ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายแก้วเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี SPLP และ TCLP ตามลำดับ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9531 นอกจากนี้ยังพบการชะละลายออกมาของตะกั่วจากแก้วเผาพลอยทับทิมทั้งแบบเผาเก่าและเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานด้วยวิธี TCLP เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (TTL) มีค่าอยู่ในช่วง 11.00 – 14.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการชะละลายด้วยวิธี SPLP มีค่าอยู่ในช่วง 7.88 – 14.04 เปอร์เซ็นต์ และ 3.) ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (STLC) จากแก้วเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการกับของเสียประเภทแก้วเผาพลอยทับทิม โดยเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วเผาพลอยบด เท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1 พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าอยู่ในช่วง 0.47 - 41.42, 0.52 - 27.48, 0.46 - 14.04 และ 0.46 - 2.68 มก./ล. ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น และที่อัตราส่วน 9:1 ค่าความเข้มข้นของตะกั่วไม่เกิน 5 มก./ล. และไม่ถูกจัดประเภทเป็นเสียอันตรายในทุกโรงงานที่ใช้อัตราส่วนนี้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาร่วม

5487106020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: LEAD / LEACHING / CRUCIBLE / RUBY TREATMENT / SOLIDIFICATION

GUNTIMA TUNJAI: LEACHING OF LEAD FROM CRUCIBLE USED FOR RUBY TREATMENT WITH LEAD GLASS ADDITIVE. ADVISOR: ASST. PROF. ARUBOL CHOTIPONG, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAKKAPHAN SUTTHIRAT, Ph.D., 112 pp.

This research is aimed to study the lead contents in the leachate from the crucibles used for ruby treatment. Crucible samples from 5 factories were collected for this study. Four factories use new method of lead glass additive treatment where another factory uses both new method with lead additive and traditional method without lead additive. The new (unused) crucibles were also analyzed for comparison. Results of the study can be divided into 3 parts: 1) Classification of hazardous waste indicated that the crucibles used in new method of lead glass additive treatment of all factories are hazardous. Total Threshold Limit Concentration (TTLC) and Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) were found within the ranges of 17,092 – 29,367 mg/kg and 299.85 – 793.67 mg/l, respectively, which exceed the acceptable levels at 1000 mg/kg for TTLC and 5 mg/l for STLC. The crucibles used in traditional method as well as new crucibles are not classified as hazardous wastes. 2) Determination of lead contents in the leachate from these crucible were performed by two methods including toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) and synthetic precipitation leaching procedure (SPLP). The lead concentrations leached from the crucibles of new treatment and traditional treatment ranged from 247.77- 335.73 mg/l and 0.58 mg/l by TCLP, and 228.50 - 312.17 and 0.35 mg /l by SPLP. In comparison to the standard limits, the lead concentrations in leachates from the discard crucibles from all factories undertaken both types of treatment indicated that the lead concentration exceeded the standard limit at 0.2 mg/l for industrial waste disposal. Moreover, crucibles undertaken new treatment yields leachates over the standard limit of 5 mg/l for TCLP leachate according to The Resource Conservation and Recovery Act: RCRA of the United State. On the other hand, leachates obtained from crucibles of traditional treatment were lower than the RCRA limit. Comparing both determination procedures, leaching by TCLP gave higher in lead content than by those of SPLP in all samples which appear to have been effected by the changes in pH of TCLP and SPLP after the leaching. Correlation between lead concentrations from TCLP and SPLP appear to have linear relationship as described by the equation: $y = 1.3021x - 68.507$ where x and y are lead concentrations from SPLP and TCLP, respectively with R^2 of 0.9531. In addition, it was found that the leaching percentages of used crucibles from factories with traditional and new treatments compared to the TTLC ranged from 11.00-14.98 % for TCLP and 7.88 – 14.04 % for SPLP. 3) Study of the STLC from crucibles after solidification as guidelines for management of waste crucibles undergone ruby heat treatment indicated that lead concentration of leachates from solidified crucibles at cement to crushed crucibles ratio of 1:1, 3:1, 6:1 and 9:1 ranged from 0.47 - 41.42, 0.52 - 27.48, 0.46 - 14.04 and 0.46 - 2.68 mg/l, respectively. Lead concentrations were decreased as increasing in the ratios of cement and the ratio 9:1 gave less than 5 mg/l lead. These solidified crucibles (9: 1) are not hazardous wastes at all.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2014

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุบล โชติพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วม ซึ่งกรุณาให้ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับการวิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาให้ ความอนุเคราะห์ เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ ประไพรัชสิทธิ์ และอาจารย์ ดร.ภูวดล วรรณชะชัยแสง ที่กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งได้ ให้ ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ตลอดจนรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ ให้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ มอบทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ ให้ความอนุเคราะห์ ในการใช้ห้องปฏิบัติ และเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณจินดา เตชะศรีรินทร์ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรมโรงงานอุตสาหกรรม จังหวัดชลบุรี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือทุกท่านที่ให้คำแนะนำวิธีการวิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายที่ใช้ในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณวลีพร ศรีเพ็ญประภา และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการใช้ห้องปฏิบัติ และเครื่องมือในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการศึกษาวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ภูวดล วรรณชะชัยแสง ที่ให้ความช่วยเหลือและประสานงานในการเก็บตัวอย่างเป้าหมายลอยสำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประจวบ ทุนใจ และคุณแม่กัญฉนาลี ทุนใจ ที่คอยให้ความช่วยสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ กำลังใจ ให้โอกาสและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างอย่างเต็มที่เสมอมา และขอบคุณพี่ น้อง และ เพื่อน ทุกคนที่คอยให้ ความช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้.....	3
บทที่ 2 การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การปรับปรุงคุณภาพพลอย.....	4
2.2 การเผาพลอย.....	5
2.3 การเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว.....	6
2.3.1 ที่มาของการเผาและแก้วตะกั่วที่ใช้ในการเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว.....	6
2.3.2 กระบวนการเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว.....	7
2.4 เบ้าที่ใช้ในการการปรับปรุงคุณภาพพลอย.....	9
2.5 ตะกั่ว.....	10
2.5.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	11
2.5.2 ประเภทของตะกั่วที่ถูกนำมาใช้งาน.....	14

2.5.3 แหล่งกำเนิดและการกระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม	14
2.5.4 การดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์	16
2.5.5 พิษของตะกั่ว	17
2.6 ของเสียอันตรายและการทดสอบ	18
2.6.1 ความหมายของเสียอันตราย	18
2.6.2 ลักษณะและคุณสมบัติของเสียที่ถูกจัดเป็นของเสียอันตราย	19
2.6.3 การทดสอบการเป็นของเสียอันตราย	20
2.7 การชะละลาย (Leaching) สิ่งเจือปน	22
2.8 การทดสอบการชะละลาย	24
2.8.1 TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)	29
2.8.2 SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	29
2.9 การจัดการของเสียอันตราย	30
2.9.1 ขั้นตอนการจัดการของเสียอันตราย	31
2.9.2 การทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification)	33
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	39
3.1 แผนการดำเนินการศึกษา	39
3.2 การเก็บตัวอย่างเป้าหมายพลอยทับทิมสำหรับใช้ในการศึกษา	41
3.3 การเตรียมตัวอย่างเป้าหมายพลอยทับทิมสำหรับใช้ในการศึกษา	41
3.4 การดำเนินการศึกษา	42
3.4.1 ส่วนที่ 1 ศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548	42
3.4.1.1 ส่วนย่อยที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC)	43

3.4.1.2 ส่วนย่อยที่ 2 ศึกษาความเข้มข้นของตะกั่ว (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC).....	44
3.4.2 ส่วนที่ 2 ศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	46
3.4.2.1 ส่วนย่อยที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure).....	46
3.4.2.2 ส่วนย่อยที่ 2 การศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี	48
3.4.3 ส่วนที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification).....	49
3.5 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล.....	50
3.5.1. วิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิม	50
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา	52
4.1 การศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548	52
4.1.1 ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC)..	52
4.1.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC)	54
4.1.3 วิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิม	56
4.1.3.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548	56

4.1.3.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548	57
4.2 ผลการศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure).....	58
4.2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	59
4.2.1.1 การชะละลายด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure): SW-846 Method 1311	59
4.2.1.2 การชะละลายด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure): SW-846 Method 1312	61
4.2.2 การเปรียบเทียบการชะละลายจากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	63
4.2.2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย	63
4.2.2.2 ค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิม	66
4.2.3 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	68
4.2.4 การเปรียบเทียบผลการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และ SPLP กับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC).....	69
4.3 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)...	70

4.3.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification).....	70
4.3.2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification).....	76
4.3.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 หรือ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC)	78
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการศึกษา	82
5.1.1 การศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548	82
5.1.1.1 ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) ของเบ้าเผาพลอยทับทิม.....	82
5.1.1.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ของเบ้าเผาพลอยทับทิม	82
5.1.1.3 วิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเต็มแก้ว ตะกั่ว	83
5.1.2 การศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	83
5.1.2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure): SW-846 Method 1311	83

5.1.2.2 ความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเติมแก้วด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure): SW-846 Method 1312.....	84
5.1.2.3 การเปรียบเทียบการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเติมแก้ว ตะกั่วด้วยวิธี TCLP และ SPLP.....	84
5.1.2.4 การเปรียบเทียบการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเติมแก้ว ตะกั่วกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	85
5.1.2.5 การเปรียบเทียบผลการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และ SPLP กับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC).....	85
5.1.3 การศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification).....	85
5.1.3.1 ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification).....	85
5.1.3.2 ผลของอัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมกับค่าความ เข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC).....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	87
รายการอ้างอิง	90
ภาคผนวก ก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	112

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่วและสารประกอบตะกั่ว	12
ตารางที่ 2.2 วิธีทดสอบการชะละลายในสภาวะจำลองรูปแบบต่างๆ	25
ตารางที่ 3.1 ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย	50
ตารางที่ 3.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	51
ตารางที่ 3.3 ค่ามาตรฐานน้ำชะกากของ The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)	51
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLIC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิม	53
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิม	55
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)	60
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธีด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	62
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซนต์การชะละลายของตะกั่วด้วยวิธี TCLP และ SPLP	70
ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1	72
ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 3:1	73
ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 6:1	74
ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1	75

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการเผาพลวยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว.....	7
รูปที่ 2.2 ผสมพลวยกับสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว.....	8
รูปที่ 2.3 พลวยที่รวมกับสารเคมีประเภทแก้วตะกั่วนำไปใส่เข้าเผาพลวย.....	8
รูปที่ 2.4 เตาไฟฟ้าที่ใช้ในการเผาพลวย.....	9
รูปที่ 2.5 เข้าเผาพลวย.....	9
รูปที่ 2.6 ค่าพีเอชต่างๆที่มีผลต่อการกระจายตัวของตะกั่ว.....	16
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548.....	21
รูปที่ 2.8 พฤติกรรมการชะละลายโดยทั่วไปของธาตุ 3 กลุ่มที่สภาวะพีเอชเดียวกัน.....	22
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการจัดการของเสียเป็นอันตราย.....	31
รูปที่ 2.10 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการชะละลายของตะกั่ว.....	37
รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองสำหรับการดำเนินการศึกษา.....	40
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเข้าเผาพลวยที่เก็บมาจาก 1 โรงงาน.....	41
รูปที่ 3.3 เครื่องบดตัวอย่างดิสก์มิลล์ (Disc Mill) ยี่ห้อ Siebtechnik รุ่น TS 250.....	42
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเข้าเผาพลวยทับทิมที่ทำการบดละเอียดแล้ว.....	42
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างเข้าเผาพลวยทับทิมที่นำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุน.....	45
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548.....	56
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548.....	57

รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure).....	63
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure).....	65
รูปที่ 4.5 ค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure).....	66
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วกับค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure).....	67
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure กับ ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และมาตรฐานของ RCRA.....	68
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม...	69
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1.....	76
รูปที่ 4.10 ค่าพีเอชของน้ำชะกากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งในอัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1 หลังการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET).....	78
รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1.....	79
รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 3:1.....	79
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ที่อัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 6:1.....	80

รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ที่อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1 81



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอัญมณีสามารถสร้างรายได้เป็นจำนวนมากให้กับประเทศไทยมาตั้งแต่อดีต โดยเฉพาะการเจียรระไนพลอยเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือนที่ทำกันอย่างกว้างขวางใน จังหวัดจันทบุรี เนื่องจากความสามารถในการผลิตที่มีความชำนาญ และประสบการณ์อันยาวนาน ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความสวยงาม เป็นที่ต้องการของลูกค้าในตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ส่งผลให้วัตถุดิบพลอยตามธรรมชาติที่มีคุณภาพดี มีจำนวนลดลงไปอย่างรวดเร็ว ประกอบกับราคาของพลอยที่มีราคาเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการในอาชีพเกี่ยวข้องกับธุรกิจการค้าอัญมณีบางส่วนหันมาให้ความสนใจกับพลอยที่มีคุณภาพรองลงมา แต่สามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพให้มีความใกล้เคียงกับพลอยคุณภาพดี ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยมีอยู่หลากหลายวิธี เช่น การเผา การย้อมสี หรือ การฉายรังสี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง คือ การเผาพลอยหรือการหุงพลอย (Heat treatment) ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยด้วยความร้อน ปัจจุบันการเผาพลอยมีการเติมสารเคมีต่างๆ เข้ามาช่วยในกระบวนการ เช่น สารประกอบแก้วตะกั่วในการปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม โดยการเผาพลอยทับทิมจะมีการนำเข้าไปที่มาจากอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการเผา ส่วนเข้าที่ผ่านการใช้งานแล้วหากเกิดชำรุด หรือหมดอายุการใช้งานไม่สามารถนำมาใช้ต่อไปได้แล้วจะถูกนำไปทิ้งตามถังขยะของชุมชนปะปนกับขยะทั่วไป เนื่องจากกระบวนการเผาพลอยนั้นเป็นเพียงอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตภายใต้เพียงภายในครอบครัวยังไม่ได้ถูกกำหนดไว้ในประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เพราะฉะนั้นวัสดุอุปกรณ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิตจึงยังไม่ได้ถูกจัดการตามแนวทางข้อกำหนดของกฎหมาย จากการศึกษาของกนิษฐา กาญจนบัตร (2553) พบว่า เบ้าเผาพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยความร้อนและเติมสารประกอบตะกั่วจัดเป็นของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยเมื่อนำมาทดสอบหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ค่าที่ได้เกินมาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย ซึ่งสารประกอบตะกั่วที่เหลืตกค้างอยู่ในเบ้าเผาพลอยทับทิมนั้นอาจถูกชะละลายออกมาเมื่อถูกนำไปทิ้งและสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ เนื่องจากตะกั่วเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างรุนแรง เมื่อถูกสะสมไว้ในปริมาณที่

สูงพอจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิด (ฐิติยา แซ่ปึง, 2551) และจากการศึกษาทางพิษวิทยา จัดเป็นสารก่อมะเร็งชนิด 2B ตามการแบ่งประเภทสารขององค์การวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer หรือ IARC) (International Agency for Research on Cancer, 1998)

ดังนั้น การศึกษาความเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิมในครัวเรือนต่างๆ ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิมด้วยความร้อนและแก้วตะกั่วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม และพฤติกรรมการชะละลายในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการกับเบ้าเผาพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่ว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเห็นถึงความสำคัญ ในการป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของตะกั่ว จากการเกิดการชะละลายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่ว
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการชะละลายของตะกั่วในเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่ว
3. เพื่อศึกษาแนวทางการกำจัดของเสียประเภทเบ้าเผาพลอยทับทิม

1.3 สมมติฐาน

1. เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่ว มีปริมาณตะกั่วตกค้างอยู่และเป็นของเสียอันตราย
2. เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่ว มีการชะละลายของตะกั่วได้ในสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่เก็บตัวอย่าง คือ โรงงานที่มีการเผาพลอยทับทิมปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่ว ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

2. การเก็บตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิม โดยแบ่งการเก็บเป็น 2 ส่วนดังนี้

2.1 เข้าเผาพลอยที่ผ่านการใช้งานแล้วในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยจากโรงงานเผาพลอยจำนวน 5 โรงงาน ซึ่งแต่ละโรงงานจะนำเข้ามาจำนวนอย่างน้อย 5 เบ้า

2.2 เข้าเผาพลอยที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน 1 ชุด จำนวน 5 เบ้า เพื่อใช้สำหรับอ้างอิง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้

1. ทราบแนวโน้มปริมาณของตะกั่วที่ถูกชะละลายออกมาจากเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก๊วตะกั่วที่จะเกิดขึ้นออกไปสู่สิ่งแวดล้อม

2. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับจัดทำและเสนอแนะวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดเข้าเผาพลอยที่เกิดจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนและแก๊วตะกั่วด้วยวิธีการที่ถูกต้องเหมาะสมต่อไป

3. เสนอแนวทางวิธีที่เหมาะสมในการจัดการกับเข้าเผาพลอยที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก๊วตะกั่ว



บทที่ 2

การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปรับปรุงคุณภาพพลอย

การปรับปรุงคุณภาพพลอย (Gem enhancement) หมายถึง การทำให้พลอยมีคุณภาพดี และสวยงามขึ้น ส่งผลต่อมูลค่าที่เพิ่มตามมา โดยมีการทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก หรือภายในด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การเผาพลอย (Heat treatment) เป็นวิธีการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดรอยตำหนิที่อยู่ภายในเนื้อพลอยทำให้พลอยใสสะอาดขึ้น โดยเป็นการเผาภายในเตาที่มีอุณหภูมิประมาณ 1,600-1,900 องศาเซลเซียส เมื่อเผาแล้วต้องทำให้พลอยเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการตกผลึกใหม่ นอกจากนี้ยังมีจุดประสงค์อื่นอีกคือเพื่อเพิ่มสีให้เข้มขึ้น และการเผาพลอยเพื่อลดสีให้อ่อนลง พบว่าสถานะของบรรยากาศในเตาเผามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเผาพลอยนิยมนำมาใช้กับ พลอยตระกูลคอรันดัม เช่น ทับทิม และบุษราคัม เป็นต้น

2. การเคลือบสีพลอย (Diffusion) วิธีการนี้ทำได้โดย นำผงธาตุให้สีมาเผาพร้อมกับพลอยด้วยความร้อนสูง ธาตุให้สีจะแทรกเข้าไปในเนื้อพลอยเป็นชั้นบางๆ เพียง 0.10-0.50 มิลลิเมตรตามผิวพลอย และทำให้เกิดสี มักมีการนำมาใช้กับพลอยตระกูลคอรันดัม เช่น ทับทิมและแซฟไฟร์ เป็นต้น

3. การฉายรังสี (Irradiation) คือ การใช้รังสีต่างๆ อาบพลอย แล้วทำให้พลอยเกิดการเปลี่ยนแปลงสีแต่สีที่ได้จะไม่คงทนและมีสีซีดลงเมื่อถูกแสงหรือความร้อนนิยมใช้กับพลอยพวกแซฟไฟร์สีเหลืองอ่อนโดยหลังการฉายรังสีแล้วจะมีสีที่เข้มขึ้น

4. การย้อมสี (Dyed) เป็นการเปลี่ยนสีของพลอยโดยสารละลายสีจะสามารถซึมเข้าไปในรอยแตกของพลอย นิยมทำกับพลอยที่มีรอยแตก เช่น ควอตซ์ หยก และทับทิม เป็นต้น

5. การแช่น้ำมัน (Oiling) เป็นวิธีการที่ทำให้พลอยดูดีขึ้นทั้งสีและความสะอาดโดยน้ำมันจะเข้าไปแทรกตามรอยแตก ช่วยปิดบังรอยแตกนิยมนำกับมรกต เนื่องจากเป็นพลอยที่มีรอยแตกมาก

6. การอุด (Surface repair) ทำได้โดยนำซิลิกาเจล (Silica gel) ไปป้ายบริเวณที่ต้องการจะอุด แล้วนำพลอยไปเผา โดยซิลิกาเจลจะกลายเป็นแก้วติดเข้าไปในหลุมของพลอย

7. การเคลือบพลอยด้วยขี้ผึ้งหรือพลาสติก (Wax or plastic impregnation) นิยมใช้กับพลอยที่มีผิวไม่เรียบ เมื่อเคลือบแล้วพลอยจะสวยขึ้น พลอยที่นิยมเคลือบด้วยขี้ผึ้งหรือพลาสติก ได้แก่ เทอร์ควอยส์และหยก

8. พลอยปะ (Assembled stones) เป็นวิธีการเลียนแบบหรือเพิ่มความคงทนให้กับพลอยมีทั้งพลอยปะ 2 ชั้น และพลอยปะ 3 ชั้น เช่น คอรันดัมปะ 2 ชั้น (Corundum doublet) โกเมนปะด้วยแก้ว (Garnet glass doublet) โอปอลปะ 2 ชั้น (Opal doublet) และโอปอลปะ 3 ชั้น (Opal triplet) เบริลปะ 3 ชั้น (Beryl triplet) หยกปะ 3 ชั้น (Jadeite triplet) ควอตซ์ปะ 3 ชั้น (Quartz triplet) และสปิเนลสังเคราะห์ปะ 3 ชั้น (Synthetic spinal triplet) เป็นต้น

9. การฉาบสี (Foil back) เป็นการฉาบโลหะสีไว้ด้านหลังพลอย จะช่วยให้สีและประกายของพลอยดีขึ้น เนื่องจากโลหะสีที่ฉาบไว้จะช่วยในการสะท้อนแสงของตัวพลอย ส่วนใหญ่พบในแก้ว

สำหรับในประเทศไทยแล้วนิยมใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการเผาพลอยมากที่สุด (บุญทวี ศรีประเสริฐ และ วิลาวัณย์ อติชาติ, 2548)

2.2 การเผาพลอย

การเผาพลอย หรือ การหุงพลอย เป็น วิธีการปรับปรุงคุณภาพพลอยรูปแบบหนึ่งที่ยังคงมีใช้ในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับในตลาดการค้าอัญมณีทั่วโลก โดยได้รับการยอมรับจากผู้ซื้อผู้ใช้ หากมีการเปิดเผย เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นจากสิ่งที่มีอยู่แล้วในเนื้อพลอยตามธรรมชาติ (รักษพรชวาท, 2548) โดยมีรูปแบบในการเผาพลอยดังนี้

การเผาแก้ว หรือ การเผาแบบดั้งเดิม เป็นการเผาแบบให้ความร้อนโดยไม่ใส่สารใดๆลงไปรวมในการเผา และรวมถึงการเผาพลอยทับทิมที่มีการใส่สารบอแรกซ์และซิลิกา เพื่อไปประสานรอยร้าวของพลอย โดยสารเคมีพวกนี้จะเข้าไปประสานรอยแตกในเนื้อพลอยได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นทำให้ยังคงมองเห็นรอยแตกอยู่บางส่วน มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี แต่จะทำปฏิกิริยากับกรดกัดแก้ว (HF) ได้ง่าย (ชโย สารุกิจชัย, 2548) การเผารูปแบบนี้เป็นการเผาที่ทำกันมานานแล้ว หรือที่รู้จักกันว่าการอุดแก้ว (Glass filling)

การเผาใหม่ เป็นการพัฒนามาจากการเผาแบบเก่า ซึ่งการเผาแบบเก่าไม่สามารถทำให้รอยแตกที่มีอยู่ในเนื้อพลอยหายไปได้หมด จึงต้องมีการเพิ่มสารเคมีบางตัวเข้าไปในสารเคมีที่ใช้อยู่เดิม เพื่อให้เนื้อสารเคมีที่จะเข้าไปอุดในรอยแตกมีความใสใกล้เคียง หรือมากกว่าเนื้อพลอยเดิม มองไม่เห็นรอยแตกในเนื้อพลอย แต่สารเคมีที่นำมาอุดนี้ ก็จะก่อให้เกิดความทนทานต่อสารเคมีลดน้อยลง

เช่นกัน ทำให้เมื่อระยะเวลาผ่านไป จะทำให้พลอยมีความหมอง หรือเกิดด้านที่ผิวได้ง่าย สามารถจำแนกการเผาใหม่ออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ ประเภทที่ 1 คือ การเผาโดยใช้สารแบริลเลียม (Be) ที่เป็นสารไม่มีสี แต่จะไปทำปฏิกิริยากับธาตุที่มีอยู่ในพลอย ทำให้พลอยสีสวยขึ้นและสีมีความคงทนมักทำในพลอยแซฟไฟร์ เช่น บุชรากัม (Yellow Sapphire) และ เขียวส่อง (Green Sapphire) เป็นต้น ประเภทที่ 2 คือ การเผาแบบใส่แก้วตะกั่ว (Lead glass) ลงไปในกระบวนการเผาเพื่อประสานรอยแตกให้เรียบเนียนขึ้น ซึ่งต่างจากการเผาเก่าที่ไม่ได้มีการผสมตะกั่วลงไป บางครั้งอาจมีการใส่โลหะหนักอื่นๆ เช่น บิทมัส ลงไปด้วยพลอยที่นำมาเผาวิธีนี้มักจะมีรอยแตกร้าวมาก การเผาวิธีนี้พบมากในพลอยทับทิม

2.3 การเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว

ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับมีการนำตะกั่วมาผสมกับโลหะ หรือสารอื่น ในการผลิตสินค้าเครื่องประดับ รวมทั้งถูกนำมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยเพื่อเพิ่มมูลค่า

2.3.1 ที่มาของการเผาและแก้วตะกั่วที่ใช้ในการเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว

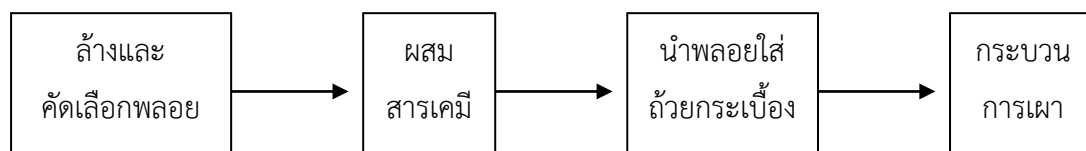
การเผาด้วยแก้วตะกั่วเป็นวิธีที่เคยใช้กับเพชรมาก่อน สำหรับการทำกับพลอยทับทิม นั้นเริ่มต้นครั้งแรกด้วยพลอยการนำทับทิมที่มีคุณภาพต่ำจากประเทศมาดากัสการ์ ซึ่งมีลักษณะทึบแสงถึงโปร่งแสง และมีสีชมพูแดงหรืออมแดง มาปรับปรุงคุณภาพพลอยให้มีความใส แวววาว และเนื้อพลอยดูสะอาดขึ้นเพียงพอที่จะสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องประดับได้ ซึ่งตะกั่วจะเข้าไปอุดรอยแตกในช่องว่างของพลอยโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง (เทพิวธรณ จิตรวัชรโกมล, 2550) สามารถพบพลอยทับทิมที่ผ่านการเผาด้วยการเติมตะกั่ว ได้โดยทั่วไปตามตลาดพลอยในปัจจุบัน ซึ่งมีจำหน่ายกันเป็นจำนวนมาก และมีให้เลือกหลากหลายรูปแบบ

แก้วตะกั่ว (Lead Glass) หรือ แก้วคริสตัล (Lead Crystal Glass) หมายถึง แก้วที่มีปริมาณตะกั่วออกไซด์ (PbO) อยู่ไม่เกินร้อยละ 40 เช่น แก้วคริสตัลที่ใช้ทำเป็นเครื่องประดับมีตะกั่วออกไซด์ (PbO) อยู่ร้อยละ 35 สำหรับแก้วตะกั่วที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอย บางครั้งอาจเรียกว่าแก้วอุดพลอย จะมีสัดส่วนวัตถุดิบที่แตกต่างจากแก้วตะกั่วโดยทั่วไป และไม่มีสูตรที่แน่นอน แต่จะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) ซิลิกา (SiO₂) อลูมินา (Al₂O₃) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และตัวเพิ่มสี เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ (Cu₂O) การเติมตะกั่วลงไปในแก้วจะส่งผลให้ค่าความหนืดของแก้วลดลง มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าแก้วทั่วไป ค่าดัชนีการหักเหของแสง (refractive index) สูงขึ้น จาก 1.5 ของแก้วปกติที่มีใช้งาน เป็น 1.7 และการที่ตะกั่วมีน้ำหนักอะตอมสูงถึง

207.2 ทำให้มีความหนาแน่นของแก้วสูงขึ้น อีกทั้งตะกั่วที่มีปริมาณสูงในแก้วจะทำให้แก้วเนื้อนี้ มีความแข็งแรงลดลง เมื่อทดลองวัดความแข็งของแก้วด้วย Knoop hardness (KHN) เทียบกับ แก้วโซดาไลม์ (แก้วที่ใช้ผลิตจาน ชาม เป็นต้น) พบว่า แก้วตะกั่วมีค่า KHN น้อยกว่า 300 ขณะที่ แก้วโซดาไลม์ มีค่า KHN ประมาณ 500 ซึ่งคุณสมบัติในด้านนี้อาจไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงมากนัก เพราะพอลอยส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในงานเครื่องประดับเท่านั้นจึงไม่ค่อยถูกแรงกระแทกมาจากภายนอก แต่คุณสมบัติเด่นที่ต้องให้ความสนใจ คือ ความทนทานต่อสารเคมี ทนต่อการกัดกร่อนและความเสถียร โดยตะกั่วจะทนต่อการถูกกัดกร่อนจากสภาวะอากาศได้ดี (weathering) แต่ถูกกัดกร่อนด้วยกรดกัดแก้ว (HF) ได้ง่ายกว่าแก้วโซดาไลม์ (เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล, 2550)

2.3.2 กระบวนการเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว

กระบวนการที่ใช้ในปัจจุบันแสดง ดังรูปที่ 2.1 เริ่มต้นจากการล้างและคัดเลือกพลอย นำไปผสมสารเคมีแก้วตะกั่ว (รูปที่ 2.2) ที่เตรียมจากส่วนผสมที่มีองค์ประกอบของตะกั่ว ออกไซด์ (PbO) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) โซเดียมเตตระโบเรตเดคะไฮเดรท หรือ โบแรกซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) ควอร์ต (Quartz) และน้ำ (H_2O) ซึ่งผสมกันอยู่ตามอัตราส่วนที่ต้องการของแต่ละโรงงาน แล้วนำพลอยและสารประกอบแก้วตะกั่วไปใส่ในบ่้าเผาพลอย (รูปที่ 2.3) และนำเข้าเตาเผา (รูปที่ 2.4) โดยการเผาพลอยจะแบ่งเป็นสามช่วง คือ ช่วงแรกจะมีอุณหภูมิ 0-1000 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของเตาจะสูงขึ้น ประมาณ 200 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง เรียกว่า ช่วง Heating up ช่วงที่สองเป็นช่วงที่มีการรักษาระดับอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสให้คงที่ ใช้เวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง เรียกว่า ช่วง Soaking ช่วงสุดท้ายจะเป็นการลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 25 องศาเซลเซียส เรียกว่า ช่วง Cooling รวมใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 10 ชั่วโมง ซึ่งในบางครั้งอาจต้องมีการเผาหลายครั้งจึงจะให้ผลของการเผาพลอยที่ดีตามต้องการ



รูปที่ 2.1 กระบวนการเผาพลอยด้วยการเติมสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว

ที่มา : Chuenjit (2007)



รูปที่ 2.2 ผสมพลอยกับสารเคมีประเภทแก้วตะกั่ว

ที่มา : Chenjit (2007)



รูปที่ 2.3 พลอยที่รวมกับสารเคมีประเภทแก้วตะกั่วนำไปใส่เข้าเผาพลอย

ที่มา : Chenjit (2007)



รูปที่ 2.4 เตาไฟฟ้าที่ใช้ในการเผาพลอย

ที่มา : Chuenjit (2007)

2.4 เบบ้าที่ใช้ในการการปรับปรุงคุณภาพพลอย

การเผาพลอยจะต้องมีการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในขณะที่ทำการเผา ดังนั้นอุปกรณ์ที่จำเป็นนอกจากเตาเผาที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ต้องการแล้ว ยังต้องมีอุปกรณ์สำหรับใส่พลอยที่ผสมรวมกับสารเคมีนำเข้าไปเผาในเตาด้วย ซึ่งอุปกรณ์นั้น คือ เบบ้าเผาพลอย ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เบบ้าเผาพลอย

เบบบ้าเผาพลอยที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยการเผาพลอยทับทิมแบบเติมสารเคมีจะต้องสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้โดยไม่เกิดการหลอมละลายมีความแข็งแรงสามารถรับ

น้ำหนักของพลอยที่บรรจุในเบ้าได้และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้เป็นอย่างดีซึ่งวัสดุที่นำมาทำเบ้าเผาพลอยที่ใช้กันมากคือ อะลูมินาเพราะมีสมบัติทนความร้อนสูงมีความแข็งแรงทนต่อการขัดสี และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีจึงทำให้ผู้ประกอบการนิยมใช้เบ้าเผาพลอยชนิดนี้อะลูมินาในการเผาพลอย ขั้นตอนการผลิต มีดังนี้

1. **วัตถุดิบ** ใช้อะลูมินา เป็นวัตถุดิบหลัก และเติมสารช่วยผนึก (sintering acid) จำพวก ซิลิกา (SiO_2) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ลงไปด้วย เนื่องจากอะลูมินามีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูง คือ 2050 องศาเซลเซียส โดยในการเผาผนึก (sinter) อะลูมินาให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จะต้องเผาที่อุณหภูมิสูง และเติมสารช่วยผนึก เพื่อลดอุณหภูมิการเผาผนึกและยับยั้งไม่ให้ผลึกโตเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติของอะลูมินาต่ำลง

2. **การบดผสม** ทำการบดส่วนผสมที่ผ่านการชั่งตามสูตรแล้วในหม้อบดแบบเปียกโดยใช้น้ำสุดท้ายจะได้ของเหลวที่เรียกว่า สลิปอะลูมินา

3. **การขึ้นรูป** ทำโดยการเทสลิปอะลูมินาลงในแบบพิมพ์ปูนพลาสติกที่มีรูปแบบเป็นเบ้าตามที่ต้องการซึ่งเป็นการขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ เมื่อได้ความหนาเป็นที่พอใจแล้วก็หยุดการเท ทิ้งเบ้าให้ร้อนออกจากพิมพ์แล้วจึงทำการแกะออก

4. **การตกแต่ง** นำเอาเบ้าที่แกะออกมาจากแบบพิมพ์ปูนพลาสติก มาทำการตกแต่งโดยใช้ฟองน้ำให้เรียบร้อยแล้วทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

5. **การเผาผนึก** นำเบ้าที่แห้งและตกแต่งเรียบร้อยแล้วไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 1700 องศาเซลเซียส อีกประมาณ 2 ชั่วโมง

เบ้าที่ได้จากการผลิตตามขั้นตอนสามารถนำไปใช้เผาพลอยได้ที่อุณหภูมิ 2050 องศาเซลเซียส นาน 35 ชั่วโมง โดยจะไม่มีสารกัดกร่อน (วรรณดา ต.แสงจันทร์, 2548)

2.5 ตะกั่ว

ตะกั่ว คือ โลหะหนักที่เป็นพิษมีกระจายอยู่ทั่วไปทุกหนทุกแห่ง ตรวจพบได้ในสิ่งแวดล้อมเช่น ดิน น้ำ อากาศ พืช และเครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือนและจากเหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้นกับหมู่บ้านในอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีสารตะกั่วจากแบตเตอรี่รั่วไหลออกมาเกิดพิษ ทำให้มีเด็กเสียชีวิต 2 คน ส่วนเด็กที่เหลือมีสุขภาพผิดปกติ ซึ่งนี้เป็นตัวอย่างพิษของตะกั่ว ที่เป็นผลมาจากคนนำแบตเตอรี่เก่าไปถมถนน แล้วเกิดการละลายลงสู่ดิน แล้วย้อนกลับมาปะปนในรูปอาหารของคนปรากฏว่าดินในบริเวณถนนที่ถมด้วยกากแบตเตอรี่ของหมู่บ้านนั้นมีตะกั่วสูงถึง 3900 มก./ล. (เมตรี

สุทธจิตต์, 2531) ทำให้มนุษย์มีโอกาสสัมผัสหรือรับสารตะกั่วได้มากยิ่งขึ้นอีกทั้งยังเป็นโลหะที่ไม่มี ความจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์และในปริมาณที่สูงพอจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิด ดังนั้นจึง จำเป็นที่ต้องทำการศึกษหาปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ (ฐิตยา แซ่ปึง, 2551) และจากการศึกษาทาง พิษวิทยาตะกั่วถูกจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งชนิด 2B ตามการแบ่งประเภทสารของ International Agency for Research on Cancer (IARC) หรือ องค์การวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer, 1998)

2.5.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

ตะกั่วเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 82 อยู่ในกลุ่มโลหะ มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.2 มีสี่ เงิน สภาวะออกซิเดชัน คือ 0 +2 หรือ +4 แต่ส่วนมากพบในสภาวะ +2 ที่ความดันบรรยากาศปกติ มีความถ่วงจำเพาะ 11.34 จุดเดือด 1740 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 327.5 องศาเซลเซียส สามารถพบไอโซโทปตามธรรมชาติได้หลายไอโซโทป แต่ที่พบมาก ได้แก่ ^{208}Pb ^{207}Pb ^{206}Pb และ ^{204}Pb (World Health Organization, 1981) ตะกั่วที่พบตามธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่ Galena หรือ ตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) แร่ Cerussite หรือ ตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO_3) และ แร่ Anglesite หรือ ตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) สมบัติโดยทั่วไปของตะกั่ว คือ มีความอ่อนตัว สามารถตัดเป็น รูปร่างต่างๆ ได้ จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ สามารถอยู่ในรูปสารประกอบได้หลาย ชนิด

สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว จำพวกตะกั่วซัลไฟด์และตะกั่วออกไซด์ มักไม่ค่อย ละลายน้ำ ยกเว้น พวกที่อยู่ในรูปของไนเตรต คลอเรต และคลอไรด์ ดังตารางที่ 2.1 อย่างไรก็ตาม พบเกลือของตะกั่วบางชนิดที่อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ เช่น Lead oxalate สามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้ตะกั่วเมื่ออยู่ในรูปไดออกไซด์จะมีสีดำหรือสีเทา และในรูปออกไซด์จะมีสีเหลืองหรือสีส้ม แต่ที่พบกระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่วและสารประกอบตะกั่ว (World Health Organization, 1981)

ชื่อ	สูตรทางเคมี	มวลโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	การละลายในน้ำ เย็น (กรัมต่อลิตร)	ละลายใน
Lead	Pb	207.19	327.502	1740	ไม่ละลาย	กรดไนตริก, กรด ไนตริกเข้มข้นร้อน
Lead acetate	Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	325.28	280	443	-	น้ำร้อน, กรดไนตริก , แอลกอฮอล์
Lead carbonate	PbCO ₃	267.20	315 (decomposes)	-	0.0011	กรด, ต่าง
Lead-monooxide	PbO	223.19	888	-	0.017	กรดไนตริก, ต่าง, NH ₄ Cl
Lead chlorate	Pb(ClO ₃) ₂	374.09	230 (decomposes)	-	ละลายได้ดีมาก	แอลกอฮอล์
Lead chloride	PbCl ₂	278.10	501	950	9.9	เกลือแอมโมเนียม , น้ำร้อน
Lead chromate	PbCrO ₄	328.18	844 (decomposes)	-	0.000058	แอลกอฮอล์, ต่าง

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่วและสารประกอบตะกั่ว (World Health Organization, 1981)

ชื่อ	สูตรทางเคมี	มวลโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	การละลายในน้ำ เย็น (กรัมต่อลิตร)	ละลายใน
Lead oxalate	PbC_2O_4	295.21	300 (decomposes)	-	0.0016	กรดไนตริก
Lead nitrate	$Pb(NO_3)_2$	331.20	470 (decomposes)	-	376.5	แอลกอฮอล์,ต่าง, แอมโมเนีย,น้ำร้อน
Lead stearate	$Pb(C_{18}H_{35}O_2)_2$	774.15	115.7	-	0.5	น้ำร้อน, อีเทอร์
Lead sulfate	$PbSO_4$	303.25	1170	-	0.0425	เกลือแอมโมเนียม, กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
Lead sulfide	PbS	239.25	1114	-	0.00086	กรด
Tetraethyl lead	$Pb(C_2H_5)_4$	323.44	-136.80	200	ไม่ละลาย	เบนซีน,ปิโตรเลียม อีเทอร์,แอลกอฮอล์
Tetramethyl lead	$Pb(CH_3)_4$	267.30	-27.50	100	ไม่ละลาย	เบนซีน,ปิโตรเลียม อีเทอร์,แอลกอฮอล์

2.5.2 ประเภทของตะกั่วที่ถูกนำมาใช้งาน

ตะกั่วที่ถูกนำมาใช้งาน (เอมม่า อาสนจินดา, 2545) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่วเช่น

1.1) โลหะตะกั่ว ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมีสำหรับป้องกันการกัดกร่อนแผ่นกรองในอุตสาหกรรมรถยนต์ ทำลูกปืน หรือ ฉากกันสารกัมมันตรังสี เป็นต้น

1.2) ออกไซด์ของตะกั่ว ได้แก่ ตะกั่วมอนอกไซด์ (Lead monoxide) ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead dioxide) และ ตะกั่วออกไซด์ หรือตะกั่วแดง (Lead red oxide) ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ทำเป็นขั้วอิเล็กทรอนิกส์ของแบตเตอรี่รถยนต์หรือ สีทาโลหะเพื่อกันสนิม เครื่องแก้ว ยางและเครื่องเคลือบ เป็นต้น

1.3) สารประกอบของเกลือตะกั่วมีคุณสมบัติคือทำให้มีสีต่างๆ กัน จึงนิยมใช้เป็นแม่สีหรือสีผสมในอุตสาหกรรมสี เช่น ตะกั่วเหลือง (Lead chromate) ตะกั่วขาว (Lead carbonate) ตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate) ใช้ในอุตสาหกรรมสีและหมึกพิมพ์ ตะกั่วแอซิเตต (Lead acetate) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ครีมใส่ผม ตะกั่วซิลิเกต (Lead silicate) ใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องและเครื่องเคลือบเซรามิกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีผิวเรียบ ตะกั่วไนเตรต (Lead nitrate) ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง และ ตะกั่วอาร์ซีเนต (Lead arsenate) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น

2) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วได้แก่ เทตระเอทิลเลด (Tetraethyl lead) และ เทตระเมทิลเลด (Tetramethyl lead) ใช้เป็น "สารกันน็อก" หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ขณะทำงานโดยใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อให้มีค่าออกเทนเพิ่มสูงขึ้น สารนี้มีสีแดง ดังนั้นน้ำมันชนิดพิเศษชนิดต่างๆ จึงมีสีแดง สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วค่อนข้างจะเป็นพิษมากกว่าตะกั่วอนินทรีย์ เนื่องจากสามารถแพร่กระจายในอากาศได้ดี แต่ปัจจุบันไม่มีการใช้ผสมในน้ำมันเบนซินแล้ว

2.5.3 แหล่งกำเนิดและการกระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่วสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้โดย มีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ และอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เนื่องจากตะกั่วไม่สูญหายไปจากธรรมชาติ มีสถานะเป็นได้ทั้งแก๊สของแข็ง และไอออนละลายอยู่ในน้ำ เปลี่ยนรูปได้ ทำให้สามารถพบอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ โดยกลไกที่มีผลต่อการกระจายของตะกั่ว มีดังต่อไปนี้

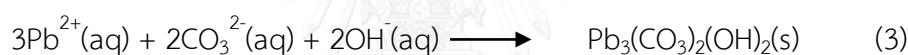
1) ความสามารถในการตกตะกอนสะสมของตะกั่วในดินตะกอน ส่วนหนึ่งเกิดจากการสะสมตามธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ การชะล้างตะกั่วที่อยู่บนพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ หรือตะกั่วที่เป็นส่วนประกอบของแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติบริเวณนั้นตามสภาพทางธรณีวิทยา แล้วละลายออกมาปะปนอยู่ในน้ำได้ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้และการปล่อยตะกั่วสู่แหล่งน้ำอันเป็นผลมาจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ตะกั่วสามารถเกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอน โดยเมื่อ Pb^{2+} ในสารละลายน้ำที่มีไอออนของสารประกอบต่างๆอยู่ด้วย เช่น คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ก็จะสามารถตกตะกอนในรูป $PbCO_3$ ได้ดังสมการปฏิกิริยาการตกตะกอน (1)-(3) (อนรรฆอร พันธุ์ไพศาล, 2549) การเกิดปฏิกิริยาการตกตะกอนและความสามารถในการดูดซับกับวัสดุอื่น เช่น ดิน พีช ทำให้การแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมของตะกั่ว มีระยะทางในการเคลื่อนที่ไม่ไกลจากแหล่งกำเนิดมากนัก



$$K_{sp} = 7.4 \times 10^{-14}$$

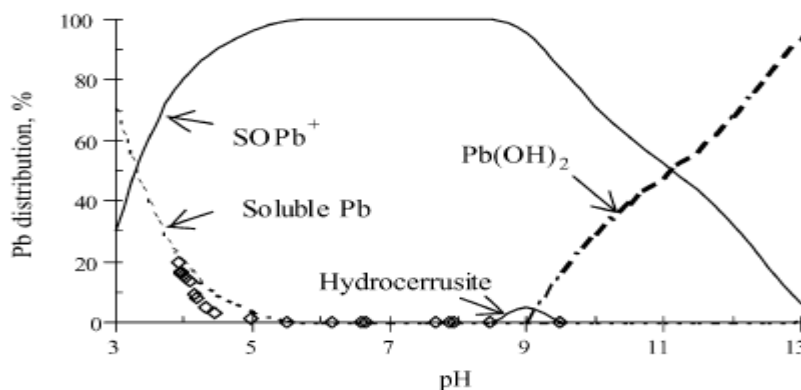


$$K_{sp} = 1.2 \times 10^{-15}$$



$$K_{sp} = 10^{-46.8}$$

2) ความสามารถในการละลาย เป็นกลไกสำคัญที่กำหนดการแพร่กระจายของตะกั่วในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เพราะตะกั่วส่วนใหญ่มีสถานะของแข็งมีความสามารถในการละลายต่ำ แต่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่นการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชจะทำให้ตะกั่วสามารถละลายออกมาและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ตะกั่วที่ละลายน้ำอาจอยู่ในรูปที่ต่างกัน อาทิเช่น Pb^{2+} $Pb(OH)_2$ $Pb(OH)_3^-$ หรือ $Pb(OH)_4^{2-}$ ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (อนรรฆอร พันธุ์ไพศาล, 2549) และความเข้มข้นของไอออนที่อยู่ในน้ำ เช่น OH^- และ CO_3^{2-} โดยที่พีเอชน้อยกว่า 5 ตะกั่วในน้ำจะละลายอยู่ในรูปของ ไอออนอิสระ (Pb^{2+}) หรือ $PbHCO_3$ และเริ่มลดลงเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะเกิดปฏิกิริยาการดูดซับและตกตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 5 จนถึงประมาณ 8.5 ตะกั่วที่ถูกดูดซับและตกตะกอนจะสามารถละลายออกมาได้ในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์ และละลายได้มากขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นอีก ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ค่าพีเอชต่างๆที่มีผลต่อการกระจายตัวของตะกั่ว

ที่มา : Jing et al. (2004)

ดังนั้นความสามารถในการละลายของตะกั่วจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไป
ได้ระยะทางที่ไกลตามการไหลของกระแส น้ำ แต่อย่างไรก็ต้องขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำที่เหมาะสมต่อ
การละลายของตะกั่ว ความคงทนต่อการเปลี่ยนของไอออนที่ละลายในน้ำ การเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ
และตกตะกอน

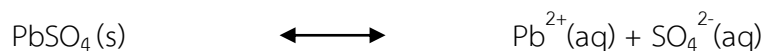
ตัวอย่างสมการและค่าคงที่สำหรับการละลาย (Ksp) ของตะกั่ว (มัลลิกา
ปัญญาคะโป, 2551) มีดังนี้



$$K_{sp} = 2.5 \times 10^{-16}$$



$$K_{sp} = 1 \times 10^{-26}$$



$$K_{sp} = 1.6 \times 10^{-6}$$

2.5.4 การดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ

1) การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารพบว่าร้อยละ 70-85 ของตะกั่วที่
เข้าสู่ร่างกายคนปกติได้จากอาหาร โดยตะกั่วจะเข้าไปพร้อมกับกับอาหาร ซึ่งถูกจะดูดซึมเข้าสู่กระแส
เลือดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น และจากลำไส้เล็กจะเข้าสู่ตับโดยผ่านทางเส้นเลือดดำใหญ่เข้าสู่กระแสเลือด
การดูดซึมตะกั่วในระบบทางเดินอาหารนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น อายุ และภาวะโภชนาการโดยใน

ภาวะที่ท้องว่างหรือได้รับอาหารที่ขาดธาตุแคลเซียมเหล็ก และทองแดงหรือมีสารฟอสเฟตต่ำจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีขึ้นเป็นต้น ซึ่งพบว่าโดยเฉลี่ยเด็กสามารถดูดซึมได้มากถึงร้อยละ 40-50 ของปริมาณตะกั่วในอาหาร ในขณะที่ผู้ใหญ่สามารถดูดซึมตะกั่วจากอาหารได้ประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณตะกั่วในอาหาร

2) การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจโดยการหายใจเอาควันหรือละอองของตะกั่วส่วนใหญ่พบกับผู้ที่ประกอบอาชีพต่างๆ เช่นคนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว แบตเตอรี่สี ซึ่งตะกั่วสามารถดูดซึมผ่านถุงลมปอดเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยการดูดซึมจะเกิดขึ้นเร็วมากถ้ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากในอากาศ

3) การดูดซึมทางผิวหนังเกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้นโดยสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับและมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 200-350 วัน ทำให้สามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานานซึ่งผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนัง จะเกิดขึ้นเมื่อถูกน้ำมันกรดผิวหนังหรือใช้น้ำมันเบนซินล้างมือ เช่น คนงานที่ทำงานในปั้มน้ำมันช่างซ่อมเครื่องยนต์ เป็นต้น

2.5.5 พิษของตะกั่ว

พิษเนื่องจากตะกั่วแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การเกิดพิษแบบเฉียบพลันซึ่งผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น และการเกิดพิษแบบเรื้อรังพิษแบบเรื้อรังผู้ป่วยได้รับสารตะกั่วทีละน้อยค่อยๆสะสมในร่างกาย (ฐิตียา แซ่ปึง, 2551) ซึ่งพิษของตะกั่วนี้ทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยต่างๆต่อระบบการทำงานของร่างกายมนุษย์ทั้งต่อเด็กและผู้ใหญ่ ดังนี้

1) พิษตะกั่วเฉียบพลันอาการสำคัญที่พบ คืออาการของโรคเนื้อสมองเสื่อมเฉียบพลันมักเกิดเมื่อระดับตะกั่วในเลือดสูง และมักพบในเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี อาการอาจเริ่มด้วยชักและหมดสติหรือมีอาการอื่นร่วม เช่น เบื่ออาหาร ซีด ภาวะกรวย ชิม เล่นน้อยลงกระสับกระส่าย เสียกิริยาประสานงาน อาเจียน มีอาการทักเซเสื่อมถอย โดยเฉพาะการพูด

2) พิษตะกั่วเรื้อรังจะมีอาการที่พบในระบบต่างๆเช่นระบบประสาทส่วนกลาง และประสาทสมองส่วนมากจะพบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่มีอาการหงุดหงิดง่ายภาวะกรวย ชิม เวียนศีรษะ เดินเซหกล้มง่าย นอนไม่หลับบุคลิกภาพเปลี่ยนแปลงความจำเสื่อมในรายที่เป็นรุนแรงอาจมีอาการสั้นเวลาเคลื่อนไหวชัก หมดสติ และเสียชีวิตได้ ซึ่งโรคพิษตะกั่วในเด็กเป็นผลจากตะกั่วเข้าไปทำลายเซลล์ประสาททำให้เนื้อเยื่อสมองเกิดอาการบวมมีน้ำและสารต่างๆ ในเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อสมองถูกกดมากๆทำให้เนื้อสมองถูกทำลาย นอกจากนี้ยังพบในระบบอื่นๆร่างกายทำให้เกิดความผิดปกติในการทำงานของต่อมไทรอยด์และต่อมหมวกไตได้นอกจากนี้ตะกั่วเป็นสารก่อมะเร็ง อาจทำให้เกิด

มะเร็งที่ไตเนื้องอกที่ระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร รวมทั้งเป็นสารก่อกลายพันธุ์โดยทำให้เกิดความผิดปกติของดีเอ็นเอได้

2.6 ของเสียอันตรายและการทดสอบ

2.6.1 ความหมายของเสียอันตราย

การให้ความหมายของคำว่า ของเสียอันตราย ได้มีองค์กรและหน่วยงานที่ดูแลด้านสิ่งแวดล้อมหลายแห่งทั้งในประเทศและต่างประเทศได้กำหนดขึ้นเพื่อจำแนกของเสียอันตรายออกจากของเสียที่ไม่มีอันตรายทั่วไป เช่น

โครงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Program, UNEP) ได้ให้นิยามของของเสียอันตรายไว้ว่า หมายถึง ของเสียใดๆ ที่อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีรุนแรง เป็นพิษ เกิดการระเบิด เกิดการกัดกร่อน หรือลักษณะอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ยกเว้นของเสียจำพวกกัมมันตรังสี (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2551)

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environment Protection Agency, US.EPA) กล่าวว่า ของเสียอันตราย คือ ของเสียที่ก่อให้เกิดความเป็นอันตรายกับสุขภาพของมนุษย์หรือสภาพแวดล้อม ซึ่งได้แก่ของเหลว ของแข็ง ก๊าซ หรือสลัดจ์ (Sludge) ของเสียที่เกิดจากการแพร่กระจายทั่วไป เช่นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดของเหลวหรือยาฆ่าแมลง หรือของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม (U.S. EPA, 2013)

กรมควบคุมมลพิษ กำหนดให้ ของเสียอันตราย หมายถึง ของเสียอันตรายใดๆ ที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ อันได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ และวัตถุเปอร์ออกไซด์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ทำให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2548) ได้กำหนดนิยามในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548 ไว้ว่า ของเสียอันตราย คือ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบ หรือ ปนเปื้อนสารอันตราย หรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย ตามลักษณะและคุณสมบัติประเภทต่างๆที่กำหนดไว้ในประกาศ ได้แก่ สารไวไฟ สารกัดกร่อน สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย สารพิษ สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปนที่กำหนดไว้และสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่นำมาสกัดด้วยวิธีที่กำหนดแล้วมีองค์ประกอบของสารปนเปื้อนในน้ำสกัดเท่ากับ

หรือมากกว่าค่าที่กำหนดโดยคำว่า สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว คือ สิ่งของที่ไม่ใช่แล้วหรือของเสีย ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน นับตั้งแต่ของเสียจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิต ของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพ และน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบ หรือคุณลักษณะที่เป็นอันตราย

2.6.2 ลักษณะและคุณสมบัติของเสียที่ถูกจัดเป็นของเสียอันตราย

สามารถจัดแบ่งได้ตามลักษณะและคุณสมบัติที่พบโดยทั่วไปได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

1) ของเสียที่เป็นสารไวไฟ (Ignitable substance) คือ ของเสียที่สามารถติดไฟได้ง่ายเช่น อะซิโตน (Acetone) โทลูอิน (Toluene) เอธิลลิเทียม (Ethyllitium) และสารประกอบกลุ่ม โลหะคาร์บอนิล เป็นต้น

2) ของเสียที่เป็นสารกัดกร่อน (Corrosive substance) คือ ของเสียที่สามารถกัดก่อนโลหะหรือวัตถุอื่นๆได้ และทำให้เกิดอาการไหม้เกรียมที่ผิวหนัง เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)และ กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) เป็นต้น

3) ของเสียที่เป็นสารที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substance) คือ สารที่ไม่เสถียรสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีได้อย่างรวดเร็วและรุนแรงกับน้ำ เช่น สารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มไตรอะซีน และ สารประกอบฮาโลเจนออกไซด์ เป็นต้น

4) ของเสียที่เป็นสารพิษ (Toxic substance) คือ ของเสียที่มีความเป็นพิษก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ตามบัญชีรายชื่อในกลุ่มที่ 1 ในกลุ่มที่ 2A ในกลุ่มที่ 2B ของ International Agency for Research on Cancer เป็นต้น

5) ของเสียที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ดังนี้

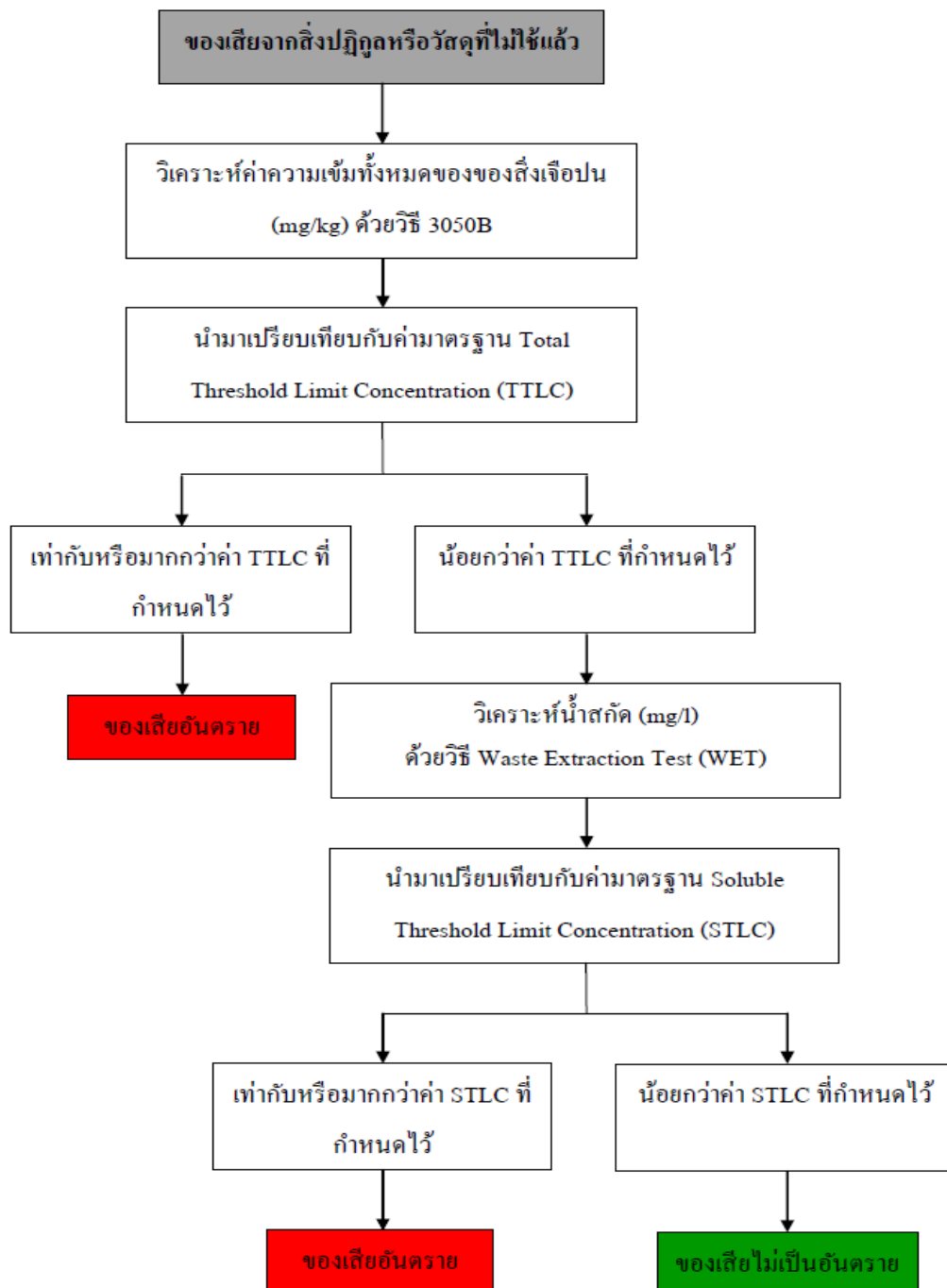
5.1) เมื่อพบมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่า ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) ที่กำหนด เช่น ตะกั่วหรือสารประกอบตะกั่ว และปรอทหรือสารประกอบปรอท กำหนดไว้ที่ไม่เกิน1000 และ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

5.2) สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิเคราะห์หน้าสกัดแล้ว พบว่ามีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตราย

และสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/l) เท่ากับหรือมากกว่าค่าความเข้มข้นในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ที่กำหนดไว้ เช่น ตะกั่วหรือสารประกอบตะกั่ว และปรอทหรือสารประกอบปรอท กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 5 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.6.3 การทดสอบการเป็นของเสียอันตราย

การทดสอบการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 แสดง **ผังรูปที่ 2.7** ซึ่งการพิจารณาว่าของเสียจากสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วชนิดใดจะถูกจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ นอกจากจะต้องมีการพิจารณาตามลักษณะและคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ยังจะต้องมีการนำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปนว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) โดยถ้าค่าที่ได้ออกมาเท่ากับหรือมากกว่าที่กำหนดจะต้องมีดำเนินการต่อโดยนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิเคราะห์น้ำสกัดหากพบว่ามีส่วนประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/l) เท่ากับหรือมากกว่าค่าความเข้มข้นในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จะถูกกำหนดให้เป็นของเสียอันตรายที่ต้องมีการนำไปบำบัดก่อนนำไปกำจัด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)



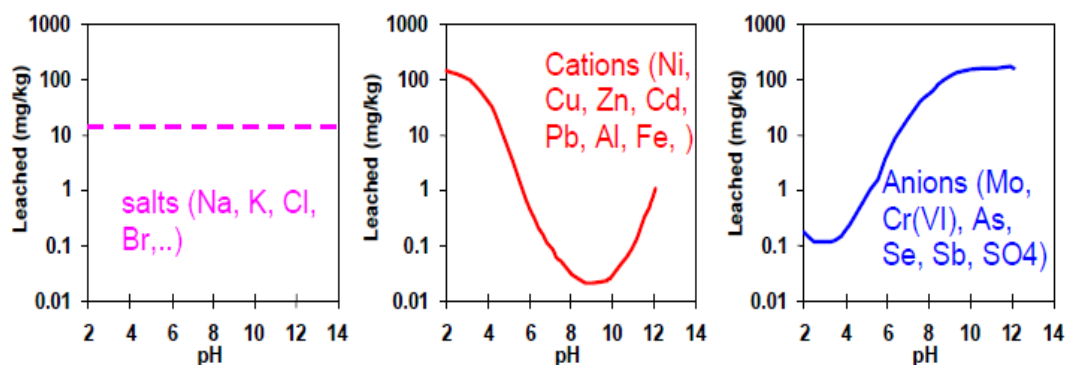
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

2.7 การชะละลาย (Leaching) สิ่งเจือปน

การชะละลาย (Leaching) ของสิ่งเจือปน เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างส่วนที่เป็นของแข็งกับของเหลวหรือน้ำชะ (Leachant) โดยส่วนที่เป็นของเหลวจะเข้าไปทำให้องค์ประกอบ (constituent) ภายในของของแข็งเกิดการชะละลาย หรือการรั่วไหลของสิ่งเจือปนกับของเหลว หรือ leachate ออกมา ทำให้กระจายเกิดการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งความสามารถในการชะละลายขององค์ประกอบภายในขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและเคมีของการละลาย (Spence & Shi, 2005)

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลาย ดังนี้

1. ค่าพีเอช เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายออกมาของสิ่งเจือปน โดยค่าพีเอชของตัวกลาง (Media) และสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบๆ จะเป็นตัวที่กำหนดความเข้มข้นสูงสุดของสิ่งเจือปนที่จะถูกปล่อยออกมาที่สภาวะพีเอชนั้นๆ ซึ่งสิ่งเจือปนแต่ละชนิดจะอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกันที่สภาวะพีเอชเดียวกัน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 พฤติกรรมการชะละลายโดยทั่วไปของธาตุ 3 กลุ่มที่สภาวะพีเอชเดียวกัน

ที่มา : Van der sloot and Dojikstra (2004)

จากรูปที่ 2.8 พบว่าพฤติกรรมการชะละลายของธาตุ 3 กลุ่ม ได้แก่ ไอออนบวก ไอออนลบ และเกลือที่ละลายน้ำได้ จะอยู่ในรูปที่แตกต่างกันที่สภาวะพีเอชเดียวกัน เป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะทางเคมีของธาตุนั้นๆและความสำคัญของสภาวะพีเอชแตกต่างกันไปตามหน้าที่

นอกจากนี้ค่าสภาวะพีเอชยังควบคุมกระบวนการดูดซับของสิ่งเจือปนกับ ของเหลวหรือน้ำชะ (Leachant) ซึ่งถ้าหากเกิดกระบวนการดูดซับมากก็จะส่งผลให้เกิดการชะละลายของสิ่งเจือปนออกมาได้น้อย

2. การควบคุมพีเอช (Acid-Base Buffering) มีความสำคัญมาก เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงค่าสภาวะพีเอช ภายใต้อิทธิของปัจจัยภายนอก ถ้าในสภาวะที่ไม่มีการควบคุมพีเอชที่เหมาะสมอาจจะมีผลต่อความสามารถในการชะละลายของสิ่งเจือปนบางชนิด แต่อย่างไรก็ตามโลหะบางชนิด เช่น โครเมียม มีคุณสมบัติเป็นแอมโฟเทอริกซึ่งมีความสามารถในการชะละลายสูงทั้งค่าพีเอชต่ำและค่าพีเอชสูง นอกจากนี้โลหะทุกชนิดไม่ได้มีค่าความสามารถในการชะละลายต่ำที่สุดที่ค่าความเป็นกรดต่างช่วงเดียวกัน

3. การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ การมีตัวออกซิแดนท์และตัวรีดิวซ์ที่แรงอยู่ด้วยจะสามารถเปลี่ยนวาเลนซ์ของโลหะซึ่งมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของโลหะนั้น ตัวอย่างเช่น โครเมียม

4. อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลายสิ่งเจือปน โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การชะละลายเพิ่มจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเคลื่อนที่โดยการแพร่เพิ่มขึ้นมากขึ้น

5. รูปแบบทางเคมีขององค์ประกอบต่างๆในของเหลวหรือน้ำชะ (Leachant) ที่พบ อาจอยู่ในรูปของรีดอกซ์ แร่ธาตุ และอื่นๆ เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักจะมีความสามารถในการชะละลายสูง ทำให้มีการละลายออกมารวดเร็วกว่าโลหะหนักที่ไม่เกิด

6. ส่วนประกอบทั้งหมดของของเหลวหรือน้ำชะ (Leachant) จะส่งผลต่อความสามารถในการชะละลายซึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับอิทธิพลของธาตุส่วนใหญ่ใน Leachant ยกเว้น สารละลายเกลือที่จะไม่เกิดปฏิกิริยา

7. สารอินทรีย์และสารอินทรีย์คาร์บอนละลาย หรือ สารดีไอซี (Dissolve Organic Carbon) ซึ่งพบได้ในของเหลวหรือน้ำชะ (Leachant) บางประเภท ซึ่งถ้าหากมีสารอินทรีย์และสารดีไอซี ในปริมาณมากจะทำให้มีความสามารถในการชะละลายสูงเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถรวมตัวกับโลหะหนักได้ดี

8. สิ่งเจือปนและความเข้มข้นของไอออนภายในของน้ำ เช่น OH^- หรือ CO_3^{2-} จะทำให้เกิดการตกตะกอนอยู่ในรูปออกไซด์ หรือ คาร์บอเนต ส่งผลให้ความสามารถในการชะละลายลดลง

9. เวลา มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีอย่างสมบูรณ์และการแพร่ออกมาของสิ่งเจือปนเพิ่มมากขึ้น

2.8 การทดสอบการชะละลาย

การทดสอบการชะละลาย (Leaching Test) คือ การวัดโอกาสความเป็นไปได้ของสิ่งเจือปนในของเสียที่สามารถละลายออกสู่สิ่งแวดล้อม การทดสอบจะทำให้สิ่งเจือปนละลายออกมาสู่น้ำชะหรือน้ำสกัด (Leachant) จากนั้นปริมาณสิ่งเจือปน จะถูกนำมาวัดและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ (Mean et al., 1995) ทั้งนี้เพื่อทดสอบ การชะละลายที่อาจเกิดการรั่วไหลสู่บริเวณใกล้เคียง เช่น แหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน หรือบริเวณแหล่งเพาะปลูกพืช โดยการทดสอบการชะละลายนี้จะทำการทดลองภายใต้สภาวะจำลองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ผลเร็ว เนื่องจากการติดตามความคงทนของของเสียในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่มีสิ่งเจือปนจำเป็นที่ต้องใช้เวลานาน ดังนั้นการทดสอบการชะละลายจะช่วยร่นระยะเวลาตามธรรมชาติให้สั้นเข้า ซึ่งวิธีการทดสอบทำได้หลายวิธี ขึ้นกับวัตถุประสงค์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการชะละลายและจัดการกับของเสียอันตราย ซึ่งตัวอย่างวิธีในการทดสอบมีรายละเอียดดัง **ตารางที่ 2.2**



ตารางที่ 2.2 วิธีทดสอบการชะละลายในสถานะจำลองรูปแบบต่างๆ (Mean et al., 1995)

การทดสอบ	วิธี	วัตถุประสงค์	สารที่ใช้ในการชะละลาย	อัตราส่วนระหว่างของเหลวกับของแข็ง	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ใช้
Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)	EPA SW-846 Method 1311	เปรียบเทียบความเป็นพิษกับข้อกำหนด (มาตรฐานของ RCRA:a)	อะซิเตดบัพฟเฟอร์ (b)	20:1	< 9.5 ม.ม.	1	18 ชั่วโมง
Extraction Procedure Toxicity (EP Tox test)	EPA SW-846 Method 1310	หาความเข้มข้นของน้ำชะละลาย (มาตรฐานของ RCRA: a)	กรดอะซิติก (พีเอช = 5)	20:1	< 9.5 ม.ม.	1	24 ชั่วโมง
California Waste Extraction Test (Cal Wet)	California Code title 22,Article 11,pp.1800.75-1800.82	เป็นการทดสอบที่เข้มงวดสำหรับโลหะมากกว่า TCLP (มาตรฐานของ California)	0.2 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ (พีเอช = 5)	10:1	< 9.5 ม.ม.	1	48 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) วิธีทดสอบการชะละลายในสภาวะจำลองรูปแบบต่างๆ (Mean et al., 1995)

การทดสอบ	วิธี	วัตถุประสงค์	สารที่ใช้ในการชะละลาย	อัตราส่วนระหว่างของเหลวกับของแข็ง	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ใช้
Dynamic Leaching Test	WTC,1991, P.17	วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเสียที่ผ่านการบำบัดโดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง	น้ำกลั่น	(e)	ก้อนขนาดใหญ่ L/D ระหว่าง 0.2-0.5	(e)	(e)
Equilibrium Leach Test (ELP)	WTC,1991, P.16	วิเคราะห์ความเข้มข้นสูงสุดของน้ำชะละลาย	น้ำกลั่น	20:1	ไม่กำหนด	1	18 ชั่วโมง
Equilibrium Leach Test (ELP)	WTC,1991, P.17	วิเคราะห์ค่าการจับตัวตามธรรมชาติของโลหะและสารอินทรีย์ในสารละลายผ่านการบำบัดโดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง	ใช้สาร 5 ชนิด เพื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็นกรด	แปรผันจาก 16:1 ถึง 20:1	< 150 ไมครอน	5	แปรผันจาก 2 ถึง 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) วิธีทดสอบการชะละลายในสภาวะจำลองรูปแบบต่างๆ (Mean et al., 1995)

การทดสอบ	วิธี	วัตถุประสงค์	สารที่ใช้ในการชะละลาย	อัตราส่วนระหว่างของเหลวกับของแข็ง	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ใช้
Dynamic Leaching Test	WTC,1991, P.17	วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเสียที่ผ่านการบำบัดโดยการปรับเสถียรและทำเป็นก้อนแข็ง	น้ำกลั่น	(e)	ก้อนขนาดใหญ่ L/D ระหว่าง 0.2-0.5	(e)	(e)
Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP)	EPA SW-846 Method 1312	วิเคราะห์การชะละลายสำหรับของเสียที่ละลายออกมาโดยฝนกรด	(c)	20:1	< 9.5 มม.	1	18 ชั่วโมง

หมายเหตุ

- (a) RCRA หรือ Resource Conservation and Recovery Act คือ พระราชบัญญัติอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติของสหรัฐอเมริกา
- (b) อย่างไม่อย่างหนึ่งของสารละลายอะซิติกบัฟเฟอร์ พีเอช 5 และการดอะซิติก พีเอช 3
- (c) การดซัลฟูริกกับการดไนตริกผสมกันด้วยอัตราส่วน 60:40 แล้วปรับพีเอชด้วยน้ำกลั่นให้มีค่าพีเอช 4.2 หรือ 5 สำหรับแม่น้ำด้านตะวันออก หรือตะวันออกของแม่น้ำมิสซิสซิปปี ตามลำดับ
- (d) เปลี่ยนน้ำชะละลายใหม่ที่ 2.7 ชั่วโมง ในระยะเวลาวันที่ 1 2 3 4 5 14 28 43 และ 90
- (e) เปลี่ยนความถี่ใหม่จากสี่ประสิทธิ์การแพร่ที่ทราบอัตราของพื้นผิวต่อปริมาตรจะต้องยืนยันการพบสารเจือปน ความถี่ที่เปลี่ยนใหม่จะต้องยืนยันว่าจะพบสภาวะที่ไม่สมดุล และเปลี่ยนน้ำชะละลายใหม่ที่ 0 1 7 24 31 48 72 79 และ 100 ชั่วโมง สำหรับภาคที่ไม่มีภาคที่เปลี่ยนความถี่ใหม่กว่าใช้ 0 4 24 31 72 104 168 และ 196 ชั่วโมง

2.8.1 TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)

เป็นวิธีการทดสอบตามกฎหมายประเทศสหรัฐอเมริกาโดย (U.S. EPA, 1992) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับ วิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) : SW-846 Method 1311 ขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์หรือ สารอนินทรีย์ที่ถูกชะละลายออกมา จากตัวอย่างของเสียที่อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรืออื่นๆ การทดสอบใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์เป็นสารชะละลาย ในอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับสารชะละลาย เท่ากับ 1 ต่อ 20 ใช้เวลาในการทดสอบ 18 ชั่วโมง เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับทดสอบการชะละลายของเสียที่อยู่ในหลุมฝังกลบขยะทั่วไปจึงออกแบบจำลองให้เหมือนกับสถานะของการชะละลายในหลุมฝังกลบจริง เนื่องจากในหลุมฝังกลบจะเกิดการกรดดินทรีย์ขึ้นระหว่างการสลายตัวของสารอินทรีย์ ดังนั้นจุดประสงค์ของการใช้กรดอะซิติกเป็นสารชะละลายก็คือ เพื่อเลียนแบบกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นซึ่งค่าการชะละลายที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำชะกากของ The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) จากประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น ตะกั่วกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

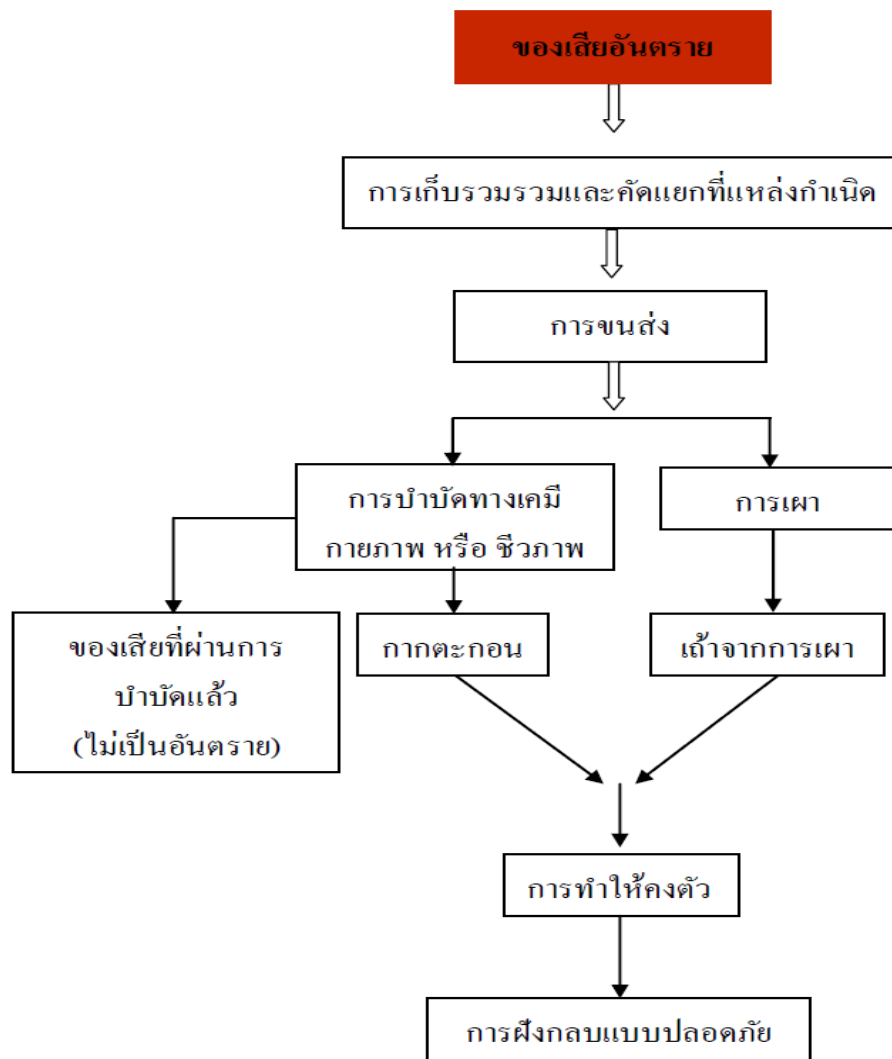
2.8.2 SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

เป็นวิธีการทดสอบที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดข้อวิจารณ์ขึ้นกับการใช้วิธี TCLP เนื่องจากในขณะที่ทำการทดสอบจะมีการบดตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้มีแนวโน้มการชะละลายออกมาไม่เหมือนกับสภาพจริงที่จะมีขนาดของเสียไม่แน่นอนอีกทั้งยังมีการใช้กรดเข้มข้นไปสกัด ซึ่งไม่ตรงกับสภาพจริงในหลุมฝังกลบ ทำให้สิ่งเจือปนถูกชะละลายออกมามากเกินไป ดังนั้น US.EPA จึงมีการพัฒนา วิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure): SW-846 Method 1312 ขึ้นในปี ค.ศ. 1994 โดยมีหลักการเหมือนเดิมเพียงแต่เปลี่ยนสารชะละลาย (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2551) วิธีนี้จะทำการทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์หรือ สารอนินทรีย์ที่ถูกชะละลายออกมา จากตัวอย่างของเสียที่อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรืออื่นๆ การทดสอบใช้ กรดซัลฟิวริก ผสมกับ กรดไนตริก อัตราส่วน 60:40 เป็นสารชะละลาย ในอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างกับสารชะละลาย เท่ากับ 1 ต่อ 20 ใช้เวลาในการทดสอบ 18 ชั่วโมง (U.S. EPA, 1994) เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับตรวจสอบสิ่งเจือปนในของเสียที่ละลายออกมาโดยฝนกรดเนื่องจากน้ำฝนตามธรรมชาติจะมีความเป็นกรดเล็กน้อย มาจากการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ แต่ในเขตอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเสียจำพวก สารประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจนออกมา จะไปเพิ่มความเป็นกรดให้กับน้ำฝนทำให้เกิดสภาพฝนกรดขึ้น ดังนั้นจุดประสงค์ของการใช้กรดซัลฟิวริก ผสมกับ กรดไนตริกเป็นสารชะละลายก็คือ เพื่อจำลองเลียนแบบสภาพฝนกรดนั่นเอง

2.9 การจัดการของเสียอันตราย

การจัดการของเสียอันตราย หมายถึง การจัดการกับของเสียที่เป็นอันตรายเพื่อลดความเป็นพิษ และทำให้มีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดขั้นสุดท้ายต่อไป (เฉลิมชัย ตระกูลผุดผ่อง, 2551) ซึ่งการจัดการกับของเสียที่เป็นอันตรายจะแตกต่างจากวิธีที่ใช้กับของเสียที่ไม่เป็นอันตรายทั่วไป โดยแนวทางจะต้องจะต้องมีการดำเนินการเป็นขั้นตอน ดังรูปที่ 2.9 โดยเริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมและคัดแยกออกจากของเสียอันตรายออกจากของเสียประเภทอื่น แล้วเก็บขนส่งไปยังสถานที่บำบัด เพื่อทำการบำบัด (Treatment) และการกำจัด (Disposal) ต่อไป

ของเสียอันตรายหากไม่ได้รับการควบคุมดูแลและกำจัดอย่างถูกวิธีอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมามากมายโดยถ้าของเสียเหล่านี้ถูกกองทิ้งไว้ในที่ว่างเปล่าไม่ได้มีการดูแลอาจทำให้สารเคมีผสมปนกันจนเกิดการลุกติดไฟเอง เกิดการระเบิดหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นไอหรือควันระเหยออกมาได้ นอกจากนี้ของเสียอันตรายหากถูกทิ้งกองสะสมไว้เป็นระยะเวลาเวลานาน ภาชนะที่บรรจุอาจเกิดการผุกร่อนถูกลมพัดฟุ้งกระจายของเสียบางส่วนจะถูกน้ำฝนชะล้างลงสู่แหล่งน้ำผิวดินหรือซึมลงสู่พื้นดินไปสู่ชั้นน้ำบาดาลซึ่งอาจนำไปใช้เพื่อการผลิตน้ำประปาหรือการเกษตรกรรมทำให้เกิดการสะสมของสารเหล่านี้ในห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการจัดการของเสียเป็นอันตราย

ที่มา : มลลิกา ปัญญาคะโป (2551)

2.9.1 ขั้นตอนการจัดการของเสียอันตราย (อาณัติ ต๊ะปินตา, 2553)

1) การเก็บรวบรวมและคัดแยกที่แหล่งกำเนิดมีจุดประสงค์เพื่อให้มีการเก็บรวบรวมให้มีปริมาณของเสียอันตรายมากพอและมีการคัดแยกที่ดีก่อนนำไปบำบัด และกำจัดหรือเก็บรวบรวมไว้ เพื่อรอการขนย้าย และกำจัดภายนอกโรงงานมีแนวทางดังนี้

1.1) ควรเก็บของเสียแต่ละชนิดให้อยู่ในภาชนะที่เหมาะสมทนทานต่อการกัดกร่อนมีฝาปิดมิดชิด

1.2) แยกเก็บของเสียที่อาจทำปฏิกิริยากันไว้ในภาชนะที่แยกออกจากกันเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการปะปนกันของของเสีย

1.3) ด้านข้างภาชนะควรมีเครื่องหมายแสดงชนิดของของเสียอันตรายที่บรรจุอยู่ภายใน

1.4) ควรเก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศดี

2) การขนส่ง (Transportation) ในกรณีที่ต้องนำของเสียอันตรายไปทำการบำบัดหรือกำจัดภายนอกแหล่งกำเนิด เมื่อเก็บรวบรวมของเสียอันตรายได้แล้วจะต้องทำการขนย้ายด้วยพาหนะที่ปลอดภัย มีการป้องกันการรั่วไหลได้เป็นอย่างดีด้านข้างพาหนะที่ใช้บรรทุกจะต้องแสดงเครื่องหมายแสดงชนิดของของเสียอันตรายที่กำลังทำการขนย้ายด้วย

3) การบำบัด (Treatment) และการกำจัด (Disposal) สามารถทำได้ 5 วิธีใหญ่ๆ ประกอบด้วย

3.1) การบำบัดด้วยกระบวนการทางกายภาพและเคมี

มีจุดประสงค์ เพื่อให้ของเสียอันตรายลดความอันตรายลงมีความสามารถในการละลายต่ำ มีความคงตัวมากขึ้น ตัวอย่างกระบวนการทางกายภาพและเคมีที่นำมาใช้ได้แก่

(1) การทำให้สารละลายกรดและด่างมีสภาพเป็นกลาง

(2) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) แล้วนำตะกอนไปทำการฝังกลบ

(3) การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเพื่อให้ของเสียอันตรายอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง

(4) การดูดซับด้วยถ่าน เป็นการใช่วัสดุดูดซับในการแยกสิ่งเจือปนออกจากของเสีย ซึ่งวัสดุที่นิยมใช้ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

(5) การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นวิธีการที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลาย โดยไอออนที่ละลายน้ำที่ต้องการกำจัดจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับสารเรซิน

(6) การสกัดสารระเหยง่าย (Volatile organic compounds) ออกจากดิน

3.2) การบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

ใช้ในการกำจัดของเสียอันตรายที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ มีทั้งกระบวนการแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน

3.3) การปรับเสถียรและหรือการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization/Solidification)

คือ การผสมสารเคมีที่เหมาะสมเข้ากับของเสียเพื่อให้เกิดโครงสร้างที่ของเสียถูกจับไว้ทำให้สิ่งเจือปนในของเสียถูกชะละลายออกมาได้น้อยลง ซึ่งเป็นวิธีการสำหรับเตรียมของเสียเพื่อนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย

3.4) การเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (Incineration)

เป็นการนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ของเสียเปลี่ยนสภาพเป็นเถ้าแล้วนำเถ้านี้ไปฝังกลบต่อไปการเผาของเสียอันตราย ต้องทำการเผาที่อุณหภูมิ 1000-1200 องศาเซลเซียส

3.5) การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)

คือ การนำของเสียที่เป็นของเสียอันตรายมาทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมหรือใส่ในภาชนะบรรจุในหลุมฝังกลบที่จัดเตรียมไว้ โดยจะมีการปูพื้นหลุมอย่างดี มีระบบกันซึมหลายชั้นและระบบปิดทับชั้นสุดท้าย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วซึมของสารอันตรายจนเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

2.9.2 การทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification)

การทำเป็นก้อนแข็งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากในการจัดการกับของเสียอันตราย โดย U.S.EPA ได้อธิบาย คือ กระบวนการซึ่งอาศัยวิธีทางเคมีเพื่อที่จะลดการเคลื่อนที่ของสารอันตราย (Davis & David, 1991) ทำให้มีการเปลี่ยนหรือปรับสภาพของเสีย เพื่อให้สมบัติทางกายภาพดีขึ้น สามารถขนส่งไปกำจัดได้สะดวก ในระหว่างการทำให้เป็นก้อนแข็งจะเกิดการทำให้เสถียรไปพร้อมกัน มีการนำไปใช้กับของเสียที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ของเหลว กากตะกอน หรือของแข็ง เป็นต้น

ดังนั้น การทำเป็นก้อนแข็งจึงเป็น วิธีการที่นำของเสียอันตรายมาทำให้อยู่ในรูปของแข็ง โดยใช้ตัวยึดประสานที่เป็นวัสดุหรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ มาทำการตรึงสิ่งเจือปนที่เป็นสาร

อันตราย เพื่อลดการเคลื่อนที่ของสารอันตรายไม่ให้เกิดการสัมผัสหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมต่อไป

การพิจารณาเลือกใช้วัสดุหรือสารเคมี สำหรับเติมลงไปในการทำเป็นก้อนแข็ง นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะในการบำบัดของเสียแต่ละชนิด โดยปกติแล้วสารที่มีการนำมาใช้มีหลากหลายชนิดด้วยกัน อาทิ เช่น

1) ซีเมนต์

การเลือกใช้วัสดุซีเมนต์มีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น เป็นวัสดุที่ราคาถูก หาซื้อได้สะดวก สามารถนำมาทำการผสมเพื่อบำบัดของเสียได้ง่าย ใช้เก็บสารอันตรายที่เจือปนอยู่ในก้อนแข็งได้นานหลายปี รวมทั้งมีความแข็งแรงทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยของเสียอันตรายที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยซีเมนต์ คือ ของเสียนินทรีย์ประเภทที่มีโลหะหนักผสมอยู่ เนื่องจากภายในก้อนแข็งซีเมนต์ จะมีค่า พีเอช ค่อนข้างสูงทำให้โลหะหนักสามารถอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ หรือ เกลือคาร์บอเนตที่ไม่ละลายน้ำได้

2) ปูนขาว

เป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในการทำเป็นก้อนแข็ง สำหรับกระบวนการบำบัดของเสียอันตราย ซึ่งเมื่อผสมปูนขาวกับของเสียอันตรายจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับของเสียโดยจะอยู่ในรูปของแคลเซียมซิลิเกต แคลเซียมอลูมินา หรือ แคลเซียมอลูมินาซิลิเกต ในบางครั้งอาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของปูนขาว ด้วยการเพิ่มสารชนิดอื่นลงไป เช่น เถ้าลอยในปริมาณเล็กน้อย เป็นต้น

ตัวอย่าง การทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) เช่นการผสมปูนซีเมนต์กับตะกอนโลหะหนักแล้วนำมาหล่อเป็นก้อนโดยทั่วไปจะใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์กับของเสียเท่ากับ 9:1 (บุญยง โสวงศ์วัฒนา, 2535) ตะกอนที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งแล้วต้องนำมาทดสอบสมบัติการถูกชะละลาย (Leaching test) ภายใต้อุณหภูมิมาตรฐานก่อนนำไปฝังกลบ สารละลายที่ผ่านการชะละลายของเสียแล้วจะต้องมีสารปนเปื้อนต่ำกว่าปริมาณที่มาตรฐานกำหนดไว้ สำหรับในประเทศไทยของเสียอันตรายที่มีการบำบัดเปลี่ยนสภาพแล้ว หากต้องการนำไปฝังกลบ ต้องนำมาวิเคราะห์น้ำสกัดเพื่อหาค่าองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตร หรือ ความเข้มข้นในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shin and Sujiwattana (1988) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดของเสียอันตราย โดยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ ซึ่งทำการทดลองกับของเสีย 4 ชนิด คือ แคลเซียม ตะกั่ว คลอเดน และอัลตริน รวมทั้งนำก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วไปทดสอบการชะละลายในน้ำสกัดสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ปริมาณของแคลเซียม ตะกั่ว คลอเดน และอัลตรินที่ชะละลายออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของของเสียที่ผสมลงไปในส่วนผสมของซีเมนต์
2. อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เท่ากับ 1: 2 มีผลในการลดความสามารถในการถูกชะละลายของแคลเซียม ตะกั่ว คลอเดน และอัลตริน
3. ถ้าสารที่ใช้ในการชะละลายมีค่าพีเอชในตอนเริ่มต้นต่ำก็ยิ่งทำให้ความสามารถในการถูกชะละลายของของเสียนั้นเพิ่มขึ้น
4. อัตราส่วนของพื้นผิวต่อปริมาตรมีผลต่อการถูกชะละลายของแคลเซียม ตะกั่ว คลอเดน และอัลตริน ถ้ายังมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวปริมาตรมากขึ้นก็ยิ่งทำให้ความสามารถในการถูกชะละลายของของเสียนั้นเพิ่มขึ้น
5. ระยะเวลาในการบ่มของของเสียไม่ค่อยมีผลต่อความสามารถในการถูกชะละลายของของเสีย
6. เทคนิคการทำของเสียให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์พบว่าเหมาะสมสำหรับของเสียประเภทโลหะหนักมากกว่าของเสียประเภทสารอินทรีย์ที่ใช้ฆ่าแมลง

Rijal (1990) ได้ศึกษาการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วยโครเมียมและสังกะสีโดยปูนซีเมนต์ที่ใช้มี 2 ประเภท ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ไถ้ในอัตราส่วน 1:1 จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ทำเป็นก้อนแข็งที่ทำมาจากส่วนผสมกากตะกอน: ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม 1:5 มีการชะละลายโครเมียมได้ต่ำกว่าตัวอย่างที่ทำมาจากส่วนผสมกากตะกอน: ปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์ไถ้ในอัตราส่วนผสม 1: 5

ในทางกลับกันถ้าผสมกากตะกอน : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วน 1: 2 และกากตะกอนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ไถ้ในอัตราส่วน 1: 2 เช่นกัน พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ไถ้ให้ค่าการชะละลายโครเมียมต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ไม่ได้ผสมซีเมนต์ไถ้

สำหรับสังกะสีในตัวอย่างที่ทำการเป็นก้อนแข็ง พบว่าถูกชะละลายออกมาได้ดีที่อัตราส่วนภาคตะกอนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับซีเมนต์เท่ากับ 1: 2 เนื่องจากสังกะสีจะถูกยึดเกาะในปูนซีเมนต์ได้ดีกว่าในส่วนผสมปูนซีเมนต์กับซีเมนต์กับซีเมนต์

Halim et al. (2003) ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการชะละลายของตะกั่วและแคดเมียมจากของเสียที่เจือปนในซีเมนต์ สรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ค่าพีเอช ในการชะละลายนั้นพีเอชเป็นตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการชะละลายออกมาของโลหะในสารชะละลาย โดยแคดเมียมจะมีค่าความเข้มข้นลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเนื่องจากการตกผลึกของไฮดรอกไซด์ สำหรับตะกั่วเนื่องจากในธรรมชาติสามารถอยู่ได้ทั้งสภาวะกรดและเบส ทำให้ตะกั่วจะถูกชะละลายออกมาเพิ่มขึ้นอีกเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 12

2. ขนาดของอนุภาค อัตราส่วนระหว่างของแข็งกับของเหลว และระยะเวลาในการชะละลายจะส่งผลต่อพีเอชของน้ำชะกาก

3. ชนิดของกรดจากการศึกษาพบว่า มีผลกระทบเช่นเดียวกัน โดยจะเป็นตัวควบคุมไฮโดรเจนไอออนในระบบ

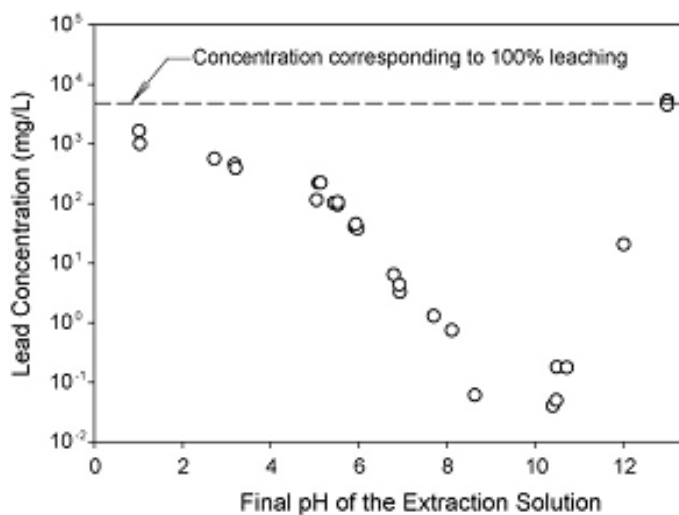
4. ในส่วนการศึกษาการทดสอบการชะละลายด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) พบว่า การจำลองจากการชะละลายออกมาของโลหะหนัก (ตะกั่วและแคดเมียม) จากของเสียที่ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ในหลุมฝังกลบของเสียชุมชนไม่ให้เกิดการชะละลายที่ถูกต้อง เนื่องจากของเสียที่ปะปนในหลุมมีค่าพีเอชเป็นด่าง ส่งผลให้เกิดการต่อต้านค่าพีเอชของกระบวนการ ทำให้ผลรวมค่าพีเอชยังอยู่ในช่วงของค่าความเป็นด่างไม่สามารถเป็นกรดตามที่ต้องการได้

Wadanambi et al. (2008) ศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากวัสดุที่ถูกเคลือบด้วยสีผสมตะกั่วโดยใช้ วิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) กับตัวอย่างของเสียจาก 2 แหล่ง ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. การเปรียบเทียบผลการทดสอบการชะละลาย วิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) พบว่าความแตกต่างของผลการชะละลายนี้มาจาก 2 ปัจจัย คือ ค่าพีเอชของสารละลายระหว่างการทดสอบ และ ชนิดของกรดที่ใช้ ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้มีผลต่อความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของสารละลาย ดังนั้นวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) ที่สารชะละลายมีความสามารถ

ในการเป็นบัฟเฟอร์ดีกว่าวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) จึงทำให้สามารถชะละลายตะกั่วออกมาได้มากกว่า

2. ค่าพีเอช เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลายตะกั่ว โดยเมื่อมีค่าพีเอชต่ำ (ในสภาวะเป็นกรดแก่) และ ค่าพีเอชสูง (ในสภาวะเป็นด่างแก่) ตะกั่วจะไม่เสถียรมีการละลายออกมาในรูปไอออนอิสระ (Pb^{2+}) ส่วนในช่วงค่าพีเอช 4-9 ตะกั่วจะมีการรวมตัวกับไอออนชนิดอื่นกลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่ เช่น PbS , $PbSO_4$ และ $Pb(OH)_2$ เป็นต้น รวมทั้งมีการละลายออกมาในรูปไอออนอิสระลดลงดัง **รูปที่ 2.10** ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีทดสอบการชะละลายต้องคำนึงถึงค่าพีเอชของน้ำชะละลาย เพราะค่าพีเอชจะมีผลต่อการชะละลายของตะกั่ว



รูปที่ 2.10 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการชะละลายของตะกั่ว

ที่มา : Wadanambi et al. (2008)

พริพพ์มัน อันโด (2549) ศึกษาการชะละลายของโลหะทั้งหมด 6 ตัว ประกอบด้วย ทองแดง สังกะสี นิกเกิล ตะกั่ว โครเมียม และแบเรียม จากตัวอย่างของเสีย 2 ชนิด คือ ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการปรับเสถียร กับ ตัวอย่างที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลอง ดังนี้

1. ปัจจัยหลักของการชะละลายของโลหะหนัก คือ ค่าพีเอชสุดท้ายของน้ำชะละลาย ซึ่งจะมีการชะละลายได้สูงที่สุดในช่วงค่าพีเอช 3-5 และมีปัจจัยควบคุมที่ส่งผลต่อการชะละลายของโลหะหนัก ได้แก่ ชนิดของกรดที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชและลักษณะของตัวอย่าง โดยกรดอะซิติก จะส่งผลทำให้โลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างปรับเสถียรออกมามากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก ยกเว้นนิกเกิลที่พบการชะละลายใกล้เคียงในการทดลองด้วยกรดทุกชนิด ส่วนการทดลองด้วยกรดไนตริกนั้นมีผลทำให้โลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างก้อนแข็งชะละลายมาก

ที่สุดเนื่องจากกรดไนตริกมีความสามารถในการทำลายโครงสร้างซีเมนต์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกรดอะซิติกและกรดซัลฟิวริก ยกเว้นโครเมียมที่พบความเข้มข้นสูงสุดเมื่อทำการชะละลายโดยกรดอะซิติก ส่วนการแปรผันระยะเวลาในการชะละลายนั้นมีผลต่อการชะละลายเพียงเล็กน้อย

2. การทดลองเปรียบเทียบกระบวนการชะละลาย 3 วิธี คือ 1.) การชะละลายตามมาตรฐานของ US.EPA วิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) 2.) การทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 และ 3) การทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 8 พ.ศ.2548 หรือวิธี Waste Extraction Test (Wet) พบว่า การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด ไม่สามารถทำได้โดยสารละลายชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว หรือโดยการใช้การทดสอบการชะละลายเพียงวิธีเดียว เนื่องจากสารละลายของแต่ละวิธีจะมีลักษณะเฉพาะต่อโลหะหนักแต่ละชนิดต่างกัน



บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ มีการแบ่งการดำเนินการศึกษาออกเป็น 4 ตอนโดยตอนที่ 1 และ 2 จะเป็นการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองสำหรับการดำเนินการศึกษา ส่วนตอนที่ 3 จะเป็นการทำการทดลองเพื่อดำเนินการศึกษา ตามแผนผังการทดลองสำหรับการดำเนินการศึกษาในรูปที่ 3.1 สุดท้ายตอนที่ 4 จะเป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะมีการวิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิมเทียบกับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 และการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม เปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและค่ามาตรฐานน้ำชะกากของ The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) จากประเทศสหรัฐอเมริกาสำหรับการชะละลายด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)

3.1 แผนการศึกษา

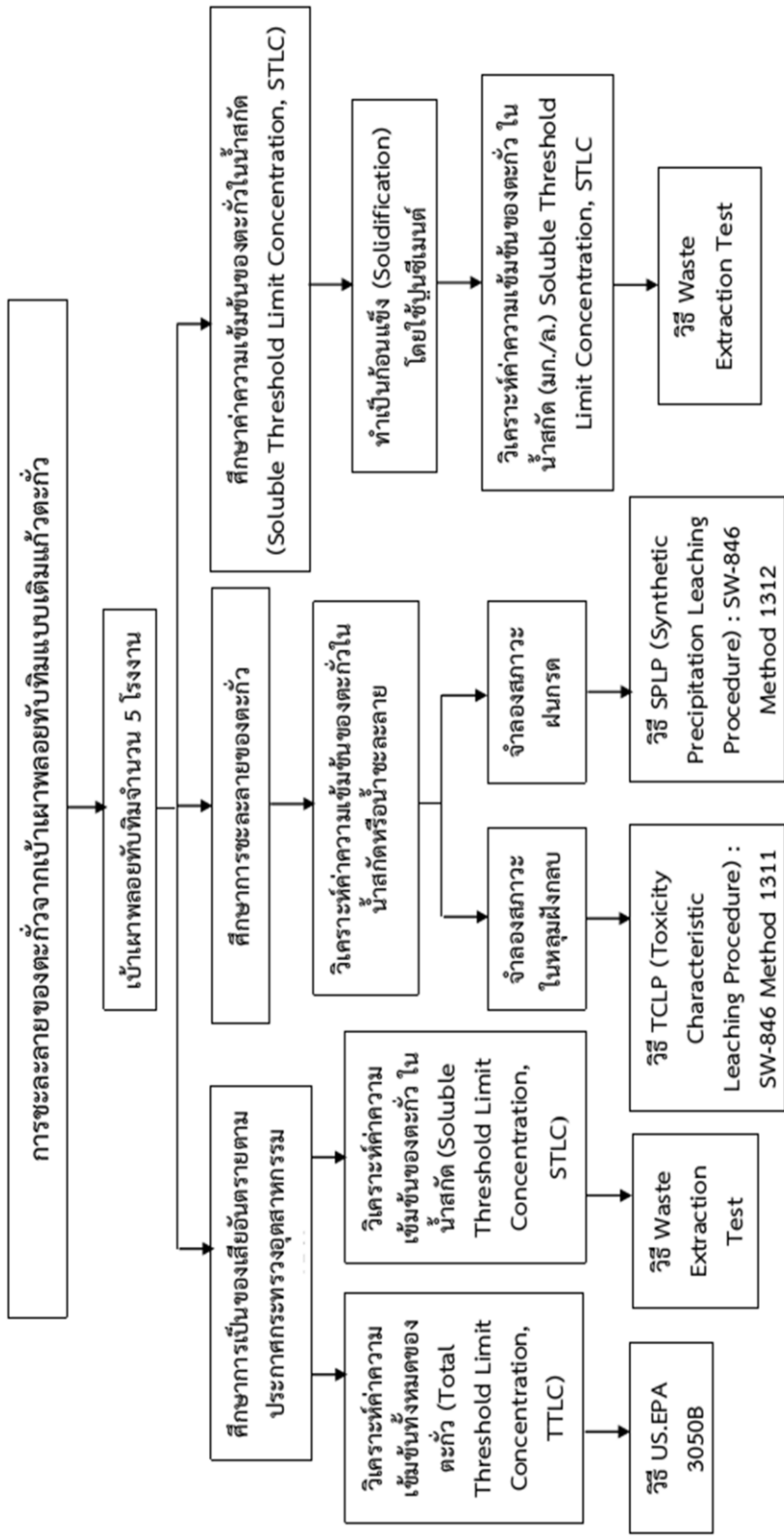
1. การเก็บตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมสำหรับการศึกษา
2. การเตรียมตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมสำหรับการศึกษา
3. การดำเนินการศึกษาแบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว พ.ศ.2548

ส่วนที่ 2 ศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

ส่วนที่ 3 ศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)

4. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองสำหรับการดำเนินการศึกษา

3.2 การเก็บตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมสำหรับการใช้การศึกษา

แบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 เข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้แล้วจากการปรับปรุงคุณภาพพลอย โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาจากเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงานเผาพลอยจำนวน 5 โรงงานๆ ละ 5 เบ้า ดังรูปที่ 3.2 โดยเป็นเข้าจากโรงงานแบบเผาใหม่ที่มีการเติมแก้วตะกั่ว จำนวน 4 โรงงาน และโรงงานที่มีทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแก้วตะกั่วจำนวน 1 โรงงาน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเข้าเผาพลอยที่เก็บมาจาก 1 โรงงาน

กลุ่มที่ 2 เข้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยการสุ่มตัวอย่างเข้าใหม่ที่ยังไม่มีการใช้งานจากโรงงานเผาพลอย มาอย่างน้อยจำนวน 5 เบ้า เพื่อใช้สำหรับอ้างอิง

3.3 การเตรียมตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมสำหรับการใช้การศึกษา

นำเข้าเผาพลอยทับทิมมาบดเป็นผงด้วยเครื่องดิสก์มิลล์ (Disc Mill) ดังรูปที่ 3.3 โดยทำการบดตัวอย่างให้เป็นผงละเอียดขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4 สำหรับนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.3 เครื่องบดตัวอย่างดิสก์มิลล์ (Disc Mill) ยี่ห้อ Siebtechnik รุ่น TS 250



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างแป้งเผาพลอยท์บิทิมที่ทำการบดละเอียดแล้ว

3.4 การดำเนินการศึกษา

มีการทดลองสำหรับการการศึกษา 3 ส่วน ดังนี้

3.4.1 ส่วนที่ 1 ศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548

ในส่วนที่ 1 นี้ จะประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย ดังนี้

3.4.1.1 ส่วนย่อยที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) จากเข้าเผาพลอยทับทิมในสภาพของแข็ง (มก./กก.) ด้วยวิธี US. EPA 3050B ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 มีวิธีการดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (Analytical Balance) ความละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาแผ่นความร้อน (Hot Plate) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
3. กระจกนาฬิกา (Watch Glass)
4. บีกเกอร์ (Beaker)
5. ปิเปต (Pipet)
6. กรวยกรอง (Filter Funnel)
7. กระดาษกรอง (Filter Paper)
8. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)
9. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Analyst

800

สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) AR grade หรือเทียบเท่า
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) 30% AR grade หรือเทียบเท่า
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc.HCl) AR grade หรือเทียบเท่า
4. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized Water)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างเข้าเผาพลอยที่ผ่านการบดแล้วหนัก 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในบีกเกอร์ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ตั้งบน เตาแผ่นความร้อน (Hot Plate) โดยให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 95±5 องศาเซลเซียส ประมาณ 10-15 นาที ระวังอย่าให้เดือด ยกออกจากเตา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) ลงไปอีก 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นำไปให้ความร้อน ถ้ามีควันสีน้ำตาลเกิดขึ้นให้เติม กรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) อีกครั้งละ 5 มิลลิลิตร จนกระทั่งจนควันสีน้ำตาลหายไป

4. นำไปให้ความร้อนต่ออีกประมาณ 2 ชั่วโมง หรือให้เหลือปริมาตรสุดท้าย 5 มิลลิลิตร ระวังอย่าให้เดือด ยกออกจากเตา ตั้งทิ้งให้เย็น
5. เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และ 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 3 มิลลิลิตร ปิด กระจกนาฬิกา นำไปให้ความร้อนต่อไป ค่อยๆ เติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ครั้งละ 1 มิลลิลิตร ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งลักษณะของตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง (ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมต้องไม่เกิน 10 มิลลิลิตร)
6. ย่อยต่อโดยนำไปให้ความร้อนอีกประมาณ 2 ชั่วโมง หรือให้เหลือปริมาตรสุดท้าย 5 มิลลิลิตร ระวังอย่าให้เดือด ยกกลง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
7. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc.HCl) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดบิกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา และให้ความร้อนบนเตาต่อ อีก 15 นาที ระวังอย่าให้เดือด ยกกลง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรองและปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
8. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว

3.4.1.2 ส่วนย่อยที่ 2 ศึกษาความเข้มข้นของตะกั่ว (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเข้าเผาพลอยทับทิมในน้ำสกัด (มก./ล.) ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 มีวิธีการดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (Analytical Balance) ความละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาแผ่นความร้อน (Hot Plate) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
3. กระจกนาฬิกา (Watch Glass)
4. บิกเกอร์ (Beaker)
5. ปิเปต (Pipet)
6. กรวยกรอง (Filter Funnel)
7. กระดาษกรอง (Filter Paper)
8. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)
9. แผ่นกรองเมมเบรน (Membranes Filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรองขนาด 0.45

ไมครอน

10. เครื่องปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifuged)
11. ขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ที่มีฝาปิด

12. เครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที (Shakers; GFL 3020)
13. เครื่องวัดพีเอช (pH meter; incl. sentix, pH 3210 SET4)
14. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Analyst

800

สารเคมี

1. กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$) AR grade หรือเทียบเท่า
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR grade หรือเทียบเท่า
3. กรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) AR grade หรือเทียบเท่า
4. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc.HCl) AR grade หรือเทียบเท่า
5. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized Water)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมน้ำสกัด โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate) 0.2 โมลาร์ ที่ พีเอช 5.0 ± 0.1
 น้ำสกัดเตรียมจากนําสารละลายกรดซิตริก 0.2 โมลาร์ มาปรับพีเอช เป็น 5.0 ± 0.1
 ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 นอร์มัล
2. ขั้นตอนการสกัด
 - (2.1) ชั่งตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการบดแล้วหนัก 50 กรัมใส่ลงในขวดพลาสติกโพลีเอทรีนที่มีฝาปิด
 - (2.2) เติมน้ำสกัดที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 ปริมาณ 500 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมที่นำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุน

(2.3) จากนั้นนำไปกรอง หรือตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นด้วยแรงเหวี่ยงเสร็จแล้วนำไปกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรองขนาด 0.45 ไมครอน

(2.4) นำสารละลายตัวอย่างที่ได้หลังการกรอง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วให้ความร้อนบนเตาจนกระทั่งเหลือปริมาตร 5 มิลลิลิตร ระวังอย่าให้เดือด ยกลง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(2.5) เติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc.HNO₃) เพิ่มลงไปอีก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา แล้วให้ความร้อนบนเตาจนกระทั่งเหลือปริมาตร 5 มิลลิลิตร ระวังอย่าให้เดือด ยกลง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(2.6) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc.HCl) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา และให้ความร้อนบนเตาต่อ อีก 15 นาที ระวังอย่าให้เดือด ยกลง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

(2.7) กรองแล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3. หาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว

นำสารละลายที่ได้จากการสกัดในขั้นตอนที่ 2 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

3.4.2 ส่วนที่ 2 ศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

ในส่วนที่ 2 นี้ จะประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย ดังนี้

3.4.2.1 ส่วนย่อยที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure): SW-846 Method 1311 สำหรับตรวจสอบสิ่งเจือปนในของเสียที่ละลายออกมาในสภาวะหลุมฝังกลบขยะทั่วไป มีวิธีการดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (Analytical Balance) ความละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. กระจกนาฬิกา (Watch Glass)
3. บีกเกอร์ (Beaker)
4. ปิเปต (Pipet)
5. กรวยกรอง (Filter Funnel)
6. กระดาษกรอง (Filter Paper)
7. เครื่องปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifuged)

8. ขวดพลาสติกโพลีเอทธีลีน (Polyethylene) ที่มีฝาปิด
9. เครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที (Shakers; GFL 3020)
10. เครื่องวัดพีเอช (pH meter; incl. sentix, pH 3210 SET4)
11. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Analyst 800

สารเคมี

1. กรดอะซิติกเข้มข้น (Conc. CH_3COOH) AR grade หรือเทียบเท่า
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR grade หรือเทียบเท่า
3. กรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) AR grade หรือเทียบเท่า
4. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl) AR grade หรือเทียบเท่า
5. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized Water)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมน้ำสกัด

น้ำสกัดแบบที่ 1 คือ น้ำสกัดที่เตรียมจากการเติม กรดอะซิติกเข้มข้น (Conc. CH_3COOH) ปริมาตร 5.7 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1.0 นอร์มัล ปริมาตร 64.3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร และปรับพีเอชสุดท้ายให้ได้เท่ากับ 4.93 ± 0.05 โดยให้เติม กรดอะซิติก (CH_3COOH) เมื่อพีเอชมากกว่าหรือเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1.0 นอร์มัล เมื่อพีเอชน้อยกว่า

น้ำสกัดแบบที่ 2 คือ น้ำสกัดที่เตรียมจากการเติม กรดอะซิติกเข้มข้น (Conc. CH_3COOH) ปริมาตร 5.7 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร และปรับพีเอชสุดท้ายให้ได้เท่ากับ 2.88 ± 0.05 โดยให้เติม กรดอะซิติก (CH_3COOH) เมื่อพีเอชมากกว่า หรือน้ำกลั่นเมื่อพีเอชน้อยกว่า

2. การเลือกใช้น้ำสกัด

วิธีการเลือกใช้น้ำสกัด ทำได้โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการบดแล้วหนัก 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นด้วยแรงเหวี่ยงเป็นเวลา 5 นาที ถ้าพีเอชต่ำกว่า 5 ให้น้ำสกัดแบบที่ 1 แต่ถ้าพีเอชมากกว่า 5 นำไปเติม สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1 นอร์มัล ปริมาตร 3.5 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ้าพีเอชยังคงต่ำกว่า 5 ใช้น้ำสกัดแบบที่ 1 หรือพีเอชมากกว่า 5 ใช้น้ำสกัดแบบที่ 2

3. ขั้นตอนการสกัด

(3.1) ชั่งตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการบดบั่นที่น้ำหนักที่แน่นอนไว้ เติมน้ำสกัดที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 ให้มีปริมาณ 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) ใส่ลงในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีฝาปิด

(3.2) นำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

(3.3) เสร็จแล้วนำไปกรองแล้วปรับพีเอชสุดท้ายให้ได้น้อยกว่า 2.0 ด้วยกรดไนตริก

4. หาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว

นำสารละลายที่ได้จากการสกัดในขั้นตอนที่ 3 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

3.4.2.2 ส่วนย่อยที่ 2 การศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure): SW-846 Method 1312 สำหรับตรวจสอบสิ่งเจือปนในของเสียที่ละลายออกมาโดยฝนกรด มีวิธีการดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (Analytical Balance) ความละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. กระจกนาฬิกา (Watch Glass)
3. บีกเกอร์ (Beaker)
4. ปิเปต (Pipet)
5. กรวยกรอง (Filter Funnel)
6. กระดาษกรอง (Filter Paper)
7. ขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ที่มีฝาปิด
8. เครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที (Shakers; GFL 3020)
9. เครื่องวัดพีเอช (pH meter; incl. sentix, pH 3210 SET4)
10. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Analyst 800

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) AR grade หรือเทียบเท่า
2. กรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) AR grade หรือเทียบเท่า
3. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized Water)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมน้ำสกัด หรือ น้ำฝนกรดสังเคราะห์

น้ำสกัดเตรียมจากการผสมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) กับกรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) ในอัตราส่วน 60 ต่อ 40 โดยน้ำหนัก แล้วปรับพีเอชด้วยน้ำกลั่นจนพีเอชของส่วนผสมน้ำสกัดมีค่าคงที่เท่ากับ 4.20 ± 0.05

2. ขั้นตอนการสกัด

(2.1) ชั่งตัวอย่างเบาเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการบดบั่นที่น้ำหนักที่แน่นอนไว้ เติมน้ำสกัดที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 ให้มีปริมาณ 20 เทา (มิลลิลิตร) ของน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) ใส่ลงในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีฝาปิด

(2.2) นำไปเขย่าด้วยเครื่องหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

(2.3) เสร็จแล้วนำไปกรองแล้วปรับ pH สุดท้ายให้ได้น้อยกว่า 2.0 ด้วยสารละลายกรดไนตริก

3. หาปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว

นำสารละลายที่ได้จากการสกัดในขั้นตอนที่ 3 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

3.4.3 ส่วนที่ 3 ศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบาเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)

มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

อุปกรณ์และวัสดุสำหรับทำเป็นก้อนแข็ง

1. ภาชนะบรรจุที่ใช้ในการทำให้แข็ง (แบบหล่อปูนซีเมนต์)
2. ปูนซีเมนต์
3. น้ำ

วิธีการทดลอง

1. ทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification)

(1.1) นำตัวอย่างที่บดละเอียดจาก 3.3 (การเตรียมตัวอย่างเบาเผาพลอยทับทิมสำหรับใช้ในการศึกษา

(1.2) นำมาผสมกับซีเมนต์ที่ผสมกับน้ำเรียบร้อยแล้วทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อตัวอย่างเบาผาพลอย เท่ากับ 1:1 3:1 6:1 และ 9:1 ตามลำดับ

(1.3) ทิ้งไว้ให้แข็ง ใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน

2. ทำการศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)

นำตัวอย่างก้อนแข็งที่ได้จาก 1. มาทำการศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 โดยมีวิธีการทดลองเช่นเดียวกับ 3.4.1.2

3.5 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1. วิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบาผาพลอยทับทิม

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการศึกษาในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 มาทำการเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย ตาม **ตารางที่ 3.1** ดังนี้

- ค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (มก./กก.) เปรียบเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC)

- ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.) เปรียบเทียบกับค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC)

ตารางที่ 3.1 ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย

สิ่งเจือปน	Total Threshold Limit Concentration (TTLC) (มก./กก.)	Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) (มก./ล.)
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 1000	ไม่เกิน 5

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2548)

3.5.2. วิเคราะห์การชะละลายของตะกั่วจากเบาผาพลอยทับทิม

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการศึกษาในส่วนที่ 2 โดยทำการประเมินความเข้มข้นของตะกั่ว เปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและค่ามาตรฐานน้ำชะกากของ The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) จากประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับการชะละลายด้วยวิธี TCLP ดัง **ตารางที่ 3.2** และ **ตารางที่ 3.3** ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

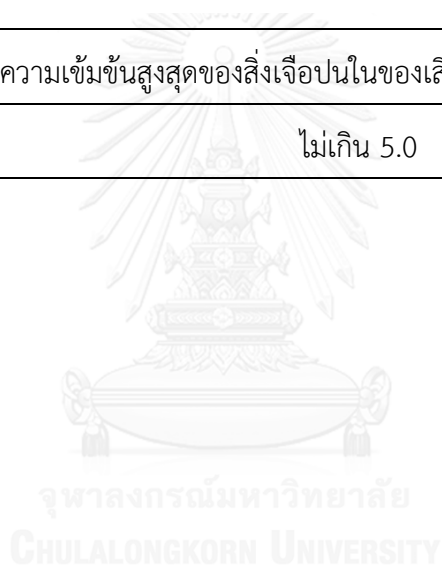
สิ่งเจือปน	น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (มก./ล.)
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2539)

ตารางที่ 3.3 ค่ามาตรฐานน้ำชะกากของ The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)

สิ่งเจือปน	ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสิ่งเจือปนในของเสียประเภทสารพิษ (มก./ล.)
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 5.0

ที่มา : U.S. EPA (2012)



บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

ผลการศึกษาของงานวิจัย เรื่อง การชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเดิมแก่้ว ตะกั่ว ประกอบไปด้วย 1.) การศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 2.) การศึกษาการชะละลายของตะกั่วจาก เบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) และ 3.) การศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วใน น้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำ เป็นแข็ง (Solidification) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่ง ปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548

จากการศึกษาการเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้ว จำนวน 5 โรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างเบ้าจากโรงงานแบบเผาใหม่ที่มีการเติมแก๊วตะกั่ว จำนวน 4 โรงงาน โรงงานที่มีทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแก๊วตะกั่วจำนวน 1 โรงงาน และเบ้า ที่ยังไม่มีการใช้งาน (Blank) พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาใหม่เป็นของเสีย อันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC)

ผลการศึกษาความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) ด้วยวิธี US.EPA 3050B พบความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้า เผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงานที่ 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ $17,092 \pm 640$, $29,367 \pm 2,150$, $25,051 \pm 5,945$, $25,711 \pm 2,009$ และ $18,676 \pm 1,268$ มก./กก. ตามลำดับ ในส่วน ของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใ้ งาน (Blank) มีค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว เท่ากับ 44.41 ± 2.23 และ 2.06 ± 3.57 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) จากเข้าเผาพลอยทับทิม

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (มก./กก.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (มก./กก.)
เข้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	TTLC Blank-1	ND	2.06 \pm 3.57
	TTLC Blank-2	6.18	
	TTLC Blank-3	ND	
1 (เผาเก่า)	TTLC 1 (เก่า)-1	42.00	44.41 \pm 2.23
	TTLC 1 (เก่า)-2	44.84	
	TTLC 1 (เก่า)-3	46.41	
1 (เผาใหม่)	TTLC 1 (ใหม่)-1	17,750	17,092 \pm 640
	TTLC 1 (ใหม่)-2	17,057	
	TTLC 1 (ใหม่)-3	16,470	
2 (เผาใหม่)	TTLC 2 (ใหม่)-1	30,350	29,367 \pm 2,150
	TTLC 2 (ใหม่)-2	30,852	
	TTLC 2 (ใหม่)-3	26,901	
3 (เผาใหม่)	TTLC 3 (ใหม่)-1	29,090	25,051 \pm 5,945
	TTLC 3 (ใหม่)-2	27,845	
	TTLC 3 (ใหม่)-3	18,219	
4 (เผาใหม่)	TTLC 4 (ใหม่)-1	27,200	25,711 \pm 2,009
	TTLC 4 (ใหม่)-2	26,508	
	TTLC 4 (ใหม่)-3	23,426	
5 (เผาใหม่)	TTLC 5 (ใหม่)-1	19,400	18,676 \pm 1,268
	TTLC 5 (ใหม่)-2	19,417	
	TTLC 5 (ใหม่)-3	17,212	
ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายสำหรับตะกั่ว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)			ไม่เกิน 1,000 มก./กก.

หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

4.1.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC)

ผลการศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) พบความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 396.48 ± 15.88 , 793.67 ± 5.79 , 686.95 ± 10.32 , 467.40 ± 10.67 และ 299.85 ± 10.40 มก./ล. ตามลำดับ ในส่วนของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าจากที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงานที่ 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 0.37 ± 0.32 และ 0.24 ± 0.23 มก./ล. ตามลำดับซึ่งรายละเอียดผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิม

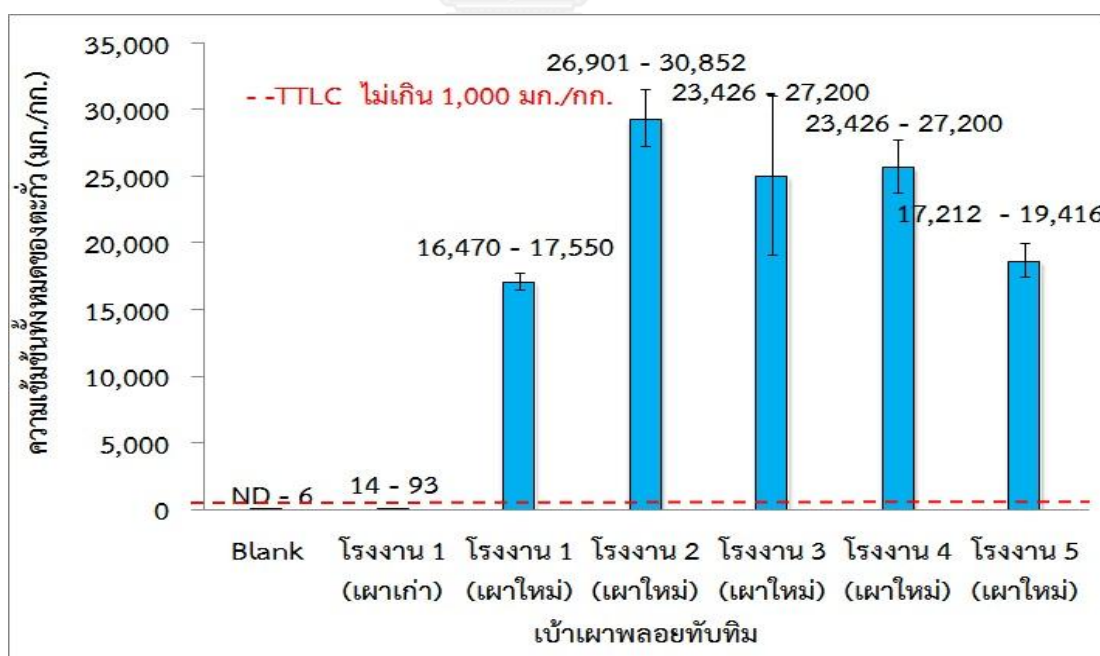
โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	STLC Blank-1	0.26	0.24 \pm 0.23
	STLC Blank-2	0.46	
	STLC Blank-3	ND	
1 (เผาเก่า)	STLC 1 (เก่า)-1	0.26	0.37 \pm 0.32
	STLC 1 (เก่า)-2	0.73	
	STLC 1 (เก่า)-3	0.11	
1 (เผาใหม่)	STLC 1 (ใหม่)-1	378.77	396.48 \pm 15.88
	STLC 1 (ใหม่)-2	401.23	
	STLC 1 (ใหม่)-3	409.45	
2 (เผาใหม่)	STLC 2 (ใหม่)-1	788.89	793.67 \pm 5.79
	STLC 2 (ใหม่)-2	800.11	
	STLC 2 (ใหม่)-3	792.01	
3 (เผาใหม่)	STLC 3 (ใหม่)-1	698.77	686.95 \pm 10.32
	STLC 3 (ใหม่)-2	679.76	
	STLC 3 (ใหม่)-3	682.31	
4 (เผาใหม่)	STLC 4 (ใหม่)-1	455.99	467.40 \pm 10.67
	STLC 4 (ใหม่)-2	469.08	
	STLC 4 (ใหม่)-3	477.12	
5 (เผาใหม่)	STLC 5 (ใหม่)-1	310.55	299.85 \pm 10.40
	STLC 5 (ใหม่)-2	289.78	
	STLC 5 (ใหม่)-3	299.21	
ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของ เสียอันตรายสำหรับตะกั่ว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)			ไม่เกิน 5 มก./ล.

หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

4.1.3 วิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิม

4.1.3.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

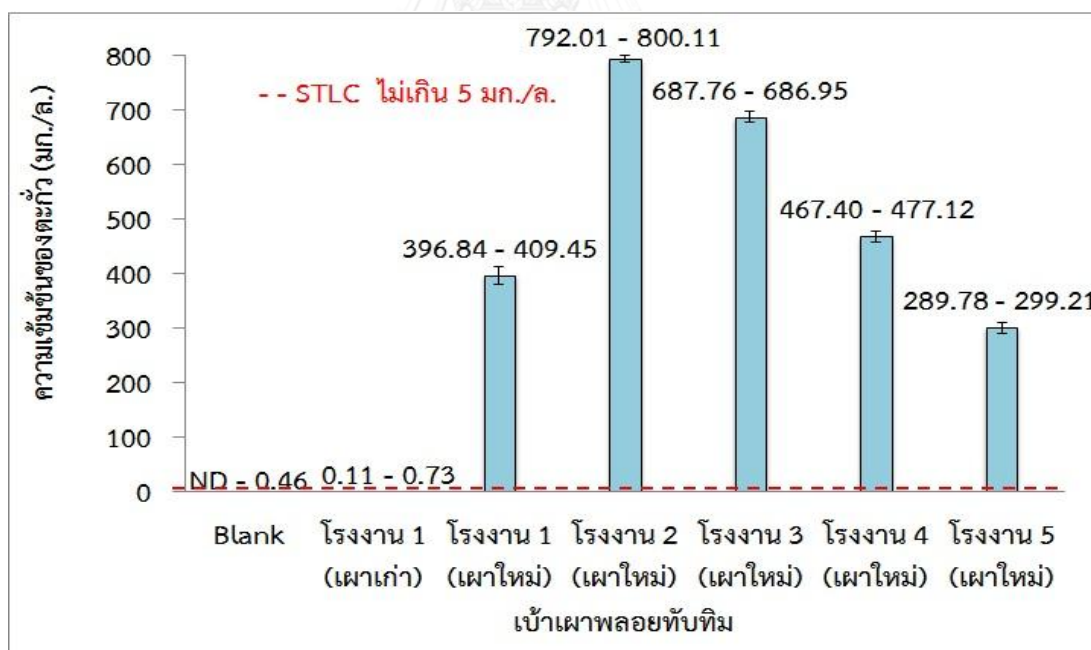
ผลความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า Total Threshold Limit Concentration หรือ TTLC ของตะกั่วที่ระบุไว้ไม่เกิน 1,000 มก./กก. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) พบว่า ตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 มีความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว เกินค่า TTLC ที่กำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของกนิษฐา กาญจนบัตร (2553) ซึ่งพบว่าเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนโดยการเติมสารประกอบแก้ว ตะกั่ว มีความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว มากกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 จึงถูกจัดประเภทให้เป็นของเสียอันตรายที่ต้องมีการบำบัด หรือ ทำลายความเป็นอันตรายก่อนที่จะสามารถนำไปทิ้งได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) ส่วนเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาเก่าของโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว ต่ำกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

4.1.3.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

ผลความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ากับ Soluble Threshold Limit Concentration หรือ STLC ของตะกั่วที่ระบุไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) พบว่า ตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 มีความเข้มข้นของตะกั่วเกินค่า STLC ที่กำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของกนิษฐา กาญจนบัตร (2553) ซึ่งพบว่าเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนโดยการเติมสารประกอบแก้วตะกั่วหรือแบบเผาใหม่ มีความเข้มข้นของตะกั่วมากกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 จึงถูกจัดประเภทให้เป็นของเสียอันตรายที่ต้องมีการบำบัด หรือ ทำลายความเป็นอันตรายก่อนที่จะสามารถนำไปทิ้งได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) ส่วนเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีปริมาณตะกั่วทั้งหมดต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

จากผลการศึกษาพบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงานต่างๆมีปริมาณตะกั่วสูงกว่าเบ้าแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแก๊วตะกั่วจากโรงงาน 1 และเบ้าเผาพลอยที่ไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มาก แสดงถึงหลังการใช้งานเบ้าเผาพลอยแบบเผาใหม่แล้วมีตะกั่วหลงเหลือติดอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากตะกั่วเป็นธาตุโลหะหนักไม่สูญหายไปจากธรรมชาติ มีสถานะเป็นได้ทั้งก๊าซ ของแข็ง และไอออนละลายอยู่ในน้ำ เปลี่ยนรูปได้ สามารถพบอยู่ในรูปสารประกอบได้หลายชนิด (ฐิติยา แซ่ปึง, 2551) จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ประกอบกับราคาที่สูงมาก ทำให้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเผาจึงมีการเติมตะกั่วเป็นจำนวนมากสำหรับการเผาพลอยทับทิมในแต่ละครั้ง มีผลให้หลังการเผาจึงเหลือปริมาณตะกั่วตกค้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งการเติมตะกั่วเข้าไปในการเผาพลอยจะเป็นความลับของแต่ละโรงงานไม่สามารถรู้อัตราส่วนที่แท้ อีกทั้งยังมีการใช้งานซ้ำติดต่อกันเป็นเวลานานโดยที่เบ้ายังไม่เกิดการชำรุด ซึ่งเบ้าจะถูกนำไปทิ้งเมื่อเบ้าเกิดการชำรุดแตกหักไม่สามารถนำไปใช้งานได้อีกต่อไป ทำให้หลังการเผาพบตะกั่วเหลือติดอยู่ในเบ้าเผาพลอยในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามจากการตรวจพบตะกั่วในเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแก๊วตะกั่วในโรงงาน 1 และเบ้าเผาพลอยที่ยังไม่ผ่านการใช้งานสาเหตุที่เป็นไปได้สำหรับการพบตะกั่วในเบ้าแบบเผาเก่าอาจเกิดจากการใช้เบ้าหรือเตาเผาพลอยร่วมกันกับเบ้าเผาพลอยแบบเผาใหม่ในโรงงานเดียวกัน ซึ่งจากการศึกษาการปนเปื้อนของตะกั่วในฝุ่นละอองจากระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนของ Chuenjit (2007) พบการปนเปื้อนของตะกั่วในเตาเผาพลอยและแพร่กระจายอยู่ภายในบ้านที่มีการเผา ดังนั้นจึงทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วขึ้น ส่วนสาเหตุของการตรวจพบในเบ้าที่ไม่ผ่านการใช้งานอาจเกิดจากการปนเปื้อนระหว่างทำการทดลองและอาจมีการใช้ตะกั่วเป็นส่วนผสมของสีที่ใช้เคลือบเบ้าเผาพลอยที่ทำมาจากอลูมินาจัดเป็นวัสดุเซรามิกชนิดหนึ่งในระหว่างขั้นตอนการผลิตเบ้าเผา โดยตะกั่วจะสามารถถูกละลายออกมาได้เมื่อมีการสัมผัสกับสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด

4.2 ผลการศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

จากการศึกษาการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้ว จำนวน 5 โรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างเบ้าจากโรงงานแบบเผาใหม่ที่มีการเติมแก๊วตะกั่ว จำนวน 4 โรงงาน โรงงานที่มีทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแก๊วตะกั่วจำนวน 1 โรงงาน และเบ้าที่ยังไม่มีการใช้งาน (Blank) พบว่าตะกั่วถูกชะละลายออกมาจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ดังนี้

4.2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

4.2.1.1 การชะละลายด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure): SW-846 Method 1311

วิธี TCLP เป็นวิธีมาตรฐานของ US.EPA จากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นวิธีที่จำลองเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดการละลายออกมาของตะกั่วเมื่อเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ใช้แล้ว ถูกทิ้งปะปนกับของเสียทั่วไปของชุมชนในบริเวณหลุมฝังกลบ จากการศึกษา พบความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่มีการใช้งานแล้วของโรงงาน 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 247.77 ± 8.72 , 335.73 ± 30.32 , 314.87 ± 37.74 , 282.87 ± 49.05 และ 279.80 ± 33.40 มก./ล. ตามลำดับ ในส่วนของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่มีการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 0.58 ± 0.11 มก./ล. และเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.) แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	TCLP Blank-1	ND	-
	TCLP Blank-2	ND	
	TCLP Blank-3	ND	
1 (เผาเก่า)	TCLP 1 (เก่า)-1	0.55	0.58 \pm 0.11
	TCLP 1 (เก่า)-2	0.48	
	STLC 1 (เก่า)-3	0.70	
1 (เผาใหม่)	TCLP 1 (ใหม่)-1	257.30	247.77 \pm 8.72
	TCLP 1 (ใหม่)-2	245.80	
	TCLP 1 (ใหม่)-3	240.20	
2 (เผาใหม่)	TCLP 2 (ใหม่)-1	369.60	335.73 \pm 30.32
	TCLP 2 (ใหม่)-2	326.50	
	TCLP 2 (ใหม่)-3	311.10	
3 (เผาใหม่)	TCLP 3 (ใหม่)-1	354.80	314.87 \pm 37.74
	TCLP 3 (ใหม่)-2	310.00	
	TCLP 3 (ใหม่)-3	279.80	
4 (เผาใหม่)	TCLP 4 (ใหม่)-1	337.10	282.87 \pm 49.05
	TCLP 4 (ใหม่)-2	269.90	
	TCLP 4 (ใหม่)-3	241.60	
5 (เผาใหม่)	TCLP 5 (ใหม่)-1	310.30	279.80 \pm 33.40
	TCLP 5 (ใหม่)-2	285.00	
	TCLP 5 (ใหม่)-3	244.10	
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539)			ไม่เกิน 0.2 มก./ล.

หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

4.2.1.2 การชะละลายด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure): SW-846 Method 1312

วิธี SPLP เป็นวิธีมาตรฐานของ US.EPA จากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นวิธีที่จำลองเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดการละลายออกมาของตะกั่วเมื่อเข้าเผาพลอยทับทิมที่ใช้แล้ว ถูกทิ้งอยู่ในบริเวณที่เกิดฝนกรด จากการศึกษ พบความเข้มข้นของตะกั่วจากเข้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงาน 1 ถึง 5 มีค่าเท่ากับ 228.50 ± 30.55 , 312.17 ± 19.06 , 302.03 ± 20.76 , 266.00 ± 25.67 และ 262.20 ± 26.12 มก./ล. ตามลำดับ ในส่วนของตัวอย่างเข้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 0.35 ± 0.07 มก./ล. และเข้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.) แสดงดังตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธีด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	SPLP Blank-1	ND	-
	SPLP Blank-2	ND	
	SPLP Blank-3	ND	
1 (เผาเก่า)	SPLP 1 (เก่า)-1	0.43	0.35 \pm 0.07
	SPLP 1 (เก่า)-2	0.33	
	SPLP 1 (เก่า)-3	0.29	
1 (เผาใหม่)	SPLP 1 (ใหม่)-1	238.10	228.50 \pm 30.55
	SPLP 1 (ใหม่)-2	253.10	
	SPLP 1 (ใหม่)-3	194.30	
2 (เผาใหม่)	SPLP 2 (ใหม่)-1	320.90	312.17 \pm 19.06
	SPLP 2 (ใหม่)-2	325.30	
	SPLP 2 (ใหม่)-3	290.30	
3 (เผาใหม่)	SPLP 3 (ใหม่)-1	320.00	302.03 \pm 20.76
	SPLP 3 (ใหม่)-2	306.80	
	SPLP 3 (ใหม่)-3	279.30	
4 (เผาใหม่)	SPLP 4 (ใหม่)-1	252.50	266.00 \pm 25.67
	SPLP 4 (ใหม่)-2	295.60	
	SPLP 4 (ใหม่)-3	249.90	
5 (เผาใหม่)	SPLP 5 (ใหม่)-1	279.90	262.20 \pm 26.12
	SPLP 5 (ใหม่)-2	274.50	
	SPLP 5 (ใหม่)-3	232.20	
มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539)			ไม่เกิน 0.2 มก./ล.

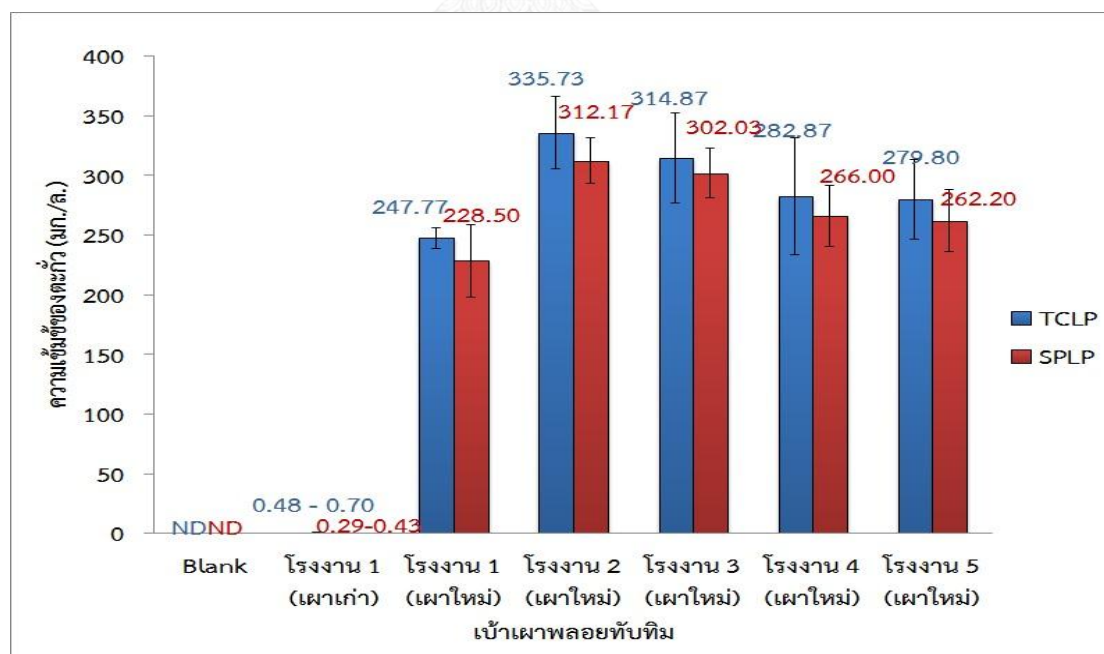
หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

4.2.2 การเปรียบเทียบการชะละลายจากน้ำฝนละลายตะกอนด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

4.2.2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย

จากผลการชะละลายตะกั่วจากน้ำฝนละลายของทั้ง 2 วิธี พบว่า น้ำฝนละลายตะกอนแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 2 มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุด ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการเติมตะกั่วเป็นจำนวนมากสำหรับการเผาละลายตะกอนในแต่ละครั้ง ทำให้หลังการเผาจึงเหลือปริมาณตะกั่วตกค้างเป็นจำนวนมาก ส่วนน้ำฝนละลายตะกอนแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 พบความเข้มข้นของตะกั่วที่ถูกชะละลายต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) และ ความเข้มข้นของตะกั่ว (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC)

เมื่อนำผลความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายน้ำฝนละลายตะกอนด้วยวิธี TCLP เปรียบเทียบกับวิธี SPLP พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยน้ำฝนละลายตะกอนแบบเผาใหม่และเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาเก่าในทุกโรงงานด้วยวิธี TCLP มีค่าสูงกว่าวิธี SPLP ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายน้ำฝนละลายตะกอนด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

จาก **รูปที่ 4.3** แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความเข้มข้นของตะกั่ว จากตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมแบบใหม่ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าความเข้มข้นของ ตะกั่วที่สูงมาก ส่วนตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมแบบเก่าในโรงงาน 1 มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าแบบเผาใหม่อย่างเห็นได้ชัด และความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยวิธี TCLP มีค่าสูงกว่า วิธี SPLP ในทุกๆ โรงงาน

งานวิจัยที่ให้ผลการศึกษาเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เช่น การศึกษาการชะละลายจากวัสดุที่ถูกเคลือบด้วยสีที่มีตะกั่วเป็นส่วนผสม พบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วย TCLP สูงกว่าวิธี SPLP ถึง 5 เท่า (Wadanambi et al., 2008) การศึกษาตัวอย่างชิ้นส่วนแผงวงจรของคอมพิวเตอร์ (computer printed wire boards) และหลอดไฟฟาร์รังสีแคโทด (cathode ray tubes) พบตะกั่วถูกชะละลายออกมาด้วยวิธี TCLP มากกว่า SPLP ประมาณ 175 เท่า (Jang & Townsend, 2003) และ การศึกษาการชะละลายตัวอย่างแผงวงจรที่มีตะกั่ว (printed wire boards containing leaded) และตะกั่วบัดกรี (lead-free solder) ที่ยังคงพบตะกั่วถูกชะละลายออกมาด้วยวิธี TCLP มากกว่า SPLP (Townsend et al., 2008) เช่นกัน

สาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยวิธี TCLP มีค่าสูงกว่าวิธี SPLP เนื่องจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ

1. ค่าพีเอชของน้ำชะกาก โดยการชะละลายด้วยวิธี TCLP ใช้น้ำสกัดที่เตรียมจาก กรดอะซิติก (CH_3COOH) ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้อะซิเตทบัฟเฟอร์ ที่มีสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ จึงมีความสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำชะกาก ระหว่างทำการชะละลายได้ ขณะที่ค่าพีเอชน้ำชะกากโดยวิธี SPLP ซึ่งใช้น้ำสกัดที่เตรียมจาก สารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟิวริกกับกรดไนตริก ที่ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ทำให้ไม่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำชะกากระหว่างทำการชะละลายได้

2. ชนิดของกรดที่ใช้ในการชะละลาย ในน้ำสกัดของ TCLP จะใช้ กรดอะซิติกในการชะละลาย ซึ่งกรดอะซิติก (อะซิเตทไอออน) เป็นกรดอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารจับโลหะ (Chelating agent) สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่วและทำให้มีการชะละลาย ออกได้ดี จึงทำให้มีการชะละลายของตะกั่วออกมามากกว่า วิธี SPLP (Townsend และคณะ, 2008)

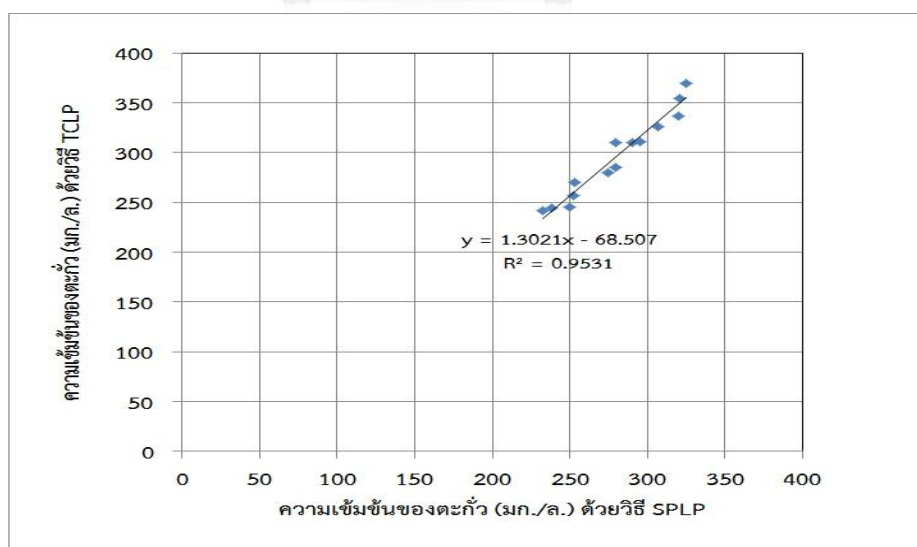
เมื่อนำความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วย TCLP และ SPLP มาสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ ดัง**รูปที่ 4.4** พบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายทั้งสองวิธีมีแนวโน้มการแปรผันตรงต่อกัน และเมื่อนำมาสร้างสมการเชิงเส้นตรงได้สมการ (1) และค่า R^2 ดังนี้

$$y = 1.3021x - 68.507 \dots\dots\dots(1)$$

$$R^2 = 0.9531$$

จากสมการ (1) ตัวแปร x คือ ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี SPLP และ ตัวแปร y คือ ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination) หรือ R^2 เท่ากับ 0.9531 โดยสมการที่ได้แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และ SPLP มีค่าแปรผันไปในทำนองเดียวกันในทุกๆ โรงงาน และจากค่า R^2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี SPLP มาก

การที่ค่าการชะละลายทั้ง 2 วิธีใกล้เคียงกันนั้น ทำให้สามารถเลือกใช้วิธีการ TCLP หรือ SPLP สำหรับทดสอบการชะละลายตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมได้โดยทั้งสองวิธี แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของการทดสอบพบว่า ความแตกต่างของทั้งสองวิธีอยู่ที่ สารชะละลาย วิธีการเตรียมและปริมาณสารที่ใช้ โดยที่ สารที่ใช้ในการชะละลาย TCLP คือ อะซิเตทบัฟเฟอร์ ที่เตรียมจาก กรดอะซิติกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้สารในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ในขณะที่ SPLP ใช้ฝนกรดเทียมซึ่งเตรียมจากกรดซัลฟิวริกเข้มข้นกับกรดไนตริกเข้มข้น และใช้ในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับ TCLP ดังนั้นการเลือกใช้วิธี SPLP สำหรับทดสอบการชะละลายตะกั่วจากตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมจึงมีความเหมาะสมเพราะประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบมากกว่า

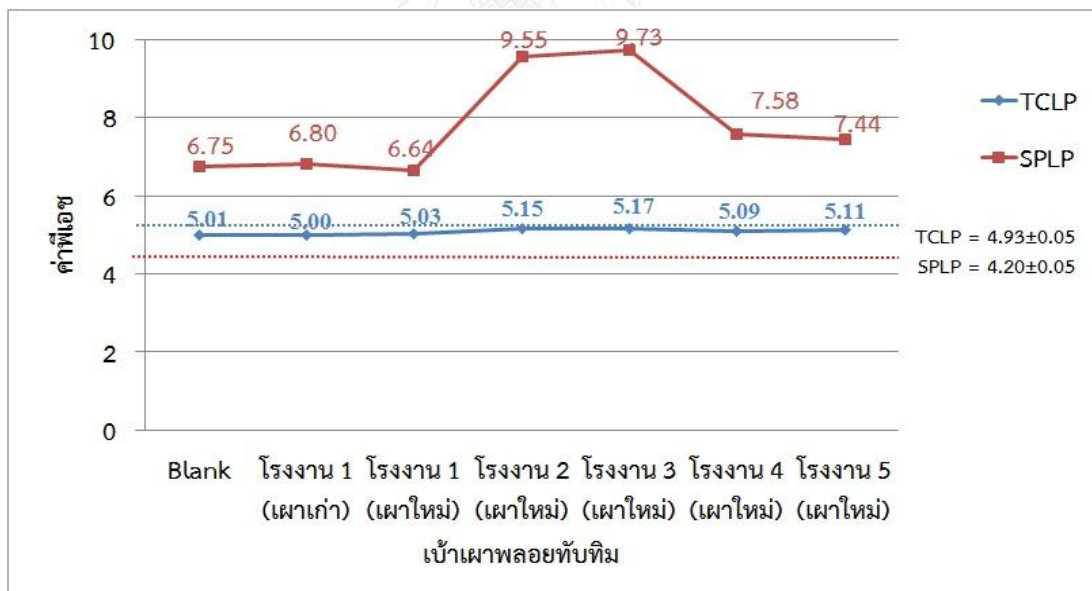


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

4.2.2.2 ค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิม

ค่าพีเอชของน้ำชะกากภายหลังการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP แสดงดัง **รูปที่ 4.5** โดยพบว่า ค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วย TCLP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.00 - 5.17 ซึ่งสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าพีเอชน้ำสกัดก่อนการทดสอบที่กำหนดไว้ที่ 4.93 ± 0.05 และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่สำหรับทุกๆ โรงงาน เนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ของน้ำสกัด (Leachant) ที่ใช้ในการชะละลาย

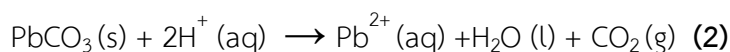
ส่วนค่าพีเอชของน้ำชะกากจากวิธี SPLP พบมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.75 - 9.73 ซึ่งสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับค่าพีเอชน้ำสกัดก่อนการทดสอบที่กำหนดไว้ที่ 4.20 ± 0.05 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีสาเหตุมาจากน้ำสกัด (Leachant) ที่ใช้ในการชะละลายไม่มีคุณสมบัติในการเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jang and Townsend (2003) ที่ได้ทำการศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากตัวอย่างชิ้นส่วนแผงวงจรของคอมพิวเตอร์ (computer printed wire boards) และหลอดไฟฟาร์รังสีแคโทด (cathode ray tubes) ด้วยวิธี SPLP พบว่าค่าพีเอชหลังการชะละลายมีค่าสูงขึ้น โดยเพิ่มขึ้น 4.2 ไปสิ้นสุดที่ 7.7



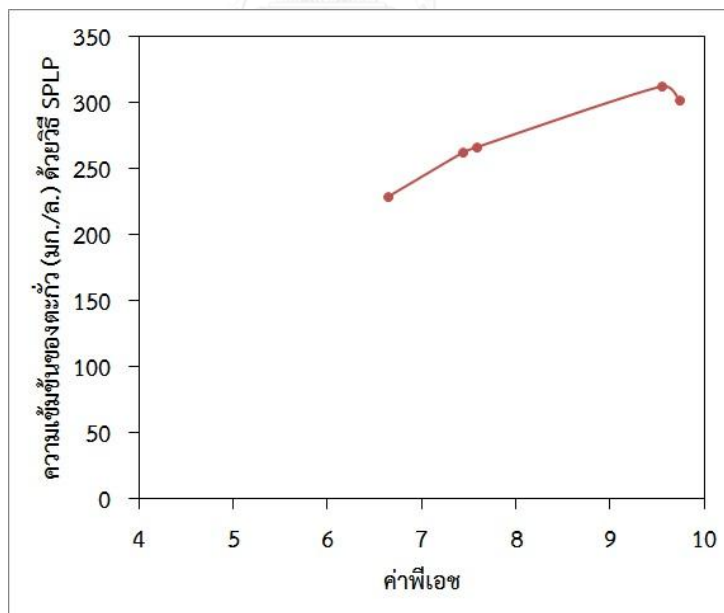
รูปที่ 4.5 ค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.) กับค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายด้วยวิธี SPLP เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์โดยสร้างกราฟ แสดงดัง**รูปที่ 4.6** พบความสัมพันธ์ของตะกั่ว (มก./ล.) จากการชะละลายด้วยวิธี SPLP มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชของน้ำชะกาก

หลังจากการชะละลาย โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แปรผันตรงต่อกัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของ ตะกั่วเพิ่ม เมื่อค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังจากการชะละลายสูง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นตะกั่ว ในค่าพีเอชที่สูง สาเหตุเกิดจากตะกั่วสามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะกรดและสภาวะเบส โดยใน สภาวะที่มีค่าพีเอชตามธรรมชาติ (ค่าพีเอชประมาณ 7) ตะกั่วจะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอน (Chiang et al., 2009) อยู่ในรูปสารประกอบ ต่างๆ อาทิ ตะกั่วออกไซด์ (PbO) หรือ ตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO₃) เป็นต้น แต่เมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชไปในสภาวะกรด (ค่าพีเอชน้อยกว่า 7) และสภาวะเบส (ค่าพีเอชมากกว่า 7) ตะกั่วจะเกิดการละลายออกมาอยู่ในรูปไอออนอิสระ (Pb²⁺) และสารประกอบเชิงซ้อน (Pb(OH)₃⁻) ตามลำดับ ดังสมการ (2) และ สมการ (3) (Zhenghui et al., 2014)



และการละลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะกรดแก่ (ค่าพีเอชน้อยกว่า 5) และเบสแก่ (ค่าพีเอชมากกว่า 12) ดังนั้น ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเข้าเผา พลอยทับทิมด้วยวิธี SPLP ที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชที่สูงขึ้นของน้ำชะกาก หลังการชะละลาย

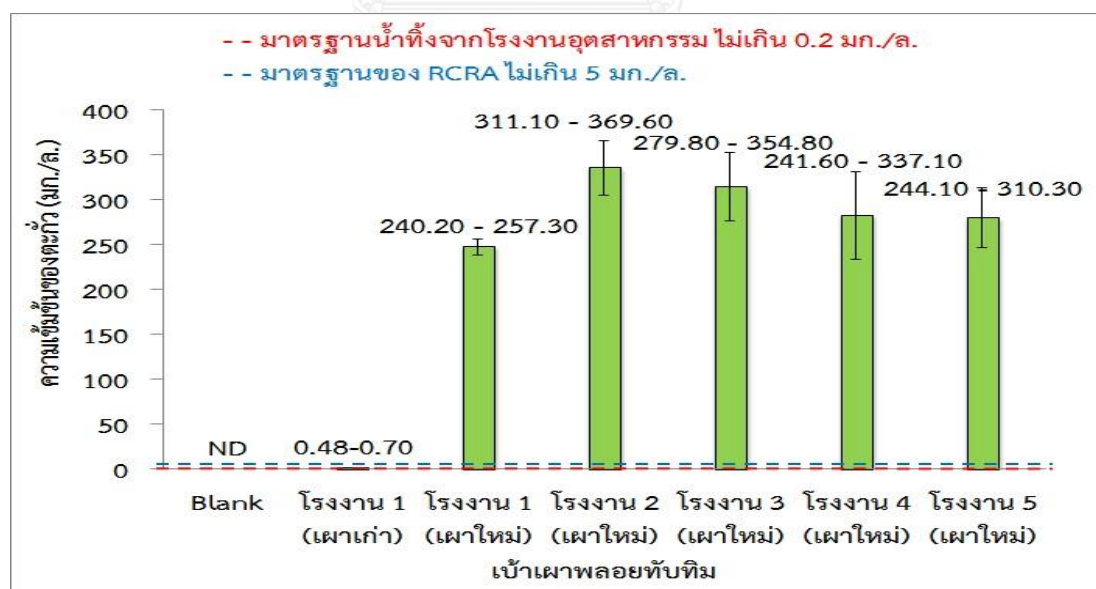


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วกับค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลาย ด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

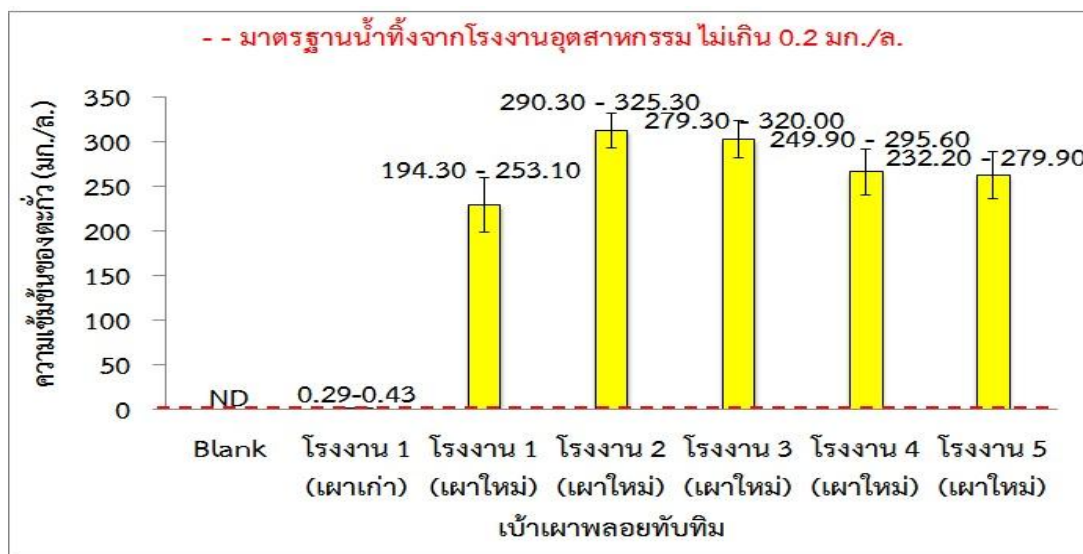
4.2.3 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันประเทศไทย ยังไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานการชะละลายด้วย TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงนำผลความเข้มข้นของตะกั่วที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยพบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วที่ได้จากเบ้าเผาพลอยทับทิมทั้งแบบเผาเก่าและเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วของทุกโรงงาน มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มก./ล. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539) ดังรูปที่ 4.7

นอกจากนี้เมื่อลองนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้ว เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ตามกฎหมายว่าด้วยการบริหารจัดการขยะ (The Resource Conservation and Recovery Act: RCRA) เนื่องจากชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP เป็นวิธีมาตรฐานของประเทศดังกล่าว โดยกำหนดค่ามาตรฐานของตะกั่วจากวิธี TCLP ไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ได้จากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดโดยมีเพียงเบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 เท่านั้นที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วต่ำกว่าค่ามาตรฐานดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) กับ ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ มาตรฐานของ RCRA



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลาย ด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

4.2.4 การเปรียบเทียบผลการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และ SPLP กับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC)

ผลการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และ SPLP เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (TTLC) ที่ได้จากการศึกษาการเป็นของเสียอันตราย (4.1) พบ เปอร์เซ็นต์การชะละลายออกมาของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 ถึง 5 ด้วยวิธี TCLP และ SPLP มีค่าอยู่ในช่วง 11.00 – 14.98 และ 7.88 – 14.04 ตามลำดับ ส่วนของตัวอย่างเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 มีเปอร์เซ็นต์การชะละลายเท่ากับ 12.96 และ 7.88 สำหรับการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การชะละลายจากทั้งสองวิธี พบว่า โรงงานที่ 5 มีเปอร์เซ็นต์การชะละลายออกมาสูงที่สุดคือ 14.98 ด้วยวิธี TCLP และ 14.04 สำหรับการชะละลายด้วยวิธี SPLP โดยเปอร์เซ็นต์การชะละลายนั้นไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (TTLC) สาเหตุอาจเกิดจากการใช้สารชะละลายที่เป็นกรดอะซิติกที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อนในการชะละลายด้วยวิธี TCLP และการใช้กรดกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริกในปริมาณน้อย ในขณะที่ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (TTLC) ถูกสกัดออกมาโดยการใช้กรดไนตริกเข้มข้นที่มีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ในปริมาณมาก โดยในการสกัดแต่ละครั้งใช้ในปริมาณไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต่างๆใน 4.2.3 ยังคงพบว่ามีค่าเกินมาตรฐานอยู่มาก

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การชะละลายของตะกั่วด้วยวิธี TCLP และ SPLP

โรงงาน	ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (มก./กก.)	เปอร์เซ็นต์การชะละลายด้วย วิธี TCLP	เปอร์เซ็นต์การชะละลายด้วย วิธี SPLP
(Blank)	2.06±3.57	ND	ND
1 (เผาเก่า)	44.41±2.23	12.96	7.88
1 (เผาใหม่)	17,092±640	14.50	13.37
2 (เผาใหม่)	29,367±2,150	11.43	10.63
3 (เผาใหม่)	25,051±5,945	12.57	12.06
4 (เผาใหม่)	25,711±2,009	11.00	10.35
5 (เผาใหม่)	18,676±1,268	14.98	14.04

หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

4.3 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)

จากการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนต่างๆของน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิม จากตัวอย่างเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วจำนวน 5 โรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย เบ้าจากโรงงานแบบเผาใหม่ที่มีการเติมแกว้ตะกั่วจำนวน 4 โรงงาน โรงงานที่มีทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ไม่มีการเติมแกว้ตะกั่วจำนวน 1 โรงงาน และเบ้าที่ยังไม่มีการใช้งาน (Blank) ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2548 พบ ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification)

(1) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1

พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1 ถึง 5 เบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)

มีค่าเท่ากับ 13.90 ± 1.66 , 41.92 ± 3.79 , 38.24 ± 4.30 , 15.36 ± 4.55 , 21.83 ± 5.38 , 0.47 ± 0.01 และ 0.30 ± 0.31 มก./ล. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

(2) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 3:1

พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1 ถึง 5 เบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีค่าเท่ากับ 1.94 ± 1.11 , 27.48 ± 5.20 , 6.86 ± 3.38 , 5.47 ± 3.72 , 12.41 ± 5.12 , 0.52 ± 0.19 และ 0.26 ± 0.31 มก./ล. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

(3) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 6:1

พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1 ถึง 5 เบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีค่าเท่ากับ 1.52 ± 1.06 , 14.04 ± 1.33 , 4.01 ± 2.77 , 3.30 ± 2.06 , 4.34 ± 0.69 , 0.46 ± 0.18 และ 0.20 ± 0.19 มก./ล. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

(4) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1

พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1 ถึง 5 เบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีค่าเท่ากับ 0.97 ± 0.76 , 2.68 ± 0.63 , 2.06 ± 1.69 , 2.03 ± 1.31 , 1.71 ± 0.95 , 0.46 ± 0.14 และ 0.10 ± 0.17 มก./ล. ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเข้าเผาพลอย
ทับทิมเท่ากับ 1:1

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เข้าเผาพลอยทับทิมที่ ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	1:1 (B)-1	0.66	0.30 \pm 0.31
	1:1 (B)-2	0.08	
	1:1 (B)-3	0.16	
1 (เผาเก่า)	1:1 (เก่า 1)-1	0.48	0.47 \pm 0.01
	1:1 (เก่า 1)-2	0.46	
	1:1 (เก่า 1)-3	0.46	
1 (เผาใหม่)	1:1 (ใหม่ 2)-1	15.09	13.90 \pm 1.66
	1:1 (ใหม่ 2)-2	14.61	
	1:1 (ใหม่ 2)-3	12.01	
2 (เผาใหม่)	1:1 (ใหม่ 2)-1	37.61	41.92 \pm 3.79
	1:1 (ใหม่ 2)-2	43.37	
	1:1 (ใหม่ 2)-3	44.77	
3 (เผาใหม่)	1:1 (ใหม่ 3)-1	36.41	38.24 \pm 4.30
	1:1 (ใหม่ 3)-2	35.16	
	1:1 (ใหม่ 3)-3	43.15	
4 (เผาใหม่)	1:1 (ใหม่ 4)-1	14.29	15.36 \pm 4.55
	1:1 (ใหม่ 4)-2	11.45	
	1:1 (ใหม่ 4)-3	20.35	
5 (เผาใหม่)	1:1 (ใหม่ 5)-1	22.19	21.83 \pm 5.38
	1:1 (ใหม่ 5)-2	27.02	
	1:1 (ใหม่ 5)-3	16.27	
ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็น ของเสียอันตรายสำหรับตะกั่ว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)			ไม่เกิน 5 มก./ล.

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเข้าเผาพลอย
ทับทิมเท่ากับ 3:1

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เข้าเผาพลอยทับทิมที่ ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	3:1 (B)-1	0.60	0.26 \pm 0.31
	3:1 (B)-2	ND	
	3:1 (B)-3	0.17	
1 (เผาเก่า)	3:1 (เก่า 1)-1	0.74	0.52 \pm 0.19
	3:1 (เก่า 1)-2	0.42	
	3:1 (เก่า 1)-3	0.43	
1 (เผาใหม่)	3:1 (ใหม่ 2)-1	3.22	1.94 \pm 1.11
	3:1 (ใหม่ 2)-2	1.22	
	3:1 (ใหม่ 2)-3	1.38	
2 (เผาใหม่)	3:1 (ใหม่ 2)-1	29.94	27.48 \pm 5.20
	3:1 (ใหม่ 2)-2	21.51	
	3:1 (ใหม่ 2)-3	31.00	
3 (เผาใหม่)	3:1 (ใหม่ 3)-1	10.03	6.86 \pm 3.38
	3:1 (ใหม่ 3)-2	7.25	
	3:1 (ใหม่ 3)-3	3.31	
4 (เผาใหม่)	3:1 (ใหม่ 4)-1	3.78	5.47 \pm 3.72
	3:1 (ใหม่ 4)-2	2.90	
	3:1 (ใหม่ 4)-3	9.73	
5 (เผาใหม่)	3:1 (ใหม่ 5)-1	17.36	12.41 \pm 5.12
	3:1 (ใหม่ 5)-2	12.75	
	3:1 (ใหม่ 5)-3	7.13	
ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็น ของเสียอันตรายสำหรับตะกั่ว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)			ไม่เกิน 5 มก./ล.

หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอย
ทับทิมเท่ากับ 6:1

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	6:1 (B)-1	0.39	0.20 \pm 0.19
	6:1 (B)-2	0.19	
	6:1 (B)-3	0.02	
1 (เผาเก่า)	6:1 (เก่า 1)-1	0.66	0.46 \pm 0.18
	6:1 (เก่า 1)-2	0.36	
	6:1 (เก่า 1)-3	0.35	
1 (เผาใหม่)	6:1 (ใหม่ 2)-1	2.69	1.52 \pm 1.06
	6:1 (ใหม่ 2)-2	0.62	
	6:1 (ใหม่ 2)-3	1.25	
2 (เผาใหม่)	6:1 (ใหม่ 2)-1	15.57	14.04 \pm 1.33
	6:1 (ใหม่ 2)-2	13.23	
	6:1 (ใหม่ 2)-3	13.31	
3 (เผาใหม่)	6:1 (ใหม่ 3)-1	7.15	4.01 \pm 2.77
	6:1 (ใหม่ 3)-2	2.99	
	6:1 (ใหม่ 3)-3	1.89	
4 (เผาใหม่)	6:1 (ใหม่ 4)-1	3.61	3.30 \pm 2.06
	6:1 (ใหม่ 4)-2	1.11	
	6:1 (ใหม่ 4)-3	5.19	
5 (เผาใหม่)	6:1 (ใหม่ 5)-1	4.99	4.34 \pm 0.69
	6:1 (ใหม่ 5)-2	3.62	
	6:1 (ใหม่ 5)-3	4.40	
ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็น ของเสียอันตรายสำหรับตะกั่ว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)			ไม่เกิน 5 มก./ล.

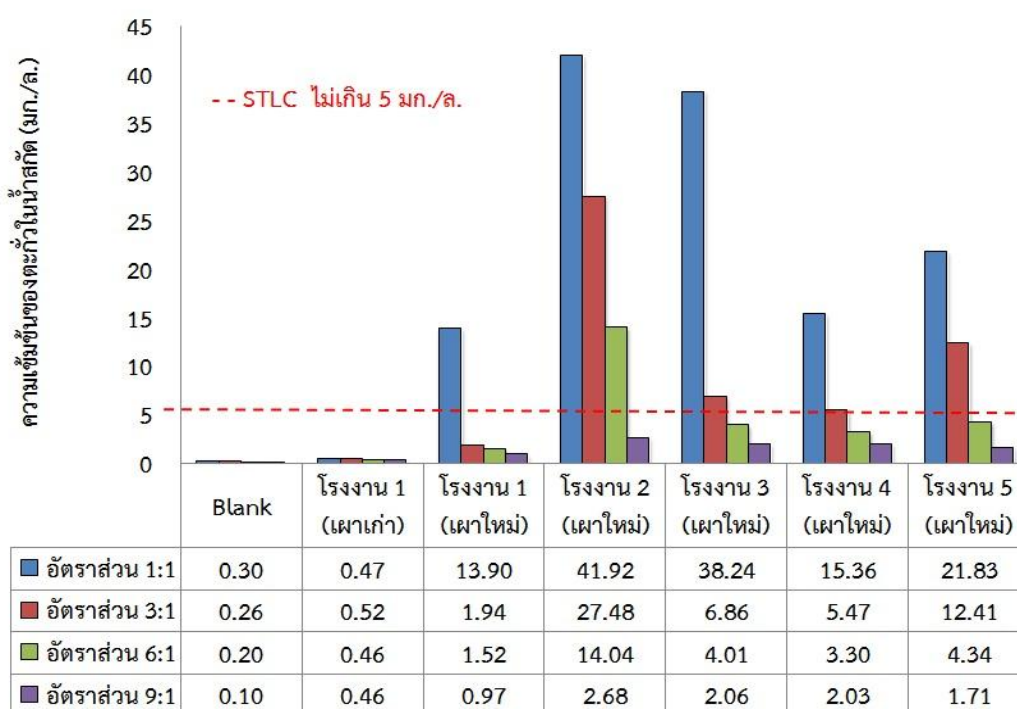
ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเข้าเผาพลอย
ทับทิมเท่ากับ 9:1

โรงงาน	ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (มก./ล.)
เข้าเผาพลอยทับทิมที่ ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank)	9:1 (B)-1	ND	0.10 \pm 0.17
	9:1 (B)-2	ND	
	9:1 (B)-3	0.30	
1 (เผาเก่า)	9:1 (เก่า 1)-1	0.61	0.46 \pm 0.14
	9:1 (เก่า 1)-2	0.37	
	9:1 (เก่า 1)-3	0.39	
1 (เผาใหม่)	9:1 (ใหม่ 2)-1	1.79	0.97 \pm 0.76
	9:1 (ใหม่ 2)-2	0.30	
	9:1 (ใหม่ 2)-3	0.82	
2 (เผาใหม่)	9:1 (ใหม่ 2)-1	3.25	2.68 \pm 0.63
	9:1 (ใหม่ 2)-2	2.77	
	9:1 (ใหม่ 2)-3	2.01	
3 (เผาใหม่)	9:1 (ใหม่ 3)-1	3.99	2.06 \pm 1.69
	9:1 (ใหม่ 3)-2	0.83	
	9:1 (ใหม่ 3)-3	1.37	
4 (เผาใหม่)	9:1 (ใหม่ 4)-1	3.06	2.03 \pm 1.31
	9:1 (ใหม่ 4)-2	0.56	
	9:1 (ใหม่ 4)-3	2.48	
5 (เผาใหม่)	9:1 (ใหม่ 5)-1	2.68	1.71 \pm 0.95
	9:1 (ใหม่ 5)-2	0.79	
	9:1 (ใหม่ 5)-3	1.67	
ค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็น ของเสียอันตรายสำหรับตะกั่ว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)			ไม่เกิน 5 มก./ล.

หมายเหตุ: ND หรือ Not Detected คือ ค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

4.3.2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)

ผลความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมทั้งแบบเผาใหม่และเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วในทุกโรงงาน และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) หลังผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1 พบว่า ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1 สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ อัตราส่วน 3:1, 6:1 และ 9:1 ตามลำดับ โดยเฉพาะจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงานที่ 2 ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าทุกๆ โรงงานในทุกอัตราส่วน ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนการเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิม (4.1) ที่พบความเข้มข้นของตะกั่วตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงานที่ 2 มีค่าสูงที่สุด

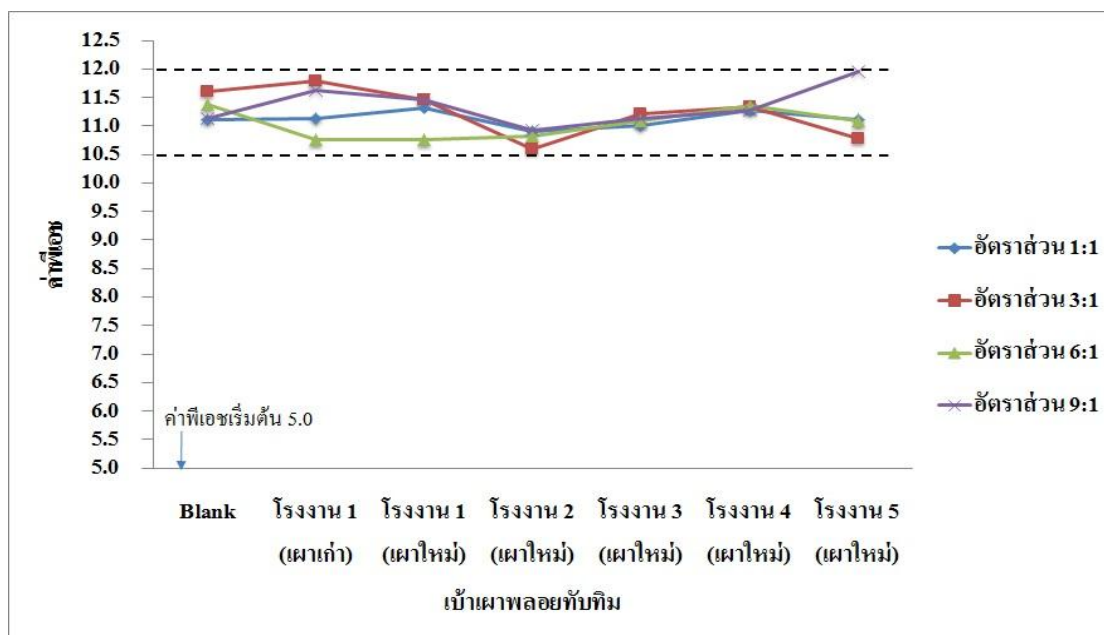


รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1

เมื่อพิจารณาการลดลงของค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ในโรงงาน 1 ถึง 5 ที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งของแต่ละอัตราส่วน พบการลดลงของค่าความ

เข้มข้นในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน โดยมีสัดส่วนการลดลงระหว่างอัตราส่วน 1:1 กับอัตราส่วน 3:1 ประมาณ 13, 2, 6, 3 และ 2 เท่า ระหว่างอัตราส่วน 3:1 กับอัตราส่วน 6:1 ประมาณ 1, 2, 2, 2 และ 3 เท่า และระหว่างอัตราส่วน 6:1 กับอัตราส่วน 9:1 ประมาณ 2, 5, 2, 1 และ 2 เท่า ตามลำดับ โดยจะมีการลดลงที่อัตราส่วน 1:1 กับอัตราส่วน 3:1 สูงที่สุด และเริ่มมีสัดส่วนการลดลงของค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่น้อยลงที่ อัตราส่วน 3:1 กับอัตราส่วน 6:1 และอัตราส่วน 6:1 กับอัตราส่วน 9:1 ตามลำดับ จากสัดส่วนการลดลงพบว่า เมื่อมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นการลดลงของค่าความเข้มข้นของตะกั่วจะเป็นสัดส่วนที่น้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงจุดที่มีอัตราส่วน

นอกจากนี้ยังพบความเข้มข้นของตะกั่วหลังผ่านการทำเป็นก้อนแข็งมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตามอัตราส่วนการใช้ปูนซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นสาเหตุที่ทำให้มีความเข้มข้นของตะกั่วลดลงเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยปฏิกิริยานี้มีสารตั้งต้นคือ แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate) และน้ำ (H_2O) เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะได้สารผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ซีเมนต์เจล (Cement Gel) ซึ่งประกอบไปด้วย 1. แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate hydrate; C-S-H) ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วสามารถทำลายพิษหรือห่อหุ้มสารพิษไว้ภายในได้ส่งผลทำให้ตะกั่วในเบ้าเผาพลอยทับถมที่ผ่านการใช้งานแล้วมีการชะละลายออกมาได้น้อยลง เพราะตะกั่วจะถูกกักเก็บไว้ภายในก้อนแข็งรวมถึงปริมาณตะกั่วที่น้อยลงจากอัตราส่วน ของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น 2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่สามารถทำลายฤทธิ์ของกรดที่ใช้ในการสกัดให้เป็นกลาง (ธีรชัย วัฒนสกุลเอก, 2546) ทำให้ค่าพีเอชหลังการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2548 มีค่าค่อนข้างสูง (รูปที่ 4.10) เมื่อเทียบกับค่าพีเอชน้ำสกัดก่อนการทดสอบที่กำหนดไว้ที่ 5.00 ± 0.1 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.5 -12.0 อย่างไรก็ตามกลับพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ที่จะส่งผลต่อความเข้มข้นของตะกั่ว เพราะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ทำหน้าที่เพียงป้องกันสภาวะกรดที่จะทำให้ตะกั่วละลายออกมาเท่านั้น และถึงแม้ว่าค่าพีเอชหลังการสกัดจะสูงมากจนคาดว่าอาจเกิดการละลายออกมาของตะกั่วเมื่ออยู่ในสภาวะเบสแก่ แต่ด้วยสาเหตุที่กรดซิดริกที่ถูกใช้ในการสกัดเป็นเพียงกรดอ่อนที่ไม่สามารถเข้าไปถึงตะกั่วที่ถูกห่อหุ้มอยู่ในของปูนซีเมนต์ได้ เพราะการเข้าถึงโครงสร้างภายในของซีเมนต์นั้นต้องใช้กรดแก่ เช่น กรดไนตริก เข้าไปทำลายและพาตะกั่วออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก (พีรพัฒน์ อันโต, 2549)



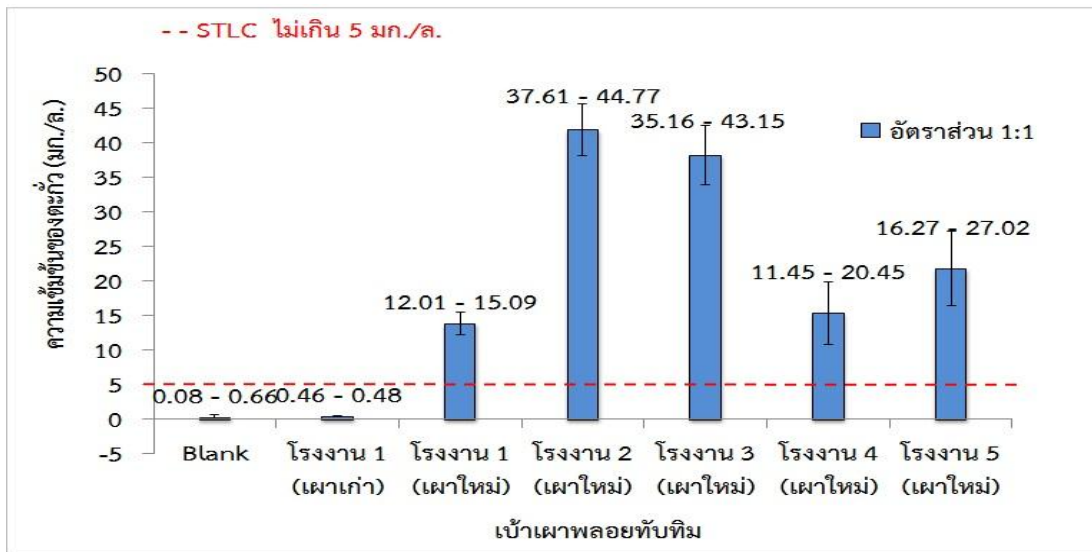
รูปที่ 4.10 ค่าพีเอชของน้ำชะกากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งในอัตราส่วนน้ำหนักรูบซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1 หลังการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

4.3.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 หรือ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC)

ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งด้วยอัตราส่วนน้ำหนักรูบซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1, 6:1 และ 9:1 กับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 ในน้ำสกัดหรือ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) ดังนี้

(1) อัตราส่วนน้ำหนักรูบซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1

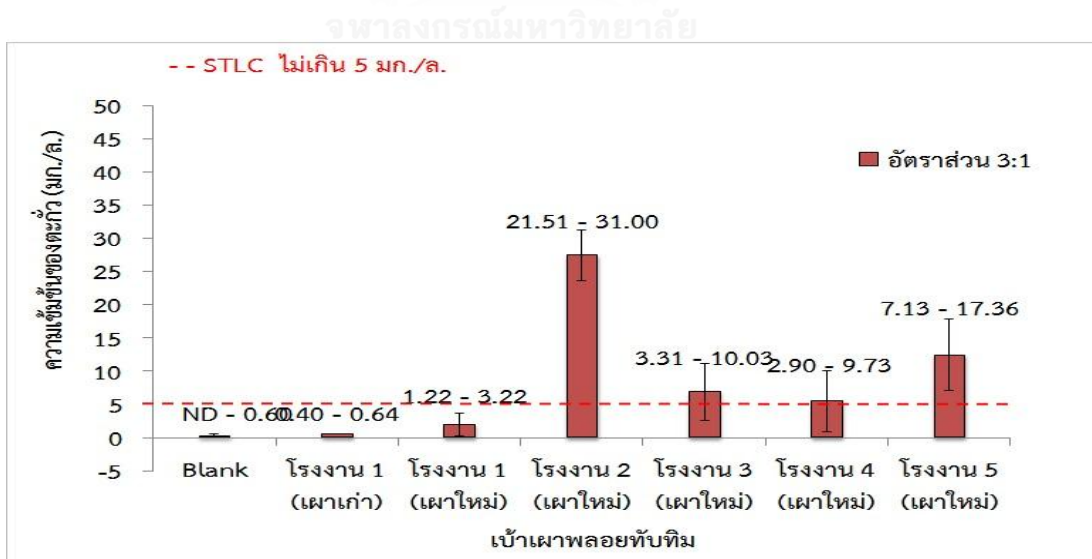
ในอัตราส่วน 1:1 พบว่า ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งของโรงงานที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 สูงกว่าค่า STLC ที่กำหนด โดยมีตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าของโรงงานที่ 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเข้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1

(2) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเข้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 3:1

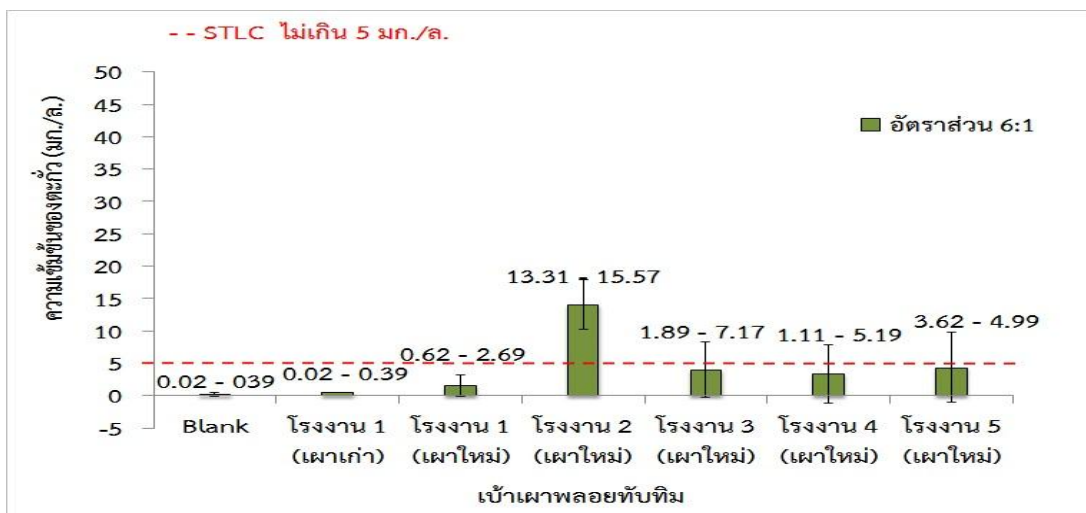
ในอัตราส่วน 3:1 พบว่า ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งของเข้าแบบเผาใหม่ของโรงงานที่ 2, 3, 4 และ 5 สูงกว่าค่า STLC ที่กำหนด โดยมีตัวอย่างเข้าแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าของโรงงานที่ 1 และเข้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเข้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเข้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 3:1

(3) อัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 6:1

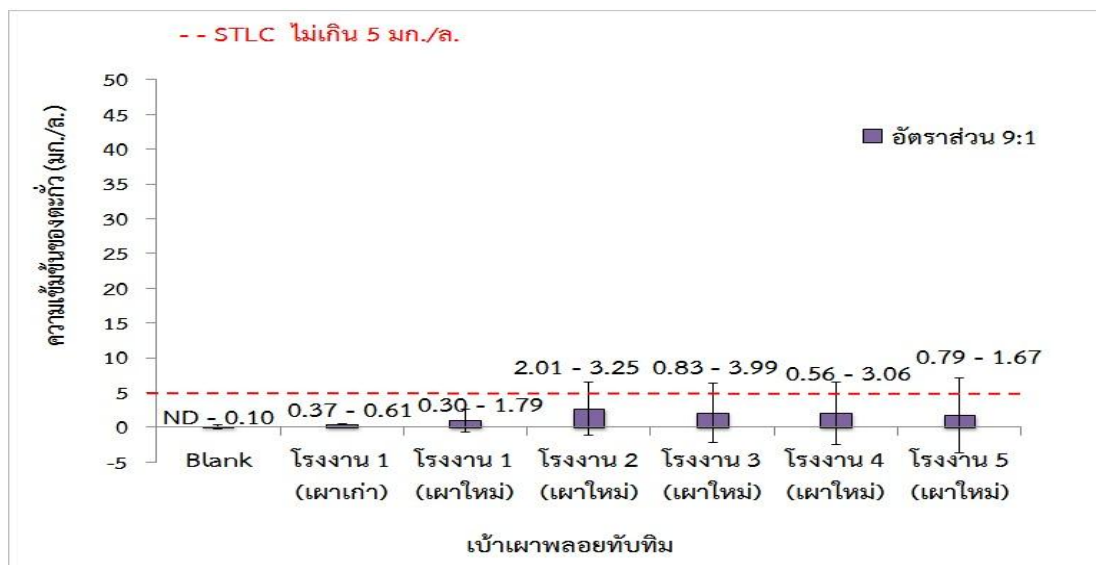
ในอัตราส่วน 6:1 พบว่า มีเพียงค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งของเบ้าแบบเผาใหม่โรงงาน 2 เท่านั้นที่สูงกว่าค่า STLC ที่กำหนด โดยตัวอย่างเบ้าแบบเผาใหม่ 1, 3, 4, 5 เบ้าแบบเผาเก่าของโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ที่อัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 6:1

(4) อัตราส่วนน้ำหนักรูปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1

ในอัตราส่วน 9:1 พบ ค่าความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งของเบ้าแบบเผาใหม่ทุกโรงงานและเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด แสดง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ที่อัตราส่วนน้ำหนักรูบปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1

จากการรวบรวมผลความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งทั้งหมด พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเบ้าเผาพลอยทับทิมในอัตราส่วนต่างๆ มีความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 5 มก./ล. จากบางโรงงานที่อัตราส่วนน้ำหนักรูบปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1, 3:1 และ 6:1 โดยมีเพียงอัตราส่วนอัตราส่วน 9:1 จากทุกโรงงานเท่านั้น ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้ จึงทำให้เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งในอัตราส่วนนี้ไม่ถูกจัดประเภทให้เป็นของเสียอันตรายที่ต้องมีการบำบัด หรือ ทำลายความเป็นอันตรายก่อนนำไปทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

ดังนั้นอัตราส่วนน้ำหนักรูบปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1 จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการจัดการกับของเสียประเภทเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเดิมแก่ตะกั่วเพื่อป้องกันการชะละลายออกมาของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 การศึกษาการเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548

5.1.1.1 ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) ของเบ้าเผาพลอยทับทิม

การศึกษาความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี US.EPA 3050B พบว่า ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1 ถึง 5 มีค่าอยู่ในช่วง 17,092 - 29,367 มก./กก. ในส่วนของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วเท่ากับ 44.41 ± 2.23 และ 2.06 ± 3.57 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อนำค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (TTLC) มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วของทุกโรงงาน มีความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วเกินค่า TTLC ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 มก./กก. ส่วนตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1 และเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วต่ำกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้

5.1.1.2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ของเบ้าเผาพลอยทับทิม

จากการศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมในน้ำสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1 ถึง 5 มีค่าอยู่ในช่วง 299.85 - 793.67 มก./ล. ในส่วนของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 และเบ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 0.37 ± 0.32 และ 0.24 ± 0.23 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อนำค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิม มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิกูลหรือ

วัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาใหม่ของแต่ละโรงงาน มีความเข้มข้นของตะกั่วเกินค่า STLC ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. ส่วนตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1 และเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้

5.1.1.3 วิเคราะห์การเป็นของเสียอันตรายของเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเดิมแก่ตะกั่ว

จากการศึกษาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTL) และความเข้มข้นของตะกั่ว (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิม พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานของโรงงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 มีความเข้มข้นของตะกั่วเกินค่า TTL และ STLC ที่กำหนดไว้ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เพราะฉะนั้นเบ้าเผาพลอยทับทิมดังกล่าว จึงถูกจัดประเภทให้เป็นของเสียอันตรายที่มีตะกั่วเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ซึ่งตะกั่วที่เกินนี้อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ จึงจำเป็นต้องมีการดำเนินการกำจัดหรือลดความเป็นอันตรายก่อนปล่อยทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ในขณะที่ตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วในโรงงาน 1 และเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีตะกั่วต่ำกว่าค่า TTL และ STLC ที่กำหนด ซึ่งสาเหตุการพบตะกั่วอาจเกิดจากจากการใช้เตาเผาพลอยร่วมกันของเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าและเบ้าแบบเผาใหม่ภายในโรงงานเดียวกัน

5.1.2 การศึกษาการชะละลายของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) และ SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)

5.1.2.1 ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure): SW-846 Method 1311

จากการศึกษาการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 ถึง 5 มีความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ในช่วง 247.77- 335.73 มก./ล. ในส่วนของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 มีความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 0.58 ± 0.11 มก./ล. และเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นต่ำ

กว่าค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

5.1.2.2 ความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเติมแก้วตะกั่วด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure): SW-846 Method 1312

จากการศึกษาการชะละลายเบ้าเผาพลอยทับทิม ด้วยวิธี SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 ถึง 5 มีความเข้มข้นของตะกั่วอยู่ในช่วง 228.50 - 312.17 มก./ล. ในส่วนของตัวอย่างเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงงาน 1 มีความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 0.35 ± 0.07 มก./ล. และเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Blank) มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่าจำกัดการวิเคราะห์ที่เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrometry) สามารถวิเคราะห์ได้ (0.01 มก./ล.)

5.1.2.3 การเปรียบเทียบการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเติมแก้วตะกั่วด้วยวิธี TCLP และ SPLP

เมื่อนำผลการชะละลายตะกั่วในเบ้าเผาพลอยทับทิมจากการศึกษาการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบความสัมพันธ์ของทั้ง 2 วิธี ดังนี้

1) การชะละลายของตะกั่วด้วยวิธี TCLP ให้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าวิธี SPLP ในทุกๆ โรงงาน

2) ความเข้มข้นของตะกั่วจากการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบของสมการเชิงเส้นตรงโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9531 และ สมการที่ได้คือ $y = 1.3021x - 68.507$

3) ค่าพีเอชของน้ำชะกากหลังการชะละลายด้วยวิธี SPLP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.64 - 9.65 และพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของตะกั่ว โดยความเข้มข้นของตะกั่วที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากค่าพีเอชหลังการชะละลายที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าพีเอชของน้ำชะกากด้วยวิธี TCLP ของทุกโรงงานมีค่าค่อนข้างคงที่ คือ ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.00 - 5.17

4) วิธี SPLP เหมาะสำหรับการทดสอบการชะละลายตะกั่วจากตัวอย่างเบ้าเผาพลอยทับทิม เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบเมื่อเทียบกับ วิธี TCLP

5.1.2.4 การเปรียบเทียบการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเดิม แก้วตะกั่วกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ผลความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วของทุกโรงงานมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มก./ล. และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำชะกากสำหรับการชะละลายด้วยวิธี TCLP ตามกฎหมายว่าด้วยการบริหารจัดการขยะ (The Resource Conservation and Recovery Act: RCRA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 5 มก./ล. พบว่ามีเพียงเบ้าเผาพลอยแบบเผาเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้วของโรงงานที่ 1 เท่านั้นที่มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

5.1.2.5 การเปรียบเทียบผลการชะละลายตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมด้วยวิธี TCLP และ SPLP กับความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่ว (Total Threshold Limit Concentration, TTLC)

พบ เปอร์เซ็นต์การชะละลายออกมาของตะกั่วจากเบ้าเผาพลอยทับทิมผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาใหม่จากโรงงาน 1 ถึง 5 ด้วยวิธี TCLP มีค่าอยู่ในช่วง 11.00 – 14.98 ส่วนการชะละลายด้วยวิธี SPLP มีค่าอยู่ในช่วง 10.35 – 14.04 ตามลำดับ ในส่วนของตัวอย่างเบ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 มีเปอร์เซ็นต์การชะละลายเท่ากับ 12.96 และ 7.88 สำหรับการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ SPLP ตามลำดับ

5.1.3 การศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)

จากการศึกษาค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ของเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification) ในอัตราส่วนต่างๆ และนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานองค์ประกอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 ในน้ำสกัดหรือ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) พบว่า

5.1.3.1 ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นแข็ง (Solidification)

(1) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 1:1 มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ของโรงงาน 1-5 อยู่ในช่วง 13.90- 41.92 มก./ล.และสูงกว่าค่า STLC ที่กำหนด ส่วนตัวอย่างเบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 และ

เข้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดเท่ากับ 0.47 ± 0.01 และ 0.30 ± 0.31 มก./ล ตามลำดับซึ่งต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด

(2) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 3:1 มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ของโรงงานที่ 1-5 อยู่ในช่วง 1.94 - 27.48 มก./ล. และสูงกว่าค่า STLC ที่กำหนดทั้งหมด ยกเว้นโรงงานที่ 1 ส่วนตัวอย่างเบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงานที่ 1 และเข้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดเท่ากับ 0.52 ± 0.19 และ 0.26 ± 0.31 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด

(3) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 6:1 มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ของโรงงานที่ 1-5 อยู่ในช่วง 1.52 - 14.04 มก./ล. และต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนดทั้งหมด ยกเว้นโรงงานที่ 2 ส่วนตัวอย่างเบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงาน 1 และเข้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดเท่ากับ 0.46 ± 0.18 และ 0.20 ± 0.19 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนด

(4) อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1 มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากเบ้าเผาพลอยทับทิมแบบเผาใหม่ของโรงงานที่ 1-5 อยู่ในช่วง 0.97 - 2.68 มก./ล. ส่วนตัวอย่างเบ้าแบบเผาเก่าจากโรงงานที่ 1 และเข้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 0.46 ± 0.14 และ 0.10 ± 0.17 มก./ล. ตามลำดับและ มีความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดต่ำกว่าค่า STLC ทั้งหมด

5.1.3.2 ผลของอัตราส่วนน้ำหนักรวมปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมกับค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC)

จากผลความเข้มข้นของตะกั่ว ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัด (Soluble Threshold Limit Concentration, STLC) ของเบ้าเผาพลอยทับทิมทั้งแบบเผาใหม่และแบบเผาเก่าที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็ง พบว่า เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเบ้าเผาพลอยทับทิมในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วลดลงเมื่ออัตราส่วนของปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 5 มก./ล. จากบางโรงงาน โดยมีเพียงอัตราส่วนอัตราส่วน 9:1 จากทุกโรงงานเท่านั้น ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่าค่า STLC ที่กำหนดไว้ จึงทำให้เบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการทำเป็นก้อนแข็งในอัตราส่วนนี้ไม่ถูกจัดประเภทให้เป็นของเสียอันตรายที่ต้องมีการบำบัด หรือ ทำลายความเป็นอันตรายก่อนนำไปทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

ดังนั้นอัตราส่วนน้ำหนักรูบปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1 จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการจัดการกับของเสียประเภทเบ้าเผาพลอยทับทิม ที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนแบบเติมแก้วตะกั่วเพื่อป้องกันการชะละลาย ออกมาของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) แนวทางเลือกสำหรับการจัดการของเสียประเภทเบ้าเผาพลอยทับทิม

(1.1) นำของเสียเบ้าเผาพลอยทับทิมไปทำการลดความเป็นพิษหรือความเป็นอันตราย โดยวิธีการทำเป็นของแข็ง (Solidification) ก่อนนำไปฝังกลบ ซึ่งการดำเนินการจะมีค่าใช้จ่ายดังนี้

(1.1.1) ดำเนินการจัดการเองภายในโดยอาจดำเนินการเองภายในโรงงาน หรือส่งไปรวมกันแล้วจัดตั้งศูนย์กลางสำหรับดำเนินการ โดยนำอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเบ้าเผาพลอยทับทิมเท่ากับ 9:1 ที่ได้จากการศึกษาไปใช้ประโยชน์เมื่อคิดในหน่วยของเสีย 1 กิโลกรัม ใช้ ปูนซีเมนต์ 9 กิโลกรัม ในกรณีที่ปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัม ราคา 2.4 บาท (ปูน 1 ถุง มีปริมาณ 50 กิโลกรัม ราคา 120 บาท) ดังนั้นของเสีย 1 กิโลกรัมซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ 9 กิโลกรัมในการบำบัด มีค่าการจัดการเท่ากับ 216 บาทต่อกิโลกรัม (2.4 บาท คูณ 9 กิโลกรัม) ซึ่งราคานี้ยังไม่รวมค่าแรงงานในการดำเนินการ

ถึงแม้ว่าวิธีการทำเป็นก้อนแข็ง (Solidification) จะเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก สามารถดำเนินการได้เอง หรือ ส่งให้หน่วยงานภายนอกดำเนินการ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ยังคงมีของเสียเกิดขึ้นจากการทำเป็นก้อนแข็งที่ต้องทำการจัดหาสถานที่ในการฝังกลบต่อไป

(1.1.2) ส่งให้ภายนอกดำเนินการจัดการ เช่น ให้บริษัทบริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) หรือ Genco รับไปดำเนินการโดยจากการสอบถามราคา ค่าบริการจัดการของเสียที่มีตะกั่วจาก Genco จะอยู่ในช่วงราคา 1,000 – 10,000 บาทต่อตันขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในการดำเนินการกำจัด ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสีย 1 กิโลกรัมเมื่อคิดในช่วงราคาสูงสุด 10,000 บาท จะมีค่าการจัดการเท่ากับ 100 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งราคานี้ยังไม่รวมค่าขนส่ง

(1.2) นำของเสียเบ้าเผาพลอยทับทิมไปทำการผลิตเป็นบล็อกประสาน ดังรูปที่ 5.1 เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง อาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ซึ่งในขั้นตอนการผลิตบล็อกประสานนั้น จะมีการนำของเสียที่มีคุณสมบัติสามารถเป็นวัสดุประสานได้มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ หรือมีคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่สามารถทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเพื่อให้ปูนซีเมนต์ยึดเกาะทดแทนทราย หิน หรือ กรวดได้มาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดไปอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดบล็อก

ประสาน เพื่อให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ จากนั้นนำไปบ่มเป็นระยะเวลา 10-28 วัน เพื่อให้บล็อกมีความแข็งแรงก่อนจะนำไปใช้งานต่อไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) โดยของเสียที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้จะต้องเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา และอลูมินาอยู่ปริมาณสูง ซึ่งของเสียเบ้าเผาพลอยทับทิมนั้นจะมีลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักอยู่แล้ว ดังนั้นจึงน่าจะสามารถนำไปใช้ป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งการผลิตเป็นบล็อกประสานนี้เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากส่งผลดีทั้งต่อสภาพแวดล้อมจากการที่ทำให้มีปริมาณของเสียที่ต้องฝังกลบหรือกำจัดน้อยลง ในแง่ของผู้ประกอบกิจการโรงงานเผาพลอย อาจจะได้รับผลตอบแทนที่มีมูลค่าจากการผลิตบล็อกประสาน นอกจากนี้ยังทำให้ภาพลักษณ์ของสถานประกอบการดีขึ้นได้อีกด้วย การนำของเสียที่มีคุณสมบัติทดแทนปูนซีเมนต์ หรือมีคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมทดแทนทราย หิน หรือ กรวด มาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 5.1 บล็อกประสาน

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

(1.3) นำของเสียเบ้าเผาพลอยทับทิมไปเป็นวัตถุดิบหรือเชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Co-processing) โดยวิธีการนี้จะเป็นการนำของเสียหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาทดแทนวัตถุดิบทดแทนหรือเชื้อเพลิงในการผลิตปูนซีเมนต์ ของเสียถ้าหากต้องการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน ของเสียนั้นๆจะต้องมีองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ ได้แก่ แคลเซียม อลูมินา เหล็ก หรือซิลิกา เป็นต้น ซึ่งของเสียเบ้าเผาพลอยทับทิมนั้นจะมีลูมินาเป็นส่วนผสมหลัก อย่างไรก็ตามทางเลือกในการดำเนินการตามวิธีการนี้ มีข้อจำกัด คือ ของเสียเบ้าเผาพลอยทับทิมจะต้องมีปริมาณตะกั่วไม่น้อยกว่า 5,000 มก./ล. (Siam City Cement Public Company Limited, 2005) ดังนั้นของเสียที่จะนำไปดำเนินการจัดการตามวิธีการนี้อาจต้องมีการดำเนินการลดปริมาณตะกั่วด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) ก่อน

(2) การศึกษาที่ควรดำเนินการต่อไป

ในทางเลือกการนำของเสียเข้าเผาพลอยทับทิมไปผลิตเป็นบล็อกประสาน ควรมีการศึกษา 1. ประเมินความเหมาะสมและความปลอดภัยในการนำของเสียเข้าเผาพลอยทับทิมมาผลิตผลิตบล็อกประสาน 2. หาอัตราผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการผลิต และ 3. ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เมื่อนำของเสียเข้าเผาพลอยมาเป็นวัสดุผลิตบล็อกประสาน



รายการอ้างอิง

- Chiang, Y. K., Tsai, C. C., & Wang, S. K. (2009). Comparison of leaching characteristic of heavy metal in APC residue from an MSW incinerator using various extraction methods. *Waste Management, 29*, 227-284.
- Chuenjit, S. (2007). *Lead particulate generated from ruby heat treatment in Chanthaburi province*. Master's Thesis, Interdisciplinary Environment Management Graduate School. Chulalongkorn University.
- Davis, L.M., & David, A.C. (1991). Introduction to environmental engineering. Singapore: McGraw-Hill.
- Halim, C.E., Amal, R., Beydoun, D., Scott, J.A., & Low, G. (2003). Evaluating the applicability of a modified toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) for the classification of cementitious wastes containing lead and cadmium. *Journal of Hazardous Materials, B103*, 125-140.
- International Agency for Research on Cancer. (1998). Lead and lead compounds *International Agency for Research on Cancer (IARC) monograph (Vol. 23, pp. 325)*.
- Jang, Y., & Townsend, T. (2003). Leaching of lead from computer printed wire boards and cathode ray tubes by municipal solid waste landfill leachates. *Environ.Sci. Technol, 37*, 4778-4784.
- Jing, C. , Meng, X., & Korfiatis, G.P. (2004). Lead leachability in stabilized/solidified soil samples evaluated with different leaching test. *Journal of Hazardous Materials, B114*, 101-110.
- Mean, J.L., Smith, L.A., Nehring, K.W., Brauning, S.E., Gavaskar, A.R., & Sass, B.M. (1995). *The application of Solidification/Stabilization to Waste Material*. America: Lewis Publishers.
- Rijal, S.P. (1990). *Solidification of Laboratory waste using cementitious binder*. Master's Thesis, Department of Engineer.Asian Institute of Technology.
- Shin, H.S., & Sujiwattana, P. (1988). Factors Affecting Solidification of Hazardous Materials. *Hazardous Waste Detection Control Treatment*, 1549-1560.

- Siam City Cement Public Company Limited. (2005). Environmental Care.Environmental Initiatives [Online]. from <http://www.siamcitycement.com> [2014, 26 June]
- Spence, R., & Shi, C. (2005). *Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes*: CRC Press.
- Townsend, T., Musson, S., Dubey, B., & Pearson, B. (2008). Leachability of printed wire boards containing leaded and lead-free solder. *Journal of Environmental Management*, 88, 926-931.
- U.S. EPA. (1992). Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure [Online]. from <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/1311.pdf> [2012, 26 January]
- U.S. EPA. (1994). Method 1312 Synthetic Precipitation Leaching Procedure [Online]. from <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/1312.pdf> [2012, 26 January]
- U.S. EPA. (2012). Wastes Laws & Regulations [Online]. from <http://www.epa.gov/osw/laws-regs/index.htm> [2012, 05 December]
- U.S. EPA. (2013). Wastes & Hazardous Waste [Online]. from <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/index.htm> [2014, 06 July]
- Van der sloot, H.A., & Dojikstra, J.J. (2004). Development of horizontally standardized leaching test for construction material: A material based or release based approved? Identical leaching mechanisms for different materials [Online]. from <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2004/c04060.pdf> [2012, 06 November]
- Wadanambi, L., Dubey, B., & Townsend, T. (2008). The leaching of lead from lead-based paint in landfill environment. *Journal of Hazardous Materials*, 157, 194-200.
- World Health Organization. (1981). Environment Health Criteria 3 : Lead. Geneva.
- Zhenghui, W., David B., D., Henning, U., & Stefan, F. (2014). Fundamental study of lead recovery from cerussite concentrate with methanesulfonic acid (MSA). *Hydrometallurgy*, 142, 23-35.

- เฉลิมชัย ตระกูลผุดผ่อง. (2551). กลไกการเก็บกักสังกะสีและโครเมียมในปูนซีเมนต์ [ออนไลน์]. from <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/b3/ChalermchaiTRAALL.pdf> [12 กันยายน 2555]
- เทพีวรรณ จิตรวัชรโกมล. (2550). แก้วตะกั่วกับพลอย. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง เทคโนโลยีอัญมณีไทยก้าวไกลอย่างยั่งยืน (pp. 111-114). กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- เอมมา อาสนจินดา. (2545). ผลของสารคีเลตต่อการดูดซับตะกั่วจากสารละลายโคโคแซนแบบโครสร่างตาข่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไมตรี สุทธิจิตต์. (2531). สารพิษรอบตัวเรา. เชียงใหม่: ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กนิษฐา กาญจนบัตร. (2553). ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากพลอยคอร์ันดัมและที่ผ่านกระบวนการเผ้าด้วยแก้วตะกั่วและแบริลเลียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2539). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน [ออนไลน์]. from <http://www.diw.go.th/hawk/law/water/law6.asp> [24 มิถุนายน 2557]
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2548). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การจำกัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว [ออนไลน์]. from http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws/00180774.PDF [25 มิถุนายน 2557]
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). คู่มือ แนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. กรุงเทพมหานคร: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). โครงการจัดตั้งศูนย์กำจัดของเสียอันตราย. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ชโย สาธุกิจชัย. (2548). การเผาพลอยทับทิมกับประเด็นการออกใบรับรอง. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง ก้าวนำโลกอัญมณีด้วยเทคนิคการเผาพลอยทับทิมและแซปไฟร์ (pp. 16-19). กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ฐิติยา แซ่ปึง. (2551). พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- บุญทวี ศรีประเสริฐ และ วิลาวัลย์ อติชาติ. (2548). พลอยทับทิม แชนป์ไฟร์ : แหล่งที่มาและการตรวจสอบ. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง ก้าวนำโลกอัจฉริยะด้วยเทคนิคการเผาพลอยทับทิมและแชนป์ไฟร์. กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- บุญยง โส้วงศ์วัฒนา. (2535). เอกสารประกอบการเรียนการสอน เทคโนโลยีการบำบัดของเสียอันตราย. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พีรพัฒน์ อันโต. (2549). การชะละลายของโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านกระบวนการปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มลลิกา ปัญญาคะโป. (2551). การจัดการของเสียอันตราย. กรุงเทพฯ: จรัสสินทวงศ์การพิมพ์.
- รัก ธรรมชาติ. (2548). หลักการเพิ่มคุณภาพพลอยทับทิมและแชนป์ไฟร์ด้วยความร้อน. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง ก้าวนำโลกอัจฉริยะด้วยเทคนิคการเผาพลอยทับทิมและแชนป์ไฟร์ (pp. 116-124). กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- วรรณดา ต.แสงจันทร์. (2548). การทำแก้วเผาพลอย. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง ก้าวนำโลกอัจฉริยะด้วยเทคนิคการเผาพลอยทับทิมและแชนป์ไฟร์ (pp. 95-96). กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- อนรรฆอร พันธุ์ไพศาล. (2549). การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหินและจากเถ้าลอยขาน้อยเพื่อกำจัดตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อานันตี ต๊ะปิ่นตา. (2553). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก ก

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

พ.ศ. ๒๕๕๕

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๑๓ (๓) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ประกาศนี้มีผลบังคับใช้กับโรงงาน ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ทั้งที่ตั้งอยู่นอกเขตและในเขตประกอบการอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และโรงงานที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน พ.ศ. ๒๕๒๐

ข้อ ๒ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๔๐) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๑ (พ.ศ. ๒๕๔๑) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (เพิ่มเติม) พ.ศ. ๒๕๔๖ ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ และให้ใช้ประกาศฉบับนี้แทน

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

“สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” หมายความว่า สิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน รวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ และน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบหรือมีคุณลักษณะที่เป็นอันตราย

“ของเสียอันตราย” หมายความว่า สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบ หรือปนเปื้อนสารอันตราย หรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย ตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ ๒ ท้ายประกาศนี้

“การจัดการสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” หมายความว่า การบำบัด ทำลายฤทธิ์ ทั้ง กำจัด จำหน่ายจ่ายแจก แลกเปลี่ยน หรือนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการกักเก็บไว้เพื่อทำการดังกล่าว

“ผู้ก่อกำเนิดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว” หมายความว่า ผู้ประกอบการกิจการโรงงาน ที่ก่อให้เกิดและมีสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วไว้ในครอบครอง

“ผู้รวบรวมและขนส่ง” หมายความว่า ผู้มีสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วไว้ในครอบครองเพื่อการขนส่ง และผู้มีไว้ในครอบครองสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วในสถานที่เก็บรวบรวม หรือขนถ่ายสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. ๒๕๔๖

“ผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว” หมายความว่า ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วไว้ในครอบครอง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. ๒๕๔๖ และโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการคัดแยกหรือฝังกลบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ตามประเภทหรือชนิดของโรงงานลำดับที่ ๑๐๕

“ใบกำกับการขนส่ง” หมายความว่า แบบกำกับการขนส่ง ๐๒ ตามแนบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. ๒๕๔๖

“การแจ้งทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์” หมายความว่า การแจ้งข้อมูลตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจากโรงงาน โดยทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Internet) พ.ศ. ๒๕๔๖

หมวด ๑

รหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

ข้อ ๔ รหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วให้เป็นไปตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ ๑ ท้ายประกาศนี้

ข้อ ๕ สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วดังต่อไปนี้ ได้รับการขบวนไม่ต้องปฏิบัติตามประกาศฉบับนี้

๕.๑ สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย จากสำนักงาน บ้านพักอาศัย และโรงอาหารในบริเวณ โรงงาน

๕.๒ สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีกฎหมายควบคุมเฉพาะ ได้แก่

๕.๒.๑ กากกัมมันตรังสี

๕.๒.๒ มูลฝอยตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข

๕.๓ น้ำเสียที่ส่งไปบำบัดนอกบริเวณ โรงงานทางท่อส่ง

หมวด ๒
ผู้ก่อกำเนตสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว

ข้อ ๖ ต้องไม่ครอบครองสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วไว้ภายในโรงงานเกินระยะเวลา ๕๐ วัน หากเกินกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้นี้ ต้องขออนุญาตต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามแบบ สก. ๑ ท้ายประกาศนี้ ในกรณีที่ครอบครองของเสียอันตรายให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. ๒๕๔๗

ข้อ ๗ ต้องมีผู้ควบคุมดูแลระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมที่มีความรู้เฉพาะด้าน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำหนดชนิดและขนาดโรงงาน กำหนดวิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษ หรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กำหนดคุณสมบัติของผู้ควบคุมดูแล ผู้ปฏิบัติงานประจำ และหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนผู้ควบคุมดูแล สำหรับระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. ๒๕๔๕ และต้องจัดฝึกอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานตามหน้าที่ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

ข้อ ๘ ต้องจัดทำแผนการป้องกันอุบัติเหตุเพื่อรองรับเหตุฉุกเฉิน ในกรณีเกิดเหตุรั่วไหล อักเสบ การระเบิดของสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วหรือเหตุที่คาดไม่ถึง ตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ ๓ ท้ายประกาศนี้ และต้องมีอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยและอุปกรณ์รองรับเหตุฉุกเฉินภายในบริเวณโรงงาน และมีเส้นทางหนีภัยไปยังที่ปลอดภัย

ข้อ ๙ ห้ามมิให้นำสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้ นำออกไป เพื่อการจัดการด้วยวิธีการและสถานที่ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวกที่ ๔ ท้ายประกาศนี้ ในกรณีที่ทำการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วภายในบริเวณโรงงาน ต้องปฏิบัติตามหมวด ๔ ข้อ ๑๗ และข้อ ๒๑ ถึงข้อ ๒๔ ด้วย

ให้ใช้แบบ สก. ๒ ท้ายประกาศนี้ในการยื่นขออนุญาตนำสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ออกนอกบริเวณโรงงาน

ข้อ ๑๐ ต้องส่งสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตรายให้กับผู้รวบรวมและขนส่ง หรือผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเท่านั้น ในกรณีที่ผู้ใช้บริการของผู้อื่นในการจัดการ สิ่งปฏิภูมหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อ ๑๑ ต้องมีใบกำกับการขนส่ง เมื่อมีการนำของเสียอันตรายออกนอกบริเวณโรงงานทุกครั้ง และให้แจ้งข้อมูลการขนส่งสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วทุกชนิดตามประกาศฉบับนี้ต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยการแจ้งทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ข้อ ๑๒ ต้องทำการตรวจสอบสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว และต้องรับผิดชอบต่อภาระความรับผิดชอบ (liability) ในกรณีสูญหาย เกิดอุบัติเหตุ การทิ้งผิดที่ หรือการลักลอบทิ้ง และการรับคืน เนื่องจากข้อขัดแย้งที่ไม่เป็นไปตามสัญญาการให้บริการระหว่างผู้ก่อกำเนิดและผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว จนกว่าผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วจะรับสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้นไว้ในครอบครอง

ข้อ ๑๓ ต้องส่งรายงานประจำปีให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมตามแบบ สก. ๓ ท้ายประกาศนี้ ภายในวันที่ ๑ มีนาคม ของปีถัดไป

ข้อ ๑๔ การนำสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว เข้ามาหรือออกนอกราชอาณาจักร ต้องปฏิบัติตามกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง และกฎหมายระหว่างประเทศด้วย

หมวด ๓

การรวบรวมและขนส่งของเสียอันตราย

ข้อ ๑๕ กรณีผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตราย หรือ ผู้บำบัดและกำจัดของเสียอันตราย แต่งตั้ง ตัวแทน เพื่อเป็นผู้รวบรวมและขนส่ง จะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ข้อ ๑๖ ผู้แต่งตั้งตัวแทนต้องรับภาระความรับผิดชอบ (liability) ร่วมกับตัวแทนระหว่างการดำเนินการขนส่ง และต้องดำเนินการเพื่อให้ผู้รวบรวมและขนส่งปฏิบัติตามนี้

(๑) ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ. ๒๕๔๖

(๒) ต้องปฏิบัติตามประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย เรื่อง การขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. ๒๕๔๕

(๓) ต้องส่งรายงานประจำปีให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมตามแบบ สก. ๔ ท้ายประกาศนี้ ภายในวันที่ ๑ มีนาคม ของปีถัดไป

หมวด ๔
ผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ข้อ ๑๗ ผู้ประกอบกิจการบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วต้องปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ข้อ ๑๘ ต้องรับบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่ได้รับอนุญาตตามเงื่อนไขการประกอบกิจการโรงงานที่กำหนดไว้ในใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานและต้องแจ้งเป็นหนังสือให้ผู้ให้บริการทราบถึงประเภทของกิจการที่ได้รับอนุญาต ประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่สามารถรับดำเนินการได้ พร้อมแนบสำเนาใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

ข้อ ๑๙ ต้องใช้ใบกำกับการขนส่ง และต้องปฏิบัติตามประกาศคณะกรรมการวัตถุอันตราย เรื่อง การขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. ๒๕๔๕ และเมื่อมีการรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเข้ามาในบริเวณโรงงาน ให้แจ้งข้อมูลต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยการแจ้งทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ข้อ ๒๐ ต้องรับภาระความรับผิดชอบ (liability) ต่อสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เมื่อรับดำเนินการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และได้ลงลายมือชื่อในใบกำกับการขนส่งแล้ว

ข้อ ๒๑ ต้องมีข้อมูลผลวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ก่อนการดำเนินการบำบัดหรือกำจัด จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ของสถานประกอบการ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ของทางราชการ หรือห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ขึ้นทะเบียนไว้กับกรมโรงงานอุตสาหกรรม และให้เก็บข้อมูลผลวิเคราะห์ไว้อย่างน้อย ๓ ปี เพื่อการตรวจสอบ

ข้อ ๒๒ ต้องมีผู้ควบคุมดูแลระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมที่มีความรู้เฉพาะ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำหนดชนิดและขนาดโรงงาน กำหนดวิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษ หรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กำหนดคุณสมบัติของผู้ควบคุมดูแล ผู้ปฏิบัติงานประจำ และหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนผู้ควบคุมดูแล สำหรับระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. ๒๕๔๕ และต้องจัดฝึกอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานตามหน้าที่ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

ข้อ ๒๓ ต้องจัดทำแผนการป้องกันอุบัติเหตุเพื่อรองรับเหตุฉุกเฉิน ในกรณีเกิดเหตุรั่วไหล อักเสบ การระเบิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หรือเหตุที่คาดไม่ถึง ตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ ๑ ท้ายประกาศนี้ และต้องมีอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยและอุปกรณ์รองรับเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสม และเพียงพออยู่ในโรงงาน และมีเส้นทางหนีภัยออกจากพื้นที่ไปยังที่ปลอดภัย

หน้า ๑๕
เล่ม ๑๒๓ ตอนพิเศษ ๑๑ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๕ มกราคม ๒๕๔๕

ข้อ ๒๔ ต้องส่งรายงานประจำปีให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมตามแบบ สก. ๕ ท้ายประกาศนี้
ภายในวันที่ ๑ มีนาคม ของปีถัดไป

หมวด ๕
บทเฉพาะกาล

ข้อ ๒๕ คำขออนุญาตใด ๆ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๔๐)
ฉบับที่ ๑ (พ.ศ. ๒๕๔๑) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
(เพิ่มเติม) พ.ศ. ๒๕๔๗ ที่อยู่ระหว่างการพิจารณาให้ถือเป็นคำขออนุญาตตามประกาศฉบับนี้โดยอนุโลม

ข้อ ๒๖ ใบอนุญาตตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๔๐) ฉบับที่ ๑
(พ.ศ. ๒๕๔๑) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว
(เพิ่มเติม) พ.ศ. ๒๕๔๗ ที่ออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้มีผลบังคับใช้ ให้คงใช้ต่อไปได้จนสิ้นอายุที่กำหนดไว้

ทั้งนี้ ให้มีผลใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดเก้าสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๔๕
สุริยะ จึงรุ่งเรืองกิจ
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ภาคผนวกที่ 2

ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย

ข้อ 1 สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารไวไฟ (Ignitable substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

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

1.2 เป็นสารที่ไม่ใช่ของเหลวแต่สามารถลุกเป็นไฟได้ เมื่อมีการเสียดสี หรือเมื่อมีการดูดความชื้น หรือเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเองภายในสารนั้น และเมื่อเกิดลุกเป็นไฟจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและอย่างต่อเนื่องที่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงได้ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส)

1.3 เป็นก๊าซอัดที่จุดระเบิดได้ (Ignitable compressed gas) ซึ่งก๊าซชนิดนี้ ให้หมายถึงวัสดุหรือของผสมใด ๆ ที่บรรจุอยู่ในถังบรรจุที่มีความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) มากกว่า 2.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส หรือมีความดันสัมบูรณ์ มากกว่า 7.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำโดยการวัดตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D-323

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

ข้อ 2 สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารกัดกร่อน (Corrosive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังนี้

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

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 สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

3.1 เป็นสารที่มีสภาพไม่คงตัว สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและอย่างรุนแรง โดยไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น

3.2 เป็นสารซึ่งทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ

3.3 เป็นสารซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้ของผสมที่จะระเบิดได้

3.4 เป็นสารซึ่งเมื่อผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดมีก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้น ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

3.5 เป็นสารที่มีองค์ประกอบของไซยาไนด์หรือซัลไฟด์ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ระหว่าง 2 ถึง 11.5 แล้ว สามารถก่อให้เกิดก๊าซพิษ ไอพิษ หรือควันพิษขึ้น ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพบุคคลและสิ่งแวดล้อมได้

3.6 เป็นสารซึ่งเมื่อถูกทำให้ร้อนในที่จำกัดจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาระเบิดรุนแรงได้

3.7 เป็นสารซึ่งสามารถระเบิดได้ทันที หรือเกิดปฏิกิริยาระเบิดได้ ในสภาวะ

อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส) จะมีปฏิกิริยา รุนแรง

ข้อ 4 สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารพิษ (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 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม เมื่อใช้หนู (Rat) เป็นสัตว์ทดลอง หรือมีค่า Acute inhalation LC₅₀ น้อยกว่า 10,000 ส่วนในล้านส่วน ในสภาพของไอหรือก๊าซ หรือเมื่อใช้กระด่ายเป็นสัตว์ทดลอง มีค่า acute dermal LD₅₀ น้อยกว่า 4,300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ ค่า LD₅₀ หมายถึง ค่า(ปริมาณ)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal dosage) ที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD₅₀ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LC₅₀ หมายถึง ค่า(ความเข้มข้น)เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LC₅₀ มีหน่วยเป็นส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของสารพิษต่อล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

- 46 -

4.3 เป็นสารที่มีค่า Acute aquatic 96-hour LC_{50} น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อวัดในน้ำอ่อน (ความกระด้างทั้งหมด 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

- 4.4.1 2-Acetylaminofluorene (2-AAF)
- 4.4.2 Acrylonitrile
- 4.4.3 4-Aminodiphenyl
- 4.4.4 Benzidine and its salts
- 4.4.5 bis (Chloromethyl) ether (BCME)
- 4.4.6 Methyl chloromethyl ether
- 4.4.7 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)
- 4.4.8 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts (DCB)
- 4.4.9 4-Dimethylaminoazobenzene (DAB)
- 4.4.10 Ethyleneimine (EL)
- 4.4.11 alpha-Naphthylamine (1-NA)
- 4.4.12 beta-Naphthylamine (2-NA)
- 4.4.13 4-Nitrobiphenyl (4-NBP)
- 4.4.14 N-Nitrosodimethylamine (DMN)
- 4.4.15 beta-Propiolactone (BPL)
- 4.4.16 Vinyl chloride (VCM)

ข้อ 5 สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ที่กำหนดไว้ดังนี้

5.1 เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

แอนติโมนี และ/หรือสารประกอบแอนติโมนี 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
(Antimony and/or antimony compounds)

- 47 -

สารหนู และ/หรือสารประกอบของสารหนู (Arsenic and/or arsenic compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แร่ใยหินหรือแอสเบสตอส (Asbestos)	1.0 (ร้อยละ)
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate))	10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม (Beryllium and/or beryllium compounds)	75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Chromium (VI) compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนต์ (Chromium and/or chromium (III) compounds)	2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โคบอลต์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลต์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	8,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง (Copper and/or copper compounds)	2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts)	18,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โมลิบดีนัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดีนัม (ไม่รวมโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum disulfide)	3,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซีลีเนียม และ/หรือสารประกอบซีลีเนียม (Selenium and/or selenium compounds)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

- 48 -

ทาลเลียม และ/หรือสารประกอบทาลเลียม (Thallium and/or thallium compounds)	700	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
วานาเดียม และ/หรือสารประกอบวานาเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	2,400	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี (Zinc and/or zinc compounds)	5,000	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
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
ดีลด์ริน (Dieldrin)	8.0	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD))	0.01	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เอนดริน (Endrin)	0.2	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เฮปตาคลออร์ (Heptachlor)	4.7	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
คีโปน (Kepone)	21	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Lead compounds, organic)	13	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ลินเดน (Lindane)	4.0	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เมทอกซีคลออร์ (Methoxychlor)	100	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไมเร็กซ์ (Mirex)	21	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	17	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โพลีคลอริเนเตด บิฟีนีล (Polychlorinated biphenyls (PCBs))	50	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทอกซาเฟน (Toxaphene)	5	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	2,040	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซิลเว็กซ์ (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	10	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(หมายเหตุ – ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ
– ในกรณีของแอสเบสตอสและ โลหะธาตุ ค่าที่กำหนดไว้ให้ใช้กับสารที่อยู่ในสภาพร่วนเป็น
ผงละเอียดเท่านั้น ทั้งนี้ แอสเบสตอส จะรวมถึง chrysotile amosite crocidolite tremolite
anthophyllite และ actinolite)

5.2 สิ่งปลูกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย

- 49 -

ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/L) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

สารหนู และ/หรือสารประกอบของสารหนู (Arsenic and/or arsenic compounds)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรท์และแบเรียมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate))	100	มิลลิกรัมต่อลิตร
เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม (Beryllium and/or beryllium compounds)	0.75	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Chromium (VI) compounds)	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนต์ (Chromium and/or chromium (III) compounds)	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
โคบอลต์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลต์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	80	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง (Copper and/or copper compounds)	25	มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts)	180	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
โมลิบดีนัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดีนัม (ไม่รวมโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum disulfide)	350	มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	20	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีลีเนียม และ/หรือสารประกอบซีลีเนียม (Selenium and/or selenium compounds)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds)	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซาลเลียม และ/หรือสารประกอบซาลเลียม	7.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

- 50 -

(Thallium and/or thallium compounds)

วานาเดียม และ/หรือสารประกอบวานาเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	24	มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี (Zinc and/or zinc compounds)	250	มิลลิกรัมต่อลิตร
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
เฮปตาคลออร์ (Heptachlor)	0.47	มิลลิกรัมต่อลิตร
คีโปน (Kepone)	2.1	มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4	มิลลิกรัมต่อลิตร
เมททอกซีคลออร์ (Methoxychlor)	10	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไมเร็กซ์ (Mirex)	2.1	มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	1.7	มิลลิกรัมต่อลิตร
โพลีคลอริเนตเต็ด ไบฟีนีล (Polychlorinated biphenyls (PCBs))	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	204	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซิลเว็กซ์ (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

(หมายเหตุ - ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ)

5.3 การทดสอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว โดยนำมาสกัดด้วยวิธี Waste

Extraction Test (WET) จะทำขึ้นก็ต่อเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Concentration) ของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกินค่า TTLC ในข้อ 5.1 แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดในข้อ 5.2 หรือเมื่อต้องการนำสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

ข้อ 6 การหาค่าความเข้มข้นทั้งหมด การสกัดสาร และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด ให้ใช้วิธี ดังต่อไปนี้

6.1 ในการเตรียมตัวอย่างสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ที่ต้องการทดสอบหาค่า ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Total Concentration) หรือ ปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (Extractable Concentration) ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

6.1.1 ชนิดที่ 1 – สำหรับสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่สามารถบดได้ จะต้องนำไปร่อน หรือไปบดเพื่อให้สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานก่อนนำไป วิเคราะห์ หากตัวอย่างมีวัสดุที่ไม่สามารถบดได้ และร่อนไม่ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ และเป็นวัสดุ ที่เป็นเนื้อมาไม่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเดิมของสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ให้แยกออกแล้วทิ้ง เสีย ส่วนที่เหลือของตัวอย่างให้นำไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ก่อนจะนำไปรวมและผสมกันอย่าง ทั่วถึงกับส่วนของตัวอย่างที่ไม่ต้องผ่านการบด เพื่อรอการวิเคราะห์ ต่อไป

6.1.2 ชนิดที่ 2 – สำหรับสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นของผสม ระหว่างของแข็งและของเหลวที่สามารถนำไปกรองได้ โดยมีองค์ประกอบของของแข็งมากกว่าหรือ เท่ากับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะต้องทำการกรองตัวอย่างเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยการ กรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน จากนั้น ทำการวัดปริมาณของส่วนที่กรองได้และเก็บไว้ โดยส่วนนี้จะถือว่าเป็น Initial Filtrate ส่วนของแข็งที่ แยกได้จะนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (สิ่งแปลกปลอมจะถูกแยกทิ้งไป) และนำไปผสมกับ ของแข็งที่ผ่านตะแกรงโดยไม่ต้องบด ซึ่งส่วนที่เป็นของแข็งนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีในข้อ 6.4 โดย สัดส่วนของน้ำสกัด (extraction solution) ที่ใช้ คือ 10 มิลลิตรของน้ำสกัดต่อหนึ่งกรัมของ ของแข็ง เมื่อเสร็จสิ้นการสกัดแล้ว สารละลายที่สกัดได้จะถูกนำไปกรองและไปผสมกับ Initial Filtrate อย่าง ทั่วถึงก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีในข้อ 6.5.2

6.1.3 ชนิดที่ 3 – สำหรับสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่มีลักษณะเป็นกาก ตะกอน (sludge) เกลน (slurry) หรือเป็นน้ำมัน (oily) น้ำมันดิน (tarry) หรือ resinous material ที่ไม่ สามารถกรองหรือบดได้ หลังจากแยกสิ่งแปลกปลอมออกแล้ว ตัวอย่างที่เหลือทั้งหมดจะถูกนำไป วิเคราะห์ต่อไป

6.1.4 หากจำเป็นต้องมีการตากแห้งตัวอย่างที่เป็นของแข็ง หรือองค์ประกอบ ของแข็งก่อนทำการร่อน บด หรือแยกสิ่งแปลกปลอมออก หรือได้มีการทำให้ของเสียนั้นแห้งก่อนทำการ วิเคราะห์ จะต้องทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่หายไป และต้องบันทึกสภาพของการทำให้แห้งไว้ด้วย

6.1.5 ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ในการหาค่าปริมาณ ความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณความเข้มข้นของสาร อันตราย ในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น ในกรณีที่เป็นการหาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมด ของสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 1 มิลลิเมตร

6.2 สำหรับสิ่งปลูกหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะเป็นของเหลว หรือมีของแข็งที่ไม่ละลายน้ำปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จะไม่ต้องนำมาสกัด โดยวิธี Waste Extraction Test (WET) แต่สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าของสารต่างๆ ได้โดยตรง และจะถือว่าเป็นของเสียอันตราย ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารใดๆ มีค่ามากกว่าค่า TTLC ที่กำหนดไว้สำหรับสารนั้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารนั้น มีค่าน้อยกว่าค่า TTLC แต่มากกว่า ค่า STLC เมื่อคิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องนำตัวอย่างของเหลวนั้นมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน แล้วนำเอาของเหลวที่ผ่านการกรองไปทำการวิเคราะห์หาค่าของสารนั้น โดยจะถือว่าเป็นของเสียอันตราย ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในของเหลวที่ผ่านการกรองมีค่ามากกว่าค่า 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 ในปริมาณที่เหมาะสม มาปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วย สารละลาย 4.0 N NaOH

สารละลาย citric acid สามารถเตรียมได้โดยนำเอา analytical grade citric acid ไปละลายใน deionized water

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (chromium (VI)) ให้ใช้ deionized water เป็นน้ำสกัด

6.4 การสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) มีขั้นตอนดังนี้

6.4.1 นำ 50 กรัมของตัวอย่างใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (ควรใช้ภาชนะที่ทำจากแก้วเมื่อต้องการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตราย)

ภาชนะที่ใช้ในการสกัด ควรผ่านการล้าง (rinsed) อย่างต่อเนื่องด้วยสารละลาย nitric acid ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการนำเอา nitric acid solution มาผสมกับ deionized water ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร)

6.4.2 เติม 500 มิลลิตรของน้ำสกัดลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปใส่ในภาชนะด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดออกไป และป้องกันไม่ให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงในตัวอย่าง เมื่อเสร็จแล้วให้ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ table shaker หรือ overhead stirrer หรือ rotary extractor ซึ่งสามารถทำให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลา (vigorously agitated suspension) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น trichloroethylene จะต้องทำการไล่อากาศและออกซิเจนออกจากน้ำสกัด ก่อนที่จะเติมลงในตัวอย่าง เพื่อหลีกเลี่ยงการระเหยของสารนั้น

- 53 -

6.4.3 จากนั้นนำเอาของผสม ไปกรอง หรืออาจไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้ thick-walled suction flask ที่สะอาด สำหรับของแข็งขนาดหยาบ สามารถใช้ Pressure filtration แทน vacuum filtration ได้ สำหรับของแข็งขนาดเล็กอาจต้อง centrifuged ที่ความเร็วรอบถึง 10,000 x G ก่อนนำไปกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน

6.4.4 ชนิดของแผ่นกรองที่ใช้ ควรมีองค์ประกอบของโลหะหนัก ฟลูออไรด์ และ สารอินทรีย์ ที่สามารถชะออกมาได้ในปริมาณที่น้อยมาก

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

6.4.6 ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส

6.4.7 ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะ (metal elements) เท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จาก ข้อ 6.4.3 ลงในขวดโพลีเอทิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก จนความเข้มข้นของกรดในสารละลายผสม (สารละลายที่กรองได้จากข้อ 6.4.3 ผสมกับกรดไนตริก) เป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร (ให้ปรับสภาพให้เป็นกรดทันทีหลังจากผ่านการกรอง)

6.4.8 ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายด้วย หรือต้องการวิเคราะห์หาค่าของสารอินทรีย์อันตรายเท่านั้น ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จาก ข้อ 6.4.3 ลงในขวดแก้ว ยกเว้นถ้าเป็นการวิเคราะห์หาฟลูออไรด์ ควรใช้ขวดโพลีเอทิลีน

กรณีที่เป็นกรวิเคราะห์หาสารอินทรีย์อันตรายและฟลูออไรด์ ห้ามทำการปรับสภาพให้เป็นกรด แต่ต้องนำไปแช่แข็งทันที จนกว่าจะมีการนำไปวิเคราะห์ เว้นแต่จะทำกรวิเคราะห์ ภายใน 24 ชั่วโมง

6.4.9 ก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารเป้าหมาย เพื่อที่จะหาว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (extractable concentration; EC) ในตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า STLC ของสารนั้นหรือไม่ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ใน ข้อ 6.5.2

6.5 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตราย (Total Concentration) ให้ใช้วิธีที่กำหนดดังนี้

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

6.5.1.1 Method 3050 สำหรับโลหะและสารประกอบทุกตัว ยกเว้น โครเมียมเฮกซะวาเลนต์

- 54 -

6.5.1.2 Method 3060 สำหรับโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

6.5.2 สำหรับ สารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตรายอื่นๆ 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

6.5.3 สำหรับ สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (organic lead compounds) ให้ใช้ วิธีที่กำหนดไว้ในภาคผนวกที่ 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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกัญธิมา ทุ่นใจ เกิดเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ.2522 ที่จังหวัดพะเยา สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จาก มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2545 ก่อนเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทเคยผ่าน ประสบการณ์ทำงานในห้องปฏิบัติการกับบริษัทเอกชนมาแล้วหลายแห่ง และในปีการศึกษา 2554 ได้ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างการศึกษานี้ ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานดังต่อไปนี้

Tunjai, G., Chotipong, A. and Sutthirat, C. 2014. The leachate of lead from the crucibles undergone ruby heat treatment with lead glass additive. ICESD 2014. Available online at www.sciencedirect.com. APCBEE Procedia 00(2014): 96-100.

กัญธิมา ทุ่นใจ, อรุบล โชติพงษ์ และ จักรพันธ์ สุทธิรัตน์. 2557. การชะละลายตะกั่ว จากเบ้าเผาพลอยทับทิมที่ผ่านการใช้ปรับปรุงคุณภาพพลอยแบบเดิมแก้วตะกั่ว. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 52, 4-7 กุมภาพันธ์ 2557 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัด กรุงเทพฯ.