ปริมาณและลักษณะสมบัติขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ

นิดถา นครราช

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา พ.ศ. 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

QUANTITY AND CHARACTERISTICS OF ASH FROM THE NFECTIOUS WASTE INCINERATOR OF WARINCHOMRAP MUNICIPALITY

NIDTHA NAKHONRACH

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ปริมาณและลักษณะสมบัติขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลเมืองวารินชำราบ

ผู้วิจัย นางสาวนิดถา นครราช

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองราษฎร์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้คำปรึกษาจนการค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำปรึกษา คำแนะนำช่วยเหลือข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองราษฎร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ ที่กรุณาให้คำแนะนำความรู้เกี่ยวกับการค้นคว้าอิสระนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำในการทดลอง

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา น้องชาย น้องสาว ที่ได้สนับสนุน และเป็นกำลังใจในการศึกษาจนสำเร็จจนถึงทุกวันนี้

(นางสาวนิดถา นครราช)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : ปริมาณและลักษณะสมบัติขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ

โดย : นิดถา นครราช

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานอาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ

ศัพท์สำคัญ : โลหะหนัก ขี้เถ้า ขยะติดเชื้อ เตาเผาขยะติดเชื้อ

การค้นคว้าอิสระนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปริมาณและลักษณะของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ ซึ่งเป็นเตาเผาแบบหมุนทรงกระบอกเอียง 4 องศา มีการเผา 2 ขั้นตอน และอัตราการเผา 50-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณของขี้เถ้าเก็บรวบรวมจากส่วนล่างของห้องเผา ไซโคลนและถุงกรองของเตาเผา ลักษณะของขี้เถ้าที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความหนาแน่นเฉลี่ย และโลหะหนัก (เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียมทั้งหมด และแคดเมียม) ผลจากการศึกษาในระยะเวลา 3 รอบการเผา พบว่าขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อนั้นสามารถเก็บรวบรวมได้จาก 3 ส่วนของเตาเผา คือ ก้นเตา ไซโคลน และถุงกรอง โดยมีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 96.7 2.62 และ 0.68 ตามลำดับ ความหนาแน่นเฉลี่ยของขี้เถ้าเท่ากับ 371.64 ± 23.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยของขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรองเท่ากับ 10.93±0.40 6.46±0.01 และ 1.40±0.16 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าพบว่ามีปริมาณโดยเฉลี่ยของเหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียมทั้งหมด และแคดเมียม เท่ากับ 26,944.29 867.44 314.37 400.14 และ 4.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมขี้เถ้า ตามลำดับ ในขณะที่น้ำชะขี้เถ้ามีปริมาณโดยเฉลี่ยของเหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียมทั้งหมด และแคดเมียม เท่ากับ 2.61 25.95 3.46 1.16 และ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณโดยเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดในขี้เถ้า และน้ำชะขี้เถ้าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเฉพาะส่วนของขี้เถ้าที่ได้จากจากไซโคลน และถุงกรอง พบว่ามีปริมาณโดยเฉลี่ยของโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานทั้งในส่วนที่เป็นขี้เถ้า และน้ำชะขี้เถ้า ดังนั้นควรมีการบำบัดขี้เถ้าในส่วนนี้ก่อนที่จะดำเนิน การนำไปใช้ประโยชน์ในลำดับต่อไป

ABSTRACT

TITLE : QUANTITY AND CHARACTERISTICS OF ASH FROM THE INFECTIOUS WASTE INCINERATOR OF WARINCHOMRAB MUNICIPALITY

BY : NIDTHA NAKONRACH

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. CHATCHAI KUNYAWUT, Ph.D.

KEYWORDS : HAVY METAL / ASH / INFECTIOUS WASTE / INCINERATOR

The aim of this independent study is to investigate quantities and characteristics of ash from infectious waste burning of the Warinchamrab municipal district waste plant. The incinerator is a rotating cylinder type with inclining of 4 degree. With 2 burning chambers, the waste incinerator has waste burning capacity of about 50 -1,000 kg waste/hour. Infectious waste ashes were collected from three collecting points of the burner which were a bottom end, a cyclone and a filter bag. The characteristic of infectious ashes examined were pH, average density and heavy metals which were iron (Fe), zinc (Zn), lead (Pb), total chromium (Cr), and cadmium (Cd). According to results obtained from 3 burning cycles, mixed dry ashes obtained from the bottom end, cyclone, and filter bag were 96.7, 2.62, and 0.68 wt%, respectively. An average density of ashes was 371.64±23.77 kg/m^3. The pH of bottom end, cyclone, and filter bag ashes were 10.93±0.40, 6.46±0.01, and 1.40±0.16, respectively. For the heavy metals, it was found that amounts of Fe, Zn, Pb, total Cr, and Cd in mixed dry ashes were 26,944.29, 867.44, 314.37, 400.14, and 4.95 mg/kg, respectively. On the other hand, little amounts of heavy metal were found in leaching solution of ash, i.e. 2.61, 25.95, 3.46, 1.16, and 0.14 for Fe, Zn, Pb, total Cr, and Cd, respectively. The average amount of the five metals found in both dry and leaching solution of ashes are not exceed the standard set by law. However, it was found that the amounts of the five metals obtained from the cyclone and filter bag ashes were higher than those of the standard allowed. These ashes must be treated before further use.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก

บทคัดย่อภาษาไทย ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ช

สารบัญภาพ ฎ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

1.5 ขั้นตอนในการวิจัย 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามขยะติดเชื้อ 4

2.2 ปริมาณและองค์ประกอบของขยะติดเชื้อ 5

2.3 แนวทางในการจัดการขยะติดเชื้อ 6

2.4 ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อ 10

2.5 การวิเคราะห์ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ 12

2.5.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขี้เถ้า 12

2.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้า 14

2.5.3 การวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้า 17

2.5.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ 22

2.6.1 การนำขี้เถ้าไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง 23

2.6.2 นำขี้เถ้าผ่านกระบวนการก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ 23

2.6.3 การฝังกลบ 23

3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น 27

3.2 ศึกษาปริมาณและลักษณะของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ 28

3.3 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ 29

4 ผลการดำเนินการ

4.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นการเผาขยะติดเชื้อ 31

4.2 การศึกษาปริมาณและลักษณะของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ 33

4.2.1 ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ 33

4.2.2 ลักษณะของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ 36

4.3 สมบัติทางเคมีของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ 39

4.3.1 ความเป็นกรด ด่าง ของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ 39

4.3.2 ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า 40

4.3.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า 44

4.4 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ 47

4.4.1 สมบัติของขี้เถ้าที่เกิดจากกการเผาขยะติดเชื้อ 47

4.4.2 ข้อเสนอแนะในการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ
เทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 48

5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 51

5.2 ข้อเสนอแนะ 52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	**53**
ภาคผนวก	
ก วิธีวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้า และน้ำชะขี้เถ้า	59
ข ข้อมูลดิบการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและน้ำชะขี้เถ้า	63
ค ค่ามาตรฐาน และตารางเปรียบเทียบหน่วยของขนาดตะแกรงร่อน	85
ประวัติผู้วิจัย	**88**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุชกรุงเทพมหานคร	14
2.2	โลหะหนักในขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาขยะติดเชื้อ	16
4.1	ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเตาเผาและขี้เถ้าก้นเตาที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อระหว่างวันที่ 4-22 ธันวาคม 255632	32
4.2	ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเตาเผา และขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อ ระหว่างวันที่ 2-21 พฤษภาคม 2557	34
4.3	ขนาดอนุภาคของขี้เถ้าทีได้จากเตาเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี	38
4.4	ค่าความเป็นกรด ด่าง ของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ	39
4.5	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี	40
4.6	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี	44
ข.1	ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 1 ระหว่างวันที่ 4-11 ธันวาคม 2556	64
ข.2	ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 2 ระหว่างวันที่ 15-16 ธันวาคม 2556	64
ข.3	ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 3 ระหว่างวันที่ 21-22 ธันวาคม 2556	65
ข.4	สรุปข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้น ระหว่างวันที่ 4-22 ธันวาคม 2556	65
ข.5	ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 1 ระหว่างวันที่ 2-9 พฤษภาคม 2557	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.6	ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 2 ระหว่างวันที่ 15-16 พฤษภาคม 2557	67
ข.7	ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 3 ระหว่างวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2557	68
ข.8	สรุปข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้น ระหว่างวันที่ 2-21 พฤษภาคม 2557	69
ข.9	ค่า pH ของขี้เถ้าที่เก็บตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557	70
ข.10	น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557	70
ข.11	น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557	70
ข.12	กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) สำหรับ ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557	71
ข.13	ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง 9 พ.ค. 2557	72
ข.14	ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง 9 พ.ค. 2557	73
ข.15	สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง 9 พ.ค. 2557	74
ข.16	สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง 9 พ.ค. 2557	74
ข.17	ค่า pH ของขี้เถ้าที่เก็บตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557	74
ข.18	น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า ตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.19	น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า ตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557	75
ข.20	กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) สำหรับ ตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557	75
ข.21	ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง16 พ.ค. 2557	76
ข.22	ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง 16 พ.ค. 2557	77
ข.23	ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง16 พ.ค. 2557	78
ข.24	ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง16 พ.ค. 2557	78
ข.25	ค่า pH ของขี้เถ้าที่เก็บตัวอย่างวันที่ 21 พฤษภาคม 2557	79
ข.26	น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า ตัวอย่างวันที่ 21 พฤษภาคม 2557	79
ข.27	น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า ตัวอย่างวันที่ 21 พฤษภาคม 2557	79
ข.28	กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) สำหรับ ตัวอย่างวันที่ 21 พฤษภาคม 2557	80
ข.29	ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง21 พ.ค. 2557	81
ข.30	ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง 21 พ.ค. 2557	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.31	ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง ตัวอย่าง 21 พ.ค. 2557	83
ข.32	ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่าง21 พ.ค. 2557	83
ข.33	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ระหว่างเดือน พฤษภาคม 2557	84
ข.34	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ระหว่างเดือน พฤษภาคม 2557	84
ค.1	เปรียบเทียบหน่วยของขนาดตะแกร่งร่อน	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบส่วนที่เป็นห้องเผาที่ 1	10
2.2	ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นเนื้อ	13
2.3	องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	19
2.4	กระบวนการเกิดอะตอมอิสระในเปลวไฟ	20
2.5	การปูพื้นหลุมฝังกลบ Secure Landfill	26
4.1	ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี	36
4.2	ลักษณะของขี้เถ้ากันเตา จากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี	37
4.3	ลักษณะของขี้เถ้าไซโคลน จากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี	37
4.4	ลักษณะของขี้เถ้าถุงกรอง จากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี	37
4.5	ขนาดอนุภาคของขี้จากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี	39
4.6	ปริมาณของโลหะหนัก เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม	43
4.7	ความเข้มข้นของโลหะหนัก เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ในน้ำชะขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม	46

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขยะติดเชื้อเป็นขยะที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อโรคต่างๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ขยะติดเชื้อเกิดจากสถานพยาบาลและห้องปฏิบัติการ เช่น เนื้อเยื่อ ชิ้นส่วนของมนุษย์ สำลี ผ้าก๊อส เข็มฉีดยา กระบอกฉีดยา ยาหรือสารเคมีที่เหลือจากการใช้งาน และอื่นๆ ประเทศไทยมีปริมาณขยะติดเชื้อที่เพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณขยะติดเชื้อประมาณ 37,000 ตันต่อปี และในปีพ.ศ. 2555 มีปริมาณขยะติดเชื้อประมาณ 43,000 ตันต่อปี การกำจัดขยะติดเชื้อจะต้องดำเนินการด้วยวิธีการที่ปลอดภัย และเหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยใช้วิธการกำจัดขยะติดเชื้อโดยวิธีการเผา (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 2555) แต่วิธีการเผาก็ก่อให้เกิดของเสียขึ้นอีกนั้นคือ ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผา เทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานีได้ติดตั้งเตาเผาขยะอันตรายโดยมีการบริการเผาขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลของรัฐและเอกชนในจังหวัดอุบลราชธานี ศรีสะเกษ ยโสธร อำนาจเจริญ และจังหวัดมุกดาหาร เตาเผาขยะของเทศบาลวารินชำราบ เป็นเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกการเผาไหม้จะเกิดที่ห้องเผาไหม้ที่ 1 (Primary Chamber) ห้องเผาไหม้เป็นแบบหมุนทำให้ขยะมีการพลิกกลับอยู่ตลอดการเผา ทำให้การเผาเกิดขึ้นได้ดี เป็นการเพื่อก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ ห้องเผาไหม้ขยะติดเชื้อมีอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่ต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส ขยะจะถูกเผาไหม้หมดกลายเป็นขี้เถ้าหนัก ส่วนแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะจากห้องเผาไหม้ที่ 1 จะไหลเข้าสู่ห้องเผาที่ 2 (Secondary Chamber) ซึ่งเป็นห้องสำหรับเผาไหม้ควันและกลิ่นที่ไม่สมบูรณ์ให้สมบูรณ์ขึ้น อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ควันสามารถให้ความร้อนได้สูงสุดไม่ต่ำกว่า 1,100 องศาเซลเซียส ก๊าซที่เผาไหม้สมบูรณ์จะไหลเข้าสู่ไซโคลนเพื่อลดอุณหภูมิและดักฝุ่นไว้บางส่วน และปล่อยออกสู่หอกำจัดไดออกซิน-ฟูแรน ซึ่งเป็นระบบควบคุมมลภาวะอากาศ ซึ่งระบบนี้จะทำให้เกิดขี้เถ้าลอย

ในกระบวนการเผาขยะติดเชื้อจะก่อให้เกิดขี้เถ้า ได้แก่ ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของห้องเผาไหม้ที่ 1 ซึ่งเป็นขี้เถ้าหนัก มีลักษณะเป็นของแข็งที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้อีก จากส่วนที่เป็นขี้เถ้าจากไซโคลนอุปกรณ์ลดอุณหภูมิ และส่วนที่เป็นขี้เถ้าที่เกิดจากระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศหรือหอกำจัดไดออกซิน-ฟูแรน มีลักษณะเป็นของแข็ง และเป็นขยะอันตราย อาจมีสารอินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และโลหะหนักปนเปื้อน ในการจัดการจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและ

สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นในการวางแผนจัดการจะต้องอาศัยข้อมูลสนับสนุนชัดเจน เช่น ปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผา ลักษณะและองค์ประกอบของขี้เถ้า ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในขี้เถ้า และความสามารถในการปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของโลหะหนักในขี้เถ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนการจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้น เพื่อความปลอดภัยต่อชุมชน และสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการศึกษาหาปริมาณ และลักษณะสมบัติของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำเสนอแนวทางการวางแผนจัดการ ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ ของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ ของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ตัวอย่างขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อ เทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งประกอบด้วยขี้เถ้าหนักจากส่วนก้นเตา ขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักจับฝุ่นไซโคลน (Cyclone) และขี้เถ้าจากถุงกรอง (filter Bag หรือ Fabric filter)

1.3.2 วิเคราะห์ปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากส่วนต่าง ๆ กับปริมาณขยะที่เผาในแต่ละรอบการเผา ซึ่งในการเผาขยะติดเชื้อจะดำเนินการเผาตลอด 24 ชั่วโมง ตามปริมาณขยะที่เก็บขนมาได้

1.3.3 วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ

1.3.3.1 ลักษณะทางกายภาพ คือ ลักษณะของขี้เถ้า ความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนาแน่น และ การกระจายของอนุภาคขี้เถ้า

1.3.3.2 องค์ประกอบทางเคมีโดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียมทั้งหมด และแคดเมียมทั้งหมดในขี้เถ้า และนำชะขี้เถ้า

1.3.4 เก็บตัวอย่างระหว่าง เดือน ธันวาคม 2556 และ เดือนพฤษภาคม 2557 โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้งในแต่ละเดือน

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ข้อมูลปริมาณ และลักษณะสมบัติของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อ เทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

1.4.2 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อของ เตาเผาขยะติดเชื้อ เทศ บาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

1.4 ขั้นตอนในการวิจัย

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีและผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 วัดปริมาณขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อในแต่ละวันที่มีการเผาขยะติดเชื้อ

1.5.3 สุ่มเก็บตัวอย่างขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

1.5.4 วิเคราะห์ตัวอย่างขี้เถ้าทางกายภาพ และทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

1.5.5 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.5.6 เสนอแนะแนวทางในการจัดการขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยพิจารณาจากปริมาณ ลักษณะสมบัติของขี้เถ้า และพื้นที่ที่ใช้ในการจัดการ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขยะติดเชื้อเป็นของเสียอันตรายที่เกิดจากกิจกรรมการรักษา พยาบาล ในสถานพยาบาล ซึ่งเป็นขยะที่ปนเปื้อนด้วยของเสียจากร่างกายมนุษย์และเชื้อโรคต่างๆ ดังนั้นการจัดการขยะติดเชื้อจึงต้องมีการจัดการที่ถูกต้องตามสุขอนามัยและปลอดภัย ถ้าการจัดการขยะติดเชื้อไม่ถูกต้องจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ชุมชน อาจเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ได้

2.1 นิยามขยะติดเชื้อ

กรมควบคุมมลพิษได้ให้นิยามของขยะติดเชื้อ หมายถึง ขยะที่มีเชื้อโรคปะปนอยู่ในปริมาณหรือมีความเข้มข้นซึ่งถ้ามีการสัมผัสหรือใกล้ชิดกับขยะมูลฝอยนั้น แล้วสามารถทำให้เกิดโรคได้ เกิดจากการตรวจวินิจฉัยโรค การรักษาโรค การให้ภูมิคุ้มกันโรค การชันสูตรศพหรือซากสัตว์ และการทดลองและวิจัยเกี่ยวกับโรค เช่น ซาก ชิ้นส่วนของมนุษย์ วัสดุอุปกรณ์ที่สัมผัสและใช้เกี่ยวกับร่างกาย การรักษาโรค เช่น เข็ม มีด หลอดแก้ว ผ้า สำลี และอื่นๆ รวมทั้งวัสดุต่างๆที่ออกจากห้องรักษาผู้ป่วยร้ายแรง

คณะอนุกรรมการศูนย์วิชาการการแก้ไขปัญหามูลฝอยในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ได้ให้ความหมายของขยะติเชื้อ หมายถึง สิ่งของที่ไม่ต้องการ หรือถูกทิ้งจากสถานพยาบาล อาทิ เนื้อเยื่อ ชิ้นส่วน อวัยวะต่างๆ และสิ่งขับถ่ายหรือของเหลวจากร่างกายผู้ป่วย เลือด และผลิตภัณฑ์เลือด รวมทั้งเครื่องใช้ที่สัมผัสกับผู้ป่วย อย่างเช่น สำลี ผ้า กระดาษชำระ เข็มฉีดยา มีดผ่าตัด เสื้อผ้า ตลอดจนซากสัตว์หรืออุปกรณ์เกี่ยวกับการทดลอง ซึ่งทิ้งมาจากห้องผู้ป่วย เช่น ห้องฉุกเฉิน ห้องพยาบาล ห้องชันสูตรโรค ห้องผ่าตัด ห้องทันตกรรม ห้องสูติกรรม ห้องจักษุ ห้องโสต ศอ นาสิกกรรม ห้องออร์โธปิดิกส์ หน่วยโลหิตวิทยา หออภิบาลผู้ป่วย ห้องปฏิบัติการ หรืออื่นๆ ตามที่สถานพยาบาลพิจารณาตามความเหมาะสม

United state Environment Protection Agency (US.EPA) ได้ให้นิยามขยะติดเชื้อ คือ ของเสียหรือผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดโรค โดยพิจารณาปัจจัย ดังนี้คือ จำนวนเชื้อโรคที่มากพอที่สามารถทำให้เกิดโรคได้ ปริมาณของเชื้อโรค ทางที่เข้าสู่ร่างกาย และความต้านทานของร่างกายของผู้สัมผัสเชื้อ โดยแบ่งขยะติดเชื้อออกเป็น 6 ประเภท คือ

(1) ขยะแยกผู้ป่วย ขยะที่เกิดจากผู้ป่วยแยกในโรงพยาบาลซึ่งเป็นผู้ป่วยประเภทนี้จะถูกแยกจากผู้ป่วยประเภทอื่น เพื่อป้องกันการติดเชื้อสู่ผู้อื่น

(2) ขยะที่เกิดจากการเพาะเชื้อ แหล่งรวมเชื้อที่ทำให้เกิดโรคและเกี่ยวข้องกับโรคในเชิงชีววิทยา เป็นที่รวมจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ สิ่งที่ส่งเพาะเชื้อทางการแพทย์ ห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา ห้องปฏิบัติการเชิงอุตสาหกรรม ขยะผลิตภัณฑ์ทางชีววิทยา เชื้อทั่วไป เชื้อที่ถูกทำให้อ่อนลง และการปลูกเชื้อ

(3) เลือดและผลิตภัณฑ์จากเลือด เช่นเซรุ่ม พลาสมา และองค์ประกอบอื่นๆของเลือด

(4) ขยะที่เกี่ยวกับพยาธิวิทยา จะประกอบด้วย เนื้อเยื่อ อวัยวะต่างๆ ของร่างกาย และของเหลวจากร่างกาย ระหว่างที่มีการผ่าตัด การติดชิ้นเนื้อไปตรวจ ขยะประเภทนี้เป็นขยะติดเชื้อเนื่องจากไม่สามารถทราบได้ว่าผู้ป่วยเป็นซากศพ หรือเป็นโรคติดต่อใด

(5) ของแหลมคมที่มีการปนเปื้อน ได้แก่ เข็มฉีดยา กระบอกฉีดยา ปิเปต แก้วแตก มีดผ่าตัด ซึ่งจะนำไปสู่เชื้อที่จะทำให้เกิดโรค ระหว่างการรักษาผู้ป่วย หรือการวินิจฉัยทางการแพทย์ รวมทั้งการปฏิบัติการในอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายอันนำไปสู่การติดเชื้อได้เป็นทวีคูณ ขยะที่เป็นของแหลมคมเหล่านี้ควรจัดเป็นขยะติดเชื้อ เนื่องจากไม่สามารถวินิจฉัยได้ว่ามีการติดเชื้อ เช่น เอดส์ ไวรัส ตับอักเสบชนิด บี

(6) ซากสัตว์หรือส่วนต่างๆ ของร่างกายที่มีการปนเปื้อน ประกอบด้วยซากศพ ซากสัตว์ส่วนต่างๆ ของร่างกาย สัตว์ที่ตายในที่ที่สามารถสัมผัสเชื้อโรคที่ทำวิจัย จากผลิตภัณฑ์ทางชีววิทยา หรือจากการทดลองการใช้ยา

ขยะติดเชื้อ จึงเป็นขยะที่เกิดจากกระบวนการรักษาพยาบาล การวินิจฉัยโรค การให้ภูมิคุ้มกัน การศึกษาวิจัย ทั้งในมนุษย์และสัตว์ซึ่งมีเหตุอันควรสงสัยว่ามีเชื้อโรคปนเปื้อน เช่น ชิ้นส่วนร่างกายมนุษย์ หรือสัตว์ ที่มาจากการผ่าตัด ชันสูตร การทดลองเกี่ยวกับโรคต่างๆ วัสดุของมีคม หรือวัสดุที่ใช้ในกระบวนการรักษาผู้ป่วย วิจัยในห้องปฏิบัติการ เช่น เข็มฉีดยา ใบมีด กระบอกฉีดยา สำลี ผ้าก๊อส ผ้าต่างๆ ท่อยาง และวัสดุอื่นๆ ที่สัมผัส หรือสงสัยว่าสัมผัสกับเลือด ของเหลวต่างๆจากร่างกาย

2.2 ปริมาณและองค์ประกอบของของขยะติดเชื้อ

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ระบุว่า ในปี 2555 ประเทศไทยมีขยะติดเชื้อเกิดขึ้น 43 ล้านกิโลกรัมต่อปี ซึ่งเป็นขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลของรัฐ 28 ล้านกิโลกรัมต่อปี สถานพยาบาลของเอกชน 14 ล้านกิโลกรัมต่อปี การเกิดขยะติดเชื้อคิดเฉลี่ย 120 ตันต่อวัน โดยแหล่งที่เกิดขยะติดเชื้อจะเกิดจาก โรงพยาบาลหรือคลินิกที่รักษาคนไข้ โรงพยาบาลสัตว์ และ

ห้องปฏิบัติการตรวจเชื้อ และประเทศไทยมีสถานพยาบาลทั้งที่เป็นของภาครัฐและเอกชนมากกว่า 37,000 แห่ง มีจำนวนเตียงกว่า 1,400,000 เตียง ซึ่งมีการผลิตขยะติดเชื้อในแต่ละวัน ในกรุงเทพมหานครมีศูนย์บริการสุขภาพและโรงพยาบาล 582 แห่ง มีการเก็บขยะติดเชื้อได้ประมาณ 8.5 ตันต่อวัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40 ของขยะติดเชื้อทั้งหมด

องค์ประกอบของขยะติดเชื้อจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดขยะติดเชื้อ และกิจกรรมที่ทำให้เกิดขยะติดเชื้อ เช่น

การตรวจรักษาผู้ป่วย ขยะติดเชื้อส่วนใหญ่ประกอบด้วย ผ้าก๊อส ผ้าพันแผล เฝือก ถุงมือ อุปกรณ์ที่ใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น เข็มฉีดยา วัสดุที่สัมผัสกับเลือด ของเหลวต่างๆ ที่ถูกขับจากร่างกาย และชิ้นเนื้อเล็กๆ

(1) ห้องผ่าตัด ขยะติดเชื้อส่วนใหญ่ประกอบด้วย เนื้อเยื่อ อวัยวะ ตัวอ่อน และชิ้นส่วนของร่างกาย และของมีคม

(2) ห้องปฏิบัติการ ขยะติดเชื้อจะประกอบด้วย ชิ้นเนื้อขนาดเล็ก เชื้อที่ได้จากการเพาะเชื้อ อาหารเลี้ยงเชื้อ สัตว์ทดลอง เลือด และของเหลวจากร่างกาย ของมีคม สิ่งของที่อาจปนเปื้อนด้วยรังสี และสารเคมี

(3) ห้องจ่ายยา และสารเคมี ขยะติดเชื้อจะมีปริมาณน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นขยะทั่วไป เช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์

นอกจากนี้ยังอาจแบ่งแหล่งกำเนิดขยะติดเชื้อตามลักษณะของผู้ใช้ เช่น หมอที่รักษา และพยาบาลที่ดูแลผู้ป่วย จะเป็นแหล่งเกิดขยะติดเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นเข็มฉีดยา สำลี คลินิกหมอฟันจะเป็นแหล่งกำเนิดขยะติดเชื้อส่วนใหญ่คือ เข็มฉีดยา สิ่งของที่ปนเปื้อนโลหะหนัก คลินิกโรคไตและเบาหวาน ขยะติดเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นเข็มฉีดยา อินสุลินที่เหลือจากการใช้

2.3 แนวทางในการจัดการขยะติดเชื้อ

นโยบายและแผนการจัดการมลพิษตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 (2540-2544) ได้กำหนดเป้าหมายที่เกี่ยวกับการจัดการมลพิษจากขยะติดเชื้อโดยกำหนดให้สถานพยาบาลของรัฐและเอกชน ให้มีระบบจัดการขยะติดเชื้ออย่างถูกวิธี และครบวงจร ตั้งแต่การคัดแยก การจัดเก็บรวบรวม การขนส่ง การบำบัด และการกำจัดภายในปี 2544 และ2549 และได้มีการกำหนดกลยุทธ์ในการจัดการขยะติดเชื้อ โดยสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนสิ่งแวดล้อมท้องถิ่น เพิ่มขีดความสามารถขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการจัดการขยะติดเชื้อ ให้ท้องถิ่นมีระบบเตาเผาขยะติดเชื้อ ให้กระทรวงสาธารณสุขออกพระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ. 2553 เรื่องการกำจัดขยะติดเชื้อ ให้องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นปรับปรุงระเบียบ ข้อปฏิบัติในการจัดการ และ

ส่งเสริมให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการ ให้มีหน่วยงานกลางเข้ามาติดตามการดำเนินงาน เช่น กระทรวงมหาดไทย กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงวิทยาศาสตร์ จัดให้มีการพัฒนาบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะติดเชื้อ และรณรงค์ประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างความเข้า ใจให้กับประชาชนและสถานพยาบาลในการมีส่วนร่วมในการป้องกัน และแก้ปัญหามลพิษจากขยะติดเชื้อ หลักเกณฑ์และแนวทางในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ

หลักเกณฑ์และวิธีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ

(1) การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยวิธีการเผา เตาเผาจะต้องได้มาตรฐาน คือเตาเผาจะต้องมี 2 ห้องเผา อันได้แก่ ห้องเผามูลฝอยติดเชื้อที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 760 องศาเซลเซียส ห้องเผาควันที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส และควันที่ระบายจากเตาเผาต้องได้มาตรฐานตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

(2) กำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยวิธีอื่นจะต้องได้มาตรฐานทางชีวภาพ คือ จะต้องทำลายเชื้อโรคได้หมด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์สปอร์ ของเชื้อบาซิลัส เสตียโรเทอร์มอฟิลลัส (Bacillus sterothermophillus และบาซิลัส ซับติลิส (Bacillus subtilis)

(3) สถานพยาบาล และห้องปฏิบัติการ เชื้ออันตรายต้องตรวจสอบมาตรฐาน การกำจัดเป็นประจำและรายงานให้ท้องถิ่นทราบ

(4) สถานที่กำจัดมูลฝอยติดเชื้อจะต้องมีผู้ควบคุม โดยมีบุคลากรที่มีวุฒิทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สาขาละ 1 คน

(5) ผู้ปฏิบัติงานกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับมูลฝอยติดเชื้อ การป้องกันและระงับการแพร่เชื้อและอันตรายได้ และสวมชุดป้องกันอันตรายส่วนบุคลขณะปฏิบัติการ

ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีที่หลากหลายที่ใช้ในการจัดการกับขยะติดเชื้อ ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่

(1) การทำลายเชื้อโรคด้วยสารเคมี เป็นวิธีการที่สถานพยาบาลใช้ก่อนวิธีอื่นซึ่งจะใช้น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochloride, NaOCl) เข้มข้น 0.1-0.5 % เทราดบนขยะติดเชื้อที่อยู่ในถุงพลาสติก จากนั้นปิดฝาถุงเพื่อรวบรวมในการจัดการต่อไป

(2) การทำลายเชื้อโรคด้วยไอน้ำ เป็นวิธีการใช้ไอน้ำภายในถังแรงดัน แต่ระบบการทำลายเชื้อโรคด้วยไอน้ำจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อขยะติดเชื้อจะต้องสัมผัสกับไอน้ำโดยตรง แต่การจัดการโดยวิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ขยะที่มีความหนาแน่นมากเช่นชิ้นส่วนมนุษย์ หรือของเหลว การทำลายเชื้อจะมีประสิทธิภาพลดลง หรือถ้าถุงบรรจุขยะติดเชื้อเป็นถุงที่ทนความร้อนได้ดี ขยะติดเชื้อจะไม่สัมผัสกับไอน้ำ ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อก็จะลดลง และการทำลายเชื้อโรคโดยวิธีนี้จะต้อง

ใช้ภาชนะที่ทนแรงดันได้ดี เพราะถ้าขยะมีสารเคมีที่อาจแตกตัวอย่างรุนแรงผู้ดูแลจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย และวิธีนี้ประสิทธิภาพจะลดลงถ้าปริมาณขยะมีมาก

(3) การทำลายเชื้อโรคด้วยความร้อน เป็นวิธีการที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน ระบบนี้ใช้เทคนิคการอบแห้ง โดยขยะติดเชื้อจะได้รับความร้อนจากเตาไฟฟ้า ซึ่งเหมาะกับขยะติดเชื้อที่มีปริมาณมาก โดยทั่วไปใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160-170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง แต่วิธีการนี้ประสิทธิภาพจะต่ำกว่าการใช้ไอน้ำ

(4) การทำลายเชื้อโรคด้วยก๊าซ เป็นการทำลายเชื้อโรคด้วยก๊าซหรือไอสารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้ คือ เอทธิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) และฟอมัลดีไฮด์ (formaldehyde) แต่สารเคมีเหล่านี้เป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งจะส่งผลต่อมนุษย์ การใช้จะต้องระมัดระวัง และควรมีบุคลากรที่มีความชำนาญในการใช้ นอกจากนี้อาจเกิดการสะสมของสารเคมีในขยะติดเชื้อ

(5) การทำลายเชื้อโรคด้วยรังสี การใช้รังสีในการทำลายเชื้อโรค ข้อดีคือ ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคสูง ไม่มีความร้อนตกค้าง แต่มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้ง และบุคลากรจะต้องมีความรู้สูง ปัญหาในการทำลายต้นกำเนิดของรังสี

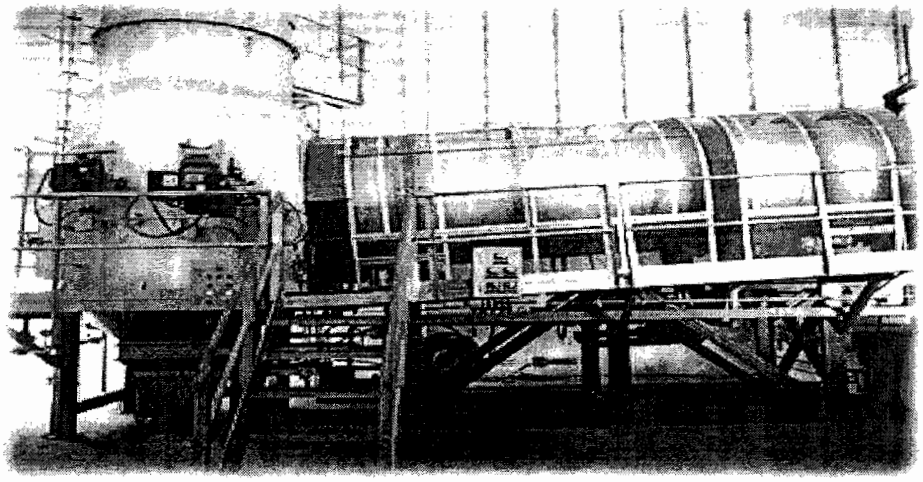
(6) การทำลายเชื้อโรคด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นวิธีการใช้ความร้อนในการทำลายเชื้อโดยฉีดน้ำให้เป็นละอองฝอยและใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้เกิดความร้อนกับละอองน้ำ ขยะติดเชื้อจะต้องขนาดเล็ก จึงจะได้รับความร้อนทั่วถึง

(7) เผาในเตาเผาขยะติดเชื้อ การเผาขยะติดเชื้อในเตาเผาจะเกิดการเปลี่ยนสารที่เผาไหม้ได้เป็นสารที่เผาไหม้ไม่ได้ นอกจากนี้ก็จะเกิดก๊าซซึ่งจะระบายสู่บรรยากาศ ส่วนขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ซึ่งมีปริมาณน้อยทำให้ง่ายในการดำเนินการต่อไป ข้อดี ของการเผาขยะติดเชื้อเป็นการลดปริมาณขยะติดเชื้อได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90-95 ของปริมาณขยะติดเชื้อก่อนเผา ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะติดเชื้อ อัตราการป้อนขยะติดเชื้อเข้าเตาเผา และอุณหภูมิในการเผาไหม้ ข้อเสีย เตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าดำเนินการค่อนข้างสูง ผู้ควบคุมดูแลที่มีความรู้ความชำนาญในการบำรุงรักษา ในการเผาไหม้จะเกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ และเกิดขี้เถ้าซึ่งจะต้องดำเนินการที่ถูกวิธี

ในปัจจุบันวิธีการกำจัดขยะติดเชื้อที่ดีที่สุดในประเทศไทย คือ การเผา ซึ่งส่วนใหญ่เตาเผาขยะติดเชื้อที่ใช้ในการกำจัดขยะติดเชื้อจะเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดเล็กมีอัตราการเผาที่ 25 50 และ 100-150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการเผาประมาณ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเตาเผาที่ไม่มีระบบกำจัดฝุ่นและควัน การจัดการเผาขยะติดเชื้อในส่วนภูมิภาคส่วนใหญ่จะดำเนินการโดยองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น จากข้อมูลของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขในปี พ.ศ.2549 พบว่าสถานพยาบาลของรัฐที่สังกัดกระทรวงสาธารณสุขจำนวนทั้งหมด 820 แห่ง มีสถานพยาบาลที่มี

เตาเผาขยะติดเชื้อประจำสถานพยาบาลจำนวน 723 แห่ง มีเตาเผาขยะประจำสถานพยาบาลที่มีประสิทธิภาพการเผาขนาด 25-150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีสถานพยาบาลที่เตาเผาขยะที่มีประสิทธิภาพการเผาขนาด 25-50 กิโลกรัมต่อชั่งโมง จำนวน 630 แห่ง และสถานพยาบาลที่มีเตาเผาที่มีประสิทธิภาพการเผาขนาด 100-150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จำนวน 7 แห่ง ส่วนเตาเผาที่ดำเนินการโดยองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นจะเป็นเตาเผาขยะขนาดใหญ่ มีประสิทธิภาพการเผาขนาด 5 ตันต่อวัน เช่นเตาเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลหาดใหญ่ เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลสมุทรสาคร เตาเผาขยะติดเชื้อจังหวัดนนทบุรี เตาเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลเมืองภูเก็ตซึ่งมีขนาด 400 ตันต่อวัน

เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เป็นเตาเผาแบบหมุนอัตราการเผาตั้งแต่ 50-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็นเตาเผาขยะแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator) ออกแบบให้เป็นเตาเผาขยะเป็นแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกหรือห้องเผาไหม้ที่ 1(Primary Chamber) เป็นการเผาไหม้ขยะ เป็นรูปทรงกระบอกแนวนอนมีมุมเอียงที่ 4 องศา หมุนรอบแนวแกนอย่างต่อเนื่อง โดยปรับความเร็วรอบตามอุณหภูมิในห้องเผาไหม้หรือความเร็วรอบคงที่ขึ้นอยู่กับการเลือกหมวดการทำงาน และกระบวนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบหมุนทำให้ขยะมีการพลิกกลับอยู่ตลอดการเผาส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ห้องเผาไหม้ขยะมีอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่ต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส เมื่อขยะไหลถึงส่วนท้ายห้องเผาที่ 1 ขยะจะถูกเผาไหม้หมดกลายเป็นขี้เถ้าหนักไหลลงสู่ลิ้นถ่ายขี้เถ้า ส่วนแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ขยะจากห้องเผาไหม้ที่ 1 จะไหลสู่ห้องเผา 2 (Secondary Chamber) เป็นห้องสำหรับเผาไหม้ควันและกลิ่นที่ไม่สมบูรณ์ให้สมบูรณ์มากขึ้น มีรูปทรงกระบอกแนวตั้งหรือแนวนอน อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ควันสามารถให้ความร้อนได้สูงสุดไม่ต่ำกว่า 1,100 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาการเผาไหม้ก๊าซ (Retention Time) ไม่น้อยกว่า 2 วินาที ก่อนจะไหลเข้าสู่ไซโคลนเพื่อลดอุณหภูมิและดักฝุ่นไว้บางส่วน ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศหรือเชื่อมต่อเข้ากับระบบควบคุมมลภาวะทางอากาศ และกำจัดไดออกซิน-ฟูแรน เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานีแสดงดังรูปที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบส่วนที่เป็นห้องเผาที่ 1

ในการจัดการขยะติดเชื้อ โดยการเผาเป็นวิธีการที่สามารถลดปริมาณขยะติดเชื้อได้จำนวนมากวิธีหนึ่ง แต่การเผาขยะติดเชื้อยังมีส่วนที่เหลือจากการเผาซึ่งจะต้องมีการดำเนินการต่อช่วงไปอีก ก็คือขี้เถ้าที่เกิดจากการเผา ซึ่งถือว่าเป็นของเสียอีกประเภทหนึ่ง

2.4 ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อ

การเผาขยะติดเชื้อจะเกิดส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ และเป็นส่วนที่ไม่สามารถติดไฟได้อีก ปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของขยะติดเชื้อที่เผา ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผามีอยู่ 2 ประเภท คือ

(1) ขี้เถ้าหนัก (Bottom ash) เป็นขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ มีขนาดใหญ่ หนักฟุ้งกระจายได้ยาก ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ก้นเตา เช่น เศษกระป๋อง ขวดแก้ว เศษหิน เศษโครงเหล็กและอุปกรณ์ที่ทำจากเหล็ก ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของขี้เถ้าประเภทนี้จะไม่ติดไฟ สัดส่วนของน้ำหนักในส่วนนี้จะมีประมาณร้อยละ 90-95 ของขี้เถ้าทั้งหมด

(2) ขี้เถ้าลอย (Fly ash) เป็นขี้เถ้าเบาที่ฟุ้งกระจายจากห้องเผาขยะติดเชื้อ และจะถูกกักไว้ที่อุปกรณ์ดักฝุ่น เช่น ไซโคลน ชุดดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต ถุงกรอง เป็นต้น ขี้เถ้าลอยมีขนาดเล็กมากจัดอยู่ในกลุ่มฝุ่นขนาดใหญ่ (TSP) และฝุ่นขนาดเล็ก (MP) มีส่วนประกอบของโลหะหนักในสัดส่วนที่มากกว่า ซึ่งขี้เถ้าลอยจัดว่าเป็นของเสียอันตราย

ขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลจะมีองค์ประกอบของขยะ คือ สำลี ผ้า เศษชิ้นเนื้อ เลือด เข็มฉีดยา กระบอกฉีดยา ขวดยาที่เป็นอะลูมิเนียม และโลหะหนักบางชนิดจากคลินิกฟัน เมื่อเผาจะเกิดขี้เถ้าซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ในขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อจะมีโลหะหนักปนเปื้อน

ซึ่งเมื่อนำขี้เถ้าไปฝังกลบจะทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม นั่นคือโลหะหนักที่ปนเปื้อนในขี้เถ้าอาจถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยน้ำใต้ดิน Hsien-Wen Kuo (1999) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล 19 แห่งของประเทศไต้หวัน ที่สามารถปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากขี้เถ้าเผาขยะติดเชื้อ โดยใช้วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 11 ชนิด คือ สังกะสี (Zn) พลวง (Sb) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) โคบอลต์ (Co) นิเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) โครเมียม (Cr) เบเรเรียม (Be) และทองแดง (Cu) ด้วย Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP) พบว่า สังกะสี มีประมาณมากที่สุด คือ 0.15-289.87 ppm ลำดับต่อมาคือตะกั่ว 1.83-102.98 ppm นิเกิล 1.21-17.62 ppm และเหล็ก 0.25-39.96 ppm ตามลำดับ ส่วนโลหะหนักอื่นความเข้มข้นต่ำ จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 45 ตัวอย่าง พบโลหะหนักที่มีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด คือสังกะสีพบ 31 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 68.9 ตะกั่วพบ 12 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 26.7 แคดเมียมพบ 2 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 4.4 ส่วนโครเมียม และทองแดงมีความเข้มข้นระดับต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดทั้ง 45 ตัวอย่าง ในขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อจะพบ โครเมียม สังกะสี และแคดเมียม สูงกว่าขี้เถ้าจากการเผาขยะชุมชน และตะกั่ว และทองแดงจะพบน้อยกว่า ในขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อจะพบโครเมียมในปริมาณที่สูงเนื่องจากโครเมียมเป็นส่วนผสมของเข็มฉีดยา กระบอกฉีดยา ดังนั้นการจัดการขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อจะต้องบำบัดโครเมียมก่อน โดยเฉพาะถ้าอยู่ในรูปของสารละลายโครเมียม (VI) จะมีผลต่อตับ และเป็นสารก่อมะเร็ง เพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ในขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อจะมีประมาณโครเมียมสูงกว่าขี้เถ้าจากการเผาขยะทั่วไปถึง 17 เท่า แต่ก็ยังไม่เกินค่ามาตรฐาน

จากการศึกษาความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากการปลดปล่อยโลหะหนักจากขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อที่ฝังกลบสู่แหล่งน้ำใต้ดิน Nkonge Njagi Annaias (2012) ได้ศึกษาตัวอย่างขี้เถ้าที่ฝังกลบที่ความลึกตั้งแต่ 0.25 – 1 เมตร พบว่า โลหะหนักที่ปนเปื้อนในขี้เถ้าที่ฝังกลบมีค่าเกินมาตรฐาน และโลหะหนักในน้ำชะละลายขี้เถ้าก็มีค่าเกินมาตรฐานเช่นกัน คือโลหะหนักในขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อประกอบด้วย โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว เงิน และปรอท มีความเข้มข้น 3870, 250, 4340, 1360 และ40 mg/kg ตามลำดับ และโลหะหนักในขี้เถ้าจากการฝังประกอบด้วย โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว เงิน และปรอท มีความเข้มข้น 5200, 130, 3280, 170 และ3 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นเหล่านี้จะลดลงถ้าความลึกเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักมีค่าเกินมาตรฐานและมีความเสี่ยงมากที่จะปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อก่อนการจัดการต่อไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดการโดยการฝังกลบ หรือจัดการโดยวิธีอื่นๆ จำเป็นจะต้องศึกษาข้อมูลของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการดำเนินการ

ต่อไป เช่นปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดขึ้น สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขี้เถ้า และขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อจะมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการเผา

2.5 การวิเคราะห์ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ

2.5.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขี้เถ้า

ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อจะประกอบด้วยส่วนที่ไม่สามารถไหม้ไฟได้อีก เช่น ขี้เถ้าก้นเตา ซึ่งจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยแก้วที่ผ่านการหลอมและเย็นตัวแล้ว เศษเหล็กจากเข็มฉีดยา เป็นต้น ส่วนที่สมารถไหม้ไฟได้ จะเป็นขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดังฝุ่น และและอุปกรณ์บำบัดอากาศก่อนปล่อยสู่บรรยากาศทางปล่องควัน ขี้เถ้าจากก้นเตาจะมีขนาดอนุภาคมากกว่า 9.5 มิลลิเมตร ถึงนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร Patcharin Racho (2002) ขนาดอนุภาคของขี้เถ้าก้นเตาจากการเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลราชสีมา-ธนบุรี จังหวัดนครราชสีมา พบว่า อนุภาคของขี้เถ้าที่มีขนาดมากกว่า 9.5 มิลลิเมตรคิดเป็นร้อยละ 58.39 ขนาดมิลลิเมตร 4.75-9.5 คิดเป็นร้อยละ 18.50 มิลลิเมตร ขนาด 0.5-4.75 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.92 และขนาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.65 ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี จะประกอบด้วยขี้เถ้าจากก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง

ขี้เถ้ามีลักษณะเป็นของแข็งเหมือนกับดิน ดังนั้นการวิเคราะห์ขนาดของขี้เถ้าจึงใช้วิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบดิน โดยการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินทำได้ 2 วิธี คือ

(1) การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve analysis) เป็นวิธีที่เหมาะกับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มิลลิเมตร การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงอาศัยหลักการ จำนวนของอนุภาคดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ทั้งนี้การวิเคราะห์ขนาดดินโดยใช้ตะแกรงแบ่งออกเป็น 2 วิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

(1.1) การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงแบบแห้ง (Dry Sieve) ตัวอย่างในการทดลองต้องอบให้แห้งก่อน วิธีนี้นิยมใช้กับตัวอย่างดินเม็ดหยาบ

(1.2) การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงแบบเปียก (Wet Sieve) วิธีนี้เหมาะกับตัวอย่างที่เป็นเม็ดละเอียด ตัวอย่างดินแห้งจะถูกนำไปแช่ในน้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร ให้นำไปวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

(2) การวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer analysis) เป็นวิธีเหมาะกับดินเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินเหนียว การวิเคราะห์โดยตั้งสมมติฐานว่าเม็ดดินมีลักษณะเป็นทรงกลม

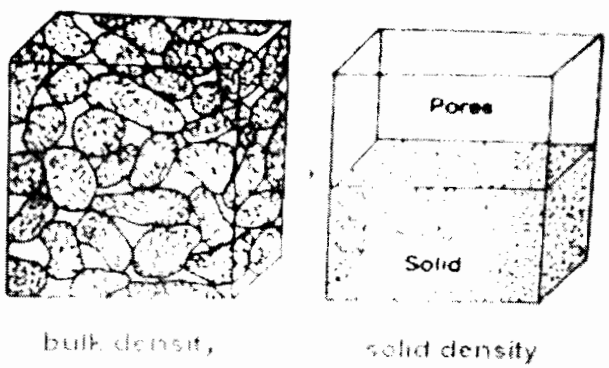
ขี้เถ้าหนักที่ได้จากเตาเผาขยะจะมีลักษณะเหมือนดินหยาบ จึงทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยการร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิดแตกต่างกัน เบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้มีขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4, 10, 20, 40, และ 200 ซึ่งจะเรียงตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่สุดอยู่บน และไล่ตามลำดับ ดินหรือ

หินที่มีขนาดเล็กกว่าช่องเปิดก็จะหล่นลงมา ส่วนดินหรือหินที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดจะค้างอยู่บนตะแกรง แต่ตะแกรงมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแยกความแบน และความยาวได้

ความหนาแน่นรวม (bulk density) เป็นสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุ หมายถึง ความหนาแน่น (density) ของวัสดุปริมาณมวล (bulk material) เช่น แป้ง (flour) สตาร์ช (starch) เมล็ดธัญพืช (cereal grain) กาแฟผง นมผง อาหารสัตว์ ขนมขบเคี้ยว และ ลูกกวาด เป็นต้น ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุด้วยการเตรียม

ความหนาแน่นเนื้อ (solid density) ซึ่งเป็นความหนาแน่นของชิ้นวัสดุแต่ละชิ้น และจะไม่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุ วัสดุชนิดเดียวกันอาจพิจารณาความหนาแน่นเป็นความหนาแน่นเนื้อ (solid density) และความหนาแน่นรวม (bulk density) เช่น การวัดความหนาแน่นของหิน ได้ค่าเป็น solid density แต่หากวัดความหนาแน่นของหินขณะกองอยู่ หรืออยู่ในถังเก็บ จะได้ค่าเป็น bulk density เป็นต้น ดังนั้นความหนาแน่นรวมจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นเนื้อเสมอ

การหาค่า bulk density ทำได้โดยการบรรจุวัสดุลงไปในภาชนะที่ทราบปริมาตรเพื่อลดความผิดพลาด ควรใช้ภาชนะขนาดใหญ่พอสมควร เช่น ขนาด 1 ลิตร แล้วนำไปชั่ง ปาดหรือเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการหา bulk density ได้แก่ความชื้น (moisture content) ของวัสดุ ความสูงของระดับที่เทวัสดุลงในภาชนะ การอัดแน่นซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้งาน ควรบอกวิธีการ และสภาวะที่วัดค่ากำกับด้วย ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นเนื้อแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นเนื้อ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2556)

2.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะ ขี้เถ้าเป็นส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือส่วนที่ไม่สามารถติดไฟได้อีกของขยะติดเชื้อ ปริมาณขี้เถ้ามีผลต่อการออกแบบขนาดของเตาเผาเพราะต้องออกแบบพื้นที่ว่างในเตาเผา ซึ่งพื้นที่รองรับขี้เถ้าจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ10 ของปริมาตรเตา และในการเผาขยะติดเชื้อจะเกิดขี้เถ้า 2 ประเภท คือ 1) ขี้เถ้าหนัก (Bottom ash) เป็นขี้เถ้าที่มีขนาดใหญ่ไม่ฟุ้งกระจาย ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ก้นเตาเผา และเป็นส่วนที่ไม่ติดไฟ (Inert materials) และ 2) ส่วนขี้เถ้าลอย(Fly ash) เป็นขี้เถ้าที่ฟุ้งกระจายที่หลุดออกจากห้องเผาไหม้ และถูกดักไว้ที่อุปกรณ์ดักฝุ่น เช่น ไซโคลน ชุดดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต ถุงกรอง ขี้เถ้าพวกนี้จัดอยู่ในกลุ่มของเสียอันตราย ขี้เถ้าที่เป็นเถ้าหนักการกำจัดจะต้องนำไปฝังกลบที่ถูกสุขาภิบาลเท่านั้น ก่อนการตัดสินใจในการกำจัดขี้เถ้าต้องทำการวิเคราะห์หรือทดสอบองค์ประกอบของขี้เถ้าเสมอ เนื่องจากลักษณะสมบัติของขี้เถ้าอาจไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับ สมบัติของขยะ เทคนิควิธีการเผา รวมทั้งอุณหภูมิในการเผา จากการวิเคราะห์ขี้เถ้าหนัก และขี้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะติดเชื้ออ่อนนุชของกรุงเทพมหานครพบว่าองค์ประกอบของโลหะหนักในขี้เถ้าลอยจะมากกว่าขี้เถ้าหนัก แสดงดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2550)

องค์ประกอบ	หน่วย	ขี้เถ้าหนัก ตัวอย่าง A	ขี้เถ้าหนัก ตัวอย่าง B	ขี้เถ้าลอย ตัวอย่าง A	ขี้เถ้าลอย ตัวอย่าง B	ค่ามาตรฐาน *
Dry substance 105°C	%	80.2	75.3	66.7	72.9	
Arsenic	mg/kg	8	5	10	19	500
Lead	mg/kg	770	310	1,300	1,100	1,000
Cadmium	mg/kg	2.4	5.5	17.0	6.3	100.0
Nickel	mg/kg	970	150	500	230	2,000
Mercury	mg/kg	0.6	0.3	1.1	0.5	20.0
Zinc	mg/kg	6,000	5,300	15,000	9,900	5,000
Chromium ,total	mg/kg	1,800	240	310	290	-
Chromium ,III	mg/kg	1,790	235	306	286	2,500
Chromium ,VI	mg/kg	10	5	4	4	500

หมายเหตุ * ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วปี พ.ศ. 2548

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อเป็นข้อมูลในการยืนยันความปลอดภัยในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในขี้เถ้ามีปริมาณมาก แต่ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อยังมีปริมาณที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของระทรวงอุตสาหกรรมอยู่ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าที่ได้จากก้นเตาเผาขยะติดเชื้อ จากโรงพยาบาลในเขตเทศบาลนครราชสีมา มีความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว (Pb) เงิน (Ag) เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) เท่ากับ 765.25, 327.91, 314,121.19 และ 18,710.69 mg/kg ตามลำดับ และปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำชะขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อโรงพยาบาล ในเขตเทศบาลนคร นครราชสีมา ซึ่งประกอบด้วย ตะกั่ว เงิน เหล็ก และสังกะสี พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.08, 0.07, 0.21, และ 0.26 mg/L ตามลำดับ (พัชรินทร์ ราโช, 2544) และสนับสนุนการการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งพบว่าปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้มี ค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (สมรัฐ เกิดสุวรรณ, 2547) จากข้อมูลการการหาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำชะละลายขี้เถ้าที่จากเตาเผาขยะติดเชื้อ แสดงดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 โลหะหนักในขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาขยะติดเชื้อสำนักงานสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2550

Parameter	Standard	Value								
		4- May	10-Aug	17-Aug	24-Aug	31-Aug	7-Sep	14-Sep	3-Oct	Method of Analysis
Total Arsenic mg/L as As	≤ 5.0	<0.002	<0.002	0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0009	**
Total Cadmium mg/L as Cd	≤ 1.0	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	ND	*
Total Chromium mg/L as Cr	≤ 5.0	0.34	0.90	0.19	1.77	0.58	0.02	0.26	0.582	*
Total Lead mg/L as Pb	≤ 5.0	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	ND	*
Total Mercury mg/L as Hg	≤ 0.2	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.017	0.007	0.007	0.0013	***
Barium mg/L as Ba	≤ 100	0.23	0.21	0.3	0.17	0.22	0.23	0.05	0.65	*
Selenium mg/L as Se	≤ 1.0	0.0001	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0004	ND	ND	**
Total Silver ppm as Ag	≤ 5.0	<0.02	<0.02	0.02	0.02	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	*

หมายเหตุ * Atomic Absorbtion Spectrometric

** Hydride Generation Atomic Absorbtion Spectrometric

*** Cold Vapor Atomic Absorbtion Spectrometric

จากการศึกษาของ Thanachit ในปี 1999 (อ้างอิงจาก Patcharin, 2002.) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าก้นเตา ของการเผาขยะติดเชื้อ ในจังหวัดภูเก็ต โดยศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อย หรือถูกชะออกมาจากขี้เถ้า ตามขนาดของอนุภาคขี้เถ้า 3 ขนาด เทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของแบเรียม ตะกั่ว โครเมียม เงิน เซลีเนียม และแคดเมียม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,602.41, 1,130.00, 559.91 245.27, 39.48 และ 13.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง และมีแนวโน้มที่จะพบ แบเรียม ตะกั่ว เงิน เซลีเนียม แคดเมียม และ

โครเมียม ในภาชนะในการเผาขยะติดเชื้อ การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าขยะติดเชื้อพบว่า แบเรียม ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม เซลีเนียม เงิน ปรอท และสารหนู ความเข้มข้น 14.30, 2.71, 2.23, 0.44, 0.23, 0.08, 0.96 และ 2.76 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของประเทศไทย ดังนั้นการจัดการขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อของจังหวัดภูเก็ตจึงใช้วิธีการฝังกลบ

การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ค่า pH (Positive Potential of the Hydrogen ions๗ คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในวัตถุนั้นๆ ซึ่งสามารถตรวจหาค่า pH ของดินได้ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และวิธีตรวจเช็คที่ต้องมีความละเอียดอ่อน และขั้นตอนที่ถูกต้อง วิธีตรวจหาความเป็นกรด ด่างของดินสามารถทำได้หลายวิธีที่แตกต่างกัน และมีความแม่นยำหรือค่าความคลาดเคลื่อนต่างกัน การวัดค่า pH ของดินจะวัดด้วย pH meter หรือเครื่องวัด pH นั่นเอง ปัจจุบันมีเครื่องวัด pH อยู่หลายแบบหลายยี่ห้อ แต่ก็มีหลักการวัดค่า pH เดียวกันคือ จุ่มแท่งการวัดลงในในภาชนะที่มีน้ำและดินตกตะกอนอยู่ แต่อย่าให้โดนดินที่อยู่ด้านล่าง และอ่านค่า pH ที่แสดงขึ้นมาที่หน้าจอดิจิตอลได้เลย

2.5.3 การวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้า

ขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผาขยะติดเชื้อจะมีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นสิ่งที่เหลือจากเผาไหม้ได้ จะประกอบไปด้วยโลหะหนัก สารประกอบอินทรีย์ และออกไซด์ของโลหะ การวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าซึ่งจะอยู่ในรูปของของแข็งจะต้องทำการสกัดโลหะหนักให้มาอยู่ในรูปของสารละลายก่อนการวิเคราะห์ วิธีการสกัดโลหะหนักที่นิยมใช้คือ วิธีตามมาตรฐานของ EPA 3050B และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry (AAS) หรือวัดด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

การวิเคราะห์การชะละลายโลหะหนักทำได้หลายวิธีด้วยกัน และได้มีการเปรียบเทียบวิธีการชะละลายโลหะหนักจากขี้เถ้าหนักลิกไนต์ ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (ปฐมาภรณ์ ดั้งสุนทรขัณฑ์, 2554) คือ การชะละลายโลหะหนัก แคดเมียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว แมงกานีส นิเกิล และสังกะสี ด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP) วิธี Synthetic Precipitation Leaching Procedures (SPLP) วิธี Waste Extraction Test (WET) และวิธี Tree-Stage Sequential Extraction Procedure (BCR) และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วย Atomic Absorbtion Spectrometric (AAS) พบว่า การชะละลายโดยวิธี SPLP สามารถชะโลหะหนักจากขี้เถ้าได้ต่ำกว่าวิธี TCLP และWET โดย TCLP มีร้อยละของการละลายของ แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และโครเมียมในปริมาณที่สูง ส่วนวิธี WET มีร้อยละการละลายสูงไม่แตกต่างกัน ยกเว้นอะลูมิเนียม แต่ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนวิธี BCR มีร้อยละของการชะละลายสอดคล้องกับวิธี TCLP

โลหะหนัก หมายถึงโลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 4 g/cm^3 ซึ่งหลายชนิดเป็นสารอันตรายประเภทมีพิษ และสามารถสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตก่อให้เกิดโรคร้ายต่างๆ

โครเมียม (Chromium,Cr) เป็นสารที่มีประจุ ตั้งแต่ -2 ถึง +6 ถ้ามีประจุเป็น +6 จะละลายน้ำได้ดี ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่อทางเดินหายใจ เกิดการระคายเคืองเยื่อจมูก เกิดการตีบตันของหลอดลม มีผลต่อผิวหนังเกิดเป็นผื่นคัน ปวดแสบปวดร้อน มีผลต่อไต เกิดการอักเสบของไตอย่างรุนแรง

แคดเมียม (Cadmium,Cd) เป็นสารที่มีประจุ ตั้งแต่ +2 สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไซยาไนด์ เอมีน และฮาไลด์ มีความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร สมอง และกระดูก การสะสมในตัวมนุษย์ทำให้เกิดการปวดกระดูก ไตพิการ อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ ทำให้เกิดโรคอิไตอิไต จากการสะสมของแคดเมียมในกระดูกทำให้กระดูกผุ

ตะกั่ว (Lead,Pb) เป็นสารที่มีประจุ ตั้งแต่ 0 +2 และ +4 มี ความเป็นพิษต่อเม็ดเลือดแดง สมองและไต ก่อให้เกิดความพิการแต่กำเนิด

สังกะสี (Zinc,Zn) มีความเป็นพิษต่อทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ตะคิว ท้องร่วง มีผลต่อการเจริญเติบโต ทำให้เกิดอาการแคระแกรน ร่างกายไม่เจริญเติบโต ถ้ารับฝุ่นของสังกะสีจะเกิดอาการหนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน เรียกว่า โรค Zinc chills

ปรอท (Mercury,Hg) เป็นของเหลวสีเงินที่อุณหภูมิห้อง มีความหนาแน่น 13.6 g/cm^3 ใช้ในเทอร์โมมิเตอร์ มีความเป็นพิษต่อประสาทส่วนกลาง เป็นเหน็บชาจนถึงอัมพาต มีและใบหน้าบวมและเจ็บ

2.5.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS)

หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกันด้วย เช่น อะตอมของแคดเมียมดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร อะตอมของปรอทดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร แสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวจะมีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมแคดเมียมและปรอทเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะเร้า ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระนั้นต้องใช้พลังงานในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือไฟฟ้า เป็นต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี จะอาศัยหลักการวัดปริมาณแสงที่ธาตุดูดกลืนเข้าไป เพื่อทำให้อะตอมอิสระที่อยู่ในสภาวะพื้นขึ้นไปอยู่ในสภาวะเร้าซึ่งปริมาณแสงที่ดูดกลืนเข้าไปจะแปรตามความเข้มข้นของสาร

องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 5 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.3

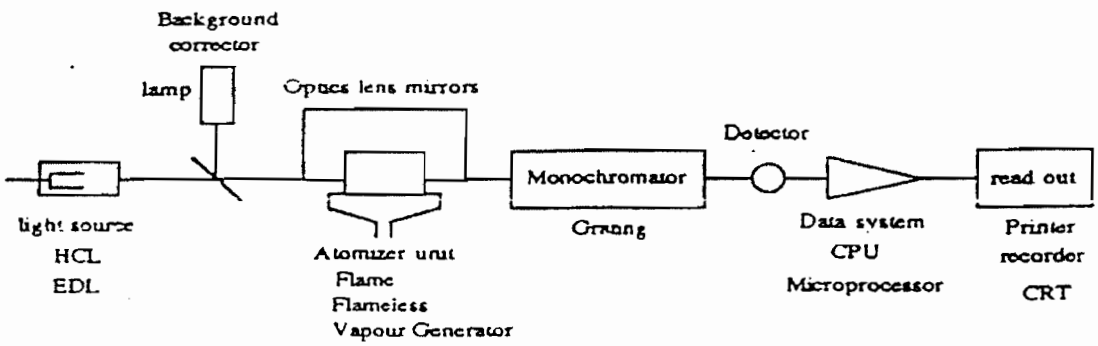
(1) แหล่งกำเนิดแสง (light source) ส่วนใหญ่เป็น hallow cathode lamp (HCL) และ eletrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งมีใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น

(2) ส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ (atomizer unit) เป็นส่วนที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟหรือไฟฟ้า เป็นต้น

(3) ส่วนแยกแสง (Monochormator) เป็นส่วนที่ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการ อาจเป็นแผ่นกรองแสง (Filter) เกรตติง (Grating) หรือปริซึม (Prism)

(4) ส่วนวัดสัญญาณ (detector) ส่วนใหญ่จะใช้เป็นหลอดโฟโตมัลติไพล์เออร์ (Photo multiplier tube) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปของพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

(5) ส่วนประมวลผลและอ่านผล (Data system and readout unit) ทำหน้าที่แปลสัญญาณที่ได้รับจากส่วนวัดสัญญาณให้เป็นข้อมูลสื่อให้ผู้ใช้เข้าใจ



ภาพที่ 2.3 องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
(แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552)

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีสามารถทำได้หลายวิธี คือ

(1) Flame atomization technique ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (flame) ซึ่งกระบวนการเกิดแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2.4

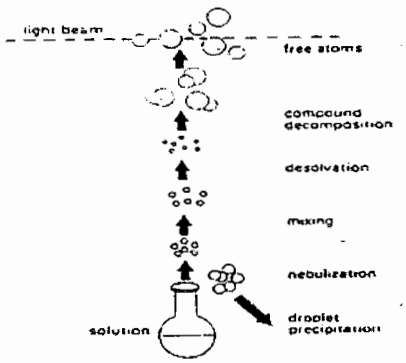
Nebulization การเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ ด้วย nebulizer

Droplet precipitation ละอองเล็กๆรวมตัวกันแล้วไหลออกทางท่อน้ำทิ้ง

Mixing ละอองเล็กๆของสารละลายผสมกับก๊าซเชื้อเพลิง(fuel) และออกซิแดนท์ (oxidant) ใน spray chamber ของ nebulizer

Desolvation ตัวทำละลายถูกกำจัดออกไป เกิดเป็นสารประกอบเล็กๆของสารประกอบ

Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ



ภาพที่ 2.4 กระบวนการเกิดอะตอมอิสระในเปลวไฟ (แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552)

(2) Flameless technique หรือ Non-flame atomization technique ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Electro thermal atomizer หรือ Graphite furnace) โดยจะตั้งโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาของการเผาให้เหมะสมสำหรับธาตุแต่ละชนิด

(3) Hydride generation technique การวิเคราะห์ธาตุบางชนิด เช่น As และ Se โดยวิธีดูดกลืนคลื่นแสงแบบเปลวไฟจะมีขีดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Detection limit) อยู่ในระดับ 1 ppm ซึ่งยังไม่ต่ำเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เพราะธาตุเหล่านี้เป็นพิษในระดับต่ำ จึงพัฒนาวิธีการตรวจวัดให้มีสภาพไวสูงขึ้นโดยการทำให้สารที่สนใจกลายเป็นโลหะไฮไดร์ดที่สามารถระเหยได้ ณ อุณหภูมิห้อง แล้วไล่ไอของโลหะไฮไดรด์ที่เกิดขึ้นเข้าไปในหลอดที่วางอยู่บนเปลวไฟ เมื่อให้ความร้อนไอของไฮไดร์ดจะสลายตัวเป็นอะตอมของโลหะ

(4) Cold vapor technique เหมาะกับธาตุที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ เช่น Hg หลักการของวิธีนี้คือ ไอออนของปรอทจะถูกรีดิวซ์ด้วยสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ (stannous chloride ; $SnCl_2$) ซึ่ง Hg^{2+} จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น Hg^0 ดังสมการที่ (2.1)

$$Hg^{2+} + Sn^{2+} \longrightarrow Hg^{0} + Sn^{4+} \qquad (2.1)$$

ไอปรอทที่เกิดขึ้นจะถูกก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน ไล่เข้าไปในเซลล์ (adsorption cell) แล้วเกิดการดูดกลืนคลื่นแสง การมีไอน้ำในเซลล์จะทำให้เกิดการกระเจิงแสง ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไม่ถูกต้อง ซึ่งแก้ไขได้โดยให้ไอปรอทผ่านสารดูดความชื้น ในปัจจุบันมีระบบ circular mode ทำให้ไอปรอทหมุนเวียนอยู่ในระบบที่ทำการวัด หลังจากวัดเสร็จแล้วจึงไล่ไอปรอทลงไปในขวดดักจับปรอท

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะประกอบด้วย

Wang. et al. (1997) ศึกษาการนำขี้เถ้าจากการเผาขยะชุมชนมาเผาให้เป็นผนึก โดยนำขี้เถ้าหนักจากก้นเตามาขึ้นรูปเป็นแท่งตัวอย่าง แล้วศึกษาความดันในการอัดขึ้นรูป (Compact pressure) อุณหภูมิในการเผา (Sintering temperature) ระหว่าง 1,120°C - 1,140°C เวลาในการเผา (Sintering time) มีผลต่อความสามารถในการทนแรงอัด ร้อยละของการสูญเสียเนื่องจากการเผา ความหนาแน่น การหดตัวและขยายตัวของแท่งตัวอย่าง ความสามารถในการดูดซับความชื้น และความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อม พบว่า ผนึกตัวอย่างที่ได้มีสมบัติคล้ายกับเซรามิกส์ และสามารถกักโลหะหนักไว้ในผนึก นั้นคือโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม มีความเข้มข้นในการปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.10-0.70 mg/L, 0.05-0.30 mg/L, และ0.35-1.25 mg/L ตามลำดับ จากการทดสอบ TCLP ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ EPA ได้หวัน

Tan. et al. (1997) ได้ศึกษาผลของค่า pH ต่อความสามารถในการปลอดปล่อยโลหะหนักแคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) จากขี้เถ้าเตาเผาขยะเทศบาลที่จะนำไปฝังกลบ โดยการสกัดใช้วิธีการสกัดแบบต่อเนื่อง ด้วยน้ำสกัดที่มีค่า pH ต่างกัน 5 ขั้นตอน คือ สกัดด้วย NaOAc ที่ pH 8.2 เพื่อสกัดโลหะที่อยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ง่าย, สกัดด้วย NaOAc ที่ pH 5 เพื่อสกัดโลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต , สกัดด้วย $NH_2OH.HCl$ ใน HOAc เพื่อสกัดโลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ สกัดด้วย HNO_3 และ H_2O_2, pH 2 เพื่อสกัดโลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ และ HNO_3, HCl, H_2O_2 เพื่อสกัดโลหะที่เหลืออยู่ในขี้เถ้า พบว่า ค่าpH มีผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักจากขี้เถ้า โดยโลหะหนักจะปลดปล่อยจากขี้เถ้าได้เพิ่มขึ้นเมื่อ pH ต่ำลงหรือสภาวะความเป็นกรด โลหะหนักสามารถปลดปล่อย ความสามารถในการสกัดโลหะทั้งห้าชนิดจากขี้เถ้าได้เฉลี่ยร้อยละ 25 – 88 โลหะที่อยู่ในขี้เถ้าจะอยู่ในรูปสารประกอบต่างๆ ซึ่งทำให้โลหะเหล่านั้นถูกกักไว้ โลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต คือแคดเมียม (Cd) ร้อยละ 4 โลหะที่อยู่ในรูปของ

สารประกอบออกไซด์ คือ ตะกั่ว (Pb)และสังกะสี (Zn) ร้อยละ 5 และ 47 ตามลำดับ ส่วนอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์จะพบ ทองแดง (Cu) ร้อยละ 13

อุดมพร ช่วงฉ่ำ และคณะ (2009) ได้ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนัก แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ของดินในหลุมฝังกลบ 3 ชนิด คือดินเหนียวปนทราย (KBS-1) ดินทราย (KSB-2) และดินทรายปนทราย (KSB-3) จากน้ำชะขยะจริง และน้ำชะขยะสังเคราะห์ โดยควบคุมค่าพีเอชของดินที่ 8.16 อุณหภูมิ 25°C ซึ่งพบว่าดินทั้งสามชนิดมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมีย และความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดิน เช่นค่าการแลกเปลี่ยนประจุ ค่าการกระจายตัวของอนุภาคดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณสารอินทรีย์ ดินสามารถดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะขยะสังเคราะห์ได้มากกว่าน้ำชะขยะจริง เนื่องจากน้ำชะขยะจริงมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่า และโลหะหนักอาจอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้อยกว่า และน้ำชะขยะมีค่าความเป็นด่างสูงซึ่งโลหะอาจตกตะกอนทำให้ความสามารถในการดูดซับมากเกินจริง และดิน KBS-1 สามารถดูดซับโลหะหนักได้มากกว่า ดิน KSB-2 และดิน KSB-3 ตามลำดับ โดยที่ ดิน KBS-1 สามารถดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะขยะจริงได้คือดูดซับ สังกะสี > ตะกั่ว > แคดเมียม > ทองแดง ซึ่งไม่แตกต่างกันกับดิน KBS-2 ส่วนดิน KBS-3 สามารถดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะขยะจริงได้คือดูดซับ ตะกั่ว > สังกะสี > แคดเมียม > ทองแดง

2.6 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าเกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ

การเผาขยะติดเชื้อเป็นวิธีการแก้ปัญหาการกำจัดขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้น แต่การจัดการดังกล่าวก็มีปัญหาที่เกิดขึ้นตามมา คือขี้เถ้าที่ได้จากการเผาจะต้องมีการจัดการที่ถูกวิธีต่อไป ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากขยะที่ป้อนเข้าเตาเผา ความร้อนในการเผา และสภาวะในการเผา ในการดำเนินการกับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อจะต้องทราบถึงสมบัติของขี้เถ้าก่อนว่า ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นนั้นเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ ถ้าขี้เถ้าที่เกิดขึ้นไม่ใช่ของเสียอันตรายการจัดการจะง่าย และสามารถนำขี้เถ้านี้ไปใช้ประโยชน์ต่างๆได้ แต่ก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย

2.6.1 การนำขี้เถ้าไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ซึ่งในกรณีที่จะนำขี้เถ้าไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ขี้เถ้าจะต้องเป็นขี้เถ้าที่ไม่สามารถไหม้ไฟได้อีก และจะต้องมีความมั่นใจว่ามีความปลอดภัยในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยมีผลการทดสอบและวิเคราะห์ยืนยันแล้วว่าขี้เถ้าที่เกิดขึ้นนั้นไม่ใช่วัตถุอันตราย ซึ่งในปี Sue-Huai (2000) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขี้เถ้าจากการเผาขยะชุมชนในไต้หวันมาใช้ประโยชน์ และจากการศึกษาสมบัติของขี้เถ้าจากการเผาขยะชุมชนในไต้หวัน พบว่า

ขี้เถ้ามีความสามารถในการบีบอัดต่ำ มีความต้านทานในการเฉือนสูง ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีทางเทคโนโลยีธรณีวิทยาในการใช้ขี้เถ้าแทนกรวดในการสร้างถนน และจากการวิเคราะห์สมบัติขี้เถ้าระดับการบีบอัดสูงสุดของขี้เถ้าจะเท่ากับร้อยละ 97 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐาน คือ ร้อยละ95 โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานของ CNS (ChineseNational Standard) แต่อย่างไรก็ตามขี้เถ้าเหล่านี้ยังสามารถปลดปล่อยตะกั่วออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งจะต้องมีการพิจาณาก่อนนำไปใช้

2.6.2 นำขี้เถ้าผ่านกระบวนการก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนและถือว่าเป็นของเสียอันตรายก็นำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ปลอดภัยก่อนนำไปใช้ประโยชน์ เช่นการเผาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะเป็นการทำลายสารสารปนเปื้อนที่เป็นอันตราย ขี้เถ้าส่วนนี้จะต้องสามารถไหม้ไฟได้อีก มีการศึกษาการเผาขี้เถ้าจากเตาเผาขยะชุมชนให้เป็นผลึก โดยขึ้นรูปขี้เถ้าโดยใช้ความดันที่แตกต่างกัน อุณหภูมิในการเผา และเวลาในการเผา จากการทดลองที่สภาวะต่าง พบว่า ความดันในการขึ้นรูป มีผลต่อ compressive strength และ compressive strength จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 1,120 ^{o}C ถึง 1,140 ^{o}C และจะลดลงถ้าร้อยละการสูญเสียในการเผาเพิ่มขึ้นโลหะหนักจะถูกกักไว้ในผนึก ผนึกจะมีสมบัติคล้ายกับเซรามิก ปริมาณโลหะหนักที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งประกอบด้วย Pb Cd และ Cr ประมาณ 0.10-0.70 mg/L , 0.05-0.30 mg/L และ 0.35-1.25 mg/L ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของEPA ไต้หวัน และที่สำคัญผนึกที่ได้จากการเผาสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย Wang et.al (1997)

2.6.3 การฝังกลบ เป็นวิธีการจัดการขยะหรือของเสียที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ใช้ได้กับขยะโดยทั่วไป และขยะที่ถือว่าเป็นของเสียอันตราย

ของเสียอันตราย หมายถึง สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนสารอันตราย หรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (ธเรศ ศรีสถิต, 2553)

การฝังกลบของเสียอันตรายจะต้องมีการดำเนินการตามกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ 1) การคัดแยกของเสียอันตรายที่เป็นพิษต่างกัน 2) การทำให้หมดฤทธิ์ที่เป็นอันตราย และ 3) การทำให้เสถียรและอัดเป็นก้อน เมื่อผ่านทั้ง 3 ขั้นตอนแล้วและมั่นใจว่าปลอดภัยก็นำไปฝังกลบได้ และในกระบวนการฝังกลบก็จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกระบวนการฝังกลบของเสียอันตรายจะต้องดำเนินการคือ

2.6.3.1 การคัดเลือกสถานที่ในการฝังกลบ ซึ่งจะต้องพิจารณา

1) ปริมาณและประเภทของของเสียอันตรายที่จะทำการฝังกลบ
2) จำแนกปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการฝังกลบ
3) ศึกษารายละเอียดของดิน ลักษณะดิน ธรณีวิทยา และอุทกวิทยา

4) การขนส่งและอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากการขนส่ง

5) ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่จะเกิดจากการฝังกลบ

6) การลดผลกระทบโดยเฉพาะความขัดแย้งทางด้านสังคม

7) ประเมินความเสี่ยงสำหรับพื้นทีที่มีความเสี่ยงสูง อย่างเช่น การเกิดอุบัติเหตุ ทรัพยากรธรรมชาติ

2.6.3.2 การออกแบบพื้นทีที่จะใช้ในการฝังกลบของเสียอันตราย

การออกหลุมฝังกลบของเสียอันตรายจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัย เช่นการทำให้ของเสียอันตรายหมดสภาพที่เป็นอันตรายก่อนนำไปฝังกลบ สภาวะแวดล้อมของหลุมฝังกลบโดยพิจารณา การป้องกันการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน (Groundwater) น้ำผิวดิน (Subsurface ground) และน้ำท่า (Surface runoff) เป็นต้น สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบหลุมฝังกลบ คือ

1) ระบบป้องกันน้ำใต้ดินจากการปนเปื้อนน้ำชะของของเสียอันตราย (Leachate) โดยการเลือกใช้วัสดุที่ป้องกันการซึมหรือการไหลผ่านของน้ำชะของเสียอันตราย (Sealing system or Liner system) ได้แก่ ดินเหนียวอัดแน่น (Clay liner) แผ่นพลาสติก (Plastic sheet)

2) ลดปริมาณน้ำที่ปนมากับของเสียอันตราย ซึ่งจะมีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียจากหลุมฝังกลบ

3) ระบบรวบรวมน้ำชะของเสียอันตราย (Leach ate collection system) รวบรวมน้ำทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบไปบำบัดก่อนระบายสู่ธรรมชาติ

4) ระบบระบายน้ำผิวดินที่เกิดขึ้นในบริเวณหลุมฝังกลบ (Drainage system) รวบรวมน้ำผิวดินที่เกิดขึ้นและระบายออกจากบริเวณเก็บกักให้เร็วที่สุด ถ้ามีการปนเปื้อนของเสียอันตรายต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียก่อน

5) ระบบฝังกลบขั้นสุดท้าย (Final cover) เป็นวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านได้ดี เหมือนวัดสุกลบทับในแต่ละชั้น แต่ชั้นสุดท้ายต้องมีแผ่นพลาสติกคลุมปิดอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำฝนจะไม่ซึมผ่านลงไปในชั้นของของเสียอันตราย

6) การปรับปรุงบริเวณผิวบนหลุมฝังกลบ เป็นขั้นตอนการปรับแต่งหลุมฝังกลบ โดยการคลุมกับวัสดุธรรมชาติความหนาไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร แล้วปลูกหญ้าคลุมทับอีกชั้นหนึ่ง

7) ระบบระบายก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบ จะต้องต่อระบบระบายก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ

8) ระบบการติดตามและตรวจสอบสภาพแวดล้อมบริเวณหลุมฝังกลบและพื้นที่ใกล้เคียง (Environment monitoring and measurement) ได้แก่การติดตามคุณภาพน้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล การตรวจสอบคุณภาพอากาศ พืชต่างๆ และระบบนิเวศ

2.6.3.3 การปูก้นหลุมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะของเสียอันตราย

การปูก้นหลุมฝังกลบเป็นการป้องกันน้ำชะของเสียอันตรายไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน และน้ำผิวดินไหลเข้าหลุมฝังกลบ โดยทั่วไปการปูก้นหลุมฝังกลบ จะต้องพิจารณาส่วนที่สำคัญ คือ

1) ปรับพื้นให้เรียบ ปูด้วยดินเหนียวที่มีอัตราการซึมผ่านต่ำ (Native soil foundation)

2) การปูดินเหนียวเป็นชั้นป้องการการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งจะต้องมีค่าความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) $1.0x10^{-7}$ เซนติเมตรต่อวินาที ที่ความหนาไม่น้อยกว่า 1 เมตร

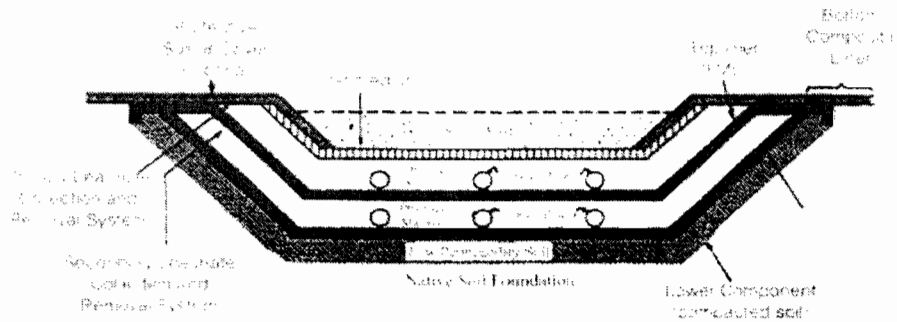
3) การปูพลาสติกสังเคราะห์ (Flexible membrane liner : FML)

4) ชั้นรวบรวมน้ำเสียจากหลุมฝังกลบ (Leachate collection layer)

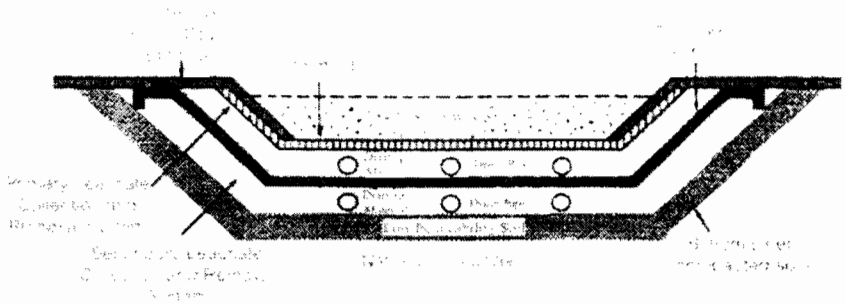
5) ชั้นกรองของเสีย (Filter medium) เพื่อกรองน้ำเสียจากหลุมฝังกลบไม่ให้อุดตันในระบบรวบรวมน้ำเสีย

การปูก้นหลุมฝังกลบ 2 ชั้น แสดงดังภาพที่ 2.5 จะทำให้มั่นใจในการป้องกันน้ำเสียจำหลุมฝังกลบ และการใช้ดินเหนียวที่มีค่าPermeability$1.0x10^{-7}$ เซนติเมตรต่อวินาที หรือ 0.03 เมตรต่อปี ซึ่งถ้าปูดินเหนียวหนา 60 เซนติเมตร น้ำจะใช้เวลาในการซึมผ่านประมาณ 20 ปี ถ้าหาดินเหนียวไม่ได้มีวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินเหนียว เช่น มอนท์มอริลล์โอไนต์ (Montmonrillonites) เบนทอไนต์ (Bentonite) หรือ Geosynthetic clay liner(GCL)

การจัดการกับขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผาขยะติดเชื้อ เทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานีมีหลายวิธีให้เลือกในการจัดการ แต่การตัดสินใจในการดำเนินการจำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจดำเนินการ การวางแผนการดำเนินการ เช่น ปริมาณขี้เถ้าที่ได้จากการเผา สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของขี้เถ้า



SCHEMATIC DIAGRAM OF A COMPOSITE DOUBLE LINER SYSTEM FOR A LANDFILL



SCHEMATIC DIAGRAM OF A HDPE DOUBLE LINER
SYSTEM AND AN EVA SYNTHETIC CLAY LINER FOR A LANDFILL

ภาพที่ 2.5 การปูก้นหลุมฝังกลบ Secure Landfill (World Bank, 1989 ; อ้างอิงจาก ; ธเรศ ศรีสถิตย์, 2553

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ศึกษาปริมาณและสมบัติของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ เทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ในเดือน ธันวาคม 2556 และพฤษภาคม 2557 การศึกษาจะประกอบด้วยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งเป็นข้อมูลในเชิงปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ และศึกษาสมบัติของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ วิเคราะห์ข้อมูลในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้น ดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

3.1 เป็นการเก็บข้อมูลเบื้องต้นในการเผาขยะติดเชื้อ โดยศึกษาข้อมูลของปริมาณขยะติดเชื้อ ที่เผา ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นขี้เถ้าที่ใช้จะเป็นขี้เถ้าหนักหรือขี้เถ้าจากก้นเตาเท่านั้น เนื่องจากการเผาขยะติดเชื้อขี้เถ้าที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นขี้เถ้าหนักประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ของขี้เถ้าทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ)

3.2 ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล เดือนธันวาคม 2556 จำนวน 3 รอบของการเผาขยะติดเชื้อ คือ

รอบการเผาที่ 1 ระหว่างวันที่ 4-11 ธันวาคม 2556

รอบการเผาที่ 2 ระหว่างวันที่ 15-16 ธันวาคม 2556

รอบการเผาที่ 3 ระหว่างวันที่ 21-22 ธันวาคม 2556

การตวงปริมาตรขี้เถ้าใช้ถังพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร โดยบรรจุขี้เถ้าให้เต็มถังแล้วกระแทกถังให้ขี้เถ้าแน่น บันทึกข้อมูล คำนวณปริมาตร

3.3 ชั่งน้ำหนักของขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าเตาเผา ชั่งน้ำหนักและตวงปริมาตรของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ

คำนวณหาอัตราส่วนของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อโดยใช้สูตร ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{ร้อยละของขี้เถ้าที่เกิดขึ้น} = \frac{\text{น้ำหนักของขี้เถ้าที่เกิดขึ้น}}{\text{น้ำหนักของขยะที่ป้อนเข้าเตาเผาขยะติดเชื้อ}} \times 100 \qquad (3.1)$$

และคำนวณหาความหนาแน่นของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อโดยใช้สูตร ดังสมการที่ (3.2)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.2)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

m คือ น้ำหนักของขี้เถ้า (kg)

V คือ ปริมาตรของขี้เถ้า (m^3)

3.2 การศึกษาปริมาณและลักษณะของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ

3.2.1 เก็บข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเตาเผา และปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ โดยในการเก็บข้อมูลขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้จะเก็บจากขี้เถ้าที่เกิดขึ้น 3 จุด คือ จุดที่ 1 ขี้เถ้าก้นเตา จุดที่ 2 ขี้เถ้าจากไซโคลน และจุดที่ 3 ขี้เถ้าจากถุงกรอง

3.2.2 ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเดือนพฤษภาคม 2557 จำนวน 3 รอบของการเผาขยะติดเชื้อ คือ

รอบการเผาที่ 1 ระหว่างวันที่ 2-9 พฤษภาคม 2557

รอบการเผาที่ 2 ระหว่างวันที่ 15-16 พฤษภาคม 2557

รอบการเผาที่ 3 ระหว่างวันที่ 21-22 พฤษภาคม 2557

เก็บตัวอย่างขี้เถ้าเพื่อวิเคราะห์สมบัติของขี้เถ้า จากจุดที่เกิดขี้เถ้าจากการเผาจำนวน 3 จุด จุดละ 3 ตัวอย่าง

3.2.3 วิเคราะห์สมบัติของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ

3.2.3.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1) นำข้อมูลปริมาณของขี้เถ้าที่ป้อนเตาเผา และปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาทั้งหมด (ขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง) มาคำนวณหาร้อยละของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ และคำนวณความหนาแน่นของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ และสัดส่วนของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วน

2) นำตัวอย่างขี้เถ้ามาร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 25.400, 12.500, 2.360, 1.180, 0.600 และ 0.425 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค

3.2.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี

1) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของขี้เถ้า หาความเป็นกรด – ด่างของขี้เถ้า โดยนำตัวอย่างขี้เถ้าแต่ละส่วนที่ผ่านตระแกรงร่อนเบอร์ 10 แล้วชั่งน้ำหนักมา 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 นาที แล้ววัดค่าความเป็นกรด ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter

2) วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า และในน้ำชะขี้เถ้า ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าและน้ำชะขี้เถ้า จะวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจำนวน 5 ธาตุ ประกอบด้วย โครเมียม (Cr)ทั้งหมด สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทั้งหมด ตะกั่ว (Pb) และเหล็ก (Fe) โดยวิเคราะห์ในตัวอย่างขี้เถ้าทั้ง 3 ส่วน คือขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง

การเตรียมตัวอย่างขี้เถ้าโดยนำขี้เถ้ามาบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 10 รวบรวมขี้เถ้าที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ใส่ในภาชนะแล้วเก็บเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า และปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า

การสกัดโลหะหนักจากขี้เถ้าด้วยวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3050B ภาคผนวก ก แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยเครื่องวิเคราะห์ Atomic absorption Spectroscopy (AAS)

การทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายขี้เถ้า โดยใช้ตัวอย่างขี้เถ้ามาเตรียมน้ำชะละลายขี้เถ้าโดยใช้วิธีของ Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP) ภาคผนวก ก แล้วนำน้ำชะละลายขี้เถ้าไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยเครื่องวิเคราะห์ Atomic absorption Spectroscopy (AAS)

3.3 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ

3.3.1 นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณขยะติดเชื้อที่เผา และปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการ เช่น สัดส่วนของการเกิดขี้เถ้าจากการเผา ปริมาณที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อในอนาคต

3.3.2 สมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ เช่น ลักษณะของขี้เถ้าที่เกิดขึ้น สัดส่วนของการเกิดขี้เถ้ากับขยะติดเชื้อ ความหนาแน่นของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ ขนาดอนุภาคของขี้เถ้า

3.3.3 สมบัติทางเคมี เช่น ค่าความเป็นกรดด่างของขี้เถ้า ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในขี้เถ้า ความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักที่ปนเปื้อนในขี้เถ้า

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการติดสินใจในการเลือกวิธีการในการจัดการกับขี้เถ้าที่เกิดขึ้น นั้นคือ ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของขี้เถ้ากับค่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

ถ้าขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเป็นของเสียอันตรายจะต้องมีการบำบัดขี้เถ้าก่อนการจัดการ เช่น การปรับเสถียรด้วยสารเคมีซึ่งเป็นการบำบัดให้ความมีพิษของขี้เถ้าลดลง

ถ้าขี้เถ้าที่เกิดขึ้นไม่เป็นของเสียอันตรายก็จะต้องมีทางเลือกการจัดการขี้เถ้าต่อไป เช่น การนำขี้เถ้าที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปถมที่ ใช้ในการก่อสร้าง การทำถนน ซึ่งจะต้องมั่นใจว่ามีความปลอดภัย หรือถ้านำไปใช้ประโยชน์แล้วไม่มั่นใจว่ามีความปลอดภัยก็ดำเนินการฝังกลบ และการดำเนินการกับขี้เถ้าที่เกิดขึ้นด้วยการฝังกลบก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4
ผลการดำเนินการ

จากการศึกษาปริมาณการเผาขยะติดเชื้อ และปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ในเดือนธันวาคม 2556 และเดือนพฤษภาคม 2557 โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเตาเผา ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผา และเก็บตัวอย่างขี้เถ้าที่ได้จากการเผาเพื่อวิเคราะห์หาความเป็นกรดด่างของขี้เถ้า ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า และปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า การหาปริมาณของขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าเตาเผา และปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ได้ดำเนินการ 2 ช่วง คือ ช่วงศึกษาข้อมูลเบื้องต้น เป็นการศึกษาปริมาณขยะติดเชื้อที่เผา กับปริมาณของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อซึ่งเป็นขี้เถ้า ส่วนขี้เถ้าก้นเตา ได้เก็บข้อมูลทั้งหมด 3 รอบของการเผา ช่วงที่ 2 ได้ศึกษาปริมาณขยะติดเชื้อที่เผา ปริมาณขี้เถ้าทั้งหมดที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งประกอบด้วยขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากถุงกรอง และเก็บตัวอย่างขี้เถ้าเพื่อศึกษาลักษณะ และสมบัติของขี้เถ้า โดยเก็บข้อมูลจำนวน 3 รอบของการเผา และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติของขี้เถ้า ได้ผลแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นการเผาขยะติดเชื้อ

การเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ได้ให้บริการในการกำจัดขยะติดเชื้อจาก 5 จังหวัด คือ จังหวัดอุบลราชธานี ยโสธร ศรีสะเกษ มุกดาหาร และอำนาจเจริญ ตลอดทั้งปี 2556 เตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบสามารถกำจัดขยะติดเชื้อได้ประมาณ 928,447 กิโลกรัมต่อปี ในการเผาขยะติดเชื้อได้ดำเนินการเผาตามปริมาณของขยะที่จัดเก็บมาได้ ดังนั้นการเผาขยะติดเชื้อจึงใช้วันและเวลาในการเผาที่แตกต่างกันขึ้นกับปริมาณขยะที่เก็บรวบรวมได้ การรวบรวมข้อมูลในช่วงที่ 1 ผลของการรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะที่ป้อนเข้าเตาเผา และปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาในเดือนธันวาคม 2556 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยต่อรอบของการเผาปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเตาเผาและขี้เถ้าก้นเตาที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อ ระหว่างวันที่ 4-22 ธันวาคม 2556

รอบในการเผา*	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)/รอบการเผา	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)	ปริมาตรขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)	ร้อยละโดยน้ำหนักของขี้เถ้าที่เกิดขึ้น	ความหนาแน่นของขี้เถ้า (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
รอบที่1	48,005.00	2,917.00	7.10	6.08	410.85
รอบที่2	11,888.00	1,006.00	2.20	8.46	457.27
รอบที่3	11,982.00	843.00	1.95	7.04	432.31
เฉลี่ย**	**5,978.54**	**429.71**	**0.99**	**7.19**	**433.48**
SD	**24.74**	**56.79**	**0.09**	**0.98**	**18.97**

หมายเหตุ * รอบที่ 1 เผา 8 วัน (เริ่มเผาจนกระทั่งเผาเสร็จ)
รอบที่ 2 เผา 2 วัน (เริ่มเผาจนกระทั่งเผาเสร็จ)
รอบที่ 3 เผา 2 วัน (เริ่มเผาจนกระทั่งเผาเสร็จ)
** ค่าเฉลี่ยต่อวันทำการเผา

จากตารางที่ 4.1 พบว่า การเผาขยะติดเชื้อในเดือนธันวาคม 2556 จำนวน 3 รอบการเผา รอบการเผาที่ 1 ปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าเตาเผาจำนวน 48,005.00 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 8 วัน ปริมาณขี้เถ้าเกิดขึ้นจำนวน 2,917.00 กิโลกรัม ปริมาตรขี้เถ้าจำนวน 7.10 ลูกบาศก์เมตร เมื่อคิดสัดส่วนของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อร้อยละของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเท่ากับ 6.08 ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่น 410.85 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รอบการเผาที่ 2 ปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าเตาเผาจำนวน 11,888.00 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 2 วัน ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจำนวน 1,006.00 กิโลกรัมปริมาตรขี้เถ้าจำนวน 2.20 ลูกบาศก์เมตร เมื่อคิดสัดส่วนของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อร้อยละของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเท่ากับ 8.46 ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่น 457.27 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รอบการเผาที่ 3 ปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าเตาเผาจำนวน 11,982.00 กิโลกรัม ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจำนวน 843.00 กิโลกรัม ปริมาตรขี้เถ้าจำนวน 1.95 ลูกบาศก์เมตร เมื่อคิดสัดส่วนของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อร้อยละของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเท่ากับ 7.04 ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่น 432.31 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในเดือนธันวาคม เผาขยะติดเชื้อจำนวน 3 รอบสามารถกำจัดขยะติดเชื้อได้ทั้งหมด 71,875.00 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา ทั้งหมด 12 วันเกิดขี้เถ้าขึ้นส่วนที่เป็นขี้เถ้าก้นเตาจำนวน 4,766.00 กรัม ปริมาตรขี้เถ้าทั้งหมดจำนวน 11.25 ลูกบาศก์เมตร คิดค่าเฉลี่ยต่อวันจากทั้ง 3 รอบในการเผา พบว่า ปริมาณขยะที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาเฉลี่ย 5,978.54 ± 24.74 กิโลกรัมต่อวัน เกิดขี้เถ้าขึ้นเฉลี่ย 429.79 ± 56.79 กิโลกรัมต่อวัน และปริมาตรขี้เถ้าเฉลี่ย 0.99 ± 0.09 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อคิดสัดส่วนของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ร้อยละของขี้เถ้าก้นเตาที่เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 7.19 และขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่น 433.48 ± 18.97 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2 การศึกษาปริมาณและลักษณะของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ

4.2.1 ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ การเก็บข้อมูลน้ำหนักของขยะที่ป้อนเข้าเตาเผา น้ำหนักและปริมาตรขี้เถ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งขี้เถ้าที่เก็บข้อมูลเป็นขี้เถ้าเกิดจากการเผาจะ 3 จุด คือ ขี้เถ้าจากก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง โดยในการเก็บข้อมูลของขี้เถ้าจากก้นเตาสามารถเก็บข้อมูลได้ทุกวัน ส่วนขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง จะเก็บข้อมูลได้เมื่อหยุดเตาเผา หรือครบรอบในการเผา ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลในเดือนพฤษภาคม 2557 แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยต่อรอบของการเผาของปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเตาเผา และขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อ ระหว่างวันที่ 2-21 พฤษภาคม 2557

รอบของการเผา*	ปริมาณขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าเตาเผา (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)			น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ปริมาตรขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรรวม (ลูกบาศก์เมตร)	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง		
รอบที่ 1	31,799.80	2,246.00	37.10	16.40	2,299.00	5.18	0.35	0.24	5.77	398.38
รอบที่ 2	10,241.30	713.00	21.00	5.00	739.00	1.81	0.13	0.07	2.01	367.66
รอบที่ 3	10,902.30	902.00	32.00	6.00	940.00	2.11	0.15	0.07	2.33	403.43
รวม	**52,943.40**	**3,861.00**	**90.10**	**27.40**	**3,978.50**	**9.10**	**0.63**	**0.38**	**10.11**	**1,169.49**
เฉลี่ย**	**5,038.21**	**376.12**	**10.60**	**2.61**	**389.33**	**0.90**	**0.06**	**0.03**	**1.00**	**389.83**
SD	**375.37**	**54.91**	**4.37**	**0.28**	**59.45**	**0.13**	**0.01**	**0.00**	**0.14**	**64.46**

หมายเหตุ *รอบที่ 1 เผา 7 วัน (เริ่มเผาจนกระทั่งเผาเสร็จ)

รอบที่ 2 เผา 2 วัน (เริ่มเผาจนกระทั่งเผาเสร็จ)

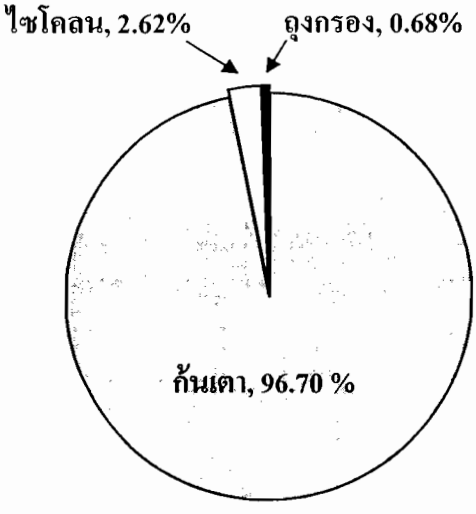
รอบที่ 3 เผา 2 วัน (เริ่มเผาจนกระทั่งเผาเสร็จ)

** ค่าเฉลี่ยต่อวัน

จากตารางที่ 4.2 การเผาขยะติดเชื้อในเดือนพฤษภาคม 2557 จำนวน 3 รอบการเผา โดยรอบการเผาที่ 1 เผาขยะติดเชื้อทั้งหมด 31,799.80 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 7 วัน ในการเผาขยะติดเชื้อเกิดขี้เถ้าจำนวน 2,299.50 กิโลกรัม ปริมาตรขี้เถ้า 5.77 ลูกบาศก์เมตร ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 7.23 และขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นเท่ากับ 398.38 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รอบการเผาที่ 2 เผาขยะติดเชื้อทั้งหมด 10,241.30 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 2 วัน ในการเผาขยะติดเชื้อเกิดขี้เถ้าจำนวน 739.00 กิโลกรัม ปริมาตรขี้เถ้า 2.01 ลูกบาศก์เมตร ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 7.22 และขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นเท่ากับ 367.66 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รอบการเผาที่ 3 เผาขยะติดเชื้อทั้งหมด 10,902.30 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 2 วัน ในการเผาขยะติดเชื้อเกิดขี้เถ้าจำนวน 940.00 กิโลกรัม ปริมาตรขี้เถ้า 2.33 ลูกบาศก์เมตร ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 8.62 และขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นเท่ากับ 403.43 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การเผาขยะติดเชื้อในเดือนพฤษภาคม 2557 จำนวน 3 รอบในการเผา พบว่า เผาขยะติดเชื้อปริมาณทั้งหมด 52,943.40 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 11 วัน ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นขี้เถ้าจาก 3 ส่วนคือ ขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง ซึ่งจำนวนขี้เถ้าทั้งหมด 3,978.50 กิโลกรัม ปริมาตรขี้เถ้ารวมทั้งหมด 10.11 ลูกบาศก์เมตร เมื่อคิดค่าเฉลี่ยทั้ง 3 รอบการเผา พบว่าขยะติดเชื้อที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาเฉลี่ย 5,038.21 ± 375.37 กิโลกรัมต่อวัน เกิดขี้เถ้าขึ้นเฉลี่ย 389.33 ± 59.45 กิโลกรัมต่อวัน และปริมาตรขี้เถ้าเฉลี่ย 1.00 ± 0.14 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อคิดสัดส่วนของขี้เถ้าทั้งหมดที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อร้อยละของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเท่ากับ 7.69 ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่น 389.83 ± 64.46 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลของขี้เถ้าทั้งหมด ประกอบด้วยขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง พบว่า ปริมาณขี้เถ้าที่มีสัดส่วนมากที่สุด คือ ขี้เถ้าจากก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงรอง ตามลำดับ โดยปริมาณขี้เถ้าจากก้นเตาคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เท่ากับ 96.70 ปริมาณขี้เถ้าจากไซโคลนคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2.62 และปริมาณขี้เถ้าจากถุงรองคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เท่ากับ 0.68 ปริมาณสัดส่วนของขี้เถ้าที่เกิดจากส่วนต่างๆ ของเตาเผา แสดงดังภาพที่ 4.1



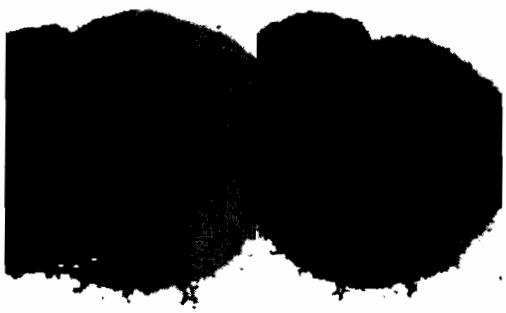
ภาพที่ 4.1 ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

จากการเก็บข้อมูลของปริมาณขี้เถ้าที่เกิดจากเผาขยะติดเชื้อระหว่างเก็บข้อมูลขี้เถ้าเฉพาะขี้เถ้าจากก้นเตา และข้อมูลการเก็บขี้เถ้าจากทั้งสามส่วนพบว่า ร้อยละของขี้เถ้าก้นเตาที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนมากที่สุดและมีนัยสำคัญ

4.2.2 ลักษณะของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ

ขี้เถ้าที่ได้จากจากการเผาขยะติดเชื้อของโรงเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ขี้เถ้าก้นเตาจะมีลักษณะหยาบขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 12.50 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก 51.99 ซึ่งจากการศึกษาของพัชรินทร์ (2002) พบว่าอนุภาคของขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อจะมีขนาดอนุภาคมากกว่า 9.5 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 58.39 และขี้เถ้าก้นเตาประกอบด้วยแก้วที่หลอมแล้ว เข็มฉีดยา กระป๋อง และอื่นๆ ส่วนขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรองจะละเอียดและมีสีดำ ซึ่งลักษณะขี้เถ้าแสดงดังรูปที่ 4.2 - 4.4 และการศึกษาขนาดอนุภาคของขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อทั้งสามส่วน คือขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าถุงกรอง โดยนำขี้เถ้ามาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ ขนาดอนุภาคของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อข้อมูลแสดงดัง ตารางที่ 4.3

ภาพที่ 4.2 ลักษณะของขี้เถ้าก้นเตา



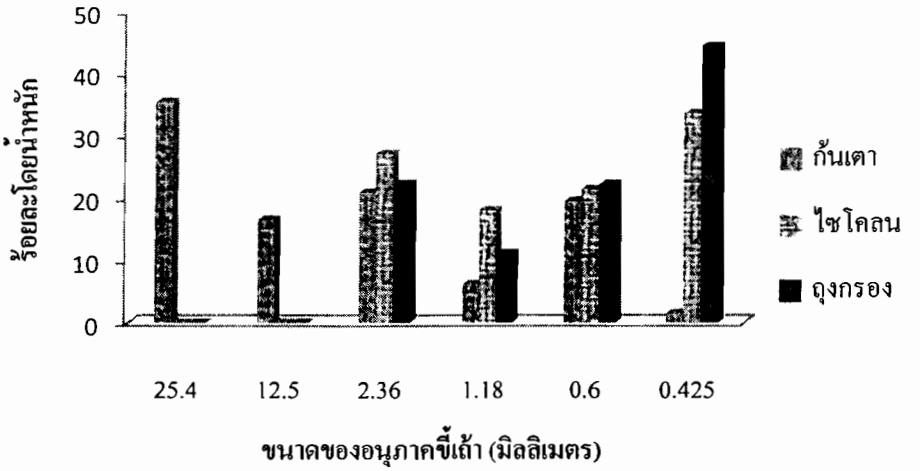
ภาพที่ 4.3 ลักษณะของขี้เถ้าไซโคลน

ภาพที่ 4.4 ลักษณะของขี้เถ้าจากถุงกรอง

ตารางที่ 4.3 ขนาดอนุภาคของขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ขนาด (มิลลิเมตร)	องค์ประกอบขี้เถ้า (กิโลกรัม)			องค์ประกอบขี้เถ้า (ร้อยละ)		
	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง
25.400	2.58	0.00	0.00	35.32	0.00	0.00
12.500	1.21	0.00	0.00	16.53	0.00	0.00
2.360	1.53	0.53	0.30	20.92	27.06	22.22
1.180	0.45	0.35	0.15	6.17	18.04	11.11
0.600	1.43	0.42	0.30	19.55	21.39	22.22
0.425	0.11	0.65	0.60	1.51	33.51	44.44
รวม	**7.29**	**1.94**	**1.35**	**100.00**	**100.00**	**100.00**

จากตารางที่ 4.3 พบว่าขนาดของอนุภาค ขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ประกอบด้วยขี้เถ้าจากก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง ลักษณะของขี้เถ้า ขี้เถ้าจากก้นเตาจะมีขนาดอนุภาคของขี้เถ้ากระจายตัวโดยขนาดอนุภาคที่ใหญ่จะมีขนาดเกิน 25.40 มิลลิเมตรคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก 35.32 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.360 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 20.92 โดยน้ำหนัก และขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.600 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.55 โดยน้ำหนัก ส่วนขี้เถ้าจากไซโคลนและถุงกรองอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 0.425 มิลลิเมตร โดยเฉพาะขี้เถ้าจากถุงกรองคิดเป็นร้อยละ 44.44 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคผลแสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ขนาดอนุภาคของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

4.3 สมบัติทางเคมีของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ

4.3.1 ความเป็นกรด ด่าง ของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ ขี้เถ้าทั้งสามองค์ประกอบ คือ ขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง จะมีค่าความเป็นกรด ด่างที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และค่าความเป็นกรด ด่าง เป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มที่ขี้เถ้าจะสามารถกักโลหะหนักไว้กับขี้เถ้าหรือความเสถียรของโลหะหนักในขี้เถ้า เนื่องจากค่าความเป็นกรด ด่างของขี้เถ้าส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก (Tan. et al. 1997) ข้อมูลค่า pH ของขี้เถ้าแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด ด่าง ของขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ

ชนิดของขี้เถ้า	pH
ก้นเตา	10.93 ± 0.40
ไซโคลน	6.46 ± 0.01
ถุงกรอง	1.40 ± 0.16

จากตารางที่ 4.4 พบว่าขี้เถ้าก้นเตาจะมีค่าความเป็นด่าง โดยมีค่า pH เท่ากับ 10.93 ± 0.40 ขี้เถ้าจากไซโคลนมีค่า pH เท่ากับ 6.46 ± 0.01 ซึ่งมีความเป็นกรดเล็กน้อย ส่วนขี้เถ้าจากถุงกรองมีค่าความเป็นกรดสูง คือมีค่า pH เท่ากับ 1.40 ± 0.16

4.3.2 ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าที่สุ่มมาจากทั้งสามจุด คือขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าไซโคลน และขี้เถ้าถุงกรอง โลหะหนักที่วิเคราะห์หาปริมาณในขี้เถ้า ซึ่งประกอบด้วย เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) โครเมียมทั้งหมด (Cr) และแคดเมียม (Cd) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง ที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	รวม*
เหล็ก (Fe)	26,769.731±0.046	22,760.100±0.047	65,301.202±0.071	26,944.29
สังกะสี (Zn)	439.642±0.011	18,619.885±0.006	2,774.311±0.041	867.44
ตะกั่ว (Pb)	236.078±0.028	2,308.905±0.042	4,787.655±0.034	314.37
โครเมียม (Cr)	353.937±0.006	1,346.142±0.008	3,799.356±0.015	400.14
แคดเมียม (Cd)	3.338±0.004	71.367±0.003	14.324±0.006	4.95

หมายเหตุ * ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าที่คำนวณจากน้ำหนักของขี้เถ้าทั้งหมด

จากตารางที่ 4.5 ได้แสดงถึงปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าที่ได้จากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ ประกอบด้วยขี้เถ้าจากก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรองและทำการวิเคราะห์โลหะหนักจากขี้เถ้าทั้ง 3 ส่วน พบว่า เหล็ก (Fe) ในขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 26,769.731 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 22,760.100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 65,301.202 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสี (Zn) ในขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 439.642 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 18,619.885 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 2,774.311 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว (Pb) ในขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 236.078 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 2,308.905 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 4,787.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โครเมียมทั้งหมด (Cr) ในขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 353.937 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 1,346.142 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม และขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 3,799.356 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม (Cd) ในขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 3.338 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 71.367 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 14.324 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อคำนวณปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้ารวมทั้งหมด พบว่า เหล็ก 26,944.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสี (Zn) 867.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว (Pb) 314.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โครเมียมทั้งหมด (Cr) 400.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียม (Cd) 4.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นำปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม แสดงดังภาพที่ 4.6

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า พบว่า

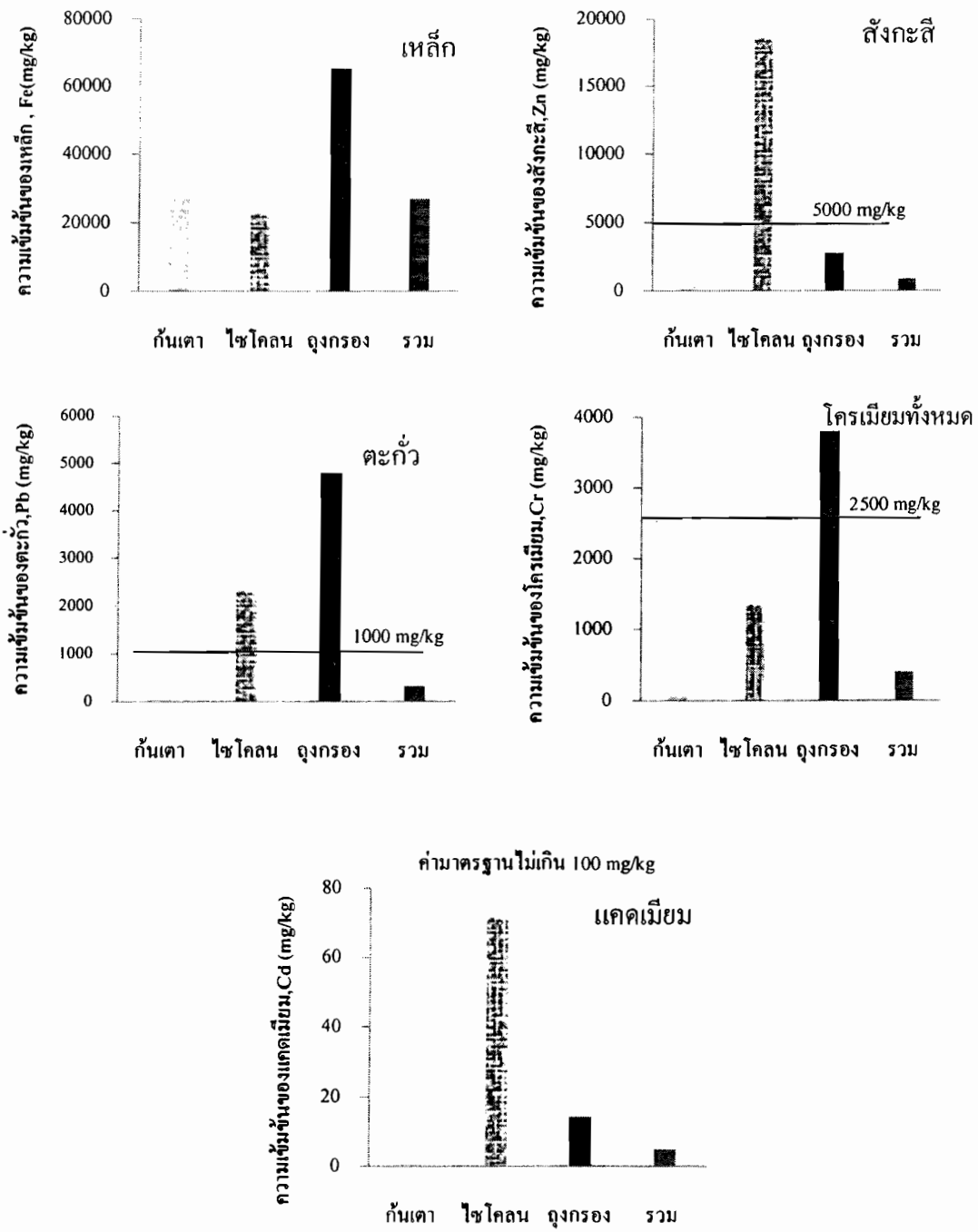
ขี้เถ้าจากก้นเตามีปริมาณโลหะเหล็กสูงมากเนื่องจากขยะติดเชื้อ จะประกอบด้วยเข็มฉีดยาซึ่งมีปริมาณมากเป็นขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ แต่ปริมาณเหล็กในขี้เถ้าไม่ได้กำหนดปริมาณที่เป็นมาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมในขี้เถ้าก้นเตามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ขี้เถ้าจากไซโคลนพบปริมาณสังกะสี และตะกั่วมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนขี้เถ้าจากถุงกรองปริมาณตะกั่ว และโครเมียมมีค่าเกินค่ามาตาฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม แต่เมื่อพิจารณาจากจำนวนขี้เถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นพบว่า ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตาฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ดังนั้นขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวาริน ชำราบ จังหวัดอุบลราชธานีไม่ใช่ของเสียอันตราย

ขี้เถ้าจากก้นเตามีปริมาณเหล็กสูง ขยะติดเชื้อจะมีเข็มฉีดยาเป็นองค์ประกอบและมีปริมาณมากและเป็นส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้อีก จึงทำให้ปริมาณเหล็กในขี้เถ้าก้นเตาสูง และขี้เถ้าก้นเตาจะพบปริมาณเหล็กสูงร้อยละโดยน้ำหนักประมาณ 53 (Calvin, 1993) ปริมาณเหล็กในขี้เถ้าก้นเตาจากการเผาขยะติดเชื้อประมาณ 314.121 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สมรัฐ เกิดสุวรรณ, 2554) และ 387,232.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พัชรินทร์ ราโช, 2002) ส่วนปริมาณสังกะสี ตะกั่ว โครเมียมทั้งหมด และแคดเมียมจะพบในปริมาณน้อย จากการศึกษาขี้เถ้าก้นเตาจากการเผาขยะติดเชื้อในไต้หวันพบความปริมาณของโลหะโครเมียม สังกะสี และแคดเมียมในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะปริมาณโครเมียมในขยะติดเชื้อจะมีปริมาณสูง เนื่องจากขยะติดเชื้อประกอบด้วยเข็มฉีดยา กระบอกฉีดยา ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะมีปริมาณโครเมียมสูงสูง (Kuo. et al., 1999)

โลหะสังกะสี ตะกั่ว โครเมียมทั้งหมด และแคดเมียมจะพบในปริมาณสูงในขี้เถ้าที่จากอุปกรณ์ดักฝุ่น โดยในขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดังฝุ่นแบบสคับเบอร์ วอร์เตอร์ พบปริมาณสังกะสี ตะกั่ว

โครเมียม และแคดเมียมปนเปื้อนในขี้เถ้าคิดเป็นร้อยละ 76 82 62 และ 59 โดยน้ำหนักตามลำดับ (Calvin, 1993) เนื่องจากโลหะเหล่านี้สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้องเผาขยะติดเชื้อ

นอกจากนี้การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าเบาจากเตาเผาขยะอันตราย ของเมืองเมเดลลิน โคบัมเบีย พบปริมาณของ สังกระสี เหล็ก และตะกั่ว เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนโครเมียมและแคดเมียมมีปริมาณ 10 – 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Cobo, et al., 2009)



หมายเหตุ เส้นที่ขีดตามแนวนอนคือค่ามาตรฐาน

ภาพที่ 4.6 ความเข้มข้นของโลหะหนัก เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมในขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อ เทียบกับความเข้มข้นมาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

4.3.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า

ผลจากการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า ซึ่งประกอบด้วยโลหะหนักเหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) โครเมียมทั้งหมด (Cr) และแคดเมียม (Cd) แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า(มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	รวม*
เหล็ก (Fe)	0.313±0.004	0.396±0.011	333.489±0.086	2.61
สังกะสี (Zn)	0.286±0.006	1,124.805±0.005	29.362±0.011	25.95
ตะกั่ว (Pb)	3.374±0.038	6.843±0.025	3.811±0.055	3.46
โครเมียม (Cr)	1.144±0.010	0.250±0.008	6.748±0.024	1.16
แคดเมียม (Cd)	0.059±0.005	3.322±0.003	0.402±0.008	0.14

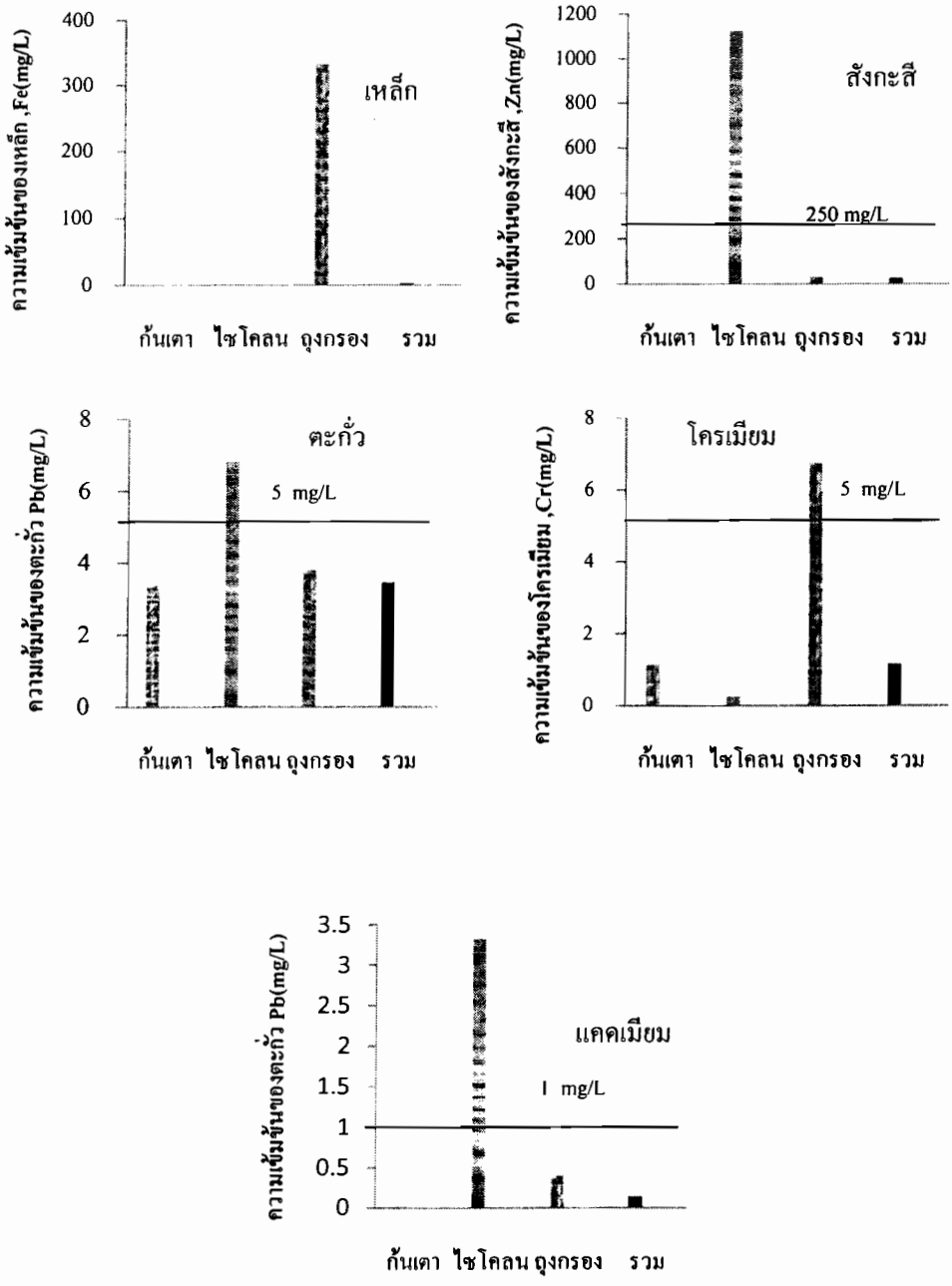
หมายเหตุ * ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าที่คำนวณจากน้ำหนักของขี้เถ้าทั้งหมด

จากตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณเหล็ก (Fe) ในน้ำชะขี้เถ้าจากส่วนก้นเตา มีค่าเท่ากับ 0.313 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 0.396 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 333.489 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสังกะสี (Zn) ในน้ำชะขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 0.286 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 1,124.805 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 29.362 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 3.474 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 6.843 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 3.811 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียมทั้งหมด (Cr) ในน้ำชะขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 1.144 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 0.250 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 6.748 มิลลิกรัมต่อลิตรแคดเมียม (Cd) ในน้ำชะขี้เถ้าจากก้นเตามีค่าเท่ากับ 0.059 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นไซโคลนมีค่าเท่ากับ 3.322 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำชะขี้เถ้าจากอุปกรณ์ดักฝุ่นถุงกรอง มีค่าเท่ากับ 0.402 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และปริมาณโลหะที่ถูกชะออกมาจากขี้เถ้าโดยน้ำหนักทั้งหมดของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ พบปริมาณเหล็ก(Fe) 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี (Zn)

ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ พบปริมาณเหล็ก(Fe) 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี (Zn) 25.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกั่ว (Pb) 3.46 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียมทั้งหมด (Cr) 1.16 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียม (Cd) 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม พบว่า ขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี ไม่ใช่ของเสียอันตราย แสดงดังภาพที่ 4.7

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า พบว่า

ขี้เถ้าจากก้นเตามีประมาณโลหะที่สามารถถูกชะออกจากขี้เถ้า ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกากของกระทรวงอุตสาหกรรม ขี้เถ้าจากไซโคลนมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะ สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมที่ถูกชะออกจากขี้เถ้าในระดับความเข้มข้นที่สูงเกิดค่ามาตรฐานของเสียอันตราย ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม และขี้เถ้าจากถุงกรองมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่ว และโครเมียมที่ถูกชะจากขี้เถ้าอยู่ในระดับสูงเกิดค่าค่าเกิดค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เนื่องจากขี้เถ้าก้นเตามีค่า pH สูงกว่าขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง จึงทำให้ความสามารถในการชะละโลหะในขี้เถ้าจากไซโคลน และถุงกรองมีปริมาณมากกว่า ค่าความเป็นกรดจะมีผลต่อความสามารถในการชะละลายของโลหะ สภาวะที่มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นความสามารถในการชะละลายของโลหะจะสูงโดยเฉพาะ แคดเมียม สังกะสี ยกเว้นตะกั่ว(Tan et al, 1997) หรือขี้เถ้าจากก้นเตามีค่า pH สูง จึงทำให้โลหะถูกชะละลายออกมาน้อย(Williams, 1994) และค่า pH มีผลต่อการชะละลายของโลหะในขี้เถ้าเบาจากอุปกรณ์ (Electrostatic precipitator : EPS) คือที่สภาวะกรดหรือ pH ต่ำ แคดเมียม สังกะสี และทองแดงสามารถชะละลายได้ดี แต่ในธรรมชาติโลหะเหล่านี้ไม่มีการปลดปล่อยหรือถูกชะละลาย (Chiang et al., 2002)



หมายเหตุ เส้นที่ขีดตามแนวนอนคือค่ามาตรฐาน

ภาพที่ 4.7 ความเข้มข้นของโลหะหนัก เหล็ก สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียมในน้ำชะขี้เถ้าจากเตาเผาขยะติดเชื้อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

4.4 แนวทางในการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ

จากข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี และปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผา พบว่า

4.4.1 สมบัติของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ

จากการศึกษาสมบัติของขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อ ค่า pH เฉลี่ยของขี้เถ้าจากก้นเตาจะมากกว่าขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง ซึ่งความเป็นด่างของขี้เถ้าจะใกล้เคียงกับธรรมชาติ แต่ถ้าความเป็นกรดในธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะที่ถูกชะละลายจะเพิ่มขึ้นด้วย ยกเว้นตะกั่ว (Tan,L.C., 1997) และค่า pH เป็นตัวแปรสำคัญในการเคลื่อนย้ายโลหะหนัก และในขี้เถ้าส่วนต่างๆ จะมีสมบัติของ Alkalinity และ buffer capacity ของคาร์บอเนต ซึ่งสามารถตรึงโลหะหนักบางชนิดไว้ในขี้เถ้าได้ (ภาวิณี ชัยประเสริฐ และคณะ, 2541)

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า และปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า พบว่า ขี้เถ้าจากก้นเตามีปริมาณโลหะหนักหนักต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าก็มีความความเข้มข้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม จึงถือได้ว่าขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นขี้เถ้าก้นเตาไม่ใช่ของเสียอันตราย ขี้เถ้าจากไซโคลนมีปริมาณของสังกะสีและตะกั่วสูงเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนน้ำชะขี้เถ้ามีประมาณความเข้มข้นของตะกั่ว และแคดเมียมสูงเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม จึงถือได้ว่าขี้เถ้าจากไซโคลนเป็นของเสียอันตราย ขี้เถ้าจากถุงกรองมีปริมาณตะกั่ว และโครเมียมสูงเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนน้ำชะขี้เถ้าจากถุงกรองจะมีปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม และแคดเมียมสูงเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม จึงถือได้ว่าขี้เถ้าจากไซโคลนเป็นของเสียอันตราย

การพิจารณาขี้เถ้าทั้งหมดที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ในกระบวนการเผาขยะติดเชื้อขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาในส่วนที่เป็นขี้เถ้าก้นเตา จะมีปริมาณสัดส่วนร้อยละ โดยน้ำหนักเท่ากับ 96.7 ขี้เถ้าจากไซโคลนซึ่งเป็นอุปกรณ์ดักฝุ่นคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ โดยน้ำหนักเท่ากับ 2.62 และขี้เถ้าจากถุงกรองเป็นส่วนที่เป็นขี้เถ้าละเอียดมีสัดส่วนการเกิดขึ้นร้อยละ โดยน้ำหนักเท่ากับ 0.68 และปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า และปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า พบว่า ขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อไม่ใช่ของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี มีความหนาแน่นเฉลี่ย 371.64 ± 23.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.4.2 ข้อเสนอแนะในการจัดการขี้เถ้าจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อประกอบด้วย 3 ส่วน คือขี้เถ้าก้นเตาซึ่งไม่ใช่ของเสียอันตราย ขี้เถ้าจากไซโคลนซึ่งเป็นของเสียอันตาย ขี้เถ้าจากถุงกรองเป็นของเสียอันตราย และเมื่อพิจารณาขี้เถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นพบว่าขี้เถ้าทั้งหมดไม่ใช่ของเสียอันตราย ขี้เถ้าลอยคือขี้เถ้าจากไซโคลนและขี้เถ้าจากถุงกรองจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก และทำให้ขี้เถ้าเหล่านี้เป็นของเสียอันตราย

4.4.2.1 กรณีที่ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเป็นของเสียอันตราย การจัดการขี้เถ้าต้องดำเนินการบำบัดก่อนซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการบำบัดของเสียอันตรายมีดังนี้ (Andac. et al., 1998)

1) การบำบัดโดยการหลอม (Melting treatment) เป็นวิธีที่ให้ความร้อนสูงกับขี้เถ้าเพื่อให้ขี้เถ้าเกิดการหลอมละลายรวมกัน ซึ่งเป็นการกักโลหะหนักไว้แต่วิธีการนี้จะทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศขึ้น และมีค่าใช้จ่ายสูงในการจัดการ

2) การบำบัดด้วยสารเคมี (Chemical stabilization) เป็นการเติมสารเคมีเพื่อให้องค์ประกอบในขี้เถ้าทำปฏิกิริยากับสารเคมีและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรในขี้เถ้า

3) การทำให้เป็นก้อนแข็ง (Cement Solidification) เป็นการผสมขี้เถ้ากับซีเมนต์แล้วทำให้เป็นก้อนเพื่อเป็นกักสารอันตรายไว้ในก้อนซีเมนต์ วิธีการนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ

4) การบำบัดด้วยการสกัด (Extraction) เป็นวิธีการสกัดเอาสารที่เป็นพิษออกจากขี้เถ้า โดยนำสารที่สกัดได้ไปบำบัดอีกครั้งหนึ่ง วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายสูง และจัดการกับขี้เถ้าในปริมาณมากไม่ได้

การเผาขี้เถ้าที่อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้ขี้เถ้ากลายเป็นผนึก (Wang. et al., 1997 และ Chang et al., 2010) เป็นวิธีการกักโลหะหนักไว้ในผนึก การเผาขี้เถ้าลอยหรือขี้เถ้าเบามาบดแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงระดับต่างๆจะทำให้โลหะ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง โครเมียม และสังกะสี ระเหยกลายเป็นไอได้ประมาณร้อยละ 56-64 , 43-49 , 38-43 , 30-40 และ 14-35 ตามลำดับ (Chang., 2008) ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถลดการปลดปล่อยโลหะจากขี้เถ้า และสามารถนำขี้เถ้าไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ค่าใช้จ่ายสูง และการใช้ Supercritical water ในการบำบัดซึ่งวิธีนี้จะทำให้โลหะอยู่ในรูปของ

สารประกอบอินทรีย์ และลดความสมารถในการปลดปล่อยโลหะจากขี้เถ้าเบาสู่ธรรมชาติได้ (Da Bo. et.al., 2008)

4.4.2.2 กรณีที่ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นไม่ใช่ของเสียอันตราย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขี้เถ้าจากก้นเตาในการจัดการขี้เถ้าส่วนใหญ่มีนำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ การนำขี้เถ้าในการก่อสร้าง เช่นในประเทศเยอรมันร้อยละ 50 ของปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นนำไปใช้ในการก่อสร้าง ทำผนังกันเสียงของถนน และทำเป็นก้อนอิฐปูถนน ส่วนในประเทศเนเธอร์แลนด์ร้อยละ 60 ของขี้เถ้านำไปใช้ในการทำถนน (Cheng et al., 2002) นอกจากการนำไปใช้ประโยชน์แล้วส่วนหนึ่งของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นถูกนำไปจัดการโดยการฝังกลบ เช่น ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะภูเก็ต จัดการโดยการฝังกลบ และใช้ในการถมที (Thanachit., 1999)

4.4.2.3 สำหรับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ของเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ควรดำเนินการ ดังนี้

1) ขี้เถ้าจากก้นเตาซึ่งไม่ใช่ของเสียอันตราย ควรจัดการโดยการ ถมที่หรือฝังกลบได้เลย

2) ขี้เถ้าลอยหรือขี้เถ้าเบา ซึ่งเป็นขี้เถ้าที่เกิดจากไซโคลนและถุงกรองซึ่งมีปริมาณร้อยละ3.3 ของปริมาณขี้เถ้าทั้งหมด ซึ่งอาจจะมีแนวทางในการจัดการดังนี้

- เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการจัดการ ควรทำการบำบัดก่อนก่อนนำไปฝังกลบ ซึ่งอาจจะใช้วิธีการผสมกับซีเมนต์แล้วหล่อแข็งเนื่องจากง่ายในการดำเนินการ ค่าใช้จ่ายน้อย โดยนำขี้เถ้าผสมกับกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 ซึ่งวัสดุที่ได้จะสามารถรับแรงอัดได้ 64.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในการบ่ม 7 วัน (วราภรณ์ กิจชัยนุกูล และคณะ, 2542)

- หรือการนำขี้เถ้าลอยทั้งหมดผสมกับขี้เถ้าก้นเตา ซึ่งปริมาณขี้เถ้าจากก้นเตามีสัดส่วนในปริมาณที่มากกว่าคือร้อยละ 96.7 และขี้เถ้าก้นเตามีค่าความเป็นด่างสูง ซึ่งจะทำให้โลหะหนักมีความเสถียรในรูปของสารประกอบออกไซด์แล้วทำการฝังกลบต่อไป และปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า และปริมาณโลหะในน้ำชะขี้เถ้าเมื่อเทียบกับน้ำหนักของขี้เถ้าทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามที่กฎหมายกำหนด

การจัดการขี้เถ้าโดยการฝังกลบจะต้องวางแผนการดำเนินการ ตั้งแต่การเตรียมพื้นทีที่รองรับขี้เถ้าที่เกิดขึ้นในอนาคตดังนี้ คือ ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อมีความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 371.64 ± 23.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยต่อวัน 389.33 ± 59.45 กิโลกรัม พื้นทีที่จะใช้ในการฝังกลบควรเป็นพื้นทีที่สามารถใช้งานในอนาคตได้ เนื่องจากขี้เถ้าเป็นของแข็งมีความหนาแน่นสูง

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาปริมาณ และสมบัติของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ เทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งให้บริการในการกำจัดขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลในจังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดใกล้เคียงรวม 5 จังหวัด คือ จังหวัดอุบลราชธานี ยโสธร ศรีสะเกษ มุกดาหาร และอำนาจเจริญในช่วงเดือนธันวาคม 2556 และเดือนพฤษภาคม 2557 โดยศึกษาปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ และวิเคราะห์สมบัติ ของขี้เถ้าว่าขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการกับขี้เถ้าต่อไป สรุปผลการศึกษาดังนี้

5.1.1 การดำเนินการเผาขยะติเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อ ของเทศบาลวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานี มีขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจาการเผาไหม้ 3 ส่วน คือ ขี้เถ้าจากก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง โดยปริมาณขี้เถ้าทั้งหมด ขี้เถ้ามีความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 371.64±23.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยองค์ประกอบส่วนที่เป็นขี้เถ้าจากก้นเตามีสัดส่วนร้อยละ 96.7 ขี้เถ้าจากไซโคลนร้อยละ 2.62 และขี้เถ้าจากถุงกรองร้อยละ 0.68

5.1.2 ลักษณะของขี้เถ้า พบว่า ขี้เถ้าก้นเตาจะมีอนุภาคขนาดที่มากกว่า 12.5 มิลลิเมตร มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก้วที่หลอม เข็มฉีดยา และกระป๋อง ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่สามารเผาไหม้ได้อีก ขี้เถ้าจากไซโคลนและขี้เถ้าจากถุงกรองจะมีอนุภาคมีสีดำ ขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน ระหว่าง 2.36 -0.425 มิลลิเมตร ส่วนขี้เถ้าจากถุงกรองจะมีอนุภาคที่น้อยกว่า 0.425 มิลลิเมตร ในปริมาณมากที่สุด

5.1.3 ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ส่วนมีค่าความเป็นกรด ด่างที่แตกต่างกัน โดยขี้เถ้าก้นเตา ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรอง จะมีค่า pH เฉลี่ย 10.93±0.40, 6.46±0.01, 1.40±0.16 ตามลำดับ

5.1.4 ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า พบว่า ปริมาณของเหล็กในขี้เถ้าทั้งสามส่วนมีปริมาณสูง แต่เหล็กไม่มีค่ามาตรฐานของเสียอันตราย ขี้เถ้าก้นเตามีปริมาณโลหะหนักสังกะสี ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ขี้เถ้าจากไซโคลนมีปริมาณของสังกะสี และตะกั่วเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม และขี้เถ้าจากถุงกรองมีปริมาณของตะกั่วและโครเมียมเกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม และเมื่อพิจารณาปริมาณ

โลหะในขี้เถ้ารวมทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

5.1.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกชะออกจากขี้เถ้า พบว่า ขี้เถ้าจากก้นเตามีความเข้มข้นของโลหะที่ถูกชะออกจากขี้เถ้าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ขี้เถ้าจากไซโคลนมีความเข้มข้นของโลหะสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม เกินค่ามาตรฐานของเสียอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนขี้เถ้าจากถุงกรองมีความเข้มข้นของโครเมียม และแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ดังนั้น ถ้าพิจารณาขี้เถ้าที่เกิดขึ้นแต่ละส่วน ขี้เถ้าจากไซโคลน และขี้เถ้าจากถุงกรองเป็นของเสียอันตราย แต่เมื่อพิจารณาปริมาณขี้เถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้อ พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมาจากขี้เถ้าจากมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

5.1.6 การจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้น สามารถดำเนินการได้ดังนี้

5.1.6.1 ขี้เถ้าจากก้นเตาซึ่งมีปริมาณร้อยละ 96.7 ของปริมาณขี้เถ้าทั้งหมดไม่ใช่ของเสียอันตราย ดังนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างได้ หรือไม่ก็ดำเนินการฝังกลบได้อย่างปลอดภัย

5.1.6.2 ขี้เถ้าจากไซโคลนและถุงกรองซึ่งมีปริมาณร้อยละ 3.3 ของของปริมาณขี้เถ้าทั้งหมดซึ่งมีสมบัติเป็นของเสียอันตราย การจัดการควรดำเนินการบำบัด โดยการผสมซีเมนต์แล้วหล่อแข็ง แล้วฝังกลบ หรือนำขี้เถ้าจากไซโคลนและถุงกรองไปผสมกับขี้เถ้าก้นเตาซึ่งมีปริมาณมากกว่าแล้วนำไปฝังกลบ เนื่องจากเมื่อนำขี้เถ้าผสมกันแล้วทำให้ขี้เถ้ารวมทั้งหมดไม่ใช่ของเสียอันตราย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาในอนาคตเกี่ยวกับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

5.2.1 ควรมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีอื่นๆ เช่นวิเคราะห์สารกลุ่ม Polychlorinated biphenyls(PCBs), Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), Polychlorinated dibenzo p-dioxins (PCDDs) (Evangelos et al., 2009 ; Martha et al., 2009) และสารอื่นในขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะติดเชื้ออย่างต่อเนื่อง เพื่อกำหนดหรือบ่งชี้ได้ว่าขี้เถ้าที่เกิดขึ้นว่าเป็นของเสียอันตรายและวางแผนในการจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้น

5.2.2 ควรมีการศึกษาการนำขี้เถ้าที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ และเพิ่มมูลค่าทางด้านเศรษฐกิจ โดยคำนึงถึงความปลอดภัย

5.2.3 การจัดการขี้เถ้าที่เกิดขึ้นโดยวิธีการฝังกลบจะต้องมีการติดตาม และป้องกันการปนเปื้อนสารอันตรายในน้ำใต้ดิน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. "ขยะติดเชื้อ", **ข้อมูลการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ.** htt://www.pcd.go.th/info_serv/wast_infection.htm. 19 สิงหาคม, 2556

ธนู ศรีนาวาวงศ์. **การพัฒนาเทคนิควิธีวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักในตัวอย่างดินเพื่อสิ่งแวดล้อมโดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer.** กรุงเทพมหานคร : กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี, 2551.

ธเรศ ศรีสถิตย์. **วิศวรรมการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ปฐมภรณ์ ตั้นสุนทรขัณฑ์. **ศักยภาพการชะละลายโลหะหนักจากกองเถ้าหนักลิกไนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

พัชรินทร์ ราโช. **การศึกษาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าก้นเตาเผาขยะติดเชื้อโรงพยาบาล ในเขตเทศบาลนครราชสีมา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2544.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2010). "ความหนาแน่นรวม" **เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร.** http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0747/bulk-density. 20 สิงหาคม, 2556.

ภาวิณี ชัยประเสริฐ และ Chih-Shin Shieh. "ผลของ Alkalinity and Buffer Capacity ต่อพฤติกรรมของแคดเมียมและตะกั่วจากเถ้าเตาเผาขยะชุมชน", **ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35.** หน้า 624-633. กรุงเทพมหานคร, 2540.

แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. **หลักการและเทคนิคเครื่องมือวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท ชวนพิมพ์ 50 จำกัด, 2552.

วราภรณ์ กิจชัยนุกูล, ศศิธร พุทธวงษ์ และภาวิณี ชัยประเสริฐ. "การนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์ในการหล่อแข็ง", **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 22(2): 79-94; 2542.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์. " ค่าความเป็นกรด ด่างของดิน", **ดิน.** http://globethailand.ipst.ac.th. 18 กันยายน, 2556

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สมรัฐ เกิดสุวรรณ. เตาเผาขยะติดเชื้อแบบประหยัดพลังงานและลดมลพิษ. **วารสาร Environmental Engineering Association of Thailand.** 1(5) : 23-30; กันยายน-ตุลาคม, 2547.

สุขสันติ์ หอพิบูลสุข และ รุ้งลาวัลย์ ราชัย. **ปฐพีกลศาสตร์.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2005.

สุภาวรรณ กาสุริยะ และคณะ. 2551. "Physical and Mechanical Properties of Sintering Clay Ceramic-Containing MSW Incineration Bottom Ash", **คลังข้อมูลวิจัย.** htt://www.nstda.or.th/thairesearch/node/21874. 20 สิงหาคม, 2556.

อุดมพร ช่วงถ่ำ และคณะ. "ความสามารถในการดูดซับโลหะบางชนิดของดินปนเปื้อนในหลุมฝังกลบ", **Environmental Engineering Journal.** 23(2): 25-35, 2009.

ALS Environmental. "Acid digestion of sediments, Sledges, and Soil EPA-Method-3050B", **Environmental testing.** http://www.caslab.com/EPA-Method-3050B. 19 August, 2013.

———. "Toxicity characteristic leaching procedure EPA-Method-1311", **Environmental testing.** http://www.caslab.com/EPA-Method-1311. 19 August, 2013.

Andac, M., Glasser, F.P. "The effect of test conditions on the leaching of stabilized WSWI-fly ash in partland cement", **Waste Manag.Res.** 18(1998): 309-319, 1998.

Calvin,R.B. **Hazardous Waste Incineration.** 2nd ed. New York: MaGraw Hill, 1993.

Chang-Jung,S., Ming-Guo.L., Sue-Huai, G.,Ya-Hui, W.,Yi-Lin, J. "Improving the mechanical Characteristics and restraining heavy metal evaporation from sintered municipal solid waste incinerator fly ash by wet milling", **Journal of Hazardous Materials.** 195(2010): 281-290, 2010.

Chiang, K., Chi, J. and Chien, M. "Heavy Metals Separation from MSW Incinerator Ash Using an Extraction and Neutralization Process", In **Enviro 2002 Convention & Exhibition and IWA 3rd World Water Congress.** Australia: Melbourne, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Da Bo.,Fu-chen Zhang.,Lijuan Zhao. "Influence of supercritical water treatment on heavy metals in medical waste incinerator fly ash", **Journal of Hazardous Materials.** 170(2009): 66-71, 2009.

Evangelos Gidarakos,.Maria Petrantonaki.,Kalliopi Anastasiadou.,Karl-Werner Schramm. "Characterization and hazardous evaluation of bottom ash produced from incierator in hospital waste", **Journal of Hazardous Materials.** 172(2009): 935-942, 2009.

Hsien-Wen Kuo, Shu-Lung Shu, Chin-Chung Wu and Jim-Shoung Lai. "Characteristic of medical waste in Taiwan. Institute of Environmental Health", **Water, Air, and Soil Pollution.** 114(1999): 413-421, 1999.

Kuen-Sheng Wang, Kung-Yuh Chiang, Jin-Kae Perng and Chang-Jung Sun. "The characteristics study on sintering of municipal solid waste incinerator ashes", **Journal of Hazardous Materials.** 59(1998): 201-210, 1998.

Martha Cobo.,Araceli Gálvez.,Juan A.Conesa.,Consuelo Montes de Correa. "Characterization of fly ash from a hazardous waste incierator in Medellin,Colombia", **Journal of Hazardous Materials.** 168(2009): 1223-1232, 2009.

Nkonge Njagi Annaias, Magambo K Japhet, Oloo Mayabi, Kithinji Jacob, and Ndwiga Taratisio. "Groundwater Pollution Risk from Incinerated Health-Care Waste Bottom- at a National Teaching and Referral Hospital in Kenya", **Greener Journal of Medical Sciences.** 2(6): 157-162; December, 2012.

Patcharin Racho. **A study of heavy metals bottom ash from medical waste incinerator in Nakhonratchasima municipality.** Master's thesis: Suranaree University of Technology, 2002.

Tan,L.C., Choa,V. and Tay,J.H. "The influence of pH on mobility of heavy metals from municipal solid waste incinerator fly ash", **Environmental Monitoring and Assessment.** 44(1997): 275-284, 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Thomas, A., Stipp, S. L. S. and Thomas, H. C. "Immobilization of Chromate from coal fly ash leach ate using an attenuating barrier containing zero valention", **J. Enviro.Sci. Technol.** 34(19): 4163-4168, 2000.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์โลหะหนัก

การหาความหนาแน่นรวม (Bulk density)

1 เตรียมภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง เป็นต้น

2 หาปริมาตรของภาชนะ พร้อมบันทึกปริมาตร

3 นำตัวอย่างของแข็งมาใส่ในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

4 นำค่าน้ำหนักของตัวอย่างของแข็งและปริมาตรของเมล็ดพันธุ์ที่ใส่ในภาชนะทราบปริมาตรที่แน่นอน มาคำนวณตามสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (2.4)$$

เมื่อ ρ แทน ความหนาแน่นรวม มีหน่วยเป็น kg/m^3

m แทน มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

V แทน ปริมาตร มีหน่วยเป็นลิตร (m^3)

วิธีวัดค่า pH

1 ชั่งตัวอย่างดินที่แห้งและร่อนแล้วมา 20 กรัม เทลงในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 20 หรือ 100 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้อัตราส่วนดิน: น้ำ เท่ากับ 1 : 1 ในกรณีดินร่วนและดินทราย หรืออัตราส่วน 1 : 5 ในกรณีดินเหนียว (ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้อัตราส่วน 1:5)

2 ใช้แท่งแก้วคนดินนานเวลา 30 วินาที แล้วพักทิ้งไว้ 3 นาที ทำอย่างนี้ 5 ครั้ง

3 เมื่อคนดินครบ 5 ครั้งแล้ว ตั้งทิ้งไว้จนดินในบีกเกอร์ตกตะกอน จะเห็นน้ำใสๆ อยู่บริเวณด้านบน

4 จุ่มกระดาษวัดค่า pH หรือปากกาวัดค่า pH ที่ปรับค่ามาตรฐาน ลงไปในบริเวณน้ำใสๆ อย่าจุ่มลงไปให้โดนดินด้านล่าง รอจนค่าหยุดนิ่ง แล้วอ่านค่า pH

5 เมื่อวัดค่า pH เสร็จแล้ว ใช้น้ำกลั่นล้างปากกาวัดค่า pH บริเวณส่วนที่สัมผัสกับดินให้สะอาด แล้วใช้กระดาษทิชชูซับให้แห้ง

การวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้า

การสกัดโลหะหนักจากขี้เถ้า โดยวิธีมาตรฐาน USEPA method 3050B

1. นำขี้เถ้าตัวอย่าง 1.0 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL และเตรียมบีเกอร์อีก 1 ใบ เพื่อทำ method blank

2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น (conc.HNO_3) 10 mL ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วต้มที่อุณหภูมิ 95°C ± 5 °C เป็นเวลา 10-15 นาที (ไม่ให้เดือด) ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเติม 5mL conc.HNO_3 ปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วต้มต่อไปอีก 30 นาทีระหว่างนี้ถ้าเกิดควันสีน้ำตาล ให้เติม 5mL conc.HNO_3 ทำซ้ำจนไม่มีควันสีน้ำตาล แล้วต้ม ให้ในสารบีกเกอร์เหลือประมาณ 5 mL หรือประมาณ 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. เติมน้ำกลั่น 2 mL และ 30% H_2O_2(ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) 3 mL ปิดด้วยกระจกนาฬิกาให้สนิท อุ่นจนไม่มีฟองทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (การเกิดปฏิกิริยาจะรุนแรงต้องระหวังทำการทดลองอย่างระมัดระวัง)

4. เติม 30% H_2O_2 1 mL ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ต้มที่ 95°C ± 5 °C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่งโมง หรือสารในบีกเกอร์มีประมาณประมาณ 5 mL ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5. เติมกรดไฮโดรคลอริก 10 mL ปิดด้วยกระจกนาฬิกาต้มต่ออีก 15 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. กรองด้วยด้วยกระดาษกรองใยแก้วเบอร์ 41 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL แล้ววิเคราะห์โลหะโครเมียม สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และเหล็ก ด้วย Atomic absorption Spectroscopy (AAS)

การสกัดตัวอย่างขี้เถ้าต้องทำควบคู่กับ method blank

การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า

การชะละลายโลหะหนักในขี้เถ้า ใช้วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP) USEPA method 1131 สารที่ใช้ชะละลายโลหะหนักในขี้เถ้าตามวิธี TCLP ประกอบด้วยสารสกัด 2 ชนิด คือ

สารละลายสกัดที่ 1 (Extraction fluid#1) การเตรียมโดย ใช้ glacial acetic acid 5.7 mL เติมน้ำกลั่น 500 mL เติมสารละลาย 1.0N NaOH 63.4 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร1 L จะได้สารละลาย pH 4.93±0.05

สารละลายสกัดที่ 2 (Extraction fluid#2) การเตรียมโดยเจือจาง glacial acetic acid 5.7 mL ด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร1 L จะได้สารละลาย pH 2.88±0.05

นำตัวอย่างขี้เถ้า 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 mL เติมน้ำกลั่น 96.5 mL คนโดย magnetic stirrer นาน 5 นาที วัดค่า pH ถ้าค่า pH ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 5.0 ให้สกัดด้วยสารสกัดที่ 1 แต่ถ้า pH ที่วัดได้มีค่ามากกว่า 5.0 ให้เติม 1.0 N HCl 3.5 mL คนและอุ่นที่ 50 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที วัดค่า pH ใหม่ถ้าค่าที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 5.0 ให้สกัดด้วยสารสกัดที่ 1 แต่ถ้า pH ที่วัดได้มีค่ามากกว่า 5.0 ให้ใช้สารสกัดที่ 2 เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบหมุนด้วยความเร็ว 30 ± 2 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 18 ± 2 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาโลหะโครเมียม สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และเหล็ก ด้วย Atomic absorption Spectroscopy (AAS)

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 1 ระหว่างวันที่ 4-11 ธันวาคม 2556

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า(กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)	ร้อยละของขี้เถ้า	ปริมาตรขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)
4 ธันวาคม 13	5,892.00	327.00	5.55	0.80
5 ธันวาคม 13	6,019.00	339.00	5.63	0.85
6 ธันวาคม 13	6,110.00	363.00	5.94	0.90
7 ธันวาคม13	6,252.00	370.00	5.92	0.90
8 ธันวาคม13	5,888.00	330.00	5.60	0.80
9 ธันวาคม13	6,198.00	373.00	6.02	0.90
10ธันวาคม13	5,604.00	361.00	6.44	0.95
11ธันวาคม13	6,042.00	454.00	7.51	1.00
รวม	**48,005.00**	**2,917.00**	**48.62**	**7.10**
เฉลี่ยต่อวัน	**6,000.63**	**364.63**	**6.08**	**0.89**
SD	**205.63**	**17.91**	**0.29**	**0.05**

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 2 ระหว่างวันที่ 15-16 ธันวาคม 2556

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)	ร้อยละของขี้เถ้า	ปริมาตรขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)
15ธันวาคม13	5,860.00	415.00	7.08	1.00
16ธันวาคม13	6,028.00	591.00	9.80	1.20
รวม	**11,888.00**	**1,006.00**	**8.46**	**2.20**
เฉลี่ยต่อวัน	**5,944.00**	**503.00**	**8.46**	**1.10**
SD	**84.00**	**88.00**	**1.36**	**0.10**

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 3 ระหว่างวันที่ 21-22 ธันวาคม 2556

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)	ร้อยละของขี้เถ้า	ปริมาตรขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)
21ธันวาคม13	5,966.00	499.00	8.36	1.10
22ธันวาคม13	6,016.00	344.00	5.72	0.85
รวม	**11,982.00**	**843.00**	7.04	**1.95**
เฉลี่ยต่อวัน	**5,991.00**	**421.50**	7.04	**0.98**
SD	**25.00**	**77.50**	**1.32**	**0.13**

ตารางที่ ข.4 สรุปข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าจากก้นเตาที่เกิดขึ้น ระหว่างวันที่ 4-22 ธันวาคม 2556

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนักของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผา	ปริมาตรของขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
รอบการเผาที่1	48,005.00	2,917.00	48.62	7.10	410.85
รอบการเผาที่2	11,888.00	1,006.00	8.46	2.20	457.27
รอบการเผาที่3	11,982.00	843.00	7.04	1.95	432.31
รวม	**71,875.00**	**4,766.00**	**11.30**	-	-
เฉลี่ย	**5,978.54**	**429.71**	**0.99**	**7.19**	**433.48**
SD	**24.74**	**56.79**	**0.09**	**0.98**	**18.97**

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 1 ระหว่างวันที่ 2-9 พฤษภาคม 2557

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)			ปริมาตรขี้เถ้า(ลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรรวมของขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)
		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	
2 พฤษภาคม 14	2,047.60	167.00	-	-	0.37	-	-	-
3 พฤษภาคม 14	3,029.00	147.00	-	-	0.59	-	-	-
4 พฤษภาคม 14	5,729.00	354.00	-	-	1.02	-	-	-
5 พฤษภาคม 14	5,441.00	311.00	-	-	0.75	-	-	-
6 พฤษภาคม 14	5,034.20	310.00	-	-	0.75	-	-	-
7 พฤษภาคม 14	5,317.20	272.00	-	-	0.65	-	-	-
9 พฤษภาคม 14	5,201.80	379.00	-	-	1.05	-	-	-
รวม	**31,799.80**	**2,246.00**	**37.10**	**16.40**	**5.18**	**0.35**	**0.24**	**5.77**
ค่าเฉลี่ยต่อวัน	**3,974.98**	**280.75**	**4.64**	**2.05**	**0.65**	**0.04**	**0.03**	**0.72**
SD	**1,309.68**	**82.46**	**-**	**-**	**0.22**	**-**	**-**	

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 2 ระหว่างวันที่ 15-16 พฤษภาคม 2557

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)			ปริมาตรขี้เถ้า(ลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรรวมของขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)
		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	
15 พฤษภาคม 14	5,392.20	355.00	-	-	0.93	-	-	-
16 พฤษภาคม 14	4,849.10	358.00	21.00	5.00	0.88	0.13	0.07	-
รวม	**10,241.30**	**713.00**	**21.00**	**5.00**	**1.81**	**0.13**	**0.07**	**2.01**
ค่าเฉลี่ยต่อวัน	**5,120.65**	**356.50**	**10.50**	**2.50**	**0.91**	**0.07**	**0.04**	**1.01**
SD	**271.55**	**1.50**	**-**	**-**	**0.03**	**-**	**-**	

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้นวงรอบที่ 3 ระหว่างวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2557

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)			ปริมาตรขี้เถ้า(ลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรรวมของขี้เถ้า (ลูกบาศก์เมตร)
		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	
20 พฤษภาคม 14	5,128.20	400.00	-	-	1.04	-	-	-
21 พฤษภาคม 14	5,774.10	502.00	32.00	6.00	1.07	0.15	0.07	-
รวม	**10,902.30**	**902.00**	**32.00**	**6.00**	**2.11**	**0.15**	**0.07**	**2.33**
ค่าเฉลี่ยต่อวัน	**5,451.15**	**451.00**	**16.00**	**3.00**	**1.06**	**0.08**	**0.04**	**1.17**
SD	**322.95**	**51.00**	**-**	**-**	**0.02**	**-**	**-**	

ตารางที่ ข.8 สรุปข้อมูลการเผาขยะติดเชื้อ และขี้เถ้าทั้งหมดจากการเผาที่เกิดขึ้น ระหว่างวันที่ 2-21 พฤษภาคม 2557

วัน/เดือน/ปี	ปริมาณขยะป้อนเข้า (กิโลกรัม)	น้ำหนักขี้เถ้า (กิโลกรัม)			น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	ร้อยละของขี้เถ้า			ปริมาตรขี้เถ้า(ลูกบาศก์เมตร)			ปริมาตรรวม (ลูกบาศก์เมตร)	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง		ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง	ก้นเตา	ไซโคลน	ถุงกรอง		
รอบการเผาที่1	3,974.98	280.75	4.64	2.05	287.44	97.67	1.61	0.71	0.76	0.04	0.03	0.83	344.27
รอบการเผาที่2	5,120.65	356.50	10.50	2.50	369.50	96.48	2.84	0.68	0.90	0.06	0.04	1.00	368.42
รอบการเผาที่3	5,451.15	451.00	16.00	3.00	470.00	95.96	3.40	0.64	1.05	0.08	0.04	1.17	402.23
รวม	**14,546.78**	**1,088.25**	**31.14**	**7.55**	1126.94	**290.11**	**7.86**	**2.03**	**2.72**	**0.18**	**0.10**	**3.01**	**1114.93**
เฉลี่ย	**4,848.93**	**362.75**	**10.38**	**2.52**	**375.65**	**96.70**	**2.62**	**0.68**	**0.91**	**0.06**	**0.03**	**1.00**	**371.64**
SD	**634.73**	**69.64**	**4.64**	**0.39**	**74.66**	**0.72**	**0.75**	**0.03**	**.12**	**0.01**	**0.00**	**0.14**	**23.77**

ตารางที่ ข.9 ค่า pH ของขี้เถ้าที่เก็บตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	pH
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	11.5
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	6.46
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	1.18

ตารางที่ ข.10 น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	0.98	0.96	1.00	0.98
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	1.01	0.94	0.98	0.98
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	0.98	1.01	1.01	1.00

ตารางที่ ข.11 น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	5.02	5.05	5.01	5.03
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	5.07	5.07	5.02	5.05
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	5.07	5.06	5.05	5.06

ตารางที่ ข.12 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) สำหรับตัวอย่าง วันที่ 9 พฤษภาคม 2557

กราฟมาตรฐาน						
สาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				λmax (นาโนเมตร)	R^2
Fe	2.0	4.0	6.0	8.0	284.33	0.994
Zn	0.2	0.4	0.6	0.8	213.86	0.720
Pb	2.0	4.0	6.0	8.0	283.31	0.998
Cr	2.0	4.0	6.0	8.0	257.87	0.994
Cd	0.2	0.4	0.6	0.8	228.80	0.999

ตารางที่ ข.13 ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)				
ขี้เถ้าก้นเตา	14,405.612±0.027	21,335.938±0.025	18,735.000±0.071	18,158.850±0.041
ขี้เถ้าไซโคลน	10,698.020±0.100	15,574.468±0.021	11,908.163±0.016	12,726.884±0.046
ขี้เถ้าถุงกรอง	43,112.245±0.153	41,534.653±0.135	41,163.366±0.100	41,936.755±0.129
สังกะสี (Zn)				
ขี้เถ้าก้นเตา	285.714±0.004	1,549.479±0.059	227.500±0.006	687.564±0.023
ขี้เถ้าไซโคลน	2,742.574±0.003	2,922.872±0.007	2,801.020±0.015	2,822.156±0.008
ขี้เถ้าถุงกรอง	1,698.980±0.111	1,829.208±0.096	1,678.218±0.051	1,735.468±0.086
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	627.551±0.048	651.042±0.003	625.000±0.020	634.531±0.036
ขี้เถ้าไซโคลน	6,408.416±0.017	6,188.830±0.051	5,936.224±0.051	6,177.823±0.058
ขี้เถ้าถุงกรอง	15,028.061±0.054	15,257.426±0.066	12,336.634±0.016	14,207.374±0.045
โครเมียม (Cr)				
ขี้เถ้าก้นเตา	553.163±0.005	400.510±0.003	760.000±0.017	564.558±0.008
ขี้เถ้าไซโคลน	180.693±0.016	212.766±0.007	96.939±0.007	163.466±0.010
ขี้เถ้าถุงกรอง	5,142.857±0.015	4,715.347±0.005	3,678.218±0.016	4,512.140±0.012
แคดเมียม (Cd)				
ขี้เถ้าก้นเตา	2.781±0.006	3.047±0.011	3.625±0.005	3.151±0.007
ขี้เถ้าไซโคลน	79.208±0.006	85.106±0.007	66.327±0.005	76.880±0.006
ขี้เถ้าถุงกรอง	9.158±0.007	10.817±0.013	3.985±0.007	7.987±0.009

ตารางที่ ข.14 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม. 2557

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า(มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.155±0.005	0.153±0.009	0.151±0.005	0.153±0.006
ขี้เถ้าไซโคลน	0.682±0.012	0.611±0.030	0.548±0.020	0.614±0.021
ขี้เถ้าถุงกรอง	204.600±0.079	205.400±0.522	222.200±0.046	210.733±0.216
สังกะสี (Zn)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.076±0.010	0.034±0.001	0.024±0.003	0.045±0.005
ขี้เถ้าไซโคลน	1.087±0.007	1.082±0.011	1.077±0.004	1.082±0.007
ขี้เถ้าถุงกรอง	1.095±0.009	1.082±0.003	1.083±0.005	1.087±0.006
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	8.102±0.026	9.164±0.118	9.1640±0.087	8.810±0.077
ขี้เถ้าไซโคลน	0.435±0.063	0.434±0.009	0.421±0.072	0.430±0.048
ขี้เถ้าถุงกรอง	6.457±0.083	6.724±0.037	6.518±0.226	6566±0.115
โครเมียม (Cr)				
ขี้เถ้าก้นเตา	2.296±0.017	2.028±0.018	3.062±0.011	2.462±0.015
ขี้เถ้าไซโคลน	0.255±0.011	0.257±0.010	0.234±0.016	0.249±0.012
ขี้เถ้าถุงกรอง	9.940±0.029	7.650±0.069	7.550±0.072	8.380±0.057
แคดเมียม (Cd)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.041±0.005	0.047±0.008	0.044±0.012	0.044±0.008
ขี้เถ้าไซโคลน	5.500±0.010	3.54±0.011	3.86±0.002	3.633±0.008
ขี้เถ้าถุงกรอง	0.480±0.016	0.471±0.018	0.457±0.016	0.469±0.017

ตารางที่ ข.15 สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
	BFA	CA	FA
เหล็ก(Fe)	8,158.850 ±0.041	2,726.884±0.046	1,936.755±0.129
สังกะสี(Zn)	87.564 ±0.023	2 ,822.156±0.008	1,735.468±0.086
ตะกั่ว(Pb)	34.531±0.036	6 ,177.823±0.058	4,207.37±0.045 4
โครเมียม(Cr)	564.558±0.008	163.466±0.010	4,512.140±0.012
แคดเมียม(Cd)	3.151±0.007	76.880±0.006	7.987±0.009

ตารางที่ ข.16 สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่างวันที่ 9 พฤษภาคม. 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักน้ำชะขี้เถ้า (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	BFA	CA	FA
เหล็ก(Fe)	0.153±0.006	0.614±0.021	10.733±0.216
สังกะสี(Zn)	0.045±0.005	1.082±0.007	1.087±0.006
ตะกั่ว(Pb)	8.810±0.077	0.430±0.048	6.566±0.115
โครเมียม(Cr)	2.462±0.015	0.249±0.012	8.380±0.057
แคดเมียม(Cd)	0.044±0.008	3.633±0.008	0.469±0.017

ตารางที่ ข.17 ค่า pH ของขี้เถ้าที่เก็บตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	pH
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	10.63
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	6.47
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	1.50

ตารางที่ ข.18 น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	1.01	1.00	1.01	1.01
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	1.00	1.01	1.00	1.00
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	1.01	1.00	1.01	1.01

ตารางที่ ข.19 น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าตัวอย่าง วันที่ 16 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	5.02	5.01	5.01	5.01
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	5.00	5.01	5.00	5.00
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	5.01	5.04	5.01	5.02

ตารางที่ ข.20 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) สำหรับตัวอย่าง วันที่ 16 พฤษภาคม 2557

กราฟมาตรฐาน						
สาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)				λ_{max} (นาโนเมตร)	R^2
Fe	2.0	4.0	6.0	8.0	284.33	0.99969
Zn	0.2	0.4	0.6	0.8	213.86	0.99920
Pb	2.0	4.0	6.0	8.0	283.31	0.99989
Cr	2.0	4.0	6.0	8.0	257.87	0.99840
Cd	0.2	0.4	0.6	0.8	228.80	0.99940

ตารางที่ ข.21 ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)				
ขี้เถ้าก้นเตา	41,806.931±0.069	51,112.500±0.056	34,344.059±0.062	42,421.163±0.062
ขี้เถ้าไซโคลน	6,835.000±0.032	5,972.772±0.061	8,827.500±0.126	7,211.757±0.073
ขี้เถ้าถุงกรอง	19,294.554±0.009	34,112.500±0.013	22,586.634±0.004	25,331.229±0.009
สังกะสี (Zn)				
ขี้เถ้าก้นเตา	207.921±0.008	327.500±0.001	230.198±0.007	255.206±0.005
ขี้เถ้าไซโคลน	16,050.00±0.004	28,762.55±0.003	25,500.000±0.011	23,437.500±0.006
ขี้เถ้าถุงกรอง	2,893.564±0.013	11,487.500±0.018	1,646.040±0.044	5,342.368±0.025
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	35.213±0.020	34.250±0.029	36.559±0.003	35.674±0.017
ขี้เถ้าไซโคลน	280.000±0.029	507.426±0.013	540.000±0.007	442.475±0.016
ขี้เถ้าถุงกรอง	30.198±0.073	91.200±0.020	86.238±0.020	69.212±0.038
โครเมียม (Cr)				
ขี้เถ้าก้นเตา	378.713±0.005	500.000±0.002	353.960±0.008	410.891±0.005
ขี้เถ้าไซโคลน	2,145.000±0.010	512.376±0.014	642.500±0.003	1,099.959±0.009
ขี้เถ้าถุงกรอง	1,693.069±0.007	592.500±0.020	1,715.347±0.008	1,333,639±0.012
แคดเมียม (Cd)				
ขี้เถ้าก้นเตา	5.248±0.003	2.900±0.003	3.243±0.002	3.797±0.003
ขี้เถ้าไซโคลน	62.500±0.005	84.158±0.002	102.500±0.001	83.053±0.003
ขี้เถ้าถุงกรอง	49.505±0.003	11.425±0.005	10.322±0.004	23.751±0.004

ตารางที่ ข.22 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อ ตัวอย่างวันที่ 16 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
ขี้เถ้าไซโคลน	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
ขี้เถ้าถุงกรอง	331.600±0.036	371.200±0.010	438.100±0.024	380.300±0.023
สังกะสี (Zn)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.225±0.004	0.257±0.003	0.271±0.006	0.251±0.004
ขี้เถ้าไซโคลน	1,680.000±0.001	1,710.000±0.002	1,710.000±0.006	1,700.00±0.003
ขี้เถ้าถุงกรอง	44.100±0.039	42.400±0.003	42.700±0.002	43.067±0.015
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.659±0.004	0.663±0.033	0.605±0.003	0.642±0.019
ขี้เถ้าไซโคลน	10.100±0.010	10.700±0.001	10.000±0.015	10.267±0.009
ขี้เถ้าถุงกรอง	2.482±0.004	2.401±0.022	2.555±0.048	2.480±0.025
โครเมียม (Cr)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.338±0.004	0.471±0.002	0.258±0.012	0.356±0.006
ขี้เถ้าไซโคลน	0.227±0.006	0.227±0.006	0.211±0.000	0.222±0.004
ขี้เถ้าถุงกรอง	5.200±0.006	6.900±0.003	4.800±0.012	5.633±0.007
แคดเมียม (Cd)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.070±0.003	0.066±0.000	0.061±0.005	0.066±0.003
ขี้เถ้าไซโคลน	3.700±0.002	3.200±0.005	3.500±0.004	3.467±0.004
ขี้เถ้าถุงกรอง	0.376±0.002	0.363±0.006	0.374±0.004	0.371±0.004

ตารางที่ ข.23 ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง วันที่ 16 พฤษภาคม. 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	BFA	CA	FA
เหล็ก(Fe)	42,421.163±0.062	7,211.757±0.073	25,331.229±0.009
สังกะสี(Zn)	255.206±0.005	23,437.500±0.006	5,342.368±0.025
ตะกั่ว(Pb)	35.674±0.017	442.475±0.016	69.212±0.038
โครเมียม(Cr)	410.891±0.005	1,099.959±0.009	1,333.639±0.012
แคดเมียม(Cd)	3.797±0.003	83.053±0.003	23.751±0.004

ตารางที่ ข.24 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง วันที่ 16 พฤษภาคม. 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักน้ำชะขี้เถ้า(มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	BFA	CA	FA
เหล็ก(Fe)	-	-	380.300±0.023
สังกะสี(Zn)	0.251±0.004	1,700.000±0.003	43.067±0.015
ตะกั่ว(Pb)	0.642±0.019	10.267±0.009	2.480±0.025
โครเมียม(Cr)	0.356±0.006	0.222±0.004	5.633±0.007
แคดเมียม(Cd)	0.066±0.003	3.467±0.004	0.371±0.004

ตารางที่ ข.25 ค่า pH ของขี้เถ้าที่เก็บตัวอย่างวันที่ 21 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	pH
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	10.67
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	6.45
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	1.53

ตารางที่ ข.26 น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตัวอย่าง วันที่ 21 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	1.02	1.02	1.01	1.02
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	1.00	1.00	1.00	1.00
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	1.02	1.02	1.02	1.02

ตารางที่ ข.27 น้ำหนักตัวอย่างขี้เถ้าในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในนำชะขี้เถ้าตัวอย่างวันที่ 21 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
ขี้เถ้าจากก้นเตา (BFA)	5.00	5.01	5.00	5.00
ขี้เถ้าจากไซโคลน(CA)	5.00	5.00	5.02	5.01
ขี้เถ้าจากถุงกรอง(FA)	5.04	5.04	5.00	5.02

ตารางที่ ข.28 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์โลหะหนักในขี้เถ้าและโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Atomic absorption Spectroscopy (AAS) สำหรับตัวอย่าง วันที่ 21 พฤษภาคม 2557

กราฟมาตรฐาน						
สาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				λmax (นาโนเมตร)	R^2
Fe	2.0	4.0	6.0	8.0	284.33	0.99969
Zn	0.2	0.4	0.6	0.8	213.86	0.99920
Pb	2.0	4.0	6.0	8.0	283.31	0.99989
Cr	2.0	4.0	6.0	8.0	257.87	0.99840
Cd	0.2	0.4	0.6	0.8	228.80	0.99940

ตารางที่ ข.29 ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง วันที่ 21 พฤษภาคม 2557

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)				
ขี้เถ้าก้นเตา	14,901.961±0.029	30,906.863±0.054	13,378.713±0.025	19,729.179±0.036
ขี้เถ้าไซโคลน	51,950.000±0.011	36,725.00±0.039	56,350.00±0.024	48,341.667±0.025
ขี้เถ้าถุงกรอง	127,450.980±0.096	128,063.725±0.041	130,392.157±0.088	128,635.621±0.075
สังกะสี (Zn)				
ขี้เถ้าก้นเตา	355.392±0.003	419.118±0.004	353.960±0.005	376.157±0.004
ขี้เถ้าไซโคลน	28,425.00±0.006	28,162.500±0.005	32,212.500±0.005	29,600.000±0.005
ขี้เถ้าถุงกรอง	1,203.431±0.006	1,250.000±0.009	1,281.863±0.023	1,245.098±0.013
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	38.799±0.027	41.029±0.032	34.257±0.037	38.029±0.032
ขี้เถ้าไซโคลน	308.250±0.040	313.500±0.048	297.500±0.074	306.417±0.054
ขี้เถ้าถุงกรอง	83.922±0.018	84.216±0.021	91.005±0.021	86.381±0.020
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	52.451±0.006	129.902±0.007	76.733±0.004	86.362±0.006
ขี้เถ้าไซโคลน	2,820.000±0.011	2,557.500±0.001	2,947.500±0.011	2,775.000±0.008
ขี้เถ้าถุงกรอง	5,497.549±0.009	5,218.137±0.022	5,941.176±0.030	5,552.288±0.020
แคดเมียม (Cd)				
ขี้เถ้าก้นเตา	3.186±0.001	3.309±0.002	3.069±0.002	3.188±0.002
ขี้เถ้าไซโคลน	47.500±0.003	62.500±0.002	52.500±0.001	54.167±0.002
ขี้เถ้าถุงกรอง	11.127±0.006	10.833±0.006	11.740±0.001	11.234±0.004

ตารางที่ ข.30 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง วันที่ 21 พฤษภาคม2557

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.810±0.006	0.812±0.002	0.737±0.006	0.786±0.005
ขี้เถ้าไซโคลน	0.713±0.005	0.252±0.001	0.758±0.033	0.574±0.013
ขี้เถ้าถุงกรอง	388.100±0.012	452.500±0.021	387.700±0.028	409.433±0.020
สังกะสี (Zn)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.584±0.007	0.584±0.003	0.520±0.013	0.563±0.008
ขี้เถ้าไซโคลน	1,650.000±0.008	1,790.000±0.006	1,580.000±0.003	1,673.333±0.006
ขี้เถ้าถุงกรอง	46.100±0.029	42.900±0.003	42.800±0.003	43.933±0.012
ตะกั่ว (Pb)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.674±0.008	0.657±0.019	0.675±0.023	634.531±0.036
ขี้เถ้าไซโคลน	9.100±0.022	10.700±0.015	9.700±0.016	6,177.823±0.058
ขี้เถ้าถุงกรอง	2.514±0.021	2.399±0.025	2.2349±0.029	2.387±0.025
โครเมียม (Cr)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.675±0.013	0.608±0.003	0.558±0.010	0.614±0.009
ขี้เถ้าไซโคลน	0.261±0.010	0.311±0.007	0.266±0.009	0.279±0.009
ขี้เถ้าถุงกรอง	6.100±0.004	6.200±0.013	6.400±0.012	6.233±0.010
แคดเมียม (Cd)				
ขี้เถ้าก้นเตา	0.068±0.004	0.067±0.002	0.071±0.002	0.069±0.003
ขี้เถ้าไซโคลน	1.600±0.002	4.600±0.004	2.400±0.004	2.867±0.003
ขี้เถ้าถุงกรอง	0.378±0.002	0.370±0.007	0.353±0.005	0.367±0.005

ตารางที่ ข.31 ความเข้มข้นของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง วันที่ 21 พฤษภาคม 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
	BFA	CA	FA
เหล็ก(Fe)	19,729.179±0.036	48,341.667 ±0.025	128,635.621 ±0.075
สังกะสี(Zn)	376.157±0.004	29,600.000±0.004	1,245.098±0.013
ตะกั่ว(Pb)	38.029±0.032	306.417±0.054	86.381±0.020
โครเมียม(Cr)	86.362±0.006	2,775.000±0.008	5,552.288±0.020
แคดเมียม(Cd)	3.188±0.002	54.167±0.002	11.234±0.004

ตารางที่ ข.32 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อตัวอย่าง วันที่ 21 พฤษภาคม 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักน้ำชะขี้เถ้า(มิลลิกรัม/ลิตร)		
	BFA	CA	FA
เหล็ก(Fe)	0.786±0.005	0.574±0.013	409.433±0.020
สังกะสี(Zn)	0.563±0.008	1,673.333±0.006	43.933±0.012
ตะกั่ว(Pb)	0.669±0.017	9.833±0.018	2.387±0.025
โครเมียม(Cr)	0.614±0.009	0.279±0.009	6.233±0.010
แคดเมียม(Cd)	0.069±0.003	2.867±0.003	0.367±0.005

ตารางที่ ข.33 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานีระหว่างเดือน พฤษภาคม 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
	เฉลี่ย BFA	เฉลี่ย CA	เฉลี่ย FA	
เหล็ก(Fe)	26,769.731±0.046	22,760.10±0.047	65,301.202±0.071	-
สังกะสี(Zn)	439.642±0.011	18,619.885±0.006	2,774.311±0.041	5,000
ตะกั่ว(Pb)	236.078±0.028	2,308.905±0.042	4,787.655±0.034	1,000
โครเมียม(Cr)	353.937±0.006	1,346.142±0.009	3,799.356±0.015	2,500
แคสเมียม(Cd)	3.338 ±0.004	71.367±0.003	14.324±0.006	100

ตารางที่ ข.34 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะติดเชื้อของเตาเผาขยะติดเชื้อเทศบาลวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ระหว่างเดือน พฤษภาคม 2557

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขี้เถ้า (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)
	เฉลี่ย BFA	เฉลี่ย CA	เฉลี่ย FA	
เหล็ก(Fe)	0.313±0.004	0.396 ±0.011	333.489±0.086	-
สังกะสี(Zn)	0.286 ±0.006	1,124.805±0.005	29.362±0.011	250.000
ตะกั่ว(Pb)	3.374±0.038	6.843±0.025	3.811±0.055	5.000
โครเมียม(Cr)	1.144±0.010	0.250±0.008	6.748±0.024	5.000
แคสเมียม(Cd)	0.059 ±0.005	3.322±0.003	0.402±0.008	1.000

ภาคผนวก ค
ค่ามาตรฐาน และตารางแปลงหน่วย

ค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในวัตถุหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และถือว่าเป็นของเสียอันตราย ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 ออกตามพระราชบัญญัติโรงงานปี พ.ศ. 2535

เหล็ก (Iron)	ไม่เกิน	-	มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม
สังกะสี(Zinc)	ไม่เกิน	5,000	มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว(Lead)	ไม่เกิน	1,000	มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม
โครเมียม(Chromium)	ไม่เกิน	2,500	มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม
แคดเมียม(Cadmium)	ไม่เกิน	100	มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม

ค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของของเสีย ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 ออกตามพระราชบัญญัติโรงงานปี พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

เหล็ก (Iron)	ไม่เกิน	-	มิลลิลิตรต่อลิตร
สังกะสี(Zinc)	ไม่เกิน	250	มิลลิลิตรต่อลิตร
ตะกั่ว(Lead)	ไม่เกิน	5	มิลลิลิตรต่อลิตร
โครเมียม(Chromium)	ไม่เกิน	5	มิลลิลิตรต่อลิตร
แคดเมียม(Cadmium)	ไม่เกิน	1	มิลลิลิตรต่อลิตร

ตารางที่ ค.1 เปรียบเทียบหน่วยของขนาดตะแกร่งร่อน (https://www.google.co.th/search?q=sieve)

Sieve Indemnification	Operating size	
	(in)	(mm)
3 inch	3.00	76.2
2 inch	2.00	50.8
1.5 inch	1.50	38.1
1 inch	1.00	25.4
0.75 inch	0.75	19.0
0.375 inch	0.375	9.52
#4	0.187	4.75
#8	0.0929	2.36
#10	0.0787	2.00
#16	0.0465	1.18
#20	0.0335	0.850
#30	0.0236	0.600
#40	0.0167	0.425
#50	0.0118	0.300
#60	0.00984	0.250
#100	0.00591	0.150
#140	0.00417	0.106
#200	0.00295	0.075

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวนิดถา นครราช

ที่อยู่ 34 หมู่ 10 บ้านดู่ทุ่ง ตำบลดู่ทุ่ง อำเภอเมือง
จังหวัดยโสธร 35000

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2537
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
พ.ศ. 2544
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี)
มหาวิทยาลัยบูรพา