



การศึกษาโลหะหนักในถ้ำกั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต



ธนิต โตสิงห์

กณินันท์นาการ

จาก

บัณฑิตวิทยาลัย ม.มหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ. ศ. 2542

ISBN 974 - 663 - 177 - 2

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

กพ

ท 138 ก

2542

๒. 2

Copyright by Mahidol University

48148 ๒. 2



วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต

.....
นายธนชาติ โสดสิงห์

ผู้วิจัย

.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อูษณีย์ อูยะเสถียร

วศ.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิพงษ์ ดิลกวนิช

Ph.D.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....
ศาสตราจารย์ เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ พัฒนเกียรติ

วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำ

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

.....

.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท

วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2542



.....
นายธนิต โตดสิงห์

ผู้วิจัย

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษณีย์ อุยะเสถียร

วศ.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

นางสาวธิดา เกิดกำไร

วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิพงษ์ คิลกวณิช

Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์ เกียงชัย ถัมถ้อยวงศ์ Ph.D

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

.....

รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสำลี

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

ขอสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณขององค์สมเด็จพระบรมราชชนก ที่ได้มีโอกาเข้ามาศึกษาในสถาบันที่ใช้พระนามของพระบิดา วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. อุษณีย์ อุยะเสถียร ผศ.ดร. สิทธิพงษ์ คิลกวมิช อาจารย์ธิดา เกิดกำไร ผศ. สุระ พัฒนเกียรติ และคุณนฤมล ตปนียะกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยตลอดมา

การทำวิทยานิพนธ์ถือได้ว่าเป็นวิกฤตอย่างหนึ่งของชีวิตนักศึกษา แต่การฟันฝ่าวิกฤตให้สำเร็จล่วงได้นั้น ถ้าพึ่งเพียงความสามารถของผู้วิจัยคงสำเร็จลงไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้ ถ้ายามมิตรผู้เปรียบประดุจพี่น้องที่ให้ความช่วยเหลือทั้งการเรียน การเงินและกำลังใจ ตลอดช่วงเวลาที่คบหา ขอจารึกชื่อไว้ในที่นี้ คุณลักขณา แก้ววิจิต คุณยุพา ขุนณรงค์ คุณกิตติยา บำบัดภัย พี่ประพรศรี นรินทร์รักษ์ พี่สุวรรณา หล่อโลหการ พี่ภัทรา ปัญญวัฒน์กิจ ทพ.ประเสริฐ เทพละอง คุณสมคิด - คุณสุนันทา เลิศชนะเรืองฤทธิ์ คุณจักรี ศิริรักษ์ ขอขอบคุณไว้ด้วยความสำนึกในน้ำใจ

ขอขอบคุณพ.สสจ.ภูเก็ตและเจ้าหน้าที่สาธารณสุขจังหวัดภูเก็ตทุกท่าน ผอ.โรงพยาบาลกลาง และโรงพยาบาลป่าตอง นายแพทย์ทวี พี่ประนอม หลิมสมบุรณ์ คุณประชุม สุริยะ คุณพินิจ แก้วอักษร คุณจรัส เครือสุวรรณ คุณทองอินทร์ ไชยรักษ์ คุณทำนุ ทองสุก คุณปิยวรรณ ปัญญาดี ฝ่ายทันตสาธารณสุขที่ให้ความช่วยเหลือในการอนุมัติให้มาศึกษา การพิมพ์ และการเก็บตัวอย่างตลอดจนการวิเคราะห์ตัวอย่างเส้นและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่ช่วยเหลือในระหว่างการศึกษา ชันวา ใจเที่ยง อุดลย์ วุฒิจูพันธ์ สมชาย ระมาศ วรนุช สวดยคำข้าว สุวิทย์ สิ้นทรงชัย โสภณัฐ พงสานนท์ วานิช วานิชการ สุภาพ ตรีธัญญา พิเชษฐ์ หนองช้าง เพื่อนRD และเจ้าหน้าที่คณะ สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกๆ ท่าน

ขอกราบขอบพระคุณมารดาผู้ซึ่งเปรียบเสมือนแผ่นฟ้า และแผ่นดินให้ทุกสิ่งแก่ผู้วิจัยเสมอมา งานวิจัยชิ้นนี้ยังมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง แต่พอเป็นแนวทางของผู้ที่สนใจศึกษา หากคุณความดีที่มีอยู่ในงานวิจัยนี้ก็ขอมอบให้แก่บุคคลที่กล่าวนามมาแล้วข้างต้น

ธนชิต โสตสิงห์

3937335 ENRD/M : สาขาวิชา : เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท : วท. ม. (เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท)

คำสำคัญ : โลหะหนัก / ถ้ำก้นเตา / เตาเผามูลฝอยจังหวัดภูเก็ต / มูลฝอยติดเชื้อติดเชื้อ

ชนิด : ศึกษาศาสตร์ : การศึกษาโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต (A STUDY OF HEAVY METALS IN BOTTOM ASH FROM MEDICAL WASTE INCINERATOR IN PHUKET) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : อุษณีย์ อุยะเสถียร, วศ. ม., สิทธิพงษ์ ดิลกวิช, Ph.D., 138 หน้า. ISBN 974 -663 -177 -2

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตา ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตา โดยพิจารณาแนวโน้มของโลหะหนักในอนุภาคถ้ำก้นเตาที่แตกต่างกัน 3 ขนาด และศึกษาวิธีการกำจัดถ้ำก้นเตาในจังหวัดภูเก็ต

ตัวอย่างถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ตถูกสุ่มมาจำนวน 2 ครั้ง ๆ ละ 2 สัปดาห์ จากนั้นนำมาคัดแยกออกเป็น 3 ช่วงขนาด แล้วนำไปศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาโดยวิธีการย่อย และศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตาโดยวิธีการสกัดสาร โดยเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักจากน้ำชะล้างของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อพบว่า มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักจากมากไปน้อยตามลำดับ ได้แก่ แบเรียม ตะกั่ว โครเมียม เงิน เซลิเนียม และแคดเมียม มีค่า 2,602.41 1,130.00 559.91 245.27 39.48 และ 13.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณโลหะหนักที่พบน้อยในอนุภาคถ้ำได้แก่ โปรท และสารหนู 1,965.64 และ 14.73 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักในอนุภาคถ้ำก้นเตาเมื่อขนาดของอนุภาคถ้ำเล็กลงมีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ แบเรียม ตะกั่ว เงิน เซลิเนียม แคดเมียม และโครเมียม (ในเตาเผาที่มี 2 ช่อง) แต่ในเตาเผาแบบ ตช.2 ปริมาณโครเมียมมีแนวโน้มพบมากในอนุภาคขนาดใหญ่ ส่วนสารหนู และโปรท พบในปริมาณที่น้อยมากจึงไม่อาจบอกถึงแนวโน้มความแตกต่างขนาดอนุภาคกับปริมาณโลหะหนักชนิดนี้ได้

ส่วนผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำ โลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงสุดเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ แบเรียม ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม เซลิเนียม เงิน โปรท และสารหนู มีค่า 14.30 2.71 2.23 0.44 0.23 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 96 2.76 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก 8 ชนิดในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตาไม่มีค่าใดสูงกว่าค่าที่กฎหมายกำหนด

การกำจัดถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ต พบว่ามีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล 2 แห่ง ส่วนอีก 2 แห่งใช้วิธีการเทกองในที่ลุ่ม และการทิ้งในหลุมที่ขุดตื้นๆ ข้างเตาเผา ซึ่งไม่ถูกต้อง

แม้ว่าในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตาจะมีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำก็ตาม แต่ถ้ำก้นเตาที่มีโลหะหนักปนอยู่ด้วยหากไม่ดำเนินการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ การกำจัดถ้ำก้นเตาจึงควรใช้วิธีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล เพราะมีการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3937335 ENRD/M : MAJOR : TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PLANNING FOR RURAL
DEVELOPMENT : M. Sc. (TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PLANNING
FOR RURAL DEVELOPMENT)

KEY WORDS : HEAVY METALS / BOTTOM ASH / WASTE INCINERATOR IN PHUKET/ MEDICAL
WASTE

THANACHIT SOADSING : A STUDY OF HEAVY METALS IN BOTTOM ASH FROM
MEDICAL WASTE INCINERATORS IN PHUKET. THESIS ADVISORS : USANEE UYASATIAN, M. Eng.,
SITTIPONG DILOKWANICH, Ph.D., 138 p. ISBN 974 – 663 –177 – 2

The objectives of this research were to study the quantities of heavy metals in the residual bottom ash from incineration of medical waste. Furthermore the toxicity of bottom ash leachate with respect to heavy metals was investigated in three particle sizes. These result can be used to evaluate suitable ways for disposing of bottom ash from medical waste incineration.

Samples from four medical waste incinerators on Phuket were taken over a period of two weeks. The bottom ash was partitioned into three sizes. A sample of each size was digested and extracted according to the extraction procedure in accordance with guidance of the Ministry of Industry. The amount of heavy metals concentrations were observed and compared with heavy metal concentration standards.

The concentration of barium, lead, chromium, silver, selenium, and cadmium in the bottom ash were 2,602.41, 1,130.00, 559.91, 245.27, 39.48, 13.18 mg/kg respectively. Concentrations of mercury and arsenic were found to 1,965.64 and 14.73 $\mu\text{g/kg}$ respectively. The concentration of heavy metals increased as bottom ash particle size decreased. This trend was found for barium, lead, silver, selenium, cadmium, and chromium all in multiple chamber incinerator ash, except chromium in local incinerator bottom ash. The remaining metals showed no observable trend.

The extraction of leachate showed ranges concentrations of barium, lead, chromium, cadmium, selenium, silver, mercury and arsenic at 14.30, 2.71, 2.23, 0.44, 0.23, 0.08 mg/kg and 96, 2.76 $\mu\text{g/kg}$ respectively. The concentrations of all heavy metals in the bottom ash leachate were below the limit values set in guidance of the Ministry of Industry.

The bottom ash from two medical waste incinerators in Phuket was disposed in sanitary landfills. Bottom ash from the other two incinerators was disposed by dumping on land or in a hole next to the incinerators, which is incorrect.

There are heavy metals in the bottom ash content, although a low concentration of heavy metals was in the leachate of the bottom ash. The most suitable way of disposal was found to be sanitary landfills.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	2
1.2 ปัญหาและขอบเขตของปัญหา	9
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	9
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	10
1.5 ขอบเขตในการศึกษาวิจัย	11
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	13
2.1 มุลฝอยตติเชื้อ	13
2.1.1 ความหมายและประเภท	14
2.1.2 แหล่งกำเนิดมุลฝอยตติเชื้อ	18
2.1.3 องค์ประกอบของมุลฝอยตติเชื้อ	19
2.1.4 การจัดการมุลฝอยตติเชื้อ	24
2.1.5 การจัดการมุลฝอยตติเชื้อจังหวัดภูเก็ต	31
2.2 เตาเผา มุลฝอยตติเชื้อ	33
2.2.1 หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเผา มุลฝอยตติเชื้อ	33
2.2.2 ประเภทของเตาเผา	35
2.3 เถ้าจากเตาเผา มุลฝอยตติเชื้อ	40
2.3.1 ปริมาณเถ้าจากเตาเผา มุลฝอยตติเชื้อ	40
2.3.2 ความหนาแน่นของเถ้า	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 (ต่อ)	
2.3.3 องค์ประกอบของเถ้า	42
2.3.4 ลักษณะทางเคมีของเถ้า	44
2.3.5 ปริมาณโลหะหนักในเถ้า	49
2.3.6 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อโลหะหนัก	52
2.3.7 การทดสอบการชะของเถ้า	55
2.3.8 ผลกระทบจากการกำจัดเถ้าเผาผลาญ	60
2.4 แนวทางการกำจัดเถ้าก้นเตา	63
2.4.1 การคัดแยกวัสดุจากเถ้ากลับมาใช้ใหม่	63
2.4.2 การบำบัดและการใช้ประโยชน์จากเถ้า	64
บทที่ 3 วิธีการวิจัยและอุปกรณ์	68
3.1 การสุ่มตัวอย่าง	68
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	69
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	70
3.4 สารเคมี	71
3.5 ขั้นตอนและวิธีทำการทดลอง	72
3.5.1 การหาปริมาณ โลหะหนักในเถ้าก้นเตา	72
3.5.2 การหาความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำสกัด	74
3.6 เวลาและสถานที่ทำการทดลอง	76
3.7 การศึกษาการกำจัดเถ้า	77
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล	78
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	79
4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างเถ้าก้นเตา	79
4.2 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตา	85
4.3 ผลการศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้า	98
4.4 การศึกษาการกำจัดเถ้าก้นเตา	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ และมูลฝอยชุมชนในอเมริกา	3
1-2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตา และตะกอนเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชน	4
2-1 ลักษณะทั่วไปของมูลฝอยติดเชื้อ ประเทศอเมริกา	20
2-2 องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ โรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร	21
2-3 การจำแนกประเภทมูลฝอยของสถาบันเตาเผาแห่งอเมริกา	23
2-4 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของมูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลรัฐออนตาริโอ	24
2-5 จำนวนสถานพยาบาลในประเทศไทย	30
2-6 สถิติการมีเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ในสถานพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข	31
2-7 สถานบริการสาธารณสุขจังหวัดภูเก็ต	32
2-8 การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเตาเผาจังหวัดภูเก็ต	33
2-9 ขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ตบ. 2	36
2-10 องค์ประกอบทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของมูลฝอยรวมจังหวัดภูเก็ต	41
2-11 องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อของ โรงพยาบาลในกรุงเทพฯ	42
2-12 ความหนาแน่นของเถ้าลอย และเถ้าก้นเตา	43
2-13 การทดสอบทางกายภาพของเถ้าจากเตาเผามูลฝอยชุมชน	44
2-14 องค์ประกอบของมูลฝอยและผล จากการบวมนการเผาไหม้	45
2-15 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเถ้าก้นเตา	46
2-16 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีตัวอย่างเถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำเสียจากบ่อเก็บเถ้า ของเตาเผา Wisconsin ด้วยวิธี Bulk Analysis and Water Leach Tests	48
2-17 ผลการวิเคราะห์ความเป็นพิษของเถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำเสียจากบ่อเก็บเถ้า ด้วยวิธี EP Toxicity Test	49
2-18 ชนิดของพลาสติกในมูลฝอยติดเชื้อประเทศอเมริกา	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
2-19 โลหะที่ใช้ในพลาสติกและกระดาษ	51
2-20 ปริมาณของโลหะหนัก (Metals content) ในองค์ประกอบมูลฝอยชุมชน	52
2-21 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของโลหะและออกไซด์ของโลหะ	55
2-22 ความเข้มข้นสูงสุดของสารปนเปื้อนใน EP Toxicity Test	59
2-23 ข้อกำหนดของ U.S. EPA สำหรับการรอฟื้นที่จำเป็นในการกำจัด	61
3-1 ดัชนีโลหะหนักตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)	78
4-1 ขนาดของตัวอย่างเล็กน้อยจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเมืองแม่ฮ่องสอน	81
4-2 ขนาดอนุภาคเล็กน้อยจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเมืองแม่ฮ่องสอน	82
4-3 องค์ประกอบของตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเมืองแม่ฮ่องสอน และเตาเผา คบ.2 ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร	83
4-4 สีของตัวอย่างเล็กน้อยจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต	84
4-5 ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	86
4-6 ปริมาณแบเรียม (Ba) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	88
4-7 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	89
4-8 ปริมาณโครเมียม (Cr) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	91
4-9 ปริมาณเงิน (Ag) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	92
4-10 ปริมาณซีลีเนียม (Se) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	93
4-11 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	95
4-12 ปริมาณปรอท (Hg) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	96
4-13 ปริมาณสารหนู(As) ในตัวอย่างจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	97
4-14 ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในน้ำชะล้างเล็กน้อยจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นสูงสุดที่กฎหมายกำหนด	99
4-15 ความเข้มข้นของแบเรียม (Ba) ในน้ำชะล้างเล็กน้อยจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	100
4-16 ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะล้างเล็กน้อยจากเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-17 ความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) ในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	103
4-18 ความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) ในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	104
4-19 ความเข้มข้นของซีลีเนียม (Se) ในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	105
4-20 ความเข้มข้นของเงิน (Ag) ในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	106
4-21 ความเข้มข้นของปรอท (Hg) ในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	107
4-22 ความเข้มข้นของสารหนู (As) ในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง	108



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย	10
2-1 ประเภทและลักษณะของมูลฝอยจากสถานพยาบาล	18
2-2 เตาเผาของกองสุขาภิบาล แบบ ตข.2	37
2-3 เตาเผาของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม	38
2-4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของเถ้าก้นเตาทั้งหมดกับเถ้าที่คัดแยกโลหะ และแก้วออก	43
2-5 ตัวอย่างของมลพิษอากาศที่แพร่กระจายสู่มนุษย์	61
2-6 ตัวอย่างของสารเคมีในเถ้าที่แพร่กระจายสู่มนุษย์	62
3-1 ฟังชั่นตอนการทดลอง	76

บทที่ 1

บทนำ

มูลฝอยติดเชื้อจัดเป็นของเสียอันตรายประเภทหนึ่ง ที่เกิดจากระบวนการให้การรักษาพยาบาล การตรวจวินิจฉัย ตลอดจนการวิจัยทางการแพทย์และการสาธารณสุข (1) มูลฝอยติดเชื้อเหล่านี้เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นโดยลำดับ ทั้งปริมาณและการจัดการที่ถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิชาการเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก เพราะต้องอาศัยทั้งงบประมาณ เทคโนโลยีและการจัดการที่เหมาะสม การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทย ทั้งสถานพยาบาลของรัฐและเอกชนส่วนใหญ่ใช้การเผาในเตาเผา (Incineration) และการฝังกลบไปกับมูลฝอยทั่วไป

ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยการเผานั้น โดยทั่วไปเข้าใจกันว่ามูลฝอยติดเชื้อเหล่านั้นหมดความเป็นอันตราย เนื่องจากหมดเชื้อโรคที่เสี่ยงต่อการแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม แต่ในความเป็นจริงการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยการเผาไม่ได้เป็นการกำจัดขั้นสุดท้าย (Final Disposal) เนื่องจากเถ้าที่เหลือจากการเผาจะต้องนำไปกำจัดหรือฝังกลบต่อไป

เถ้าจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อมี 2 ชนิด ได้แก่ เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) เป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ และเถ้าลอย (Fly Ash) เป็นเถ้าที่เกิดที่อุณหภูมิการเผาไหม้สูง มีอนุภาคนขนาดเล็กและลอยออกจากเตาหรือถูกจับไว้ด้วยเครื่องควบคุมมลพิษ (2) เถ้าทั้งสองชนิดโดยทั่วไปจะมี โลหะหนักเป็นพิษเป็นองค์ประกอบ นอกจากนั้นยังมีสารอินทรีย์อันตราย เช่น Dioxins และ Furans (PCDDs-Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and PCDFs- Polychlorinated dibenzofurans) (3) โลหะหนักและสารพิษเหล่านี้ปะปนมากับอุปกรณ์ และสารเคมีทางการแพทย์ และวัตถุอันตราย ชาติ สารเหล่านี้ไม่สามารถกำจัดออกไปได้โดยการเผา ดังนั้นโลหะหนักเหล่านี้จึงทำให้เถ้ายังคงความเป็นพิษอยู่ (2)

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ และเตาเผา มูลฝอยชุมชนในประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาวิจัยหรือให้ความตระหนักต่อเรื่องเหล่านี้ แม้ว่า หลายหน่วยงานให้ความสำคัญต่อมูลฝอยติดเชื้อ โดยจัดเป็นมูลฝอยอันตราย (Hazardous Waste) ประเภทหนึ่งที่ต้องกำจัดโดยการเผา แต่ความตระหนักนั้นมุ่งประเด็นที่ “เชื้อโรคและอันตรายจาก เชื้อโรคที่แพร่กระจายได้” การเผาทำให้เชื้อที่อันตรายหมดไป แต่หลังจากการเผา ถ้ำที่เกิดจากการ เผาใหม่มีความเป็นพิษหรืออันตรายแค่ไหนยัง ไม่ได้รับความสนใจ หรือให้ความสำคัญ

ถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ มีองค์ประกอบที่เป็นพิษนอกจากสารอินทรีย์เคมี เช่น ไดออกซิน และ ฟิวแรนแล้ว โลหะหนักในถ้ำ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม อลูมิเนียม โบรอน และ โลหะหนักอื่นๆ ที่มีในถ้ำเป็นจำนวนมากทำให้ถ้ำเป็นพิษ อันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของ ประชาชนและสิ่งแวดล้อม ไม่เพียงแต่การปนเปื้อนของโลหะหนักต่อน้ำอุปโภคบริโภคเท่านั้น การ สัมผัสถ้ำโดยการหายใจเอาอนุภาคเข้าปอดโดยตรง ความเป็นพิษที่มีอยู่ในถ้ำสามารถดูดซึมเข้า เนื้อเยื่อ และกระแสโลหิตได้ หรือการปนเปื้อนของถ้ำในน้ำและอาหาร ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่จะก่อ ให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพคนได้เช่นกัน (2)

การศึกษาโลหะหนักในถ้ำก้นเตาของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ มีรายงานน้อยมากส่วนใหญ่ มักเป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำจากเตาเผามูลฝอยชุมชนหรือถ้ำจากถ่านหิน หากจะ เทียบเคียงโลหะหนักของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ จะต้องเทียบเคียงจากการศึกษาโลหะ หนักของถ้ำจากเตาเผาชุมชน ซึ่ง Hasselriss และ Constantine (4) ได้ศึกษาองค์ประกอบของ มูลฝอยติดเชื้อและมูลฝอยชุมชน ที่มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกัน ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-1 องค์ประกอบส่วนใหญ่ของมูลฝอยทั้ง 2 ชนิด จะเป็นกระดาษ พลาสติก ยาง และป้ายโฆษณา และการนำเอาโลหะหนักในถ้ำจากเตาเผาชุมชนมาเป็นตัวแทนของถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อมัน ซึ่ง Bagchi และ Sopcich (5) ได้ศึกษาถ้ำก้นเตา (Bottom Ash) และตะกอนถ้ำลอย (Lagoon Sludge) ของเตาเผาชุมชนเมือง Sheboygan รัฐ Wisconsin ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำ (Bulk Chemical Analysis) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีและโลหะหนักที่มีอยู่ปริมาณมากในถ้ำ ได้แก่ อลูมิเนียม โบรอน แคดเมียม คลอไรด์ ตะกั่ว และซัลเฟต ซึ่งแสดงในตารางที่ 1-2 ใน ตารางนี้นอกจากปริมาณโลหะหนักที่มีจำนวนมากดังที่กล่าวมาแล้ว โลหะหนักเป็นพิษต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เช่น สารหนู แบเรียม โครเมียม โปรทเจน แมงกานีส และอื่นๆ ก็ตรวจพบในถ้ำ เช่นกัน

และสิ่งแวดล้อม เช่น สารหนู แบเรียม โครเมียม โปรทเงิน แมงกานีส และอื่นๆ ก็ตรวจพบในถ้ำเช่นกัน

ตารางที่ 1-1 องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ และมูลฝอยชุมชนในอเมริกา

ชนิดของวัสดุ	มูลฝอยติดเชื้อ (ร้อยละ)	มูลฝอยชุมชน (ร้อยละ)
กระดาษ	31.0	41.9
ป่ายโฆษณา	0.0	12.0
พลาสติก	29.0	11.2
ยาง	12.0	1.6
สิ่งทอ	5.0	2.9
อาหาร	1.0	11.9
แก้ว	3.2	7.5
โลหะ	1.1	6.0
ของเหลว	17.7	0.0
สารอินทรีย์อื่นๆ	0.0	6.4
รวมทั้งหมด	100.0	100.0

ที่มา : Hasselriis และ Constantine, 1992.

กล่าวโดยสรุป องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อและมูลฝอยชุมชนที่ใกล้เคียงกันนี้อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โลหะหนักที่เกิดในถ้ำใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะในโลหะหนักที่มีอยู่ในถ้ำนั้นมาจากพลาสติก กระดาษ และโลหะ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของมูลฝอยโดยตรง (4)

นอกจากไม่มีการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษในถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทยแล้ว ก็ยังไม่มีการศึกษาหรือวิจัยออกมาอย่างชัดเจนว่า ปริมาณถ้ำที่เกิดจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเป็นเท่าไร และมีการกำจัดกันอย่างไร ทั้งนี้ปริมาณถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจะมีความผันแปรแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปริมาณมูลฝอย ความหนาแน่นของมูลฝอย และองค์ประกอบของมูลฝอย ตลอดจนประเภทของเตาเผา เชื้อเพลิงที่ใช้ และการจัดการในกระบวนการเผาไหม้ของเตาเผาแต่ละชนิด (6)

ตารางที่ 1-2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตาและตะกอนเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชน
เมือง Sheboygan รัฐ Wisconsin

ดัชนีชี้วัด	ช่วงของปริมาณ (มก. / กก.)	
	เถ้าก้นเตา	ตะกอนเถ้าลอย
1. อลูมิเนียม	27,400-104,000	43,100-62,600
2.อาร์เซนิก	100-160	90-150
3. แบเรียม	620-2,676	1,070-2,360
4. โบรอน	155-669	128-241
5.แคลเซียม	14.5-23.3	15.0-32.0
6.แคลเซียม	33,300-62,800	28,800-45,400
7.โครเมียม	42-57	67-121
8. ทองแดง	322.9-15,620.0	315.6-570.0
9. เหล็ก	7,167-41,380	7,527-14,420
10. ตะกั่ว	710-1,477	788-1,420
11. แมกนีเซียม	6,812-11,690	7,310-12,420
12. แมงกานีส	1,031-1,394	1,171-1,498
13. พรอท	0.29-2.60	2.40-4.20
14. นิกเกิล	49-80	41-104
15. โพตัสเซียม	2,800-5,960	4,420-6,100
16. เซลิเนียม	34-78	33-46
17. เงิน	0.5-76.8	68.2-112.6
18. โซเดียม	5,540-9,220	6,570-8,770
19. สังกะสี	5,100-23,500	6,000-9,200
20. สังกะสี	2,160-4,576	1,204-3,245
21. คลอไรด์	840-3,417	130-320
22. ไนเตรท	5.0-15.3	3.0-10.5
23. ฟอสเฟต	7,700-8,875	6,915-16,621
24. ซัลเฟต	708-5,600	420-692

ที่มา : Bagchi และ Sopcich, 1989.

สถานการณ์มูลฝอยติดเชื้อ จากข้อมูลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2537 พบว่า มูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาลทั้งที่เป็นของรัฐและเอกชน จำนวน 25,000 แห่ง มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อวันละ 48 ตัน เป็นมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลวันละ 14 ตัน ที่เหลือเป็นมูลฝอยติดเชื้อในภูมิภาคประมาณวันละ 34 ตัน อัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อเฉลี่ย 0.26-0.65 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อคาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.5 ต่อปี (7) ในขณะที่กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาแนวทางการจัดการมูลฝอยติดเชื้อด้วยการเผา ในเดือนสิงหาคม 2538 จากสถานพยาบาลที่มีเตียงพักและไม่มีเตียงพักคนไข้จำนวน 22,609 แห่ง จำนวนเตียงคนไข้ 128,259 เตียง มีอัตราการผลิตมูลฝอยติดเชื้อเฉลี่ย 0.23 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน คิดเป็นปริมาณมูลฝอยติดเชื้อไม่ต่ำกว่า 30 ตันต่อวัน (8)

มูลฝอยติดเชื้อจากสถานบริการสาธารณสุขส่วนใหญ่กำจัดโดยการเผาในเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ จากข้อมูลของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่า ในปี พ.ศ. 2540 สถานบริการสาธารณสุขในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข 852 แห่ง มีการสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ครอบคลุมร้อยละ 99 (8) เตาเผาเหล่านี้เป็นแบบ Multiple Chamber มี 2 ห้องเผา และเตาเผาแบบ ตย.2 เป็นเตาเผาที่มีห้องเผาเดียว เตาเผาทั้งสองแบบไม่มีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ บางครั้งการเผาไหม้จึงเกิดปัญหากลิ่นเหม็นจากปล่องควัน (7) และเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มักถูกกองทิ้งไว้ข้างเตาเผา ไม่มีการนำไปกำจัดอย่างถูกต้องถูกหลักราบ (9) ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดภูเก็ต ก่อนการวิจัยครั้งนี้ พบว่า เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 2 แห่ง จาก 4 แห่ง มีการกองเถ้าทิ้งไว้ข้างเตาเผา หรือมีการขุดหลุมตื้นๆ ฝังเศษโลหะ กระเบื้อง แก้ว และอื่นๆ ไว้ข้างเตาเผา

ในงานวิจัยของบังอร เกียรติธนากร ได้ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดมูลฝอยโรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ปริมาณและคุณลักษณะของมูลฝอยโรงพยาบาลมีอัตราการเกิดมูลฝอย เท่ากับ 2.64 กิโลกรัม/เตียง/วัน ค่าความชื้นร้อยละ 41.00 – 44.80 สารที่เผาไหม้ได้ร้อยละ 36.4 – 41.4 เถ้าร้อยละ 15.2 – 18.5 (10) หากนำร้อยละของเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ไปคำนวณกับปริมาณมูลฝอยติดเชื้อทั่วประเทศต่อวัน ที่คำนวณโดยกรมควบคุมมลพิษประมาณ 48 ตันต่อวัน และค่าคำนวณของกรมอนามัย 30 ตันต่อวัน แล้วปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นต่อวันอาจมีถึง 7.3 – 8.9 ตันต่อวัน และ 4.6 – 5.6 ตันต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณเถ้าเหล่านี้ หากกำจัดไม่เหมาะสม โลหะหนักที่อยู่ในเถ้าก็จะกระจายสู่สิ่งแวดล้อม และปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพคนได้

จังหวัดภูเก็ตเป็นเกาะที่มีพื้นที่ 543.034 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่การปกครองแบ่งเป็น 3 อำเภอ 17 ตำบล 102 หมู่บ้าน ทุกพื้นที่ในจังหวัดได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่ควบคุมมลพิษ

ประชากรตามทะเบียนราษฎร พ.ศ. 2539 จำนวน 215,070 คน นักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการธุรกิจท่องเที่ยวในปีเดียวกัน จำนวน 4,502,033 คน (11) ซึ่งจำนวนประชากรและนักท่องเที่ยวประมาณ 4 ล้านกว่าคนนั้น ไม่เพียงแต่ทำให้เกิดมูลฝอยทั่วไปเพิ่มมากขึ้น และเป็นปัญหาในการกำจัดแล้ว ประชาชนเหล่านี้ยังมีการเจ็บป่วยและต้องเข้ารับการรักษา อันเป็นผลให้มูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากสถานบริการพยาบาลก็เป็นปัญหาสำคัญที่เพิ่มความรุนแรงมากขึ้น

การวางแผนแก้ไขปัญหามลพิษด้านมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ต ได้มีการศึกษาและวางแนวทางการแก้ปัญหาไว้เมื่อปี พ.ศ. 2530 ซึ่งกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ว่าจ้างให้ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นผู้ทำการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องตามแนวทางของโครงการพัฒนาเมืองหลัก ซึ่งเป็นเมืองที่มีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 ในรายงานฉบับนี้ (12) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ การเตรียมแผนการจัดการมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล ตลอดจนปัญหาอากาศเสียและเสียงรบกวน โดยเน้นพื้นที่ศึกษาในเขตเทศบาลเมืองและเขตสุขาภิบาล 4 แห่ง ตลอดจนปัญหามูลฝอยที่เกิดในพื้นที่การท่องเที่ยว เช่น หาดป่าตอง หาดกะตะกะรน หาดในยาง หาดสุรินทร์ ในแนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ ได้เสนอแนะการจัดที่ที่เหมาะสม โดยการฝังกลบมูลฝอยในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณคลองเกาะผี ที่อยู่ทางตะวันออกของเกาะภูเก็ต บริเวณพื้นที่ 50 ไร่ จากจำนวน 300 ไร่ แนวทางที่วางไว้ได้นำไปสู่การจัดทำแผนและโครงการในการดำเนินงานต่อมา

ในรายงานฉบับเดียวกันนี้ ได้ศึกษาถึงแหล่งกำเนิดและปริมาณของมูลฝอยจากโรงพยาบาล การคาดการณ์ปริมาณมูลฝอยในอนาคตจากโรงพยาบาล และเสนอแนวทางในการกำจัดมูลฝอยจากโรงพยาบาลด้วย ในปี พ.ศ. 2529 โรงพยาบาล 5 แห่งในเขตอำเภอเมือง มีปริมาณมูลฝอย 365 กิโลกรัมต่อวัน และความหนาแน่น 625 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มูลฝอยจากโรงพยาบาลจะเป็นมูลฝอยรวมระหว่างมูลฝอยติดเชื้อและมูลฝอยทั่วไป ไม่มีการแยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยทั่วไป อัตราการเกิดมูลฝอยในรูปน้ำหนักมูลฝอยต่อเตียงคนไข้ต่อวัน จะมีพิสัยอยู่ระหว่าง 1.03-2.80 กิโลกรัม/เตียง/วัน ค่าเฉลี่ย 1.89 กิโลกรัม/เตียง/วัน

ในแนวทางแก้ไขปัญหามลพิษของรายงานฉบับนี้ ได้เสนอแนะให้โรงพยาบาลจัดสร้างเตาเผา มูลฝอยเพื่อกำจัดเองและอีกทางเลือกคือ การให้แยกมูลฝอยติดเชื้อออกจากมูลฝอยทั่วไป แล้วให้เทศบาลกำจัดโดยการฝังกลบแบบพิเศษ ในรายงานฉบับนี้ไม่ได้เน้นความตระหนักและความสำคัญของมูลฝอยติดเชื้อต่อผู้บริหารของจังหวัดมากนัก

ในปี พ.ศ. 2535 กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย ได้ว่าจ้างให้กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา อันประกอบด้วย บริษัทพอลคอนซัลแตนท์จำกัด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วท.) และบริษัทวอเตอร์แอนด์เอ็นไวรอนเม้นท์คอนซัลแตนท์จำกัด ดำเนินการสำรวจ ศึกษาความเหมาะสม และออกแบบรายละเอียดระบบการจัดการมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยบริเวณป่าชายเลนคลองเกาะผี 50 ไร่ ใช้งานหมดลงแล้ว คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (เดิม) ได้มีมติผ่อนผันให้จังหวัดภูเก็ต เข้าใช้ประโยชน์สำหรับการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลในพื้นที่เดิมได้ไม่เกิน 180 ไร่ ในรายงานการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาครอบคลุมถึงเรื่อง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ประชากร ปริมาณ และลักษณะมูลฝอย ทั้งในเขต สุขาภิบาลต่างๆและเขตเทศบาล การพยากรณ์ข้อมูล ถึงปี พ.ศ. 2554 การศึกษาระบบเก็บรวบรวม และขนส่งมูลฝอยไปบริเวณกำจัด การวางแผนการใช้ที่ดิน การสำรวจ และออกแบบรายละเอียด ระบบกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบที่ถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) และระบบเตาเผาชุมชน (Incineration) ตลอดจนการจัดทำรายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบกำจัดมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตควบคู่ไปด้วย (13) ระบบกำจัดมูลฝอยได้ดำเนินการก่อสร้าง และฝังกลบมูลฝอยไปแล้ว ส่วนเตาเผามูลฝอยชุมชน จะก่อสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2541 และยังไม่ได้ดำเนินการ

ในรายงานฉบับนี้ ไม่ได้กล่าวถึงมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล ทั้งนี้เนื่องจากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โรงพยาบาลต่างๆของรัฐบาล 3 แห่ง ได้สร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อประจำโรงพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาลวชิระภูเก็ต โรงพยาบาลถลาง และโรงพยาบาลกะปู้ ส่วนเทศบาลเมืองภูเก็ตก็ได้จัดสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อรวม ซึ่งรับมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในเขตอำเภอเมือง 6 แห่ง และคลินิกเอกชน 60 แห่ง โดยรวมมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลวชิระภูเก็ตด้วย เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการเผามูลฝอยติดเชื้อของเทศบาลมีต้นทุนที่ถูกกว่าดำเนินการเผาเองในโรงพยาบาล

ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดภูเก็ตไม่มีการสำรวจที่แน่นอน จากการสำรวจก่อนการวิจัย (Pre-survey) ของผู้วิจัยพบว่า ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลและคลินิกเอกชนในเขตอำเภอเมือง วันละ 250 กิโลกรัม ส่วนมูลฝอยติดเชื้อนอกเขตเทศบาลเป็นมูลฝอยติดเชื้อใน โรงพยาบาลชุมชน 2 แห่ง และโรงพยาบาลเอกชน 1 แห่ง วันละ 80 กิโลกรัมโดยประมาณ ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมดประมาณ 330 กิโลกรัม ทั้งนี้ไม่รวมมูลฝอยติดเชื้อจากสถานอนามัย 21 แห่ง และคลินิกเอกชนนอกเขตเทศบาล 10 แห่ง มูลฝอยติดเชื้อเหล่านี้เป็นมูลฝอยติดเชื้อที่ แยกจากมูลฝอยทั่วไปของโรงพยาบาล โดยแยกใส่ถุงแดงไว้ต่างหาก ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ กับมูลฝอยในปี พ.ศ. 2530 จะมีปริมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากในปี พ.ศ. 2530

ยังไม่มีมีการแยกมูลฝอยทั่วไปในโรงพยาบาลออกจากมูลฝอยติดเชื้อ ส่วนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่ดำเนินการอยู่นั้นมี 4 แห่ง เป็นเตาเผาแบบ Multichamber 3 แห่ง ได้แก่ เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเมืองภูเก็ต เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมหาราชนิกุลภูเก็ต และเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง ขนาดของเตาสามารถเผาไหม้มูลฝอย 250 , 50 และ 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ ส่วนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง เป็นแบบ ดช.2 ขนาดของห้องเผาไหม้มูลฝอยมีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณเถ้าที่เหลือจากเตาเผาแต่ละแห่ง คือ เตาเผาเทศบาลเมืองภูเก็ต เหลือเถ้าจากการเผาไหม้ 15 กิโลกรัมต่อครั้ง (ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เผาโดยเฉลี่ย 250 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง) เตาเผาโรงพยาบาลมหาราชนิกุล เหลือเถ้าจากการเผาไหม้ 4 กิโลกรัมต่อครั้ง (ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เผาโดยเฉลี่ย 45 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง) เตาเผาโรงพยาบาลกลาง เหลือเถ้าจากการเผาไหม้ 8-10 กิโลกรัมต่อครั้ง (ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เผาโดยเฉลี่ย 90-120 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง) และ เตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง เหลือเถ้าจากการเผาไหม้ 8-10 กิโลกรัมต่อครั้ง (ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เผาโดยเฉลี่ย 90-120 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง)

การกำจัดเถ้าจากเตาเผามูลฝอยติดเชืื่อนั้น เถ้าจากโรงพยาบาลป่าตอง ส่วนที่เป็นเศษแก้ว โลหะ กระเบื้อง จะฝังอยู่ในหลุมตื้นๆ ข้างเตาเผา เถ้าจากเตาเผาโรงพยาบาลกลางนำไปทิ้งในที่ถมบริเวณใกล้เคียงกับเตาเผาไม่มีการกลบ เถ้าจากเตาเผาโรงพยาบาลมหาราชนิกุลจะรวบรวมใส่ในถุงสีดำนำไปทิ้งรวมกับมูลฝอยทั่วไปของโรงพยาบาล ซึ่งทางเทศบาลจะนำไปฝังกลบอีกครั้งหนึ่ง ส่วนเถ้าจากเตาเผาเทศบาลจะนำไปทิ้งในที่ถมฝังกลบแบบ Sanitary Landfill ของเทศบาลเอง

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า หน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับมูลฝอยติดเชื้อและการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเตาเผานั้น ไม่ได้ให้ความสำคัญ หรือตระหนักถึงการกำจัดเถ้าที่เกิดจากเตาเผามูลฝอยติดเชืื่อนั้นเลย ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานระดับประเทศหรือจังหวัด เถ้าจากการเผามูลฝอยติดเชื้อซึ่งขาดการควบคุมที่เหมาะสม โลหะหนักและสารพิษในเถ้าจะถูกชะออกสู่สิ่งแวดล้อม และปนเปื้อนต่อน้ำใต้ดิน ตลอดจนการฟุ้งกระจายของเถ้าเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยตรง และการปนเปื้อนมา กับพืชและสัตว์ในห่วงโซ่อาหาร โลหะหนักและสารพิษเหล่านี้จึงเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

จังหวัดภูเก็ตมีภูมิประเทศที่เป็นเกาะซึ่งมีความสำคัญทางด้านประวัติศาสตร์ การค้าและการท่องเที่ยวที่สำคัญระดับโลก พื้นที่ทั่วทั้งเกาะถูกประกาศเป็นเขตควบคุมมลพิษ เพราะมีความเปราะบางต่อปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อพื้นที่สูงมาก การศึกษามลพิษที่เกิดจากเถ้าในเตาเผา มูลฝอยติดเชื้อ จึงมีความสำคัญต่อการป้องกันการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตของคนในพื้นที่

1.2 ปัญหาและขอบเขตของปัญหา

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการทราบถึงความเป็นพิษของเถ้าก้นเตา(Bottom Ash) จากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ โดยวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักในเถ้าก้นเตาด้วยวิธีการย่อย (Total digestion) และ ศึกษาความเป็นพิษในน้ำชะล้างเถ้า ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) (14) และศึกษาการกำจัดเถ้าก้นเตาในพื้นที่ นำมาจัดทำแนวทางการกำจัดเถ้าก้นเตาให้เหมาะสม โดยมีคำถามของการวิจัยดังนี้

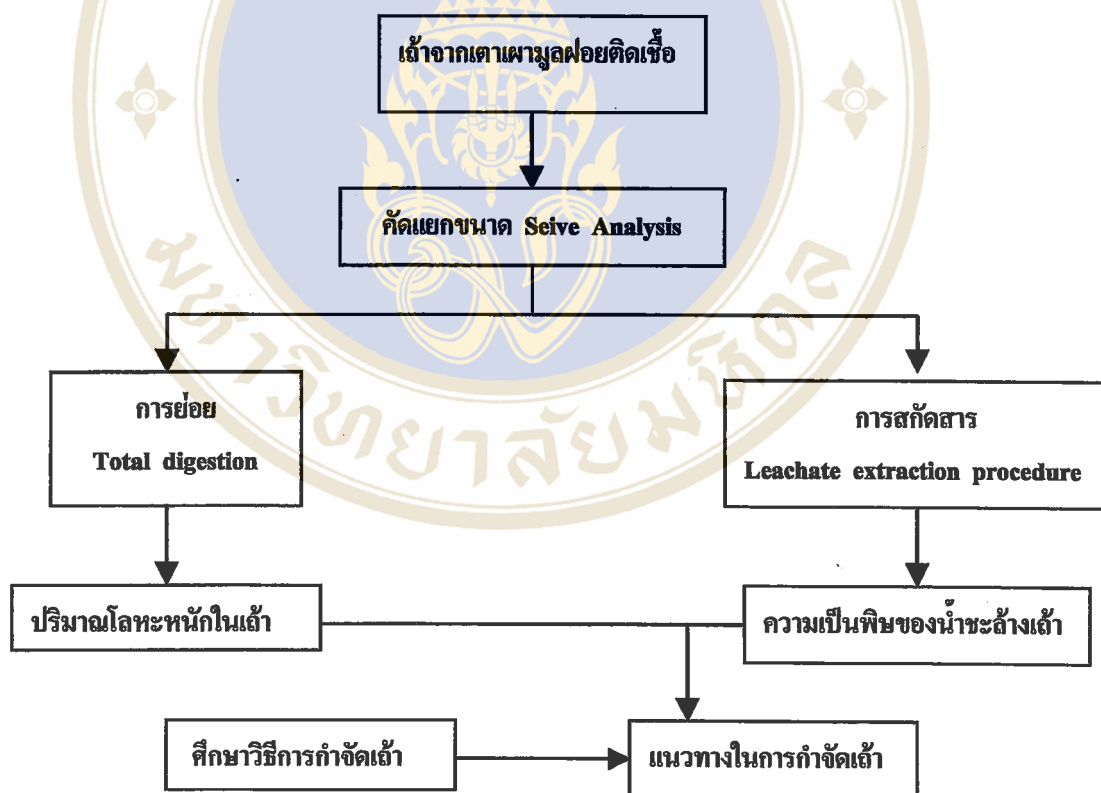
- 1.2.1 ปริมาณของโลหะหนักในเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเป็นเท่าไร และมีความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าก้นเตาเกินกว่าค่ามาตรฐานของเสียอันตรายหรือไม่
- 1.2.2 อนุภาคของเถ้าขนาดเล็กจะมีปริมาณของโลหะหนักมากกว่าอนุภาคเถ้าขนาดใหญ่หรือไม่
- 1.2.3 มีแนวทางการกำจัดเถ้าก้นเตาที่เหมาะสมอย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตา และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตากับขนาดอนุภาคเถ้าก้นเตา
- 1.3.2 เพื่อศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าก้นเตา โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าก้นเตากับขนาดอนุภาคเถ้าก้นเตา
- 1.3.3 เพื่อกำหนดแนวทางการกำจัดเถ้าให้เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของเถ้าก้นเตา

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทราบปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตา และความเป็นพิษของน้ำชะล้างเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ต โดยวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเถ้าด้วยวิธีการย่อย (Total digestion) และทดสอบความเป็นพิษจากน้ำชะล้างที่เตรียมขึ้นในห้องทดลองโดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) แล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เพื่อบอกว่าเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเป็นมูลฝอยอันตรายหรือไม่ พร้อมกับการศึกษาการกำจัดเถ้าแล้วนำมาเสนอแนวทางในการกำจัดเถ้าให้เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของเถ้าก้นเตา โดยแสดงไว้ตามกรอบแนวคิดการวิจัย ดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.5 ขอบเขตในการศึกษาวิจัย

1.5.1 ศึกษาตัวอย่างเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ จังหวัดภูเก็ต 4 แห่ง คือ

- 1) เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเมืองภูเก็ต
- 2) เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง
- 3) เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง
- 4) เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชันนารี

เลือกเถ้าที่นำมาศึกษานั้นเก็บจากช่องเก็บเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาเผาทั้ง 2 ช่อง ส่วนเถ้าก้นเตาของโรงพยาบาลป่าตองแบบ ตช. 2 ซึ่งมีช่องเผาไหม้เดียวนั้น เก็บจากห้องเผาไหม้มูลฝอยเพียงช่องเดียว โดยเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ 2 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะเก็บตัวอย่างเถ้าตลอดช่วง 2 สัปดาห์

1.5.2 ศึกษาปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตา และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตากับขนาดอนุภาคเถ้าก้นเตา

1.5.3 ศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าก้นเตา โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งมีโลหะหนักตามประกาศ ดังนี้ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) เงิน (Ag)ปรอท (Hg) และเซเลเนียม (Se) (14)

1.5.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าก้นเตากับขนาดอนุภาคเถ้าก้นเตา

1.5.5 ศึกษาการจัดเถ้าก้นเตา และแนวทางในการกำจัดเถ้าก้นเตาให้ถูกหลักสุขาภิบาล

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถจำแนกเถ้าก้นเตาที่เป็นมูลฝอยอันตราย ซึ่งส่งผลให้สามารถกำหนดทางเลือกในการกำจัดอย่างถูกวิธี

1.6.2 ทราบความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคเถ้าก้นเตา กับปริมาณของโลหะหนักในเถ้าก้นเตาและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าก้นเตา

1.6.3 ได้แนวทางในการกำจัดเถ้าก้นเตาเผามูลฝอยติดเชื้ออย่างถูกหลักสุขาภิบาล

1.6.4 ได้แนวทางในการศึกษาโลหะหนักในเถ้าก้นเตาเผาในแง่มุมอื่นๆ



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ความเป็นเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตา และศึกษาการกำจัดถ้ำก้นเตาอย่างเหมาะสม โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดโลหะหนักในถ้ำก้นเตามี 2 ประการ คือ องค์ประกอบหรือลักษณะของมูลฝอยติดเชื้อ และกระบวนการเผาไหม้ของเตาเผา เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงและเข้าใจในภาพรวมของการจัดทำแนวทางการกำจัดถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลติดเชื้อที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงรวบรวม ข้อมูลจากเอกสาร ตำรา ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยดังต่อไปนี้

- 2.1 มูลฝอยติดเชื้อ
- 2.2 เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
- 2.3 ถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
- 2.4 แนวทางการกำจัดถ้ำก้นเตา

2.1 มูลฝอยติดเชื้อ

มูลฝอยติดเชื้อเป็นปัจจัยเบื้องต้น ที่ทำให้เกิดโลหะหนักในถ้ำก้นเตา ในการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อจะสัมพันธ์เกี่ยวข้อง กับ ความหมายและประเภทของมูลฝอยติดเชื้อ แหล่งกำเนิด และการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ในรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ความหมายและประเภท (Definitions and Identification of Medical Waste)

เพื่อกำหนดขอบเขตและความหมายที่เข้าใจในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมความหมายของมูลฝอยติดเชื้อดังนี้

ความหมายของมูลฝอยติดเชื้อในทางสากล มีการใช้คำต่าง ๆ กัน เช่น Infectious waste, Pathological waste, Medically hazardous waste, Red bag waste, Hospital waste, Medical waste. (15,16)

Floyd Hasselriis และ Laura Constantine (4) ได้ให้คำจำกัดความว่า มูลฝอยติดเชื้อ (Medical waste) หมายถึง มูลฝอยทั่วไปทั้งหมดจากสถานบริการสาธารณสุขหรือสถานบริการที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสุขภาพ ซึ่งอาจจำแนกเป็นมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยพิเศษ (General waste and Special waste) ซึ่งพิจารณาจากองค์ประกอบและความจำเป็นในการกำจัด

United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA.) (15) ได้ให้คำจำกัดความ “มูลฝอยติดเชื้อ” หมายถึง มูลฝอยที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อ (Infectious waste is defined as waste capable of producing infectious diseases) มูลฝอยติดเชื้อจึงเป็นมูลฝอยที่มีเชื้อโรค (Pathogens) ที่มีความรุนแรง (Sufficient virulence) และมีปริมาณ (Quantity) ที่ทำให้ผู้สัมผัสมีความไวรับ (Susceptible host) เกิดโรคติดเชื้อ (Infectious diseases)

องค์การอนามัยโลก (WHO 1994) (17) ได้ให้คำจำกัดความ “มูลฝอยติดเชื้อ” หมายถึง ของเสียทุกชนิดที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อจากไวรัส แบคทีเรีย หรือพยาธิต่อมนุษย์ (Infectious waste include all kind of waste which may transmit viral, bacterial or parasitic diseases to human being)

คำจำกัดความของมูลฝอยติดเชื้อ โดยคณะทำงานกำหนดแนวทางการจัดการขยะติดเชื้อ ตามคำสั่งกระทรวงสาธารณสุขที่ 184/2538 ประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานทุกกรม ในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ผู้แทนจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ผู้แทนจากกรุงเทพมหานครและสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้กำหนดความหมายของมูลฝอยติดเชื้อดังนี้ (1)

“มูลฝอยติดเชื้อ” หมายถึง มูลฝอยที่เป็นผลมาจาก กระบวนการให้การรักษาพยาบาล การตรวจวินิจฉัย การให้ภูมิคุ้มกันโรค การศึกษาวิจัยที่ดำเนินการทั้งในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งมีเหตุอันควรสงสัยว่ามี หรืออาจมีเชื้อโรค สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

1. วัสดุ ซาก หรือ ชิ้นส่วนของมนุษย์และสัตว์ที่เป็นผลมาจากการผ่าตัด การตรวจชันสูตรศพ การใช้สัตว์ทดลองที่เกี่ยวกับโรคติดต่อ และวัสดุที่สัมผัสในการดำเนินการนั้น ๆ

2. วัสดุที่ใช้ในการให้บริการทางการแพทย์ เช่น สำลี ผ้าก๊อซ ผ้าต่าง ๆ ทอเยา เป็นต้น ซึ่งสัมผัส หรือสงสัยว่าจะสัมผัสกับเลือด ส่วนประกอบของเลือด เช่น น้ำเหลือง เม็ดเลือดต่างๆ

และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเลือด สารน้ำจากร่างกาย เช่น ปัสสาวะ เสมหะ น้ำลาย น้ำเหลือง หนอง เป็นต้น

3. ของมีคมที่ใช้ในกิจกรรมดังกล่าว เช่น เข็ม ใบมีด กระบองฉีดยา หลอดแก้ว ภาชนะที่ทำด้วยแก้ว สไลด์ แผ่นกระจกปิดสไลด์ ทั้งที่ใช้ในการบริการ การวิจัย และในห้องปฏิบัติการ

4. เชื้อ อาหารเลี้ยงเชื้อ วัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและในการวินิจฉัยที่สัมผัสกับเชื้อทั้งทางตรงและทางอ้อมได้แก่ เชื้อโรค เชื้อวัตถุต่างๆ อาหารเลี้ยงเชื้อ จานเลี้ยงเชื้อที่ใช้แล้ว ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเชื้อหรือกวนเชื้อ

5. วัคซีนที่ทำจากเชื้อโรคที่มีชีวิต และภาชนะบรรจุ ได้แก่ วัคซีนป้องกันวัณโรค โปลิโอ หัด หัดเยอรมัน โรคคางทูม วัคซีนโรคไข้รากสาดน้อยชนิดรับประทาน เป็นต้น

6. มูลฝอยทุกประเภท ที่มาจากห้องคิดเชื้อร้ายแรง เช่น ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อร้ายแรงที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ห้องปฏิบัติการเชื้ออันตรายสูง เป็นต้น

จากความหมายที่หน่วยงานต่างๆ ให้ไว้ข้างต้น ทำให้สามารถจำแนกประเภทมูลฝอยเพื่อประโยชน์ในการจัดการและกำจัดให้เหมาะสม เพื่อความปลอดภัยของผู้เกี่ยวข้องดังนี้

WHO (17) ได้จำแนกชนิดของมูลฝอย ที่เกิดขึ้นในสถานพยาบาลเป็น 8 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 มูลฝอยทั่วไป (General wastes) ได้แก่ มูลฝอยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากอาคารในส่วนสำนักงาน ที่พักอาศัย ที่นอนของสัตว์ที่ไม่ติดเชื้อ น้ำทิ้งจากการซักผ้า และสิ่งอื่นๆ ซึ่งไม่ต้องการจัดการเป็นพิเศษ หรือไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ถุงพลาสติก กระดาษ แก้ว ไม้ เศษผ้า เศษอาหาร เป็นต้น

ประเภทที่ 2 มูลฝอยพวกสารกัมมันตภาพรังสี (Radioactive wastes) ได้แก่ ของเสียที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สที่ปนเปื้อนด้วย radionuclides ที่มาจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของเนื้อเยื่อหรือน้ำเหลืองและจากการตรวจวิเคราะห์ การตรวจภายในร่างกาย เกี่ยวกับการถ่ายภาพอวัยวะของร่างกาย และการวิเคราะห์เนื้อเยื่อในร่างกาย

ประเภทที่ 3 มูลฝอยพวกสารเคมี (Chemical wastes) ได้แก่ มูลฝอยที่ประกอบด้วยสารเคมีที่อยู่ในรูปที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สที่ต้องทิ้งไป จากการตรวจวินิจฉัย และการทดลอง การทำความสะอาด รวมทั้งการตรวจทำลายเชื้อ มูลฝอยพวกสารเคมีแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. มูลฝอยพวกสารเคมีที่เป็นอันตราย ประกอบด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้
 - เป็นพิษ กัดกร่อน (กรด $\text{pH} < 2.0$ และด่าง $\text{pH} > 12.0$)
 - ติดไฟได้

- ทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดการระเบิดก่อให้เกิดอันตรายทันทีทันใด (Shock sensitive)

- เป็นพิษต่อพันธุกรรม (เป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้เกิดการผันแปร ทำให้เกิดการผิดปกติแต่กำเนิด หรือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรรมพันธุ์) ได้แก่ ยารักษาโรคมะเร็ง

2. มูลฝอยพวกสารเคมีที่ไม่เป็นอันตราย ประกอบด้วยสารเคมีชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากมูลฝอยที่เป็นอันตราย ได้แก่ กรดอะมิโน น้ำตาล เกลือของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

ประเภทที่ 4 มูลฝอยพวกยา (Pharmaceutical wastes) ได้แก่มูลฝอยประเภทยาและผลิตภัณฑ์ประเภทยา ซึ่งเหลือใช้จากโรงพยาบาลผู้ป่วย ยาที่หกกรด ยาและผลิตภัณฑ์ยาที่หมดอายุหรือถูกปนเปื้อน หรือยาที่ต้องทิ้งไปเนื่องจากไม่ต้องการอีกแล้ว หรืออาจมีเชื้อโรค (Potentially infectious wastes)

ประเภทที่ 5 มูลฝอยพวกภาชนะบรรจุความดัน (Pressurized wastes)

ประเภทที่ 6 มูลฝอยจากแผนกพยาธิวิทยา (Pathological wastes) ได้แก่ มูลฝอยที่เป็นพวกเนื้อเยื่อ อวัยวะต่างๆของร่างกาย ซากทารก ซากสัตว์ รวมทั้งเลือดและน้ำเหลือง

ประเภทที่ 7 มูลฝอยพวกของมีคม (Sharps) ประกอบด้วยของเสียบซึ่งอาจจะติดเชื้อมีได้หรือไม่ติดเชื้อมีได้ แต่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุเป็นอันตรายได้ มูลฝอยประเภทนี้ได้แก่ เข็ม กระบอกฉีดยาที่ทำมาจากแก้ว (Glass syringes) มีดผ่าตัด (Scalpels) เลื่อย ใบมีดโกน (Blades) แก้วแตก ตะปู ของอื่นๆที่สามารถบาด หรือ ทิ่มแทงได้

ประเภทที่ 8 มูลฝอยติดเชื้อ (Infectious wastes) ได้แก่ มูลฝอยที่มีเชื้อโรคปะปนอยู่ในปริมาณหรือความเข้มข้น ซึ่งถ้ามีการสัมผัสหรือใกล้ชิดกับมูลฝอยนั้นแล้วสามารถทำให้เกิดโรคได้ มูลฝอยประเภทนี้ประกอบด้วย

- อาหารเลี้ยงเชื้อของโรคติดต่อกจากห้องปฏิบัติการ

- ของเสียบจากการผ่าตัดหรือการผ่าตัดเพื่อการพิสูจน์ (autopsies) ของคนไข้โรคติดเชื้อ

- ของเสียบจากคนไข้โรคติดเชื้อในโรงพยาบาลผู้ป่วย ที่แยกเฉพาะโรคติดเชื้อ ได้แก่ เลือด น้ำเหลือง น้ำหนอง เสมหะ น้ำลาย อุจจาระ ปัสสาวะ อาเจียน น้ำอสุจิ และน้ำในข้อเข่า

- ของเสียบที่สัมผัสกับผู้ป่วย ด้วยโรคติดเชื้อซึ่งกำลังทำการ haemodialysis เช่น dialysis equipment ได้แก่ หลอดและเครื่องกรอง ลำไส้ ผ้ากอซ กระดาษทิชชู ผ้าอนามัย เข็มฉีดยาชนิดใช้ครั้งเดียว มีด และเครื่องใช้ห้องผ่าตัด ถุงมือ เสื้อผ้าที่เปื้อนมากๆ (ทั้งของคนไข้ แพทย์ และพยาบาล)

- ของเสียที่สัมผัสกับสัตว์ทดลองที่ฉีดเชื้อโรคติดเชื้อ หรือสัตว์ที่กำลังป่วยด้วยโรคติดเชื้อ

EPA (15) ได้จำแนกมูลฝอยติดเชื้อเป็น 6 ชนิด คือ

1. มูลฝอยจากแผนกผู้ป่วยติดเชื้อแยกพิเศษ
2. เชื้อโรคจากการเพาะเลี้ยงและน้ำเลี้ยงเชื้อหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่สัมพันธ์กับเชื้อโรค
3. โลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตมนุษย์
4. มูลฝอยที่ก่อให้เกิดพยาธิสภาพ
5. ของมีคมที่ปนเปื้อน
6. ซากสัตว์ติดเชื้อ ส่วนของอวัยวะ และเครื่องนอน ที่นอน (หมอน, พูก , ฯลฯ)

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (1) ได้แบ่งประเภทและลักษณะของมูลฝอยจากสถานพยาบาล ซึ่งประกอบด้วยมูลฝอยหลายชนิดที่แตกต่างกัน เริ่มตั้งแต่มูลฝอยทั่วไปที่มีลักษณะคล้ายมูลฝอยจากครัวเรือน และมูลฝอยเฉพาะประเภท ที่เกิดจากการรักษาพยาบาลรวมทั้งมูลฝอยอันตราย โดยมูลฝอยทั้ง 3 ประเภทได้แก่

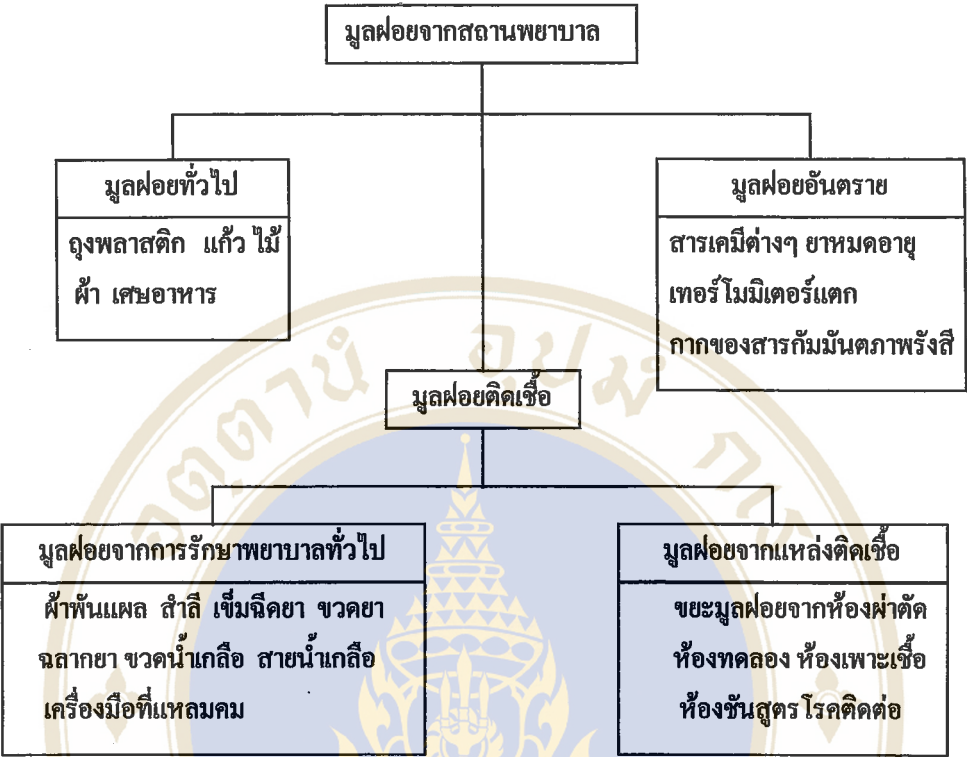
1. มูลฝอยจากบ้านพัก และสนามบริเวณบ้านพักของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล เป็นมูลฝอยที่เกิดจากการใช้ชีวิตประจำวัน หรือเรียกว่า ขยะทั่วไป

2. มูลฝอยจากอาคารต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาล ซึ่งประกอบด้วยวัสดุทางการแพทย์ และจากการรักษาพยาบาล หรือเรียกว่า มูลฝอยติดเชื้อ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

- 2.1 มูลฝอยที่เกิดเฉพาะในโรงพยาบาลเท่านั้น หมายถึง มูลฝอยที่เกิดจากวัสดุทางการแพทย์ การรักษาพยาบาลผู้ที่ไม่ใช่โรคติดต่อ เช่น จากห้องปฐมพยาบาล หรือผู้ป่วยที่เกิดโรคจากอุบัติเหตุ ได้แก่ ผ้าพันแผล สำลี ฉลากยา ขวดแก้วต่างๆ ขวดยา เข็มฉีดยา สายน้ำเกลือ ขวดน้ำเกลือ นอกจากนี้ยังรวมถึงมูลฝอยจากอาคารอำนวยการ จากห้องธุรการ ซึ่งเป็นเอกสาร เศษกระดาษ หรือข้อมูลของผู้ป่วย

- 2.2 มูลฝอยที่เกิดจากการรักษาพยาบาล ผู้ป่วยที่เป็นโรคติดต่อและชิ้นส่วนของร่างกายและอวัยวะภายในที่เกิดจากการผ่าตัด มูลฝอยจากห้องชันสูตรและห้องเพาะเชื้อต่างๆ มูลฝอยส่วนที่ต้องการวิธีกำจัดเป็นพิเศษ

3. มูลฝอยอันตรายเป็นมูลฝอยที่ต้องการวิธีกำจัด เช่นเดียวกับมูลฝอยจากการอุตสาหกรรม ได้แก่ ยาเก่า น้ำยาและสารเคมีต่างๆ ปรอทที่อยู่ในเทอร์โมมิเตอร์ที่แตก กากของสารกัมมันตภาพรังสีจากการเอกซเรย์ และของเสียจากผู้ป่วยที่รักษาโดยรังสี แสดงในรูปที่ 2-1



ที่มา : สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย (2539).

รูปที่ 2-1 ประเภท และลักษณะของมูลฝอยจากสถานพยาบาล

การนิยามความหมายและจำแนกประเภทของมูลฝอยติดเชื้อ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยมักอ้างอิงจากองค์การอนามัยโลก ซึ่งความหมายและประเภทของมูลฝอยติดเชืื่อนั้นจะคล้าย ๆ กัน ที่แตกต่างหรือนอกเหนือไปนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดขอบเขตนิยาม และประเภทที่สถานบริการสาธารณสุขต้องการให้ครอบคลุมแค่ไหน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ความหมายและประเภทของมูลฝอยติดเชื้อจึงอ้างอิงตามนิยามและประเภทของมูลฝอยติดเชื้อของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข เนื่องจากมีความครอบคลุมในเนื้อความ และสอดคล้องกับตัวอย่างเค้าโครงเตาที่เก็บจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ จากโรงพยาบาลและสถานบริการรักษาพยาบาลในจังหวัดภูเก็ต

2.1.2 แหล่งกำเนิดมูลฝอยติดเชื้อ (Source of medical waste)

แหล่งกำเนิดมูลฝอยติดเชื้อ แหล่งสำคัญส่วนใหญ่มาจากการรักษาพยาบาลและการดูแลสุขภาพ ทั้งหน่วยงานของรัฐและเอกชน และครอบคลุมไปถึงสถาบันวิจัยและการศึกษา

องค์การอนามัยโลก (17) ได้อ้างอิงรายงานของ EPA (1990a) ว่ามูลฝอยติดเชื้อมีแหล่งกำเนิดจาก

1. โรงพยาบาล (Hospitals)
2. สถานดูแลผู้ป่วย (Nursing home)
3. สำนักงานแพทย์ (Physician office)
4. คลินิก (Clinics)
5. ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)
6. คลินิกทันตกรรม (Dentist offices)
7. คลังเลือด (Blood banks)
8. ห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลอง (Veterinary laboratory)
9. ฌาปนกิจสถาน (Funeral homes)

สุวรรณา เตียรธสุวรรณ (18) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดมูลฝอยในโรงพยาบาลเป็น 3 แหล่ง คือ

1. อาคารต่างๆ ภายในโรงพยาบาล ซึ่งเป็นอาคารรักษาพยาบาล และพักฟื้นของคนไข้ เช่น ตึกเด็ก อายุรกรรม สูติกรรม ศัลยกรรม ตึกคนไข้ชาย-หญิง เป็นต้น

2. โรงครัว - โรงอาหาร

3. บ้านพัก และบริเวณบ้านพักของเจ้าหน้าที่

ซึ่งมูลฝอยติดเชื้อส่วนใหญ่จะมาจากกลุ่มงานดังนี้ กลุ่มงานรักษาและการพยาบาล กลุ่มงานเทคนิคบริการทางการแพทย์ งานฝ่ายเวชกรรมสังคมและงานฝ่ายทันตสาธารณสุข

2.1.3 องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ (Medical Waste Components)

จากความหมายและประเภทของมูลฝอยติดเชื้อที่กล่าวมานั้น เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ พบว่ามีองค์ประกอบที่แสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ลักษณะทั่วไปของมูลฝอยติดเชื้อประเทศอเมริกา

องค์ประกอบของมูลฝอย	ปริมาณ (ร้อยละ)
กระดาษและเสื้อผ้า	50-70
พลาสติก	20-60
แก้ว	10-20
ของเหลว	1-10
คุณสมบัติของมูลฝอย	
ค่าความร้อน	8500 บีทียู/ปอนด์
ความชื้น	8.5
เถ้า	5.0
คลอไรด์	1.0

ที่มา : U.S.EPA, 1986.

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อในงานวิจัยของบังอร เกียรติธนากร (10) เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลในเขต กรุงเทพมหานคร (2534) พบว่า องค์ประกอบของมูลฝอยส่วนใหญ่จะเป็น พลาสติก กระดาษ และ ผ้า ร้อยละ 60-67 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของต่างประเทศ แตกต่างกันใน ร้อยละของ พลาสติก กระดาษ และผ้า ที่การศึกษาในต่างประเทศมีค่าสูงกว่า ค่าความชื้นและเถ้า ของมูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทยมีค่าสูงกว่ามาก ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2-2

องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ ที่เป็นกระดาษ พลาสติก ไม้ ผ้า และยาง จะมีผลต่อค่า ความร้อนของมูลฝอยในการเผาไหม้ หากร้อยละขององค์ประกอบมูลฝอยเหล่านี้มีมาก ก็ทำให้ อุณหภูมิการเผาไหม้สูง แต่องค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อการเกิดโลหะหนักในเถ้าก้นเตาด้วย เพราะ เม็ดสี หมึก สารเติมแต่งในพลาสติก มีส่วนประกอบของโลหะหนักหลายชนิด (4) นอกจากนี้ องค์ประกอบที่เป็นโลหะที่มีถึงร้อยละ 4.2-8.1 เช่น สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว ปรอท สารเคลือบผิวโลหะ และกาวเมื่อเผาไหม้ก็จะเกิดโลหะหนักได้เช่นกัน (19)

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร

องค์ประกอบมูลฝอยติดเชื้อ	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง
กระดาษ	21.4 – 28.6
ผ้า	15.4 – 16.7
พลาสติก	17.3 – 26.4
ไม้	0.8 – 2.0
ยาง	0.4 - 1.5
ขยะเปียก	9.0– 13.2
แก้ว	10.7 – 21.4
โลหะ	4.2 – 8.1
หิน	0.1 – 5.5
อื่นๆ	0.4 – 1.3
ลักษณะสมบัติ	
ความชื้น	41.0 – 44.8 (ร้อยละ)
Volatile Solids	36.4 – 41.4
เถ้า	15.2 – 18.5
ความหนาแน่น	198.8 - 209.5 (กก./ลบ.ม)
ค่าความร้อน	
DSCV : Dry Solid Calorific Value	3352 – 3891 (กิโลแคลอรี/กก.)
HSCV : Higher Solid Calorific Value	1978 – 2218 (กิโลแคลอรี/กก.)
LSCV : Lower Solid Calorific Value	1587 – 1811 (กิโลแคลอรี/กก.)

ที่มา : บังอร เกียรติชนากร, 2534.

องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อเมื่อเปรียบเทียบกับมูลฝอยจากครัวเรือนจะมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกันแสดงในตารางที่ 1-1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างมูลฝอยติดเชื้อและ มูลฝอยชุมชนองค์ประกอบที่แตกต่างกันหลักๆ เป็นพลาสติกและกระดาษ ขณะที่มูลฝอยติดเชื้อมีกระดาษและป้าโฆษณาร้อยละ 31 แต่มูลฝอยชุมชนมีองค์ประกอบเหล่านี้ถึงร้อยละ 53.9 ส่วนพลาสติกและยางในมูลฝอยติดเชื้อมีร้อยละ 31 มูลฝอยชุมชนมีเพียงร้อยละ 12.8 เท่านั้น พลาสติกในมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการใช้พลาสติกครั้งเดียวทิ้ง (Disposable plastics) เช่น ขวดน้ำเกลือ กระบอกฉีดยา พลาสติกเหล่านี้จึงมาทดแทนแก้วมากขึ้น (4)

พลาสติก PVC (Polyvinyl chloride) ที่เป็นองค์ประกอบในมูลฝอย เป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดสารไดออกซิน (Dioxins) และฟูราน (Furans) ในมลพิษอากาศ (3) เช่นเดียวกับโลหะหนักในเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยที่เป็นผลโดยตรงมาจากการใช้เม็ดสี (Pigment) วัสดุเคลือบหรือฟอยล์หุ้มอุปกรณ์ ตลอดจนเม็ดสี (Colorants) และสารคงตัว (Stabilizer) ที่ใช้ในพลาสติก สารเหล่านี้จะให้โลหะหนักออกมาในอนุภาคของฝุ่น และเถ้าที่เหลือจากการเผา (4)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชืื่อนั้น ทำให้ทราบถึงลักษณะสมบัติของมูลฝอยติดเชื้อ (Waste characterization) ซึ่งสัมพันธ์กับการออกแบบเตาเผาที่ต้องคำนึงถึงประเภท (Types) ลักษณะสมบัติของมูลฝอย และความเหมาะสมในกระบวนการเผา โดยทั่วไปการออกแบบต้องสอดคล้องกับลักษณะสมบัติ (Characteristics) ของมูลฝอย คือ ปริมาณเถ้า ความชื้น ค่าความร้อน ซึ่ง Incinerator Institute of America (IIA) ได้จำแนกมูลฝอยออกเป็น 7 ประเภท ประเภท 0-4 ได้แสดงไว้ดังตาราง 2-3 ส่วนประเภท 5 และ 6 ไม่เกี่ยวข้องกับมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยแต่ละประเภทสามารถบอกค่าร้อยละ ของค่าต่าง ๆ ที่จะมากำหนดหรือออกแบบเตาเผามูลฝอยให้เหมาะสมได้ (20) จากการศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของมูลฝอยติดเชื้อ ในโรงพยาบาลรัฐ Ontario ซึ่งให้ข้อมูลของค่าความชื้น ความหนาแน่นและค่าความร้อนได้แสดงดังตารางที่ 2-4 (21)

ตารางที่ 2-3 การจำแนกประเภทมูลฝอยของสถาบันเตาเผาแห่งอเมริกา

การจำแนกมูลฝอย	ชนิด ลักษณะ	องค์ประกอบหลัก	ร้อยละเฉลี่ย	ร้อยละ	ร้อยละ	ค่าความร้อน ขณะเผาไหม้ บีทียู/ปอนด์
			องค์ประกอบ โดยน้ำหนัก	ละ ความ ชื้น	ของแข็งที่ เผาไหม้ไม่ หมด	
0	มูลฝอยแห้งติดไฟง่าย (Trash)	มูลฝอยแห้งติดไฟง่าย กระดาษ ไม้ กระดาษ พลาสติก เศษยางจากแหล่งการค้า และอุตสาหกรรม	มูลฝอยแห้ง 100	10	5	8,500
1	มูลฝอยแห้ง (Rubbish)	มูลฝอยติดไฟ ผ้าดูพื้น กระดาษ กล่องกระดาษ ผ้า ไม้ ไม้กวาด : จากแหล่งการค้า บ้านเรือนและอุตสาหกรรม	มูลฝอยแห้ง 80 มูลฝอยเปียก 20	25	10	6,500
2	มูลฝอยรวม (Refuse)	มูลฝอยแห้ง และ มูลฝอยเปียกจากบ้านเรือนที่พักอาศัย	มูลฝอยแห้ง 50 มูลฝอยเปียก 50	50	7	4,300
3	มูลฝอยเปียก (Garbage)	มูลฝอยจากพืชผักและสัตว์จากบ้านพัก โรงแรม ตลาด ย่านการค้า และสโมสร	มูลฝอยแห้ง 65 มูลฝอยเปียก 35	70	5	2,500
4	มูลสัตว์และมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ (Animal solids and organic wastes)	ซากสัตว์ อวัยวะสัตว์จากสถาบันฆ่าเนื้อสัตว์ และแหล่งอื่นๆ	เนื้อเยื่อมนุษย์และสัตว์ 100	85	5	1,000

ที่มา : U.S.EPA / 625 / 4-91 / 030, 1991.

ตารางที่ 2-4 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของมูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลรัฐอุดรธานี

องค์ประกอบ	ความร้อน มวลแห้ง (HHV dry basis) (กิโลจูล/กก.)	ความหนาแน่น (Bulk density as fired) (กก./ม. ³)	ความชื้น (Moisture) (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ความร้อน ขณะเผาไหม้ (Heat as fired) (กิโลจูล/กก.)
อวัยวะมนุษย์	18,600-27,900	800-1,200	70-90	1,860-8,370
พลาสติก	32,500-46,500	80-2,300	0-1	32,300-46,500
ผ้าซับหนอง, โลหิต สารดูดซับของเหลว	18,600-27,900	80-1,000	0-30	13,000-27,900
แอลกอฮอล์ น้ำยาฆ่าเชื้อ	25,500-32,500	800-1,000	0-0.2	25,500-32,500
อวัยวะสัตว์ติดเชื้อ	20,900-37,100	500-1,300	60-90	2,090-14,900
แก้ว	0	2,800-3,600	0	0
ที่นอน, ของมีคม, กระดาษ, วัสดุปนเปื้อนอุจจาระ	18,600-20,900	320-730	10-50	9,300-18,800
ผ้าก๊อซ, ผ้าอนามัย, ไม้พันสำลี, เลือผ้า, กระดาษ, เซลลูโลส	18,600-27,900	80-1,000	0-30	13,000-27,900
พลาสติก, พีวีซี, โฟม	22,500-46,500	80-2,300	0-1	22,300-46,500
ของมีคม, เข็ม	140	7,200-8,000	0-1	140
ของเหลว, ของเสีย	0-23,200	990-1,010	80-100	0-4,640

ที่มา : U.S.EPA / 625 / 4-89 / 024, 1990.

2.1.4 การจัดการมูลฝอยติดเชื้อ (Medical Waste Management)

การจัดการมูลฝอยติดเชื้อมีจุดประสงค์หลัก เพื่อการป้องกันและการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรค และอันตรายจากมูลฝอยติดเชื้อที่จะเกิดกับสุขภาพของประชาชน และการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของสถานบริการสาธารณสุข สถานพยาบาล และคลินิกต่างๆ ที่จะต้องให้ความสำคัญและระมัดระวังในการจัดมูลฝอยติดเชื้อ คณะทำงานกำหนดแนวทางการจัดการขยะติดเชื้อ กระทรวงสาธารณสุข (1)ได้กำหนดขั้นตอนหลักในการปฏิบัติ ดังนี้

- 1) การเก็บ
- 2) การเคลื่อนย้ายและการรวบรวม
- 3) การขนส่ง
- 4) การทำลายและการกำจัด

1) การเก็บ มีหลักเกณฑ์ในการถือปฏิบัติดังนี้ คือ

- ให้แยกมูลฝอยติดเชื้อตามคำจำกัดความ ออกจากมูลฝอยอื่นๆหรือมูลฝอยทั่วไป

- การแยกให้แยกตรงแหล่งกำเนิดของมูลฝอย (At the point of generation) ห้ามเก็บรวม และนำมาแยกภายหลัง เพราะจะทำให้เชื้อแพร่กระจายได้

- ให้มีภาชนะที่ใช้รองรับมูลฝอยติดเชื้อที่มีลักษณะเหมาะสมดังนี้

ก. ถุงพลาสติก

- ทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษและเหมาะสม มีความทนทานต่อการรับน้ำหนัก ทนต่อสารเคมี มีความเหนียวไม่ฉีกขาดง่าย สามารถกันน้ำได้ ไม่รั่วซึม

- สีของถุงใส่มูลฝอยติดเชื้อจะต้องมีลักษณะเด่นชัด และมีคำเตือนเฉพาะ เช่น ควรเป็นสีแดงสด ทึบแสง พิมพ์คำเตือน “มูลฝอยติดเชื้ออันตราย” สีดำอยู่ใต้หัวกระโหลกไขว้

- ขนาดของถุงควรมีหลายขนาดให้เลือกใช้ และมีความจุเพียงพอสำหรับบรรจุมูลฝอยติดเชื้อไม่เกิน 1 วัน

- ให้บรรจุมูลฝอยติดเชื้อประมาณสามในสี่ของถุงแล้วผูกมัดปากถุงให้แน่นด้วยเชือก

ข. ภาชนะที่ใช้บรรจุมูลฝอยติดเชื้อประเภทของมีคม เช่น เข็มฉีดยา มีด เศษแก้ว จะต้องทำด้วยวัสดุที่แข็งแรงทนทานต่อการแทงทะลุ เช่น พลาสติกแข็ง กระดาษแข็ง และโลหะ

- ทำจากวัสดุที่มีความทนทาน มีความเหนียว

- ฝากล่องหรือถังจะต้องปิดได้มิดชิด และป้องกันการรั่วไหลของของเหลวจากภายใน และสามารถยกหรือหิ้วได้อย่างสะดวกโดยไม่มีการสัมผัสกับมูลฝอยติดเชื้อที่อยู่ภายใน

- สีของภาชนะดังกล่าวจะต้องมีลักษณะเด่นชัด และมีคำเตือนเฉพาะ เช่น ใช้สีดำทั้งตัวถังและฝาดัง มีรูปหัวกระโหลกไขว้ มีข้อความ “มูลฝอยติดเชื้ออันตราย” หรือ “ห้ามนำกลับมาใช้อีก” หรือ “ห้ามเปิด”

- การเก็บมูลฝอยในถุงไม่ควรมีปริมาณหรือน้ำหนักมากจนทำให้ถุงขาดทะลุหรือ มัดปิดปากถุงไม่ได้

- เมื่อบรรจุมูลฝอยได้ประมาณสามในสี่ของถุงแล้ว ให้มัดปากถุงให้แน่นด้วยเชือก แล้ววางไว้ในที่มุงห้องซึ่งเป็นจุดวางที่แน่นอนหรือประจำเพื่อรอการขนย้าย

2) การเคลื่อนย้ายและการรวบรวม

การรวบรวมและเคลื่อนย้ายมีความจำเป็นสำหรับสถานบริการที่มีขนาดใหญ่ มีจุดให้บริการ และจุดกำเนิดมูลฝอยติดเชื้อหลายจุด จึงควรดำเนินการดังนี้

- ควรชี้แจงและอบรมบุคลากรที่ทำหน้าที่นี้ และมีระบบกำกับดูแล เช่น

ก. การแต่งกาย ต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ได้แก่ ถุงมือยางหนา ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดปาก และรองเท้ายางหุ้มแข้งตลอดเวลาปฏิบัติงาน

ข. ปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง เช่น ตรวจสอบมูลฝอยก่อนเคลื่อนย้าย ว่าถุงไม่รั่ว คอถุงผูกเชือกเรียบร้อย ยกและวางอย่างนุ่มนวล โดยจับตรงคอถุง ห้ามอุ้มถุง และสามารถจัดการกับมูลฝอยตกหล่นได้อย่างถูกต้อง

ค. เมื่อเสร็จสิ้นภาระกิจให้ออดถุงมือและชุดปฏิบัติการและนำไปฆ่าเชื้ออย่างถูกต้อง

ง. อาบน้ำทันที หลังเสร็จสิ้นภาระกิจประจำวัน

- รถเข็นสำหรับขนย้ายมูลฝอย ควรจะต้องมีข้อกำหนดคือ

ก. เป็นรถที่ใช้ขนมูลฝอยติดเชื้อเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ในกิจการอื่น

ข. ทำด้วยวัสดุที่ทำความสะอาดง่าย ผิวเรียบ ไม่มีแฉกมุมอันจะเป็นแหล่งหมักหมมของเชื้อโรค และมีช่องระบายน้ำ

ค. ควรมีผนังทึบและมีฝาปิด เพื่อป้องกันสัตว์และแมลงเข้าไปในรถ

- สถานที่เก็บกักมูลฝอยติดเชื้อควรมีลักษณะดังนี้

ก. ควรอยู่แยกจากอาคารอื่น ถ้าสถานที่บริการมีเตาเผา ควรอยู่ใกล้เตาเผา ถ้าไม่มีเตาเผาควรอยู่ใกล้และสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายต่อ

ข. มีขนาดเพียงพอที่จะรวบรวมมูลฝอยได้อย่างน้อยสองวัน

ค. ควรมีกำแพงสำหรับสถานที่เก็บกักมูลฝอย

ง. มีลักษณะโปร่ง โล่ง ไม่อับชื้น หรือร้อนจัดจนเกินไป

จ. มีการป้องกันสัตว์แมลงเข้าไป ประตูเข้าออกกว้างพอสะดวกสำหรับการปฏิบัติงาน และปิดอยู่เสมอมีกุญแจล็อก

ฉ. ผนังพื้นควรเรียบ สามารถระบายน้ำได้ดี

ช. มีลานสำหรับล้างรถเข็นอยู่ติดประตูออก

- การเคลื่อนย้ายมูลฝอยติดเชื้อ

ก. ควรขนตามเวลาที่กำหนด โดยมีเส้นทางที่แน่นอน

ข. ให้ดำเนินการด้วยความระมัดระวัง และห้ามโยน ลากถุงมูลฝอย

ค. ระหว่างเดินทางไปยังสถานที่เก็บกัก ห้ามแวะหรือพักที่ใด

ง. เมื่อมีมูลฝอยตกหล่นระหว่างทางห้ามหยิบด้วยมือเปล่า ควรใช้คีมเหล็ก หรือถุงมืออย่างหนาหยิบ หากมีสารน้ำให้ซับด้วยกระดาษแล้วทิ้งกระดาษลงสู่มูลฝอยติดเชื้อแล้วจึงราดด้วยยาฆ่าเชื้อก่อนเช็ดถูตามปกติ

จ. เมื่อเสร็จภารกิจในแต่ละวันให้ล้างรถชนและฆ่าเชื้อ

3) การขนส่ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- การขนส่งภายในสถานพยาบาล เป็นการขนส่งโดยใช้รถเข็น รถมอเตอร์ไซด์
- การขนส่งภายนอกสถานพยาบาล เป็นการขนส่งจากสถานพยาบาลส่งระบบกำจัดศูนย์กลางหรือบริเวณที่ทิ้งมูลฝอยของชุมชนในกรณีสถานพยาบาลไม่มีระบบกำจัดภายในสถานพยาบาล อาจจะขนส่งโดยสถานพยาบาลเอง หรือโดยกรุงเทพมหานคร เทศบาล หรือ สุขาภิบาล รถที่ใช้ขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ สภาพของรถต้องเป็นระบบปิด และควรมีระบบช่วยผ่อนแรงในการยกถังระหว่างที่พิกมูลฝอยกับรถขนส่ง นอกจากนี้รถขนส่งควรมีระบบทำความสะอาดโดยตั้งอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

การขนส่งมูลฝอยติดเชื้อจึงเป็นสิ่งจำเป็น มาตราโดยทั่วไปเช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายมูลฝอยในสถานบริการ แต่ต้องเพิ่มความระมัดระวังการตกหล่นให้มากกว่ามาตรการโดยทั่วไปคือ

- รถขนมูลฝอยติดเชื้อ ควรใช้เฉพาะขนมูลฝอยติดเชื้อเท่านั้น
- รถขนควรมีลักษณะเฉพาะ เช่น สามารถควบคุมอุณหภูมิ มีสัญญาณกะพริบ และคำเตือนให้รู้ว่าเป็นรถเก็บขนมูลฝอยติดเชื้อ
- ต้องมีมาตรการป้องกันการรั่วไหล ตกหล่น และสามารถแก้ไขเหตุฉุกเฉินที่มีอุบัติเหตุในระหว่างการขนส่ง เช่น มีป้ายระบุ เลขรหัสของรถ ชื่อ สถานที่ และหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่สามารถติดต่อขอความช่วยเหลือ เป็นต้น

4) การทำลายเชื้อและการกำจัด

การทำลายเชื้อเป็นขั้นตอนที่จะทำลายเชื้อให้หมดไป ไม่ก่อให้เกิดอันตราย เป็นหน้าที่ของสถานบริการ หรือเจ้าของกิจการที่จะต้องจัดการกับมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากกิจกรรมของตนอย่างถูกวิธี ซึ่งมีแนวทางในการจัดการโดยแบ่งออกดังนี้

- การทำลายเชื้อ มูลฝอยติดเชื้อหากได้รับการทำลายเชื้อแล้วโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งทางกระทรวงสาธารณสุขรับรองให้ถือว่ามูลฝอยติดเชืวดังกล่าวมิใช่มูลฝอยติดเชื้อต่อไป

ให้ดำเนินการในลักษณะของมูลฝอยทั่วไปได้ การทำลายเชื้อโดยทั่วไป ตามวิธีมาตรฐานสากล มีการดำเนินการในหลายวิธี ได้แก่

ก. การเผา (Incineration) เป็นการทำลายเชื้อให้หมดไป และมีส่วนของเถ้าหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะต้องนำไปกำจัดที่บริเวณพื้นที่กำจัดมูลฝอย

ข. การอบไอน้ำ (Steam sterilization) เป็นการฆ่าเชื้อโรคโดยมีมูลฝอยคงเหลือในปริมาณเท่าเดิมหรือมากกว่า เนื่องจากมีไอน้ำปนลงมา

ค. การใช้สารเคมี (Chemicals)

ง. การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave) เป็นวิธีการที่ได้ผลดีพอสมควร

จ. การใช้รังสี (Sterilization by radiation) นิยมใช้กันน้อย

ฉ. การใช้ความร้อน (Thermal inactivation)

ช. การอบแก๊ส/ไอ (Gas / Vapor sterilization)

วิธีการต่างๆ จะมีข้อดีข้อด้อยให้เลือกตามความเหมาะสม ในสภาพพื้นที่และสอดคล้องกับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อมีความจำเป็นต้องทำลายเชื้อก่อน นำไปกำจัดโดยวิธีปกติ บางวิธีในการกำจัดสามารถทำลายเชื้อและกำจัดหรือแปรสภาพได้ทันที เช่น การเผา แต่ยังคงเหลือเถ้าที่ต้องนำไปกำจัดขั้นสุดท้ายตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ได้มอบหมายให้มีการกำจัดเป็นหน้าที่ของราชการส่วนท้องถิ่นในการดำเนินงาน ดังนั้นข้อเสนอในการดำเนินงานครั้งนี้ สามารถดำเนินการทั้งในขั้นตอนการทำลายเชื้อและการกำจัดโดย

ก. ราชการส่วนท้องถิ่นดำเนินการเองโดยจัดให้มีระบบการทำลายเชื้อและกำจัด และให้บริการในท้องถิ่นนั้นๆ

ข. ราชการส่วนท้องถิ่นมอบให้ผู้ใดผู้หนึ่งดำเนินการ เช่น อาจมอบให้สถานบริการดำเนินการเอง ตามความเหมาะสมและศักยภาพ

ค. ให้เอกชนดำเนินการขออนุญาตดำเนินการโดยเก็บค่าบริการจากสถานบริการ

ในการดำเนินงานของกระทรวงสาธารณสุข ได้ยึดตามหลักวิชาการคือ การกำจัด ณ แหล่งกำเนิด โดยเลือกกำจัดด้วยวิธีการเผาในเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ เนื่องจาก

- สามารถกำจัดมูลฝอยติดเชื้อได้ทันที และเหมาะสมกับปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ

- มูลฝอยติดเชื้อนํารังเกียจ โดยเฉพาะเลือด อวัยวะ และชิ้นส่วนร่างกาย เตาเผาสามารถกำจัดได้เกือบทั้งหมด ไม่เหลือสภาพเดิมให้ปรากฏ

- การเผาเฉพาะมูลฝอยติดเชื้อด้วยกัน ทำให้ไม่ปะปนกับมูลฝอยประเภทอื่น และป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค

จากหลักเกณฑ์และขั้นตอนการปฏิบัติ ตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุขนั้น ในสถานการณ์ปัจจุบัน โรงพยาบาลขนาดใหญ่ และโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขที่มีระบบเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเท่านั้นที่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ดังกล่าว ในบางจังหวัดที่เป็นที่เป็นเมืองขนาดใหญ่องค์กรท้องถิ่นเช่นเทศบาลจะกำจัดโดยใช้ระบบเตาเผารวม ซึ่งเทศบาลจะเก็บขนและกำจัดให้ แต่ความครอบคลุมตามหลักเกณฑ์เหล่านี้ไม่สามารถปฏิบัติได้ในหลายจังหวัดที่มีคลินิกเอกชน โรงพยาบาลเอกชนขนาดเล็กและสถานีนามัยทั่วประเทศ ปัญหาที่พบในการปฏิบัติ คือ

- การคัดแยกมูลฝอยติดเชื้อ เมื่อไม่มีระบบกำจัดที่แยกเฉพาะ การคัดแยกมูลฝอยติดเชื้อจึงไม่มี มูลฝอยติดเชื้อจึงทิ้งปะปนไปกับมูลฝอยทั่วไป
- ถุงพลาสติกที่ใส่มูลฝอยติดเชื้อส่วนใหญ่ใช้ถุงแดง แต่ด้านข้างถุงไม่มีการพิมพ์ข้อความ "มูลฝอยติดเชื้ออันตรายได้หวัะะโหลกไขว้"
- การขนส่งและการกำจัด หากมีบริการของเทศบาล หรือสุขาภิบาล ส่วนใหญ่ไม่มีรถขนมูลฝอยที่แยกต่างหาก มูลฝอยติดเชื้อจึงปนไปกับมูลฝอยทั่วไปส่วนสถานีนามัยมีการกำจัดหลากหลายรูปแบบ
- การปฏิบัติและความเข้าใจของผู้ทิ้งมูลฝอยติดเชื้อและพนักงานเก็บขน จากการศึกษาพบว่า ผู้ทิ้งมูลฝอยมีความเข้าใจ เกี่ยวกับประเภทของมูลฝอยติดเชื้อ ร้อยละ 88.70 ส่วนพนักงานเก็บขน ร้อยละ 64.9 แต่ในด้านการปฏิบัติบางส่วนของทั้งสองกลุ่มจัดการมูลฝอยติดเชื้อไม่ถูกต้อง (22)
- เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลเตาเผา ไม่มีความรู้ความชำนาญในการควบคุมและดูแลเตาเผา ส่งผลให้การเผาผลาญไม่มีประสิทธิภาพ
- กากและเถ้าจากการเผา จะกองทิ้งไว้ข้างเตาเผา ไม่มีการนำไปกำจัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ (9)
- ผู้รับเหมาที่รับจ้างสร้างเตาเผา และผู้ตรวจรับงานก่อสร้างเตาเผาไม่มีความรู้ความชำนาญ ทำให้เตาเผาที่สร้างไม่ได้มาตรฐาน

การจัดการมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบัน จึงเป็นปัญหาต่อบุคลากรที่เก็บขนคัดแยกและการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาเหล่านี้ไม่ได้เกิดเฉพาะในเมืองใหญ่แต่จะรวมไปถึงระดับตำบลและอำเภอที่ต้องประสบปัญหาด้านการจัดการมูลฝอยติดเชื้อทั้งสิ้น จากสถิติของสถานพยาบาลในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2539 ที่มีมากกว่า 20,000 แห่ง จำนวนเตียงคนไข้มากกว่า 120,000 เตียง (8) ได้แสดงในตารางที่ 2-5 จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2537 พบว่าอัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อเฉลี่ย 0.26-0.65 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อวันละ 48 ตัน

เป็นมูลฝอยติดเชื้อในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเฉลี่ยวันละ 14 ตัน และมูลฝอยติดเชื้อในภูมิภาควันละ 34 ตัน ปริมาณมูลฝอยที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.5 ต่อปี (7) ขณะที่ข้อมูลการสำรวจของกรมอนามัยและคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2538 พบว่าอัตราการผลิตมูลฝอยติดเชื้อ 0.43 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน คิดเป็นปริมาณมูลฝอยติดเชื้อวันละไม่น้อยกว่า 30 ตัน (8)

ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อหากพิจารณาโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วนคือ พื้นที่กรุงเทพมหานครและพื้นที่ส่วนภูมิภาค มีการดำเนินงานดังนี้

พื้นที่กรุงเทพมหานคร การให้บริการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ โดยสำนักรักษาความสะอาด เก็บขนมูลฝอยจากโรงพยาบาล ศูนย์บริการสาธารณสุข และสถานพยาบาลจำนวน 582 แห่ง ปริมาณมูลฝอยวันละ 8.5 ตัน อัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อ 0.11 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน (23) นอกจากนี้มีรถยนต์เปิดข้างขนาดความจุ 4 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิไม่เกิน 15 องศาเซลเซียส จำนวน 15 คัน มีเตาเผาที่ได้มาตรฐาน 2 เตา ความสามารถในการเผาวันละ 10 ตันต่อเตาเปิดใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 (24)

พื้นที่ส่วนภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นสถานพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัยได้ก่อสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อครอบคลุมร้อยละ 91 ของทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2539 และจะครบถ้วนทุกแห่งในปี พ.ศ. 2540 (8) ดังรายละเอียดได้แสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-5 จำนวนสถานพยาบาลในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2539

สถานพยาบาล	จำนวน (แห่ง)	จำนวน (เตียง)
โรงพยาบาลมหาวิทยาลัย	8	6245
โรงพยาบาลศูนย์	17	12,258
โรงพยาบาลทั่วไป	75	23,177
โรงพยาบาลชุมชน	707	25,860
สถานีนอนัมย์	8,263	-
โรงพยาบาลเอกชน	407	30,082
โรงพยาบาลอื่นๆ	123	30,637
ศูนย์สาธารณสุขอื่นๆ	825	-
คลินิกต่างๆ	12,184	-
รวม	22,609	128,259

ที่มา : สุวรรณา เตียรุสสุวรรณ, 2540

ตารางที่ 2-6 สถิติการมีเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในสถานพยาบาลสังกัดกระทรวงสาธารณสุข
ปี พ.ศ. 2539

หน่วยงาน	จำนวนโรงพยาบาล		
	ทั้งหมด (แห่ง)	มีเตาเผามูลฝอย (ที่)	แผนปี 2540 (ที่)
สำนักงานปลัดกระทรวงฯ			
- โรงพยาบาลศูนย์	17	17	-
- โรงพยาบาลทั่วไป	75	75	-
- โรงพยาบาลชุมชน	707	536	171
กรมอนามัย	14	13	1
กรมการแพทย์	23	18	5
กรมควบคุมโรคติดต่อ	5	5	-
กรมสุขภาพจิต	11	10	1
รวม	852	674	178
ครอบคลุม (ร้อยละ)		91	9

ที่มา : สุวรรณ เตียรธสุวรรณ, 2540.

2.1.5 การจัดการมูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต

จังหวัดภูเก็ตมีสภาพภูมิประเทศเป็นเกาะ พื้นที่ 543.034 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เป็นภูเขา ร้อยละ 77 แบ่งการปกครองออกเป็น 3 อำเภอ 17 ตำบล 102 หมู่บ้าน มีการปกครองท้องถิ่น 3 รูปแบบคือ เทศบาล 6 แห่ง องค์การบริหารส่วนตำบล 12 แห่ง จำนวนประชากร สำรวจเมื่อเดือน ธันวาคม 2539 จำนวน 215,070 คน แต่ในความเป็นจริงจังหวัดภูเก็ตมีประชากรที่อาศัยอยู่จริง มากกว่าประชากรตามทะเบียนราษฎร์ เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงระดับโลก จึงมีการ เคลื่อนย้ายประชากรสูง นอกจากนั้นยังมีนักท่องเที่ยวที่เข้ามาพักอาศัยในปี พ.ศ. 2539 จำนวน 4,502,033 คน (11)

สถานบริการสาธารณสุขในจังหวัดภูเก็ตปี พ.ศ. 2540 มีโรงพยาบาล 9 แห่ง จำนวนเตียง 823 เตียง เป็นโรงพยาบาลของรัฐ 3 แห่ง เอกชน 6 แห่ง สถานีอนามัย 21 แห่ง ศูนย์บริการ สาธารณสุข 2 แห่ง คลินิกเอกชน 84 แห่ง ร้านขายยาและสถานที่ผลิตยา 89 แห่ง รายละเอียด ของสถานบริการสาธารณสุขจังหวัดภูเก็ตในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 สถานบริการสาธารณสุขจังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2540

ประเภท	จำนวน (แห่ง)	จำนวนเตียง
โรงพยาบาลรัฐ	3	454
โรงพยาบาลเอกชน	6	369
สถานีนามัย	21	-
ศูนย์บริการสาธารณสุข	2	-
คลินิกเอกชน	84	-
ร้านขายยา	87	-
สถานที่ผลิตยาแผนโบราณ	2	-
รวม	205	823

ที่มา : สรุปผลงานประจำปี สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดภูเก็ต, 2540.

จากจำนวนสถานบริการสาธารณสุข 205 แห่ง ซึ่งส่วนใหญ่แหล่งผลิตมูลฝอยติดเชื้อนั้นมาจากโรงพยาบาล ศูนย์บริการสาธารณสุข สถานีนามัย และคลินิกเอกชน ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในจังหวัดไม่ได้มีการสำรวจที่แน่นอน นอกจากการสำรวจก่อนการวิจัย ของผู้วิจัยพบว่า มูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากสถานบริการในเขตเทศบาลเมือง ได้แก่ โรงพยาบาล 6 แห่ง คลินิกและศูนย์บริการสาธารณสุขมากกว่า 60 แห่ง มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อวันละ 250 กิโลกรัม ส่วนมูลฝอยติดเชื้อนอกเขตเทศบาลเกิดจากโรงพยาบาลชุมชน 2 แห่ง และโรงพยาบาลเอกชน 1 แห่ง วันละ 80 กิโลกรัม รวมปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ ประมาณ 330 กิโลกรัมต่อวัน มูลฝอยติดเชื้อเหล่านี้ไม่รวมมูลฝอยติดเชื้อจากสถานีนามัย 21 แห่ง และคลินิกเอกชนนอกเขต เทศบาล 10 แห่ง การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในเขตเทศบาลมีหน่วยงานของเทศบาลเป็นผู้รับบริการเก็บขนจากคลินิกและโรงพยาบาลในเขตเทศบาล โดยเก็บขนทุกวัน และเผาในเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (25) นอกเขตพื้นที่เทศบาลมีการกำจัดโดยการเผาในโรงพยาบาล 3 แห่ง ส่วนสถานีนามัย และคลินิกเอกชน นอกเขตเทศบาลกำจัดโดยการฝังกลบรวมกับมูลฝอยทั่วไป รายละเอียดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในเขตจังหวัดภูเก็ต แสดงในตารางที่ 2-8



ตารางที่ 2-8 การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเตาเผาจังหวัดภูเก็ต

หน่วยงาน	แบบเตาเผา	ขนาด (กก./ ชม.)	ปริมาณมูลฝอยต่อ ครั้งการเผา (กก.)	ความถี่การเผา ต่อสัปดาห์ (ครั้ง)	ปริมาณเถ้าที่เหลือ จากการเผาต่อครั้ง (กก.)
เทศบาล	Multi-chamber	250	250	7	15
รพ. มีชชน	Multi-chamber	30-50	30-50	2	4
รพ. ถลาง	Multi-chamber	25	80	2	8-10
รพ. ป่าตอง	ตข.2	1 ม ³	80	2	8-10

ที่มา: จากการสำรวจปี พ.ศ. 2540.

2.2 เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

2.2.1 หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเผามูลฝอยติดเชื้อ

หลักการเผาไหม้ (Principle of combustion) การเผาไหม้มูลฝอยติดเชื้อเป็นกระบวนการทางเคมีที่ลดปริมาณมูลฝอยให้เหลือเป็นเถ้า ปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างรวดเร็วในการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ในมูลฝอยและเชื้อเพลิงที่มากพอ ทำให้เกิดพลังงานและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูป Oxidized form โดยมีหลัก 4 ประการคือ ปฏิกิริยาเคมีเบื้องต้น ความต้องการอากาศในการเผาไหม้ อุณหภูมิการเผา และปริมาณอากาศที่ไหลเวียน (20)

- ปฏิกิริยาเคมี (Chemical reactions) สารอินทรีย์ในมูลฝอยติดเชื้อ ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O₂) ธาตุเหล่านี้จะเกิดในปฏิกิริยาเป็นส่วนใหญ่ และจะถูกปล่อยออกมาเป็นแก๊สระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ส่วนธาตุอื่นๆที่พบอยู่ในปริมาณน้อย ได้แก่ โลหะหนัก (Metals) ซัลเฟอร์ (S) ไนโตรเจน (N) และคลอรีน (Cl) ธาตุที่มีอยู่เล็กน้อยเหล่านี้ แม้ไม่มีความสำคัญในกระบวนการเผาไหม้ แต่ก็เป็ธาตุสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และมลพิษสิ่งแวดล้อม ระหว่างการเผาไหม้คาร์บอนและไฮโดรเจนในสารอินทรีย์ จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ของการเผาไหม้ หากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ และ

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) คลอรีน (Cl_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และโลหะหนักอื่นๆ ที่ออกมากับไอระเหย (21)

- อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Combustion Air) ตามทฤษฎีแล้ว ออกซิเจน (O_2) ที่ใช้ในการเผาไหม้ที่เกิดอย่างสมบูรณ์รู้จักกันในชื่อ Stoichiometric หรือ Theoretical oxygen ซึ่งคำนวณได้จากชนิดและปริมาณของวัสดุที่เผาไหม้ได้ ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้มาจากบรรยากาศ จึงนิยมให้มีส่วนเกินที่มากกว่าอากาศ ตามทฤษฎี เรียก Excess air (%EA) ในการออกแบบเตาเผา จะให้ Excess air ประมาณร้อยละ 100-300 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของมูลฝอยและการออกแบบของห้องเผามูลฝอย (26) หากปริมาณอากาศน้อยกว่า Stoichiometric เรียกว่า Starved air หรือ Substoichiometric air ในภาวะเช่นนี้จะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกมากับไอระเหย และควัน แต่อากาศที่มากเกินไป มีผลทำให้อุณหภูมิต่ำลง ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมาก เกิดอนุภาคในเตาลอย ปริมาตรแก๊สมากขึ้น ต้องใช้ระบบที่มีแรงม้าสูงขึ้น และประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง (20)

- อุณหภูมิการเผา (Thermochemical relations) อุณหภูมิการเผาคำนวณจากการประมาณค่าความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา และความร้อนที่ถ่ายเทสัมพันธ์กับการเผาไหม้ พลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยจากกระบวนการเผาไหม้ และถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมสามารถคำนวณจากค่าความร้อนของมูลฝอยและเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ ระบบการเผาไหม้จะปลดปล่อยความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมและการสูญเสียความร้อนในวิธีอื่นเช่นการแผ่รังสี (20)

- การวัดปริมาตรอากาศที่ไหลเวียน (Volumetric gas flows) การไหลเวียนของแก๊สผ่านระบบการเผาไหม้ เป็นหลักใหญ่ในการพิจารณาการออกแบบ และการทำงานของเตาเผา อากาศที่ไหลเวียนประกอบด้วยอากาศในการเผาไหม้ แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ และความชื้นที่ระเหยจากมูลฝอย เป้าหมายแรกของการออกแบบและทำงานของระบบเตาเผามูลฝอยคือเชื่อ การทำลายเชื้อโรคอย่างสมบูรณ์ และการเผาไหม้สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งเป้าหมายที่ต้องการให้มูลฝอยมีอุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาในการเผา คือ เวลาที่เผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับปริมาตรของห้องเผา และการวัดอัตราการไหลของปริมาตรแก๊ส ซึ่งทั้งหมดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับปริมาตรอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้และระยะเวลาเผาไหม้ที่ทำให้เกิดอุณหภูมิการเผาสูงสุดและ ความพือในส่วนผสม (Turbulence) ที่คลุกเคล้ากันของมูลฝอย เชื้อเพลิง และอากาศในการเผาไหม้ หลักการเผาไหม้นี้เรียกว่า 3-T คือ อุณหภูมิ (Temperature) ส่วนผสม (Turbulence) และ เวลา (Time) (20)

2.2.2 ประเภทของเตาเผา (Type of Incinerators)

ระบบการเผามูลฝอยไม่ได้ออกแบบประเภทของเตาเผาและปริมาตรของเตาเผาให้เหมาะสมตามแหล่งการเกิดของมูลฝอยแต่ละแห่งได้อย่างพอดี ในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อมุคกลางที่เกี่ยข้องจะต้องเลือก จัดซื้อ และดำเนินการระบบการเผาไหม้มูลฝอยติดเชื้อให้เหมาะสม เพราะเตาเผามูลฝอยแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันของอุปกรณ์ระบบ และการจัดการระบบที่ไม่เหมือนกัน ตั้งแต่ตัวเตาเผา อุปกรณ์ควบคุมมลพิษ การควบคุมการเผา และการบำรุงรักษา (20)

กระบวนการเผาไหม้มูลฝอยเป็นการเผาไหม้ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งต้องให้ความร้อนระหว่าง 600-1200 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ เตาเผามูลฝอยจึงควรมีเทคโนโลยีในการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพ โดยจะต้องลดปริมาณมูลฝอยจากเดิมให้เหลือน้อยที่สุด และส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ ต้องมีลักษณะคงรูปไม่มีการย่อยสลายอีกต่อไป สามารถนำไปกำจัดได้อย่างปลอดภัย (27)

ศัพท์ที่ใช้กับประเภทเตาเผามูลฝอยติดเชือนั้นมีจำนวนมาก ตามเวลาที่มีการพัฒนาเทคโนโลยี ในการเผามูลฝอย ซึ่งพอจะจัดกลุ่มของเตาเผาออกเป็น 3 ประเภท (21) คือ

- Multiple-Chamber or Excess air
- Rotary Kilns
- Controlled- air or starved air

ประเภทเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทย เป็นเตาเผาที่พัฒนามาจากเตาเผาที่เป็นเทคโนโลยีพื้นบ้าน และเตาเผาที่นำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ทั้งเตาเผาขนาดเล็กที่ใช้ในโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข และเตาเผาขนาดใหญ่ของกรุงเทพมหานคร ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเตาเผาขนาดเล็ก ดังนี้

1) เตาเผามูลฝอยติดเชื้อของกองสุขาภิบาล กรมอนามัย เป็นเตาเผาแบบ ตข.2 ซึ่งเป็นเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่ดัดแปลงมาจากเตาเผาที่ใช้เคี่ยวน้ำตาลโตนด รูปแบบเตาจะเป็นแบบห้องเดี่ยว ไม่มีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนติดตั้งภายในเตา เป็นเตาเผาที่ผลิตในประเทศและราคาประหยัด มีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับโรงพยาบาลขนาดเล็ก เช่น โรงพยาบาลชุมชน 10-150 เตียง และสถานอนามัย กำลังความสามารถในการเผาได้ 30-70 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิงประเภทฟืนหรือเศษไม้ที่หาได้ในท้องถิ่น ราคาก่อสร้าง (ปี พ.ศ. 2532) ประมาณ 27,000-51,300 บาท โดยมีรายละเอียดเตาเผารูปที่ 2-2 เตาที่ออกแบบมี 3 ขนาด (7) ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 ขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ดช.2

ขนาดความจุ ห้องเผา (ลบ.ม.)	อุณหภูมิสูงสุด ในห้องเผา(°C)	ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง (บาท/ ลบ.ม)	ค่าก่อสร้างเตา และอาคาร (บาท)	หมายเหตุ
0.5	787-860	65	27,000	ราคาค่าก่อสร้างวัสดุ และเชื้อเพลิงเป็นราคา ปี พ.ศ. 2532
1.0	797-927	66	44,550	
1.5	697-878	54	51,300	

ที่มา : กองสุขาภิบาล กรมอนามัย, 2537.

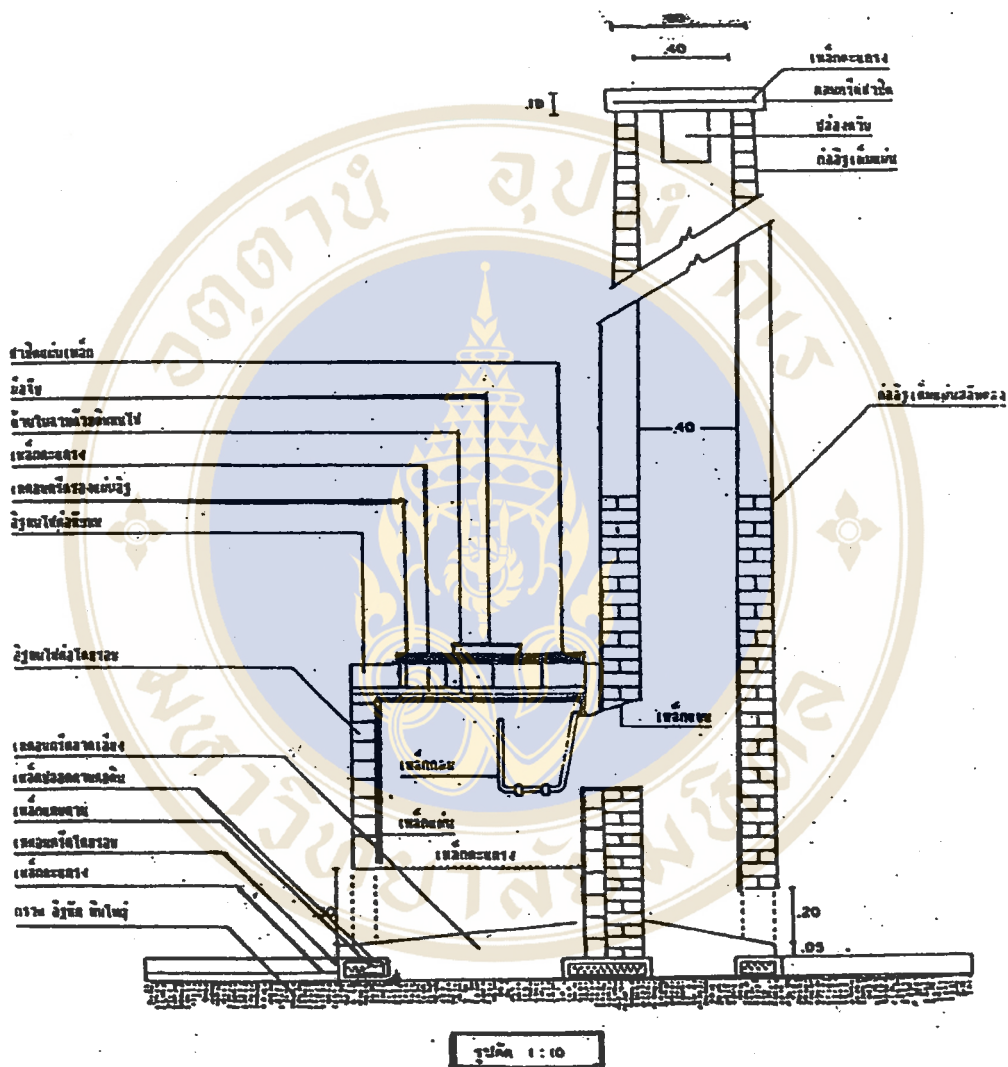
จากข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุข (2537) โรงพยาบาลที่ใช้เตาเผาแบบ ดช.2 มีจำนวน 266 แห่ง (9)

ข้อจำกัดของเตาเผาแบบนี้ คือ

- ไม่เหมาะกับมูลฝอยที่มีความชื้นสูง ต้องควบคุมให้มูลฝอยมีความชื้นน้อยที่สุด เพราะหากมีความชื้นสูง จะส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้ในเตาตกลงทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
- เป็นเตาเผาที่ไม่มีระบบควบคุมป้องกันมลพิษอากาศและกลิ่น ดังนั้นจึงต้องเลือกที่ตั้งของเตาเผาให้เหมาะสมและอยู่ห่างจากชุมชน
- ต้องเตรียมพื้นที่สำหรับฝังกลบขี้เถ้าหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้
- ไม่สะดวกสำหรับเจ้าหน้าที่ในการควบคุมดูแล
- ในบางพื้นที่หาเชื้อเพลิงยาก

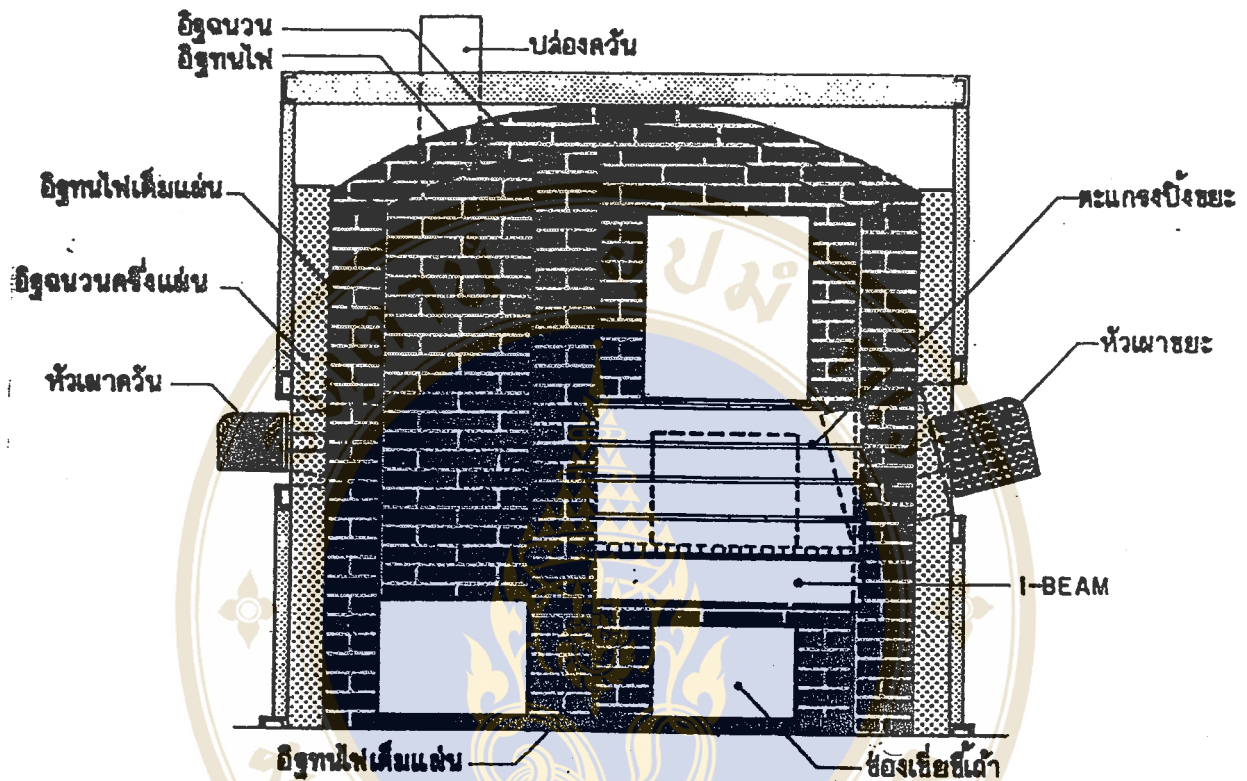
จากการสำรวจของศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 9 พิษณุโลกพื้นที่ 6 จังหวัดภาคเหนือ คือ พิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน มีการใช้เตาเผา 28 แห่งพบว่า เตาเผา มูลฝอยติดเชื้อแบบ ดช.2 มีสภาพเตาที่ชำรุดและทุกแห่งใช้งานไม่ถูกต้อง ขาดการบำรุงรักษา (28) ปัจจุบันการใช้เตาเผาแบบนี้จึงได้รับความนิยมน้อยส่วนใหญ่ใช้เตาเผาของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม

2) เตาเผามูลฝอยติดเชื้อของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย เป็นเตาเผาขนาดเล็ก สามารถเผาทำลายมูลฝอย ได้ประมาณ 100-1,500 กิโลกรัม/ชั่วโมง เตาเผาเป็นแบบ Multiple chamber มี 2 ห้องเผา คือ ห้องเผามูลฝอยกับห้องเผาควัน ลักษณะการทำงานภายในห้องเผา มีหัวเผามูลฝอยที่ใช้ น้ำมันดีเซล เตาเผาและเผาควันโดยอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส อุณหภูมิทั้ง 2 ห้องเผาถูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ สามารถตั้งอุณหภูมิที่ผู้ควบคุมได้ตามต้องการ (29) เตาเผาของกองอนามัยสิ่งแวดล้อมมีขนาดใหญ่กว่าเตาเผาของกองสุขาภิบาล เป็นเตาเผาแบบ ใช้หัวเผา และใช้น้ำมันดีเซลในการช่วยเผา ทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และดำเนินการสูงกว่า เตาเผาของกองสุขาภิบาล (7) โดยมีรายละเอียดของเตาเผา แสดงไว้ในรูปที่ 2-3



ที่มา : กองสุขภาพิบาล กรมอนามัย, 2532 .

รูปที่ 2-2 เตาเผาของกองสุขาภิบาล แบบ ตข.2



ที่มา : กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2540.

รูปที่ 2-3 เตาเผาของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม

3) เตาเผามูลฝอยเอกชนที่ผลิตในประเทศ เป็นเตาเผาแบบ Multiple chamber มี 2 ห้องเผาและออกแบบให้มีประสิทธิภาพการเผาที่ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างกันไปตามแต่ละบริษัท เช่น ของห้างหุ้นส่วนจำกัดกิจจาคอนซัลติ้งเอ็นจิเนียรชั่น IMC-500DH สามารถกำจัดมูลฝอยที่มีความชื้นร้อยละ 35 ความหนาแน่นของมูลฝอย 120 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สามารถเผามูลฝอยได้ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ชั่วโมง อุณหภูมิห้องเผาใหญ่ 650–800 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องเผาคว้น 850 องศาเซลเซียส มี Cyclone 4 ตัว เพื่อดักฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ (7) หรือเตาเผารุ่น NF-35 ของบริษัทสเวนเทค (ประเทศไทย) จำกัด สามารถเผามูลฝอยที่มีความชื้นร้อยละ 40 ความหนาแน่นของมูลฝอย 180-200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เตาเผาได้ 30-50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิ

ห้องเผาแรก 760 องศาเซลเซียส และห้องเผาที่ 2 มากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส อัตราการลดปริมาณมูลฝอยมากกว่าร้อยละ 95 (30)

ข้อดีของเตาเผาสองชนิดดังนี้ คือ

- เทคนิคการควบคุมและการจัดการเตาเผาดีกว่า เตาเผา ดช.2
- หาพื้นที่ก่อสร้างได้ง่ายกว่า
- องค์ประกอบของเตาเผาตรงกับข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข
- ประสิทธิภาพการลดมูลฝอยร้อยละ 70-90
- ลดมลพิษอากาศได้หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ
- เหมาะสมกับมูลฝอยติดเชื้อซึ่งส่วนใหญ่มีความชื้นสูง

ข้อจำกัดของเตาเผา

- บางเตาเผาไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ
- ค่าใช้จ่ายการติดตั้ง ก่อสร้าง และการดำเนินการสูงกว่าเตาเผา ดช. 2
- การป้อนมูลฝอยเข้าเตาไม่สะดวก

ปัญหาการการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเตาเผา

- เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลเตาเผา ไม่มีความรู้ความชำนาญในการควบคุมและดูแล เตาเผา ส่งผลให้การเผามูลฝอยไม่มีประสิทธิภาพ

- กากและเถ้าจากการเผาจกกองทิ้งไว้ข้างเตาเผา ไม่มีการกำจัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

- ผู้รับเหมาที่รับจ้างสร้างเตาเผา และผู้ตรวจรับงานก่อสร้างเตาเผาไม่มีความรู้ความชำนาญ ทำให้เตาเผาที่สร้างไม่ได้มาตรฐาน

2.3 ถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

ถ้ำ (Ash) เป็นกากที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของสารอินทรีย์และเชื้อเพลิง ตลอดจนสารที่ไม่ติดไฟ (Non Combustible Materials) เช่น เซรามิค แก้ว ดิน อิฐ หิน โลหะ (31) ถ้ำที่เหลือจากการเผาไหม้ 2 ประเภท คือ ถ้ำที่เหลืออยู่กับเตาเผา เรียก ถ้ำก้นเตา (Bottom Ash) จะถูกเก็บไว้ในช่องเก็บถ้ำหรือถูกขับออกมาด้วยระบบอัดโน้มติของเตาเผา (32) และอีกประเภทคือ ถ้ำลอยหรือถ้ำบิน (Fly Ash) ซึ่งเป็นอนุภาคนาณเล็กปนอยู่กับไอเสียของการเผาไหม้ และลอยออกจากเตาเผาหรืออาจถูกจับไว้ด้วยเครื่องควบคุมมลพิษพร้อมแก๊สพิษ (33)

การศึกษาโลหะหนักในถ้ำ และความเป็นพิษของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ มีรายงานน้อยมาก ลักษณะสมบัติของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจึงต้องเทียบเคียงจากการศึกษากับถ้ำก้นเตาของเตาเผามูลฝอยชุมชน เนื่องจากองค์ประกอบของมูลฝอยทั้ง 2 ชนิดใกล้เคียงกัน (5) ตลอดจนการวิจัยในครั้งนี้เป็นงานชิ้นแรกในประเทศไทย ข้อมูลที่นำมาอ้างอิงจึงเป็นการศึกษาในต่างประเทศ รายงานบางฉบับเป็นการศึกษาวิจัยและบางฉบับมาจากการทบทวนเอกสาร เพื่อให้เข้าใจการเกิดโลหะหนักในถ้ำ และความเป็นพิษของถ้ำจึงนำเสนอข้อมูลที่เชื่อมโยงกัน คือ ปริมาณถ้ำ ความหนาแน่นของถ้ำ องค์ประกอบของถ้ำ ลักษณะสมบัติของถ้ำ โลหะหนักในถ้ำ การทดสอบถ้ำ และผลกระทบจากถ้ำ

2.3.1 ปริมาณถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

ปริมาณของถ้ำจะมีความผันแปรแตกต่างกันไป ขึ้นกับปริมาณมูลฝอย ความหนาแน่น และองค์ประกอบของมูลฝอย ตลอดจนประสิทธิภาพ และกระบวนการเผาไหม้ของเตาเผา จากการศึกษาระบบการกำจัดขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ต (33) ได้ศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยรวมพบว่า องค์ประกอบที่เป็นถ้ำโดยเฉลี่ยร้อยละ 22.71 โดยนำนักดังรายละเอียดขององค์ประกอบมูลฝอย แสดงในตารางที่ 2-10 ส่วนมูลฝอยติดเชื้อจาก Pre-survey องค์ประกอบที่เป็นถ้ำโดยนำนักจากเตาเผามูลฝอย 4 แห่งปริมาณถ้ำเฉลี่ยโดยนำนัก ร้อยละ 8.0-13.3 ส่วนการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร (10) พบว่า องค์ประกอบที่เป็นถ้ำโดยนำนัก ร้อยละ 15-18 ดังรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 2-11 ปริมาณถ้ำจากเตาเผาชุมชนจะมากกว่าถ้ำจากเตาเผาติดเชื้อ ปริมาณถ้ำที่เหลือจากการเผาจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่บอกถึงประสิทธิภาพระบบการเผาด้วยเตาเผา และการออกแบบพื้นที่กำจัดถ้ำ

ตารางที่ 2 -10 องค์ประกอบทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของมูลฝอยรวม จังหวัดภูเก็ต

รายการ	องค์ประกอบทางกายภาพ (ร้อยละ)			รายการ	ลักษณะทางเคมีของตัวอย่างมูลฝอย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย ¹		ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย ¹
เศษอาหาร,ผลไม้	12.16	27.61	20.75	คาร์บอน	4.46	25.00	15.49
กระดาษ	8.02	24.00	7.53	ไฮโดรเจน	0.54	3.00	1.86
พลาสติก	4.17	26.20	13.26	ออกซิเจน ²	18.30	25.60	22.10
ยาง	0.31	2.38	0.74	ไนโตรเจน	0.57	1.94	1.19
หนัง	1.04	10.16	4.41	ซัลเฟอร์	0.12	0.20	0.16
ผ้า	0.80	9.83	4.56	คลอไรด์	0.70	1.48	0.99
ไม้	7.50	21.74	13.67	ความชื้น	33.30	67.16	49.42
แก้ว	2.86	10.96	4.85	ของแข็งระเหยได้	8.03	45.00	27.87
โลหะ	0.44	13.36	4.11	เถ้า	17.73	28.03	22.71
หิน,กระเบื้อง	1.06	9.16	3.23	ค่าความร้อน	4,303.50	5,130.50	4,791.00
อื่นๆ	10.44	19.94	14.91	(กิโลแคลอรี/กก.)			
ความหนาแน่นปกติ (กก./ลบ.ม.)	167.00	257.00	210.00	ค่าความร้อน	1,251.00	2,826.00	2,022.00
				(กิโลแคลอรี/กก.)			

หมายเหตุ : 1. เป็นค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างระหว่างวันที่ 24-26 ต.ค. และ 21-23 พ.ย. 2535

2. ค่าที่คำนวณจาก Dulong Formula

ที่มา : รายงานผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมระบบกำจัดขยะมูลฝอย จังหวัดภูเก็ต, 2536.

ตารางที่ 2-11 องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลในกรุงเทพฯ

ลักษณะ	ขนาดของโรงพยาบาล (เตียง)			
	< 149	150 - 500	500 – 1,000	> 1,000
ความชื้น (ร้อยละ)	44.6	43.0	44.8	41.0
ของแข็งระเหยได้(ร้อยละ นน. แห้ง)	36.4	41.4	39.9	40.4
เถ้า (ร้อยละ นน. แห้ง)	17.7	16.6	15.2	18.5
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	206.8	205.9	209.5	198.8

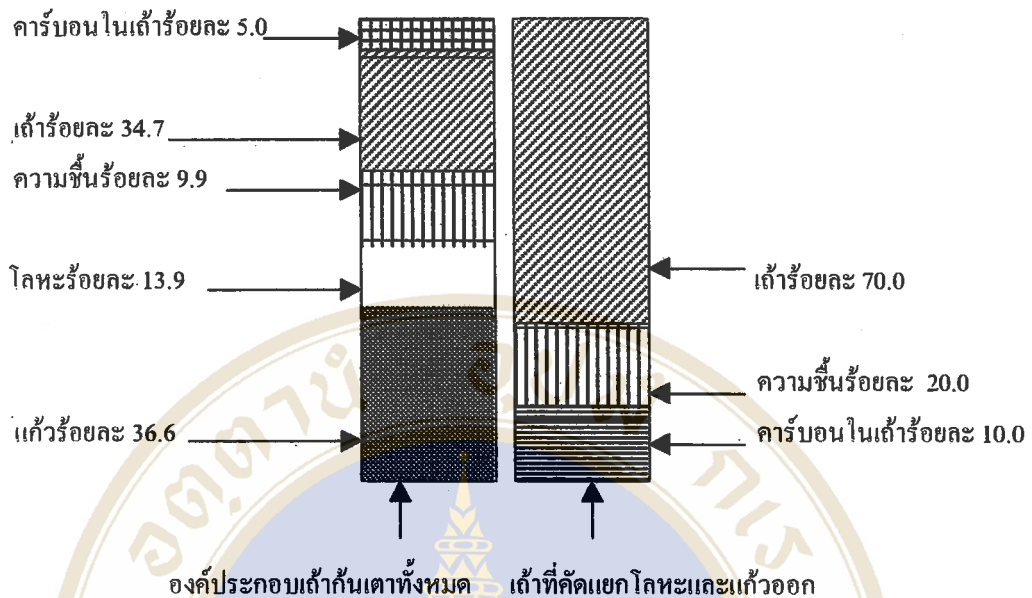
ที่มา : บังอร เกียรติธนากร, 2534.

2.3.2 ความหนาแน่นของเถ้า

ในที่นี้หมายถึงความหนาแน่นปกติ โดยไม่มีการบีบอัดให้เถ้าติดไปจากธรรมชาติ ซึ่งวัดออกมาเป็นมวลรวมต่อปริมาตรของเถ้า จากการศึกษาเถ้าก้นเตาและเถ้าลอยจากเตาเผาชุมชนของประเทศแคนาดา และจากรัฐแมสซาชูเซต ซึ่งมีความแตกต่างและความเหมือนในคุณสมบัติของเถ้าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบของเตาเผา กระบวนการเผาไหม้ อุปกรณ์ของเตาเผา และองค์ประกอบของพลังงาน ในการศึกษาความหนาแน่นของเถ้าครั้งนี้ได้แสดงในตารางที่ 2-12 ความหนาแน่นของเถ้า 2 ชนิดจากเตาเผามีค่าตั้งแต่ 0.37-1.04 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เถ้าก้นเตาจะมีความหนาแน่นมากกว่าเถ้าลอย ส่วนเถ้าลอยของแคนาดาที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากอากาศที่ใช้ในเตาเผาเถ้าลอยจากเตาเผาที่ป้อนอากาศมากกว่าอนุภาคเถ้าจะขนาดเล็ก ความหนาแน่นจะมากกว่า (34) ความหนาแน่นของเถ้าเป็นข้อมูลสำคัญต่อการออกแบบ หรือคำนวณปริมาณพื้นที่การกำจัด

2.3.3 องค์ประกอบของเถ้า

ตัวอย่างเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในนิวยอร์กชี้ให้นามวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่า มี คาร์บอนในเถ้า ร้อยละ 5.0 เถ้าละเอียดร้อยละ 34.7 ความชื้นของเถ้ามีเพียงร้อยละ 9.9 ส่วนใหญ่จะเป็นเถ้าร้อยละ 36.6 โลหะร้อยละ 13.9 แต่เมื่อคัดแยกเอาส่วนที่มีขนาดใหญ่เช่น แก้ว และโลหะออกหมด นำเถ้ามาหาองค์ประกอบใหม่ พบว่า คาร์บอนในเถ้าจะเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 10.0 เถ้าละเอียดเพิ่มเป็น ร้อยละ 70.0 และความชื้นในเถ้าจะเพิ่มเป็น ร้อยละ 20.0 (35) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2-4



ที่มา : Hasselriis, 1990.

รูปที่ 2-4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของเถ้าก้นเตาทั้งหมดกับเถ้าที่คัดแยกโลหะและแก๊วออก

ตารางที่ 2-12 ความหนาแน่นของเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา

เถ้า	ความหนาแน่น (กก./ม ³)
เถ้าลอยจากเตาเผา 1 แคนาดา	0.37
เถ้าลอยจากเตาเผา 2 แคนาดา	0.57
เถ้าก้นเตาเผาแคนาดา	1.04
เถ้าลอยเตาเผาเมสซาจูเซส	0.73
เถ้าลอยเตาเผาเมสซาจูเซส	0.82

ที่มา : Ontiveros, Kosson และ Ahlert, 1988.

ส่วนการทดสอบทางกายภาพของเถ้าจากเตาเผาอุตสาหกรรม เพื่อคัดเลือกพื้นที่ในการจัดการที่เหมาะสมนั้น Bagchi และ Sopcich (1989) ได้นำเอาตะกอนเถ้าลอยในบ่อเก็บ (Composite Lagoon Sludge : CLS) เถ้าก้นเตา (Composite Bottom Ash : CBA) และเถ้าผสมจาก 2 ตัวอย่าง (Bottom Ash Lagoon Sludge Composite: C.S.) โดยนำมาศึกษาความหนาแน่นมวลแห้ง (Dry Bulk Density) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) สารอินทรีย์ (Organic Matter) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2-13 (5)

ตารางที่ 2-13 การทดสอบทางกายภาพของเถาเตามูลฝอยชุมชน

การทดสอบทางกายภาพ	ตะกอนเหล็ลลย ในบ่อเก็บ	เถำกั้นเตำ	เถำผสม
ควำมหนำแน่นมวลแห้ง (กก./ม ³)	427.00	781.00	955.00
ควำมถ่วงจำเพำะ	1.15	1.52	1.67
สำรอินทรีย์ (ร้อยละ)	3.00	7.90	6.60

ที่มา : Bagchi และ Sopcich, 1989.

2.3.4 ลักษณะทางเคมีของเถำ

ลักษณะทางเคมีของเถำจะมีส่วนสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย เพราะในมูลฝอยเมื่อเผาไหม้แล้ว จะทำให้เกิดกรดแก๊ส ซัลเฟอร์ คลอรีน ไนโตรเจน โลหะหนัก และสารอินทรีย์ เช่น คลอโรฟีนอล (Chlorophenol) คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene) ไดออกซิน (Dioxins) และฟูราน (Furans) ตัวอย่างองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ และผลที่ได้จากการเผาไหม้จากเตาเผาประเภท Starved-air (6) ได้แสดงในตารางที่ 2-14

ตารางที่ 2-14 องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยและผลที่ได้จากการเผาไหม้

องค์ประกอบ	ร้อยละ	ปอนด์/ตัน	ผลจากการเผาไหม้	ปอนด์/ตัน
คาร์บอน	33.3	666	คาร์บอนไดออกไซด์	1,693
ไฮโดรเจน	5.9	118	-	-
ออกซิเจน	11.5	230	ออกซิเจน	512
คลอรีน	1.0	20	ไฮโดรคลอริก	20
ไนโตรเจน	3.0	6	ไนโตรเจน	5,820
ซัลเฟอร์	2.0	4	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	8
น้ำ	23.5	470	ไอน้ำ	1,127
เถ้า	24.3	486	เถ้าลอย	3
			Residues	486
			ตะกั่ว	0.057
			เหล็ก	0.007
			แคลเซียม	0.0066
			แมกนีสิ	0.0004
			โครเมียม	0.00036
			สารหนู	0.00028
ทั้งหมด		2,000		9,099.07164

ที่มา : Hasselriis, 1992.

จากการศึกษาลักษณะทางเคมีของเถ้าก้นเตา เถ้าจากเตาเผาชุมชนเมือง Horgen ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งจะนำไปฝังกลบแบบ Monofills (36) โดยนำตัวอย่างเถ้าก้นเตาก่อนเข้าถังเก็บเถ้า(Quench tank) เรียก Ante Sample และจากถังเก็บเถ้าเรียก Post Sample มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานของเถ้าก้นเตา ปรากฏในตารางที่ 2-15

ตารางที่ 2-15 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างถ้ำก้นเตา

ธาตุ	เตาเผาประเทศสวิสเซอร์แลนด์ (ก./กก.มวลแห้ง)	ส่วนประกอบ (ก./กก.มวลแห้ง)	
		เถ้าก่อนเข้าถังเก็บ	เถ้าหลังเข้าถังเก็บ
ซิลิกา (Si)	220-260	240	250
แคลเซียม (Ca)	100-110	100	99
เหล็ก (Fe)	55-110	67	73
อลูมิเนียม (Al)	50-65	59	50
นิกเกิล (Ni)	23-42	39	36
แมกนีเซียม (Mg)	14-16	17	18
โพแทสเซียม (K)	13-15	10	10
ไททานเนียม (Ti)	4-6	7	5
คาร์บอนทั้งหมด (TC)	15-19	15	24
คาร์บอนอินทรีย์ (TIC)	ไม่ได้วัด	5	6
คาร์บอนอินทรีย์ (TOC)	ไม่ได้วัด	10	18
ฟอสฟอรัส (P)	2-5	4	3
ซัลเฟอร์ (S)	2-5	2	2
ไนโตรเจน (N)	ไม่ได้วัด	0.3	0.5
คลอไรด์ (Cl)	1-4	4	3
สังกะสี (Zn)	1-4	2	2
ทองแดง (Cu)	1-3	2	1
ตะกั่ว (Pb)	0.9-1.4	4	3
แคดเมียม (Cd)	0.004 – 0.014	0.02	0.01
ปรอท (Hg)	0.0001-0.0003	0.0002	0.0002

ที่มา : Belevi และคณะ, 1991.

ซึ่งผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างถ้ำจากเตาเผาอื่นๆใน Switzerland สรุปว่า ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ (Ante,Post) อยู่ในช่วงที่ตรวจพบในเตาเผาอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ ปริมาณธาตุของตัวอย่างถ้ำทั้ง 2 ชนิด (Ante,Post) คล้ายคลึงกัน ค่าที่น่าสังเกต คือค่า TOC (Total Organic Carbon) ที่มีปริมาณสูง เพราะค่า TOC มีอิทธิพลต่อลักษณะทางเคมีของถ้ำก้นเตา ทั้งระยะสั้นและระยะยาว เพราะเมื่อถ้ำก้นเตาถูกนำไปฝัง กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์

ต่อคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถลดค่าพีเอชของน้ำชะเถ้าในพื้นที่ฝังกลบ (Monofill Leachate) ค่าพีเอชที่ลดลงนี้ เป็นสาเหตุให้โลหะหนักถูกชะออกมา (Mobilization) นอกจากนี้องค์ประกอบเถ้าก้นเตาจะคล้ายกับหินแกรนิตและหินบาชอลท์ แต่มีโลหะหนักที่มีปริมาณสูงมากหากเอาไปใช้ประโยชน์อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ (36)

ส่วนการทดสอบทางเคมีของเถ้าจาก Sheboygan Wisconsin Incinerator (5) เพื่อที่จะวัดความเป็นอันตราย และความสามารถในการชะล้างของตัวชี้วัด (Leachability of parameters) ต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินโดยวิเคราะห์ Bulk chemical analysis / Water leach test และ EP toxicity test ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2-16 และ 2-17 ในตารางแรกนั้นชี้ให้เห็นว่า ปริมาณของโลหะบางตัวมีค่าสูงมากเช่น อลูมิเนียม โบรอน แคดเมียม คลอไรด์ ตะกั่ว และซัลเฟต

จากประสบการณ์ในการทดลองของ Bagehi และ Sopeieh ที่ผ่านมามีพบว่าปริมาณโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้าที่เก็บตัวอย่างจากพื้นที่ (field leachate) จะมีปริมาณโลหะหนักมากกว่าน้ำชะล้างเถ้าที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ ส่วนตารางที่ 2-17 เป็นการทดสอบความเป็นพิษของเถ้าซึ่งค่าโลหะหนักที่วัดได้ไม่เกินกว่า ค่ามาตรฐานกำหนด แต่ในงานชิ้นนี้ สรุปว่า ในบางโอกาสเถ้าก้นเตาอาจจัดเป็นของเสียอันตรายได้ หากเถ้าเหล่านี้ที่จัดการไม่เหมาะสม โลหะหนักที่มีปริมาณสูงอาจถูกชะออกมาได้ และเสนอให้มีการทดสอบการชะของเถ้าในระยะยาว (long - term)

ตารางที่ 2-16 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีตัวอย่างถ้ำก้นเตาและตะกอนถ้ำลอยจากบ่อเก็บถ้ำของเตา
 เภา Wisconsin ด้วยวิธี Bulk Chemical Analysis และวิธี Water Leach Tests

พารามิเตอร์	Bulk Chemical Analysis		Water Leach Tests	
	ถ้ำก้นเตา (มก./กก.)	ตะกอนถ้ำลอย (มก./กก.)	ถ้ำก้นเตา (มก./กก.)	ตะกอนถ้ำลอย (มก./กก.)
1. อลูมิเนียม	27.400-104.000	43.100-62.600	10.7-88.8	2.3-1.0
2.อาร์เซนิก	100-160	90-150	<0.187	<0.187
3. แบเรียม	620-2.676	1.070-2.360	0.15-0.36	0.055-0.115
4. โบรอน	155-669	128-241	1.6-3.2	0.42-1.13
5.แคลเซียม	14.5-23.3	15.0-32.0	0.004-0.300	0.021-0.044
6.แคลเซียม	33.300-62.800	28.800-45.400	-	-
7.โครเมียม	42-57	67-121	<0.01-0.04	<0.010-0.044
8.โคบอลต์	12.7-17.8	12.1-24.8	0.007-0.029	0.007-0.040
9. ทองแดง	322.9-15.620.0	315.6-570.0	0.044-0.103	0.026-0.081
10 เหล็ก	7.167-41.380	7.527-14.420	<0.01-0.04	<0.01-0.10
11.ตะกั่ว	710-1.477	788-1.420	0.15-0.60	0.25-0.56
12. แมกนีเซียม	6.812-11.690	4.731-12.420	0.006-0.017	0.020-0.057
13.แมงกานีส	1.031-1.394	1.171-1.498	-	-
14.ปรอท	0.29-2.60	2.40-4.20	<0.0002	<0.0002
15.นิกเกิล	49-80	41-104	0.01-0.03	0.01-0.03
16. โพแทสเซียม	2.800-5.960	4.420-6.100	55.0-79.8	3.66-7.60
17. เซเลเนียม	34-78	33-46	<0.115	<0.115
18. เงิน	0.5-76.8	68.2-112.6	<0.007	<0.007
19.โซเดียม	5.5409.220	6.570-8.770	123.8-148.5	11.50-16.30
20.สตรอนเตียม	148-191	148-203	0.52-1.03	0.07-4.63
21. ดีบุก	5.100-23.500	6.000-9.200	0.005-0.013	0.005
22. สังกะสี	2.160-4.576	1.204-3.245	0.002-0.007	0.002-0.012
23. คลอไรด์	840-3.417	130-320	222-305	32.6-80.6
24. ฟลูออไรด์	0.40-0.64	3.50-13.60	0.10-0.16	0.88-3.39
25. ไนเตรท	5.0-15.3	3.0-10.5	0.011-0.070	0.049-0.590
26. ฟอสเฟต	7.700-8.875	6.915-16.621	0.16-0.31	0.18-0.43
27.ซัลเฟต	708-5.600	420-692	177-1.400	105-173
28.การนำไฟฟ้า	-	-	1.256-1.874	253-394
29. ความเป็นด่าง	-	-	60.9-243.0	61.7-83.2
30.พีเอช	-	-	8.92-9.94	8.47-9.46
31. ความกระด้าง	-	-	473-742	49.0-83.6

ที่มา: Bagchi และ Sopcich, 1989.

ตารางที่ 2-17 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ด้วยวิธี EP Toxicity เถ้ากันเตาและตะกอนเถ้าลอย

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (มก./ล.)		ความเป็นพิษที่กำหนด (มก./ล.)
	ตะกอนเถ้าลอย	เถ้ากันเตา	
แบเรียม	1.4	0.59	100.0
แคดเมียม	0.061	0.023	1.0
โครเมียม	< 0.05	< 0.05	5.0
ตะกั่ว	< 0.2	0.78	5.0
เงิน	< 0.01	0.01	5.0
สารหนู	0.004	0.001	5.0
เซลิเนียม	0.004	0.003	1.0
ปรอท	0.0025	0.0009	0.2

ที่มา : Bagchi และ Sopcich, 1989.

2.3.5 ปริมาณโลหะหนักในเถ้า

ในการรักษาพยาบาลได้มีการนำเอาพลาสติกมาทดแทนแก้วและสิ่งทอ โดยเฉพาะพลาสติกที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการระบาดของเชื้อเอดส์ และการพัฒนาทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ ตลอดจนการใช้ใบมีดผ่าตัด เข็มฉีดยา และแผ่นอูมิเนียมสำหรับหุ้มอุปกรณ์ (Foil Wrappers) มีผลโดยตรงต่อการเกิดโลหะหนักในอนุภาคเถ้าและมลพิษทางอากาศ เพราะนอกจากตัวอุปกรณ์บางอย่างที่ทำด้วยโลหะหนักแล้วนั้น สารที่ติดมากับอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นก็เป็นตัวเพิ่มโลหะหนักด้วย เช่น สี หมึก สาร Stabilizers (4)

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษ และพลาสติกมีผลต่อปริมาณโลหะหนักในเถ้าอย่างชัดเจน (4) เพราะในกระดาษจะมีองค์ประกอบของตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และนิเกิล ส่วนพลาสติกชนิด Polyethylene terphthale (PET) และ High density polyethylene (HDPE) ที่ใช้ทำขวดก็มีองค์ประกอบของตะกั่ว ส่วนนิเกิลพบมากในพลาสติก Expanded polystyrene (EPS) ปริมาณพลาสติกเหล่านี้มีการนำมาใช้ทางการแพทย์ ได้แก่ ถุงมือยาง (Vinyl gloves) ชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด เข็มฉีดยา กระบอกฉีดยา ถึงร้อยละ 40-50 โดยปริมาตรของมูลฝอย ดังรายละเอียดขององค์ประกอบพลาสติกของมูลฝอยในกรุงเทพฯ แสดงในตารางที่ 2-18 (37) นอกจากนี้มูลฝอยอื่นๆ จากโรงอาหารที่ไม่ใช้มูลฝอยติดเชื้อมีพลาสติก เช่น หวี ถ้วยกาแฟ แปร่งสีฟัน มีดตัดพลาสติก จานรอง พลาสติกเหล่านี้มีส่วนส่งเสริมให้เกิดโลหะหนักในมลพิษอากาศและเถ้า แม้พลาสติกจะเป็นองค์ประกอบที่ให้ความร้อนในการเผาไหม้มูลฝอยก็ตาม

ตารางที่ 2-18 ชนิดของพลาสติกในมูลฝอยติดเชื้อของประเทศอเมริกา

องค์ประกอบ	มูลฝอยติดเชื้อ (ร้อยละ)	สูงมูลฝอยทั่วไป (ร้อยละ)
โพลีเอททีลีน (Polyethylene)	45	36
โพลีโพรไพลีน (Polypropylene)	15	14
พีวีซี (PVC)	15	18
โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)	11	14
โพลีสไตรีน (Polystyrene)	4	10
พลาสติกอื่นๆ (Mixed)	11	9

ที่มา : Brown, 1987.

พลาสติกที่นำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ชุดน้ำเกลือ ถุงเลือด กระบอกฉีดยา ช้อนยาและอื่นๆ ในการผลิตพลาสติกทางการแพทย์ ได้มีการเติมแต่งสารเคมีต่างๆ เพื่อให้พลาสติกคงตัวหรือแข็งตัว สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต สารทนไฟ หรือแม้แต่หมึกที่พิมพ์ลงบนพลาสติก ล้วนแล้วแต่เป็นสารประกอบของแบเรียม แคลเซียม สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสเฟต สตรอนเตียม ดีบุก แอนติโมนี ตะกั่ว โครเมียม เซลีนียม โคบอลต์ โมลิบดีนัม นิกเกิล เหล็ก และ ไททาเนียม (38) ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2-19 (6)

ตารางที่ 2-19 โลหะหนักที่ใช้ในพลาสติกและกระดาษ

สารเติมแต่ง	ลักษณะ	โลหะ
สี ¹	ขาว แดง/แดง-ส้ม ส้ม /เหลือง /เหลืองอ่อน ม่วง น้ำเงิน-เขียว	ไททาเนียมไดออกไซด์ ซิงค์ซัลไฟด์ ซิงค์ออกไซด์ แคดเมียม โครม โมลิบดีนัม นิกเกิล เหล็ก ตะกั่ว โคบอลต์ แคดเมียม โครม โมลิบดีนัม นิกเกิล เหล็ก ตะกั่วคาร์บอนेट โคบอลต์ โครม
หมึกพิมพ์ ²	ส้มเหลือง ส้มเขียว ส้มโมลิบดีนัม แดงอ่อนถึงแดงเข้ม	โครเมียมผสมตะกั่ว โครเมียมและเหล็ก โมลิบดีนัมและตะกั่ว แคดเมียม-ปรอท
สารคงตัวในพลาสติก ¹		แบเรียม-แคดเมียม แบเรียม-ซิงค์ แบเรียม-ตะกั่ว แคดเซียม แคดเซียม-ซิงค์ ตะกั่ว แมกนีเซียม ฟอสเฟต สตรอนเตียม ดีบุก-แบเรียม ดีบุก-แคดเซียม

หมายเหตุ : 1. จาก The Plastics Encyclopedia, Mc Graw-Hill, New York, 1986.

2. จาก The Nation Association of Printing Ink Manufacturers, Inc.

ที่มา : Hasselriis, 1992.

ในขณะที่โลหะหนักที่พบในมูลฝอยทั่วไป เช่น ตะกั่ว โครเมียม และนิกเกิล มีปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะพลาสติกที่ใช้ในครัวเรือน โลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมาพบทั้งในมลพิษอากาศและน้ำดื่มในภาชนะบรรจุพลาสติก นอกจากนั้นยังพบในมูลฝอยที่ฝังกลบแล้ว มูลฝอยทั่วไปในสำนักงานและมูลฝอยโรงพยาบาล หากไม่มีการแยกมูลฝอยเหล่านี้ก็จะเพิ่มโลหะหนักในน้ำได้ (4) ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2-20

ตารางที่ 2-20 ปริมาณโลหะหนัก (Metals content) ในองค์ประกอบมูลฝอยชุมชน (ppm)

องค์ประกอบ	ตะกั่ว	แคดเมียม	โครเมียม	นิกเกิล
กระดาษสำนักงาน	75	1.7	270	800
กระดาษอื่นๆ	50	1.3	160	500
นิตยสาร	80	1.6	300	540
ผ้าอ้อม	60	1.7	90	370
ขวดพลาสติก PET	400	40	200	480
ขวดพลาสติก HDPE	350	1	120	300
พลาสติก EPS	50	1	200	1700
พลาสติกอื่นๆ	160	13	700	1000
ภาชนะพลาสติก	100	8	800	1500
คำนวณจากมลพิษอากาศตามมูลฝอยชุมชน				
คอมเมอร์ซ ซีเอ (Commerce, CA)	154	8.2		
นอร์ท ลิตเติล ร็อก (North Little Rock)	67	2.0		
พรินซ์ เอ็ดเวิร์ด ไอแลนด์ (Prince Edward Island)	60	3.0		
ตามมูลฝอยติดเชื้อ				
ซัตเตอร์ เจนเนอรัล (Sutter General)	11.9	0.9		
สแตนฟอร์ด (Stanford)	23.1	0.8		
ไกเซอร์-เปอร์มานนท์ (Kaiser- permanente)	21.4	1.4		
เซนต์ แอญีส (St. Agnes)	21.7	1.6		
ซีดาร์ส ซิไน (Cedars Sinai)	21.7	2.2		

หมายเหตุ : PET = polyethylene terphthale, HDPE=high density polyethylene , EPS = expanded polystyrene

ที่มา : Hasselriis, 1990 .

2.3.6 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อโลหะหนัก

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดมลพิษมากมาย เช่น กรดแก๊ส ไดออกซิน ฟิวแรน คาร์บอนมอนอกไซด์ และโลหะหนัก นอกจากมลพิษที่ออกมาสู่อากาศและควันแล้ว มลพิษบางส่วนก็ปนออกมากับเถ้าก้นเตาหรือเถ้าลอยโดยเฉพาะโลหะหนัก (6) ในเถ้าลอย เงิน (Ag) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ที่เป็นองค์ประกอบเกิดจากการที่โลหะระเหยกกลายเป็นไอ (Metal Vaporization Mechanism) ภายใต้ภาวะอุณหภูมิของการเผาไหม้ และความดันที่เกาะไปกับ

ผิวอนุภาคที่ออกไปทางปล่องระบายแก๊ส (39) อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะมีความไวต่อสภาวะการเผาไหม้ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิการเผา ความเร็วในการให้ความร้อน การกระจายของอากาศ ที่น้อยหรือมากเกินไปในการเผาและการเกิดTurbulence สิ่งเหล่านี้จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีของเตาเผาแต่ละประเภท และการจัดการเตาเผาให้เหมาะสม ในระหว่างการเผาไหม้

นอกจากนี้ลักษณะสมบัติบางประการของโลหะที่อยู่ในมูลฝอยก็เป็นส่วนสำคัญต่อปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาได้แก่ การระเหยเป็นไอและการควบแน่นของโลหะหนักในกระบวนการเผาไหม้ (19) ปฏิกริยาทั้งสองนี้จะเกี่ยวข้องกับจุดหลอมเหลวและจุดเดือดของโลหะและโลหะออกไซด์ ดังในรายละเอียดในตารางที่ 2-21 (40) ปฏิกริยาเหล่านี้เป็นผลให้ลักษณะสมบัติของโลหะหนักที่ระเหยได้ ในกระบวนการเผาไหม้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวและแก๊ส ธาตุโลหะเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้มูลฝอยประเภทพลาสติก PVC จะรวมตัวกันเป็นโลหะคลอไรด์ (Metal-chloride) อีกปฏิกริยาหนึ่ง คือการ Reducing ของโลหะออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง (O_2 ลดลง) โลหะออกไซด์จะเปลี่ยนรูปใหม่ คือจะหลอมเหลวและระเหยเป็นไอ จากนั้นก็จะควบแน่นเมื่อผ่านอุณหภูมิที่ลดลง (O_2 มากขึ้น) โลหะเหล่านี้จะกลับไปเป็นโลหะออกไซด์อีกครั้งหนึ่งเป็นอนุภาคใหม่ หรือเกาะไปกับผิวของอนุภาคถ้ำและแก๊สที่เกิดระหว่างการเผาไหม้ (39) เช่น ตะกั่ว แคดเมียม

ตะกั่วและแคดเมียมบนพื้นผิวอนุภาคถ้ำลอยจะมีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิภายในห้องเผาที่ต่ำลง จากงานวิจัยที่แสดงผลของอุณหภูมิต่อโลหะหนักนั้น พบว่า ถ้ำลอยที่ขนาดเล็กลงกว่า 1 ไมครอน ปริมาณโดยน้ำหนักจะผันแปรจากร้อยละ 15 ที่อุณหภูมิ 1,350 องศาฟาเรนไฮต์เป็นร้อยละ 65 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 2,150 องศาฟาเรนไฮต์ จึงมีกฎหมายในบางรัฐที่กำหนดให้อุณหภูมิการเผาไหม้เพียง 1,800 องศาฟาเรนไฮต์เพื่อป้องกันการเกิดมลพิษของโลหะหนัก (35)

จากการศึกษาขนาดของอนุภาคถ้ำที่สัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักของ Sachs (1994) (19) โดยนำถ้ำก้นเตาของเตาเผาชุมชนมาคัดแยกขนาด โดย Sieve analysis เป็นช่วงๆ ตามขนาดของตะแกรง โดยใช้ ตะแกรง ขนาด (mesh) 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 และถาดสุดท้ายรวมเป็น 9 ขนาด นำถ้ำทั้ง 9 ขนาดมาวิเคราะห์ความหนาแน่น สังกะสีประกอบทางกายภาพของถ้ำและหาปริมาณของโลหะหนักโดย วิธี Acid Digestion วัดค่าของ แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) และทดสอบความเป็นอันตรายของถ้ำด้วยวิธี TCLP (Toxicity Characteristic Leachate Procedure) ซึ่งผลการทดลองพบว่า ปริมาณของ โลหะหนักที่แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อขนาดอนุภาคถ้ำเล็กลงได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) ส่วนปริมาณโลหะหนักที่ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งแตกต่าง

จากการศึกษาของ Theis และ Gardner (1990) พบว่าโลหะที่กลายเป็นไอ เช่น แคดเมียมและตะกั่ว ที่มีการควบแน่นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในการควบแน่นของโลหะเหล่านี้ ไอของโลหะจะจับกับอนุภาคของเถ้า โดยเฉพาะการควบแน่นของตะกั่วและแคดเมียมที่มีขนาดเล็ก (1 -100 ไมครอน) เป็นผลให้โลหะหนักมีปริมาณมากขึ้นในอนุภาคเถ้าโดยเฉพาะอนุภาคเถ้าขนาดเล็ก (41)

Barton (39) ได้สรุปปัจจัยของเตาเผาตามทฤษฎีที่มีผลต่อโลหะหนักคือ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ องค์ประกอบของมูลฝอยที่เป็นคลอรีน และชนิดของโลหะหนัก ส่วนปัจจัยรองที่มีผลต่อโลหะที่เกิดปฏิกิริยาในห้องเผานั้น เป็นผลมาจากองค์ประกอบของมูลฝอยที่เป็นซัลเฟต ระยะเวลาของแก๊สที่อยู่ในห้องเผา และความเข้มข้นของออกซิเจนเฉพาะที่ (42)

อิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาผลาญนั้นส่งผลต่อปริมาณโลหะหนักในเถ้า เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โลหะหลอมเหลว จนกระทั่งโลหะหนักถึงจุดเดือด กลายเป็นไอ และควบแน่นจับกับ ผิวอนุภาคเถ้า ดังนั้นจุดหลอมเหลวและจุดเดือดของโลหะหนัก อุณหภูมิการเผาไหม้จึงมีนัยสำคัญต่อความเข้มข้นของโลหะนั้นๆ ในเถ้า (39)

ตารางที่ 2 – 21 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของโลหะและออกไซด์ของโลหะ

องค์ประกอบ	จุดหลอมเหลว (°ซ)	จุดเดือด (°ซ)
อาร์เซนิก	358	ไม่มีรายงาน
อาร์เซนิกไดรอกไซด์	312	457
แบเรียม	614	1,640
แบเรียมออกไซด์	1,918	2,000
แบเรียมไดออกไซด์	450	800
แคลเซียม	321	765
แคลเซียมออกไซด์	>1,500	1,559*
โครเมียม	1,302	2,672
โครเมียมออกไซด์	300	ไม่มีรายงาน
ตะกั่ว	328	1,740
ตะกั่วออกไซด์	886	ไม่มีรายงาน
ตะกั่วไดออกไซด์	290	ไม่มีรายงาน
เซลีเนียม	217	685
เซลีเนียมไดออกไซด์	316	ไม่มีรายงาน
เซลีเนียมไดรอกไซด์	118	180
เงิน	962	2,212
เงินออกไซด์	>100	ไม่มีรายงาน

* = อุณหภูมิเมื่อทำให้ระเหิดกลายเป็นควัน (Sublimation temperature)

ที่มา : CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1984.

2.3.7 การทดสอบการชะของถ้ำ

จุดมุ่งหมายของการทดสอบการชะของถ้ำ เพื่อที่จะจำแนกลักษณะทางเคมีของถ้ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการจัดเตรียมพื้นที่การกำจัด หรือบำบัดให้เหมาะสม การทดสอบถ้ำมีหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการทดสอบนั้น หากแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 วิธี คือ การทดสอบทางกายภาพ และการทดสอบทางเคมี แต่การทดสอบสามารถแบ่งย่อยออกไปได้อีก ทั้งนี้แล้วแต่วิธีการที่พัฒนาขึ้นมาซึ่งในปัจจุบันมีมากกว่า 40 วิธี (42)

การทดสอบทางกายภาพ เป็นการทดสอบที่ใช้กันมากสำหรับการจัดการ การบำบัด การกำจัด และประกอบข้อกฎหมายเพื่อให้เกิดความเหมาะสม เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และไม่แพง รายการทดสอบมีดังนี้

- การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค
- ความหนาแน่น
- ความถ่วงจำเพาะ
- ความชื้น
- การยอมให้น้ำซึมผ่าน
- ทดสอบความแกร่ง
- การทนทานต่อการกัดกร่อน

การทดสอบทางเคมี มีความสำคัญที่จะช่วยจำแนกลักษณะทางเคมีของของเสีย และทำให้มองเห็นภาพการกำจัดของเสียที่ไม่มีการป้องกัน และการทดสอบของเสียอันตรายที่ไม่ได้บำบัด แต่ส่วนใหญ่จะเป็นการทดสอบการชะ ส่วนดัชนีอื่นๆที่ทดสอบได้แก่

- พีเอช
- ศักยภาพในปฏิกิริยาออกซิเดชัน/รีดักชัน
- คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด
- ไนโตรเจนและน้ำมัน
- การวิเคราะห์ธาตุ
- สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอ
- ความเป็นกรด ด่าง และกลางของสารประกอบ
- โพลีคลอไรเนด ไบฟีนิล
- การวัดเหล็ก
- ความร้อนขณะแข็ง
- ความเป็นด่าง

การทดสอบการชะ เป็นการทดสอบที่ใช้ประเมินผลกระทบจากการกำจัดมูลฝอย เช่น การฝังกลบ การทดสอบนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อความตระหนักต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะวัดว่า การที่ของเสียหรือมูลฝอยเมื่อปนเปื้อนกับน้ำ และจะละลายในน้ำอย่างไร ซึ่งสามารถสร้างเป็นแบบจำลอง ตามสภาพพื้นที่จริงในกรณีที่เป็น “กรณีวิกฤต” “สภาพคงที่” หรือ “สภาพตามอุดมคติ”

ตลอดจนการประเมินความสามารถในการชะของมูลฝอยในสภาพความจริง วิธีการทดสอบมีหลายวิธี (ภาคผนวก ก) แต่ทุกวิธีพยายามให้สอดคล้องกับกลไกของการชะเพื่อให้แบบจำลองสามารถอธิบายถึงสภาพพื้นที่จริงได้ใกล้เคียงที่สุด (42)

กลไกของการชะหลังจากการกำจัดมูลฝอย การสัมผัสหรือปนเปื้อนของมูลฝอยกับน้ำฝน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ตลอดจนปฏิกิริยาของน้ำในมูลฝอยเอง ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อน เช่น การละลาย (Dissolution) Desorption และการเคลื่อนที่ทางกายภาพ (Physical transportation) (41)

สรุปปัจจัยที่ทำให้เกิดกลไกการชะดังนี้

- องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยและสารชะ (Leaching Medium)
- คุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของมูลฝอยและวัสดุรอบข้าง
- น้ำและความชื้นที่ผ่านมูลฝอย

การสกัดสารเป็นการทดสอบการจำแนกลักษณะความเป็นพิษของน้ำชะมูลฝอยในพื้นที่กำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบ (42) ปฏิบัติการทดสอบนี้พัฒนาโดย United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) โดยการสร้างแบบจำลองของมูลฝอยอุตสาหกรรม ที่จัดการไม่เหมาะสม ในการกำจัดในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชน เพราะกรดอะซิติก ซึ่งเป็น Dominant Carboxylic acid จะเป็นสารชะที่เกิดขึ้นในมูลฝอยชุมชน การทดสอบนี้ไม่ได้วัดศักยภาพการชะของ VOCs (Volatile Organic Compounds) ดังนั้นของสารปนเปื้อนจึงมีเพียง 14 ตัวชี้วัด ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 2-22 ตัวชี้วัดที่เป็นโลหะหนักมีเพียง 8 ตัวชี้วัด ส่วนอีก 6 ตัวชี้วัดเป็นสารอินทรีย์เคมีอื่นๆ (43)

ตัวอย่างของมูลฝอยที่เป็นตัวแทนในการทดสอบ EP Toxicity เมื่อสกัดออกมาแล้ว สารปนเปื้อนหรือโลหะหนักมีความเข้มข้นที่วัดได้มากกว่า หรือเท่ากับค่าความเข้มข้นสูงสุด แสดงในตารางที่ 2-22 ให้ถือว่ามูลฝอยนั้นเป็นของเสียอันตราย (43)

ปัจจุบันการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ได้อ้างอิงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ได้กำหนดให้ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ใช้แล้วเป็นมูลฝอยมีพิษโดยต้องนำมาสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (14) ในการทดลองครั้งนี้จึงได้ใช้วิธีการสกัดสารหรือตัวอย่างเก่า เพื่อทดสอบความเป็นพิษของน้ำชะล้างเก่ากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อตามวิธีนี้ด้วย แต่ได้ปรับแก้ในบางส่วน เนื่องจากไม่มีเครื่องกวนเย้าแบบหมุน (Rotary

Agitator) โดยใช้เครื่องเขย่าในแนวราบ (Agitator) แทน ซึ่งเป็นวิธีการสกัดสารที่กำหนดในประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยมีวิธีการดังนี้ (44)

1. บดตัวอย่างให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง 0.5 มิลลิเมตร ถึง 5.0 มิลลิเมตร

2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 หนัก 50 กรัม ใส่ตัวทำละลายซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จนมีความเป็นกรดต่างระหว่าง 5.8-6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

3. เขย่าบนเครื่องเขย่า (Agitator) 200 รอบต่อนาที ที่ช่วงความกว้างของการเขย่า 5 เซนติเมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองใยแก้ว ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 1 ไมครอน

5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสารมลพิษต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้ง

ส่วนวิธีการสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ได้กำหนดวิธีการสกัดสารซึ่งแตกต่างจากวิธีเดิมดังต่อไปนี้ (14)

1. การสกัดสารเพื่อทดสอบหาปริมาณสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable) จากสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และเพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ได้ผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น

1.1 หากสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเป็นของเหลว หรือมีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ให้กรองตัวอย่างนั้นด้วยแผ่นกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์ตามข้อ 2.

1.2 หากสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.5 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร

2) นำตัวอย่างที่ได้จาก 1) หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัดหรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดต่างของส่วน

ผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

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

4) กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน

5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปวิเคราะห์ตามข้อ 2.

2. การวิเคราะห์หาสารอันตรายต่างๆ ในของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วจากข้อ 1.1 หรือ 1.2 ให้ใช้วิธีมาตรฐาน US EPA SW 846 หรือวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ในกรณีที่ผลการวิเคราะห์ของสารละลายจากการสกัดมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดที่แสดงในตารางที่ 2-22 ให้ดำเนินการทำลายฤทธิ์ใหม่เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้

ตารางที่ 2-22 ความเข้มข้นสูงสุดของสารปนเปื้อนที่กำหนดใน EP Toxicity test

รหัสมูลฝอยอันตราย ของEPA	สารปนเปื้อน	ความเข้มข้นสูงสุด (มก./ล.)
D 004	สารหนู	5.0
D 005	แบเรียม	100.0
D 006	แคดเมียม	1.0
D 007	โครเมียม	5.0
D 008	ตะกั่ว	5.0
D 009	ปรอท	0.2
D 010	เซลิเนียม	1.0
D 011	เงิน	5.0
D 012	เอ็นดริน	0.02
D 013	ลินเดน	0.4
D 014	เมททอกซิคลอส	10.0
D 015	ทอกซาเฟน	0.5
D 016	2,4- ดี	10.0
D 017	2,4,5- ทีพี ซิลเวก	1.0

ที่มา : U.S. Environmental Protection Agency, 1989.

2.3.8 ผลกระทบจากการกำจัดเตาเผามูลฝอย

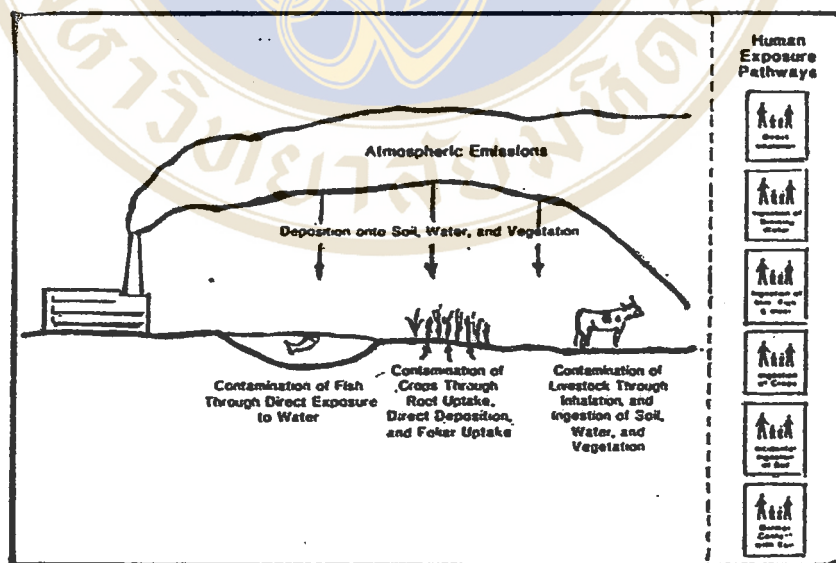
จุดมุ่งหมายในประเด็นนี้ เพื่อที่จะชี้ให้เห็นผลเสียที่เกิดจากการกำจัด หรือการจัดการเตาเผาที่ไม่เหมาะสมจากเตาเผามูลฝอยชุมชนหรือเตาเผามูลฝอยติดเชื้อส่วนใหญ่ ตามข้อกำหนดของต่างประเทศ ในบางรัฐกำหนดเป็นมูลฝอยอันตรายและต้องแยกกำจัดจากมูลฝอยทั่วไปในการฝังกลบ ส่วนบางแห่งก็ให้ฝังกลบร่วมกับมูลฝอยทั่วไป (45) อย่างไรก็ตาม U.S. EPA ได้กำหนดแนวทางในการรวบรวม ขนถ่ายและการออกแบบพื้นที่กำจัดสำหรับการฝังกลบจะต้องมีการปูพื้นหรือบดอัดเป็นพิเศษ (46) ตามตารางที่ 2-23 โดยทั่วไปเตากันเตาและเตาลอยนิยมนำกำจัดรวมกันใน Monofill แต่บางครั้งก็มีการกำจัดรวมกับมูลฝอยทั่วไป ปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพคือความเป็นพิษของเถ้าที่เกิดจากโลหะหนักและสารอินทรีย์ เช่น ไดออกซิน หรือ ฟิวแรน สารเหล่านี้แพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมตั้งแต่วางระหว่างกระบวนการเผา หากการจัดการเตาเผาไม่เหมาะสมเถ้าลอยและอนุภาคของแก๊สพิษจะกระจายสู่สิ่งแวดล้อมและเมื่อนำไปกำจัดหรือฝังกลบ การฟุ้งกระจายของเถ้าและการถูกน้ำฝนชะ โดยกระบวนการทางเคมี ทำให้โลหะหนักในเถ้าปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน (47) ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 2-5 และรูปที่ 2-6 สารปนเปื้อนจากเถ้าเหล่านี้มาสู่มนุษย์ได้หลายวิธี (48) ทั้งทางตรง เช่น การสูดหายใจเอาสารมลพิษโดยตรงจากเตาเผา และกลืนจากเตาเผา หรือการหายใจในสภาวะอากาศที่ปนเปื้อนมลพิษ ส่วนการปนเปื้อนของสารมลพิษจากเถ้าทางอ้อมนั้นเกิดได้จากการที่เถ้าหรือน้ำชะเถ้าปนเปื้อนต่อดิน แหล่งน้ำ เนื้อสัตว์ นม พืชผัก หรือแม้แต่การปนเปื้อนทางผิวหนัง ปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการปนเปื้อน ได้แก่ (49)

- เทคโนโลยีของเตาเผา ในการกำจัดหรือการควบคุมเถ้าลอย และแก๊สพิษจากเตาเผา
- การจัดการเตาเผา
- การเลือกที่ตั้ง ทำเล ของเตาเผาที่ต้องคำนึงถึงระยะห่างจากชุมชน ทิศทางลม ขนาด ความสูงของปล่องควัน
- ระบบการกำจัดเถ้าที่ขาดแนวทางในการป้องกันที่เพียงพอ เช่น การปูพื้น ระดับความสูงของน้ำใต้ดิน ทิศทางการไหลของน้ำฝน ทางระบายน้ำของพื้นที่
- การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการเลือกพื้นที่ก่อสร้างเตาเผา แหล่งกำจัดเถ้า
- กระบวนการในการรวบรวมเถ้า ขนถ่าย และขนส่งเถ้าสู่แหล่งกำจัด
- การเฝ้าระวังและตรวจสอบติดตามเถ้าในพื้นที่กำจัด

ตารางที่ 2-23 ข้อกำหนดของ U.S. EPA สำหรับการรองรับพื้นที่จำเป็นในการกำจัดเถ้า

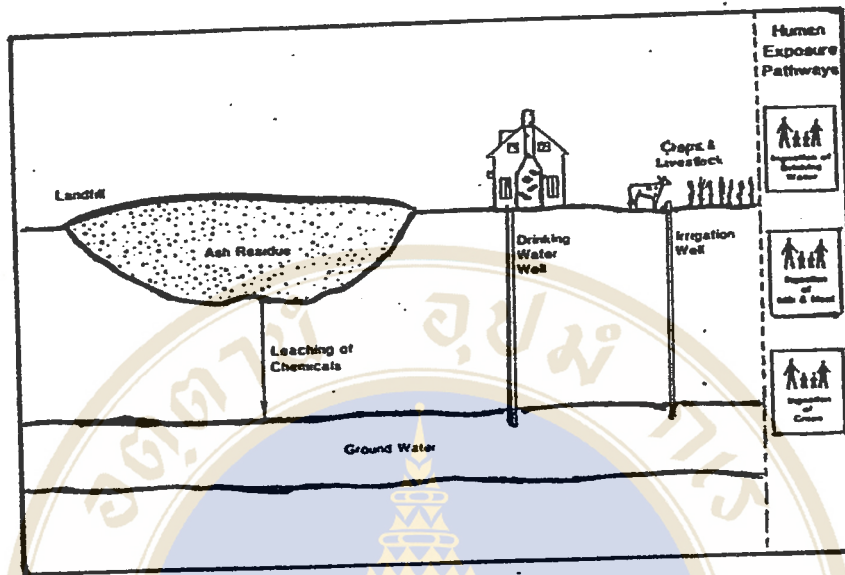
ชนิดของเถ้า	วิธีการจัด	ข้อกำหนด ประเภท การปูพื้น
เถ้าลอย	ฝังกลบมูลฝอยเดี่ยว (Monofill)	ปูพื้นสองชั้น (Double liners)
เถ้าผสมและ เถ้าก้นเตา	ฝังกลบมูลฝอยเดี่ยว (Monofill) ฝังกลบร่วมกับมูลฝอยอื่น (Codisposal)	ปูพื้นผสม (Composite liners) ปูพื้นด้วยดินเหนียว (Clay liners) (ควบคุมการดำเนินงานและสิ่งแวดล้อม) ปูพื้นสองชั้น (Double liners) ปูพื้นผสม (Composite liners) (บำบัดหรือคัดแยกจากแหล่งผลิต)

ที่มา : U.S. EPA 530 – SW – 87 – 028F. 1987.



ที่มา : Environ.counsel in Health and Environmental Science, 1989.

รูปที่ 2-5 ตัวอย่างของมลพิษอากาศที่แพร่กระจายสู่มนุษย์



ที่มา: Environ. counsel in Health and Environmental Science, 1989.

รูปที่ 2-6 ตัวอย่างของสารเคมีในถ้ำจากที่ฝังกลบกระจายสู่มนุษย์

ผลกระทบของโลหะที่เกิดจากเตาเผาต่อสุขภาพ (48) โลหะหนักเป็นธาตุเคมีที่ไม่สามารถผลิตหรือทำลายโดยการเผา ปริมาณที่มีอยู่ในมูลฝอยก่อนเผาจึงออกมาพร้อมกับเถ้าและอากาศหลังการเผา โลหะหนักเหล่านี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง เช่นปรอท วานาเดียม สารหนู ตะกั่ว แคดเมียม และเบอริเลียม มีผลทำลายต่อระบบประสาท ตับ ไต เม็ดเลือด และผลกระทบอื่นๆ ในมนุษย์และสัตว์ สำหรับสังกะสี ทองแดง และปรอท ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำ

โลหะหนักที่สะสมในร่างกายมนุษย์ และธรรมชาติจะต้องใช้เวลานานในการขับออก เพราะความคงตัวในธรรมชาติจึงทำให้โลหะหนักมีสมรรถนะในการเพิ่มระดับ และก่อปัญหาในสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงขึ้น ตลอดจนการปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร โดยการดูดซับของพืชและเนื้อสัตว์ รวมทั้งการสูดดมหรือหายใจโดยตรงจากมลพิษ จึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์รุนแรงมากขึ้น (45)



2.4 แนวทางการกำจัดเต้ากันเตา

การพิจารณาทางเลือกในการกำจัดเต้าจะต้องกำหนดวิธีการกำจัดที่สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ การใช้พื้นที่ฝังกลบอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด และข้อกำหนดทางกฎหมายในการกำจัดเต้า นอกจากนี้จะต้องเกิดผลประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม สภาพทางภูมิศาสตร์ การดำเนินการของพื้นที่กำจัดและลักษณะสมบัติเฉพาะของเต้า ทางเลือกที่เหมาะสมกับการจัดการเต้ามีหลักการพื้นฐานที่เป็นปัจจัยสำคัญดังนี้ (45)

1. ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและทางเคมีของเต้า
2. เทคโนโลยีการบำบัด
3. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ต่อการกำจัดและทางเลือกในการใช้พื้นที่ซ้ำ

(Reuse)

4. ค่าใช้จ่ายการบำบัดและกำจัด
5. สักยภาพของตลาดที่รองรับวัสดุที่ได้จากการคัดแยกมูลฝอยก่อนนำมาเผา

ในข้อกำหนดของ U.S. EPA เกี่ยวกับการกำจัดเต้ามี 3 ขั้นตอนได้แก่ การรวบรวม การขนถ่ายและส่งต่อ การกำจัดและการกำหนดพื้นที่กำจัด ในการกักเก็บ รวบรวมและขนส่งนั้นได้กำหนดให้ทำในในระบบปิดที่มีชนิดป้องกันการฟุ้งกระจาย ส่วนการกำจัดมีการกำหนดการปูพื้นบริเวณ ฝังกลบตามลักษณะสมบัติของเต้า (47)

อีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการกำจัดในการฝังกลบแบบ Landfill liner หรือ Monofill แล้วกระบวนการแปรสภาพหรือคัดแยกวัสดุ เพื่อคัดแยกวัสดุกลับมาใช้ใหม่ และการบำบัดและการใช้ประโยชน์จากเต้าซึ่งในกระบวนการเหล่านี้นอกจากลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วประโยชน์ที่ได้จากกระบวนการคือ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการประหยัดพื้นที่ฝังกลบ แต่ความเหมาะสมของทางเลือกเหล่านี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐานที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวอย่างที่น่าสนใจในที่นี้มี 2 วิธี คือ

2.4.1 การคัดแยกวัสดุจากเต้ากลับมาใช้ใหม่

เต้าจากเตาเผามูลฝอยชุมชน จะมีวัสดุที่เผาไหม้ ไม่ได้จำนวนมาก วัสดุเหล่านี้เป็นหลักแก้ว และโลหะอื่นๆ มีวัสดุนานานมากที่มีค่าเมื่อคัดแยกออกมา ซึ่งส่วนใหญ่กระบวนการคัดแยกมักใช้เครื่องจักรกล ในการคัดขนาดและชนิดของวัสดุ อาจใช้การแยก การร่อน การบด การแยกด้วยแม่เหล็กหรือการแยกด้วยตัวกลาง จากการศึกษาเตาเผามูลฝอยชุมชนในอเมริกาพบว่า

ร้อยละ 95 ของโลหะทั้งหมดในเต้าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของเต้าทั้งหมด (45)

การจัดการเต้าโดยการนำวัสดุจากเต้ามาใช้ใหม่ โดยใช้เครื่องจักรกลเข้ามาแยกวัสดุจากเต้า นั้น ในประเทศไทยยังไม่มีมีการดำเนินงานในด้านนี้ อาจจะเป็นเพราะการใช้เต้าผสมฟอยผสมชนยังไม่แพร่หลาย เต้าผสมฟอยส่วนใหญ่เป็นเต้าผสมขนาดเล็ก ใช้ผสมฟอยติดเชื้อในโรงพยาบาล ปริมาณเต้าจึงไม่มากพอที่จะนำมาคัดแยก หรือไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ หลักการคัดแยกวัสดุจากเต้าคล้ายๆ กับการคัดแยกวัสดุจากมูลฟอย ส่วนเต้าผสมฟอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตที่เริ่มก่อสร้างก็ไม่มีขั้นตอนการคัดแยกวัสดุมาใช้ใหม่ เต้ากันเต้าจากการเผากำจัดโดยการฝังกลบ และเต้าจากเต้าผสมฟอยติดเชื้อทั้งเต้าแบบ ดช.2 และเต้า 2 หัวเต้า ไม่มีการคัดแยกใดๆ เต้าเหล่านี้บางส่วนจะถูกขุดหลุมฝังข้างเต้าเผา หรือกองทิ้งใกล้เต้าเผา ซึ่งเต้าผสมฟอยติดเชื้อเหล่านี้อยู่ภายในโรงพยาบาล โอกาสปนเปื้อนของเต้าต่อสิ่งแวดล้อมและโอกาสเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์สูงมาก

2.4.2 การบำบัดและการใช้ประโยชน์จากเต้า

จากงานวิจัยที่ค้นหาทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากเต้า โดยการนำไปผสมกับคอนกรีตในงานก่อสร้าง ทั้งเต้ากันเต้าและเต้าลอย สามารถบำบัดและนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงหลัก 4 ประการคือ (45)

1. ต้องไม่มีโลหะหนักปลดปล่อยออกมา
2. ค่าใช้จ่ายในการบำบัด
3. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ
4. การประหยัดพื้นที่ในการฝังกลบ

ในการบำบัดและการนำเต้าไปใช้ประโยชน์นั้น สิ่งที่สำคัญคือ การป้องกันไม่ให้โลหะหนัก ปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะต้องควบคุมโดยกระบวนการทางวิศวกรรม ตัวอย่างของกระบวนการบำบัดเต้าโดยวิธีการทางวิศวกรรมได้แก่

- การทำเป็นของแข็ง
- การทำให้คงตัว

กระบวนการทำเป็นของแข็งแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีการ 1) การหุ้มภายนอกของเต้าด้วยวัสดุ เช่น ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์หุ้ม (50) การผสมกับแอสฟัลท์และการหลอมรวมกับแก้ว (51,52) 2) การทำให้เป็นก้อนแข็งโดยการนำวัสดุมาห่อหุ้มเต้า เช่น โพลีเมอร์ ดินเหนียว (53) หรืออาจใช้ปฏิกิริยาตามธรรมชาติของเต้าที่เรียกว่า Pozzolanic ซึ่งมีอยู่ในเต้าในเต้าเผา (54)

ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากถ้ำด้วยการใช้ซีเมนต์หุ้มของศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล ของมหาวิทยาลัยนิวยอร์ก จากการทดสอบโครงสร้างและความคงตัวพบว่ามี ความแข็งแรงมากและทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลได้ด้วย ศูนย์วิจัยแห่งนี้ได้ใช้ซีเมนต์บล็อก ในการก่อสร้างแนวปะการังในทะเล (55) ส่วนสถาบัน เทคโนโลยีแห่งฟลอริดาได้ใช้ซีเมนต์บล็อก ในงานฐานรากของการก่อสร้างแนวชายฝั่งทะเล เพื่อควบคุมการกัดเซาะของน้ำทะเล

ส่วนการบำบัดโดยการทำให้คงตัวเป็นการบำบัดถ้ำจากเตาเผามูลฝอยด้วยปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างของวิธีการนี้ เช่น การสกัดโลหะหนัก (Metal extraction) และการเติมสารดูดซึม (Sorbent addition)

การสกัดโลหะหนัก วิธีการบำบัดถ้ำวิธีนี้ไม่ต้องติดตามเผ่าระวังเหมือนวิธีอื่น ในกระบวนการนี้มีการเปลี่ยนแปลงถ้ำโดยใช้กรดสกัดโลหะหนักเช่น แคลเซียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง เงินและทองคำ น้ำชะล้างถ้ำที่เกิดจากการสกัดสาร นำมาบำบัดด้วยระบบบำบัด น้ำเสียที่เหมาะสมกับองค์ประกอบของโลหะเพื่อแยกโลหะหนัก หรืออาจบำบัดโดยใช้น้ำฝนชะ แล้วนำน้ำชะมาบำบัด การแลกเปลี่ยนอนุภาค และการดูดซึม นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ ที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำชะซึ่งเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจ (56) ถ้ำส่วนเหลือจากการใช้กรดล้างสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางหลายทางมากกว่าถ้ำที่ไม่ได้บำบัด กระบวนการสกัดโลหะหนักนี้ ค่าใช้จ่ายจะสูงมากจึงเหมาะกับการบำบัดถ้ำลอยมากกว่า

การเติมสารดูดซับ เป็นการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีของโลหะหนักในถ้ำด้วยการเพิ่ม วัสดุ ในรูปของสารคงตัวหรือสารไม่ละลาย (57) สารดูดซับเหล่านี้ เช่น ไฮดรอสซิลิเกต (Hydrous silicates) ดินเหนียว เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) และ อลูมินา โดยเฉพาะดินเหนียวมีประโยชน์ในการดูดซับไอออนโลหะหนัก จากการเติมวัสดุดูดซับในถ้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและการคงตัว (54) โดยเฉพาะโลหะหนักที่ละลายน้ำได้ที่อยู่ในถ้ำ เช่น แคลเซียมและตะกั่ว จะลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเติมปูนขาว (Lime, CaO หรือ CaCO_3)

กล่าวโดยสรุปทางเลือกในการจัดการถ้ำจะต้องสอดคล้องและเหมาะสมกับเหตุผลและปัจจัยหลายๆ ประการ ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

สำหรับในประเทศไทยการศึกษาในเรื่องการนำวัตถุพิษในถ้ำกลับมาใช้ใหม่ ทั้งถ้ำจากเตาเผามูลฝอยชุมชนหรือเตาเผามูลฝอยติดเชื้อนี้ยังไม่ได้เริ่มต้น มีเพียงงานวิจัยด้านการใช้ประโยชน์จากถ้ำของถ่านหินลิกไนต์ ฉะนั้นการบำบัดและการใช้ประโยชน์จากถ้ำจึงไม่มีการศึกษาและดำเนินการใด ๆ ทั้งนี้เพราะเทคนิควิธีการและเทคโนโลยีที่จะต้องนำมาใช้ยังมีความซับซ้อนและมีราคาแพง การศึกษาครั้งนี้จึงได้รวบรวมวิธีบำบัดและกำจัดถ้ำที่มีอยู่มานาน่าสนใจไว้เป็นข้อมูลประกอบ ส่วนความเป็นไปได้ของการกำจัดถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลและ

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อของเทศบาลเมืองภูเก็ตนั้น มีแนวทางเสนอแนะที่เป็นพื้นฐานในการกำจัดเตา โดยคำนึงถึงขั้นตอนการจัดการดังนี้ (58)

1. การเก็บรวบรวมเตา (Store and Collection)
2. การขนส่ง (Transportation)
3. การกำจัด (Disposal)

1. การเก็บรวบรวมเตา ถ้าจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อชนิด 2 หัวเตา จะมีช่องเก็บเตา ที่รองรับเตาที่เหลือจากการเผาในแต่ละช่อง ปริมาณเตาที่เหลือจากการเผาร้อยละ 10-20 ของมูลฝอย การกวาดเอาเตาออกขึ้นกับความสะดวก และปริมาณเตาสะสมในช่องเก็บเตา หากสะสมไว้มากเกินไปอาจมีผลต่อการเผาไหม้ของมูลฝอยในช่องเผาไหม้ได้ โดยเฉพาะเตาในช่องเผาไหม้ที่ 1 ส่วนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อชนิด ดช.2 จะมีช่องการเผาไหม้ช่องเดียว เตาที่เหลือจากการเผาไหม้ จะมีปริมาณมากกว่าเตาจากเตาเผาชนิด 2 หัวเตา ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้เผาเป็นฟืนหรือไม้ การกวาดเอาเตาออกจากเตาเผาที่มีความสำคัญต่อการเผาไหม้มูลฝอยมากเพราะจะช่วยให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทำปฏิกิริยาในระหว่างการเผาไหม้ได้ดี การกวาดเอาเตาออกจากเตาเผาจึงมีความจำเป็นต่อการเผาทุกครั้ง เตานำออกมาจากช่องเก็บรวบรวมควรบรรจุในภาชนะมิดชิดเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย อาจเป็นถังมีฝาปิดหรือถุงดำที่มิดชิดผูกปากได้

2. การขนส่ง การขนส่งเตาควรจะทำในระบบปิด ต้องคำนึงการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีการป้องกันการตกหล่นตลอดจนการทำความสะอาดยานพาหนะง่าย (58)

3. การกำจัด วิธีการกำจัดเตาที่นิยมคือ การฝังกลบในพื้นที่ที่มีการปูหรือรองพื้นด้วยวัสดุป้องกันการปนเปื้อนของพื้นที่ฝังกลบ (Lined landfill) ซึ่งอาจใช้แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และ Geotextile รองพื้นและผนังของหลุมฝังกลบโดยรอบทั้งนี้จะต้องมีการวางผังบริเวณและออกแบบการฝังกลบอย่างเหมาะสมโดยต้องคำนึงถึงสภาพทางเศรษฐกิจและการเงิน ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี

ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาประเด็นการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการกำจัดเตากันเตาของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดภูเก็ต เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดแนวทางการกำจัดเตาที่เหมาะสมต่อไป

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในเตากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ และความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเตา โดยเชื่อมโยงที่มาของโลหะหนัก จากองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อที่มีโลหะหนักอื่นเป็นต้นเหตุของโลหะหนักในเตา และกระบวนการเผาไหม้ของเตาเผาที่เป็นปัจจัย ส่งเสริมให้เกิดโลหะหนัก และลักษณะสมบัติของเตาที่แตกต่างกันทางกายภาพหรือ

ทางเคมี โลหะหนักเป็นองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำอย่างหนึ่ง ที่มีการทดสอบและวิเคราะห์เพื่อประเมินความเป็นพิษและการปลดปล่อยออกจากถ้ำปนเปื้อนสู่สภาวะแวดล้อม การป้องกันและเฝ้าระวังการปนเปื้อนต่ออากาศ แหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน อันจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งในระยะสั้นที่ต้องสัมผัสกับมลพิษอากาศโดยการหายใจ การกิน และการปนเปื้อนมาับอาหารและน้ำ และในระยะยาวที่เกิดการปนเปื้อนของน้ำชะถ้ำต่อแหล่งน้ำอุปโภคบริโภค การศึกษาโลหะหนักในถ้ำกั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเป็นการวิจัยเบื้องต้นที่จะบอกถึงแนวทางการป้องกันและการจัดการถ้ำจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อให้เหมาะสม ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้จึงให้ความสำคัญและความสนใจโลหะหนักในถ้ำกั้นเตา จากเตาเผา มูลฝอยติดเชื้อเพื่อที่ทราบปริมาณโลหะหนักในถ้ำกั้นเตา และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำกั้นเตาที่บ่งบอกความเป็นพิษของถ้ำกั้นเตา และการกำจัดถ้ำกั้นเตาของโรงพยาบาลแต่ละแห่งในจังหวัดภูเก็ต

บทที่ 3

วิธีการวิจัยและอุปกรณ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) มีจุดมุ่งหมายเพื่อทราบปริมาณของโลหะหนักในถ้ำกันเกรา และความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำกันเกราเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยสุ่มตัวอย่างถ้ำกันเกราจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดภูเก็ต 4 แห่ง ตลอดช่วง 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่าง 2 ครั้งนำมาทดลองตามขั้นตอน และนำผลการทดลองร่วมกับการรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ มากำหนดแนวทางในการกำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

3.1 การสุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างถ้ำสุ่มจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง ในจังหวัดภูเก็ตคือ

3.1.1 เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเมืองภูเก็ต เป็นเตาเผา Multiple Chamber มี 2 ช่อง เตาสามารถเผามูลฝอยได้ในอัตรา 250 กิโลกรัม/ชั่วโมง อุณหภูมิการเผา 650-800 องศาเซลเซียสใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เตาเผามูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล 6 แห่ง และคลินิก 60 แห่งในเขตเทศบาลเมืองภูเก็ต ปริมาณมูลฝอยเฉลี่ย 250 กิโลกรัมต่อวัน เตาเผามูลฝอยทุกวัน ปริมาณถ้ำจากช่องเผาไหม้ที่ 1 ที่เหลือจากการเผา 15 กิโลกรัม/วัน สุ่มตัวอย่างถ้ำจากช่องเก็บถ้ำที่ 1 วันเว้นวันตลอด 2 สัปดาห์ วันละ 1-2 กิโลกรัม

3.1.2 เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง เป็นเตาเผา Multiple Chamber มี 2 ช่องเผา ของกองอนามัยสิ่งแวดล้อม เตาเผาผลิตได้ในอัตรา 25 กิโลกรัม/ชั่วโมง อุณหภูมิการเผา 400-600 องศาเซลเซียส ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณมูลฝอยเฉลี่ย 30 กิโลกรัม/วัน เตาสับดาห์ละ 2 ครั้ง ๆ ละ 90-120 กิโลกรัม ปริมาณเถ้าจากช่องเผาไหม้ที่ 1 ที่เหลือ 8-10 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง สุ่มตัวอย่างเถ้าจากช่องเก็บเถ้าที่ 1 สับดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 8-10 กิโลกรัม

3.1.3 เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชันนารี เป็นเตาเผา Multiple Chamber มี 2 ช่องเผาของบริษัทสเวนเทค รุ่น NF-35 ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ 30-50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิ การเผา 760-1,000 องศาเซลเซียส ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณมูลฝอย 10 กิโลกรัม ต่อวัน เตาสับดาห์ละ 2 ครั้ง ๆ ละ 45 กิโลกรัม ปริมาณเถ้าจากช่องเผาไหม้ที่ 1 มี 4 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง เก็บตัวอย่างเถ้าทั้งหมด จากช่องเก็บเถ้าที่ 1 ตลอด 2 สัปดาห์ เพื่อให้ได้ตัวอย่างเถ้า ก้นเตาเพียงพอต่อการเป็นตัวแทน

3.1.4 เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง เป็นเตาเผาแบบ ตข.2 ของกองสุขาภิบาล ขนาดห้องเผา 1 ลูกบาศก์เมตร มีห้องเผาเดียว อุณหภูมิการเผา 797-927 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิ ตามหลักการ ไม่สามารถวัดได้จริงในขณะที่เก็บข้อมูล) ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณมูลฝอยเฉลี่ย 30 กิโลกรัมต่อวัน เตาสับดาห์ละ 2 ครั้ง ๆ ละ 90-120 กิโลกรัม ปริมาณเถ้าที่เหลือเฉลี่ย 8-10 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง สุ่มตัวอย่างเถ้าสับดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 8-10 กิโลกรัม

3.1.5 ตัวอย่างเถ้าจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ของเตาเผาในข้อ 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 โดยเก็บตัวอย่างจากเถ้าที่สะสมตลอดช่วง 2 สัปดาห์

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 คัดแยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่สามารถหยิบออกมาได้จากตัวอย่างเถ้า เช่น ขวด แก้ว เศษโลหะ จดบันทึกชิ้นส่วนที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า

3.2.2 คัดขนาดตัวอย่างโดยวิธี Sieve analysis ด้วยตะแกรง 3 ขนาดคือ 1) ขนาด 3/8 เมช, ช่องลอดผ่าน 9.5 มิลลิเมตร 2) ขนาด 4 เมช, ช่องลอดผ่าน 4.75 มิลลิเมตร และ 3) ขนาด 35 เมช, ช่องลอดผ่าน 0.5 มิลลิเมตร ได้ตัวอย่างขนาด 9.50 - 4.75 มิลลิเมตร ขนาด 4.75-0.5 มิลลิเมตร และขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างทั้งสามขนาดไปคำนวณหาร้อยละของน้ำหนัก

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการเตรียมตัวอย่างอุปกรณ์หลักที่ใช้คือ ตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตัวอย่าง ที่ได้นำมาย่อย ด้วยวิธี การย่อย (Total digestion) และการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ด้วย อุปกรณ์ต่างๆ ในรายการที่ 2-17 เมื่อได้สารละลายจากการย่อยและการสกัดสารแล้ว จึงนำไป วิเคราะห์โลหะหนัก โดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer, Varian Spectro AA.300 วิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม เงิน ตะกั่ว แปรเมียม เซลีเนียม และใช้ Automated Mercury Analyzer PS 200 II วิเคราะห์ปรอท ส่วนสารหนู วิเคราะห์ด้วย Hydried Vapor Generation Accessory, Varian VGA-76 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองดังต่อไปนี้

1. ตะแกรง 35 เมช ช่องลอดผ่าน 0.5 มม. ตะแกรง 4 เมช ช่องลอดผ่าน 4.75 มม. และตะแกรง 3/8 เมช ช่องลอดผ่าน 9.5 มม.
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flasks) 1000 มล. และ 250 มล.
3. ขวดปริมาตร (Volumetric Flasks) 100 มล. และ 200 มล.
4. กระชกนาฬิกา
5. เต้าไฟฟ้า
6. กระดาษกรอง (Whatman Filter Paper) เบอร์ 6 และ เบอร์ 42
7. บีกเกอร์ 250 มล.
8. ขวดแก้ว 300 มล.
9. เครื่องอุ่นสารละลายด้วยน้ำร้อน
10. ปิเปต (Pipette) 5, 10, 100 มล.
11. กรวยแก้ว

12. เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius Model PC210 S MC1 Research
13. เครื่องเขย่า (Agitator)
14. pH meter Model 920A, ORION
15. ซ้อนดวงสาร
16. ถาดใส่อุปกรณ์
17. ลูกยาง
18. Atomic Absorption Spectrophotometer, Varian SpectroAA.300
19. Automated Mercury Analyzer PS 200 II
20. Hydried Vapor Generation Accessory, Varian VGA-76

3.4 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองส่วนใหญ่เป็นการข่อยและการสกัดตัวอย่างเพื่อให้อยู่ในรูปของสารละลายเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนัก โดยสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3 conc.)
2. กรดซัลฟริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.)
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl conc.)
4. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (5% KMnO_4 w/v)
5. สารละลายโพแทสเซียมไพโรซัลเฟต (5% $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ w/v)
6. สารละลายไฮดรอกซีตามีนไฮโดรคลอไรด์ (5% $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ w/v)
7. สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ (10% $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ w/v)
8. น้ำกลั่น (ไม่มีโลหะเจือปน)

3.5 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือการย่อย (Total digestion) และ การสกัดสาร (Leachate extraction procedure)

3.5.1 การหาปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาโดยการย่อย (Total digestion)

1) การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ เงิน (Ag) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb)

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1.0000 กรัมให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า (Hot plate) เพื่อย่อย (Digest) ด้วยไฟอ่อนๆ จนสารละลายเหลือ 1 ใน 3 ของปริมาตรเดิม ยกออกมาจากเตาทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรและเติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า เพื่อย่อยด้วยไฟอ่อนๆ จนสารละลายเหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร อย่าให้ตัวอย่างแห้งและเดือดขณะย่อย
4. นำตัวอย่างมาปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2) การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของสารหนู (As) และ ซีลีเนียม (Se)

1. ชั่งตัวอย่างถ้ำ 10.00 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ใส่บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า เพื่อย่อยด้วยไฟอ่อนๆ จนสารละลายเหลือ 1 ใน 3 ของปริมาตรเดิม ยกออกมาจากเตาทิ้งไว้ให้เย็น
3. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 ข้อ 1) ข้อ 3. แต่เปลี่ยนจากการเติมกรดไนตริกเข้มข้น เป็นการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาณ 10 มิลลิลิตร
4. นำตัวอย่างมาปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 สารละลายตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของซีลีเนียม (Se) ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนู (As) ด้วยเครื่อง Hydried Vapor Generation Accessory

3) การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอท (Hg)

1. ชั่งตัวอย่างแก้ว 10.00 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ใส่ขวดแก้วที่มีฝาปิด 300 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 2.5 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตรทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายโพแทสเซียมไพโรซัลเฟต 5 เปอร์เซ็นต์ 8 มิลลิลิตร

4. นำสารละลายไปอุ่นในเครื่องอุ่นสารละลายด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายไฮดรอกซีลามีโนไฮโดรคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ที่ละลายจนกระทั่งสีของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) หดไป จากนั้นนำตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

5. ปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตร 200 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้เก็บไว้วิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอท (Hg) ด้วยเครื่อง Automated Mercury Analyzer โดยใช้สารละลายสแตนด์สต็อกไนด์ 10 เปอร์เซ็นต์เป็น Reductant

4) การคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในแก้ว

1. ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในสารละลายที่ได้จากการย่อยแก้วกันเตาด้วยกรดและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในแก้วกันเตา ได้จากค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร) คูณด้วยปริมาตรสุดท้ายของสารละลาย (มิลลิลิตร)หารด้วยน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างแก้วกันเตา (กรัม) ซึ่งเขียนเป็นสมการดังนี้

$\text{ปริมาณโลหะหนักในแก้ว (มก./กก.)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย (มก./ล.)} \times \text{ปริมาตรสารละลาย (มล.)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$
--

ตัวอย่าง น้ำหนักแก้วตัวอย่างเมื่อเริ่มต้น 1.00361 กรัม

ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่ปรับด้วย Volumetric Flask 200 มิลลิลิตร

ค่าโลหะหนักที่อ่านจาก Atomic Absorption Spectrophotometer 0.281 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\text{ปริมาณโลหะหนักในแก้ว} = \frac{0.281 \times 200}{1.00361} \quad \text{มิลลิกรัม/กิโลกรัม}$$

$$= 55.9978 \quad \text{มิลลิกรัม/กิโลกรัม}$$

3.5.2 การหาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากถั่วกั้นเตาโดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure)

ในการทดลองครั้งนี้ใช้วิธีการสกัดสารที่ปรับปรุงมาจากประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ฟุ้ง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2531 (44) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (14) ซึ่งรายละเอียดทั้ง 2 วิธีการ ได้กล่าวไว้ในข้อ 2.3.7 เหตุผลที่ต้องใช้ทั้ง 2 วิธีเนื่องจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงการจัดซื้อเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) การทดสอบการชะของถั่ว โดยขั้นตอนการทดลองและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง อ้างอิงมาจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (2540) ยกเว้นการกวนเขย่าบนเครื่องเขย่า (Agitator) 200 รอบต่อนาที ที่ช่วงความกว้างการเขย่า 5 เซนติเมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยอ้างอิงตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (2531) ส่วนการกรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ในการทดลองนี้ใช้กระดาษกรอง (Whatman Filter Paper) เบอร์ 6 และ เบอร์ 42 แทนแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน วิธีการสกัดสารมีขั้นตอนดังนี้

- 1) การสกัดถั่วโดยการนำตัวอย่างที่คัดแยกขนาดแล้ว จำนวน 25 กรัม เติมน้ำสกัด (Leachant) ซึ่งเตรียมจากน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก จนค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของส่วนผสม มีค่าคงที่เท่ากับ 5 ± 0.2 ตลอดช่วงการเขย่า (15, 30, 60 นาที ปริมาตรกรดที่เติมไม่เกิน 2.5 มิลลิลิตร) แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมในอัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง ในที่นี้เติมน้ำสกัด 500 มิลลิลิตร

- 2) ตัวอย่างที่ผสมแล้ว นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Agitator) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่า 200 รอบต่อนาที ที่ช่วงความกว้างของการเขย่า 5 เซนติเมตร (44)

- 3) สารละลายจากการสกัดนำไปกรอง ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 6 และ เบอร์ 42 (ใช้แทนแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน (GF/F))

- 4) การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นของเงิน (Ag) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.5.2 ข้อ 3) จำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่ปิเปเกอร์ 250 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร และดำเนินการตามขั้นตอนในข้อ 3.5.1 ข้อ 1) แต่ digest ด้วยไฟอ่อนๆ เพียงครั้งเดียว

2. สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

5) การเตรียมสารสำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนู (As) และซีลีเนียม (Se)

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.5.2 ข้อ 3) จำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่ บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตรและดำเนินการตามขั้นตอนใน ข้อ 3.5.2 ข้อ 2)

2. สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของซีลีเนียม (Se) ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารหนู (As) ด้วยเครื่อง Hydried Vapor Generation Accessory

6) การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอท (Hg)

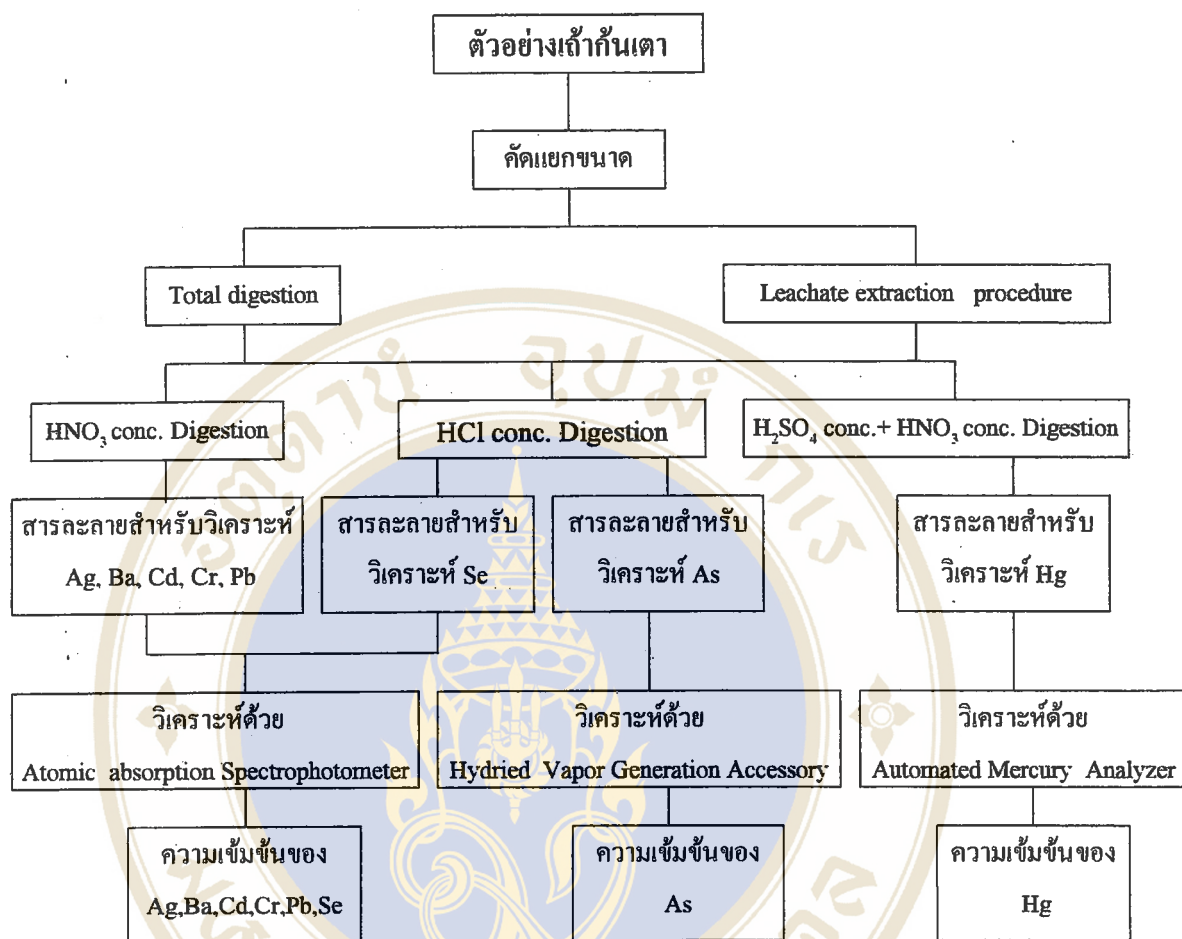
1. ปิเปต สารละลายตัวอย่างในข้อ 3.5.2 ข้อ 3) จำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่ ขวดแก้วที่มีฝาปิด 300 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และดำเนินการตามขั้นตอนในข้อ 3.5.1 ข้อ 3) ตั้งแต่ 2 - 4

2. สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอท (Hg) ด้วยเครื่อง Automated Mercury Analyzer โดยใช้สารละลายสแตนด์สต็อกไโรด์ 10 เปอร์เซ็นเป็น Reductant

7) การคำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเก่า

ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายที่วิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer คือ ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างก้นเตา เนื่องจากสารละลาย เริ่มต้น และสารละลายสุดท้ายที่นำไปวิเคราะห์มีปริมาตรที่เท่ากัน

ขั้นตอนการทดลองโดยสรุปแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3 – 1 ผังขั้นตอนการทดลอง

3.6 เวลาและสถานที่ทำการทดลอง

3.6.1 ตัวอย่างเก่าก้นเตาเก็บจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ต

1. เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล
2. เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง
3. เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง
4. เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชันนารี

3.6.2 การคัดแยกขนาดเถ้านั้นเตา ทดลองในห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและ
ทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3.6.3 การเตรียมสารละลายเพื่อการวิเคราะห์โลหะหนัก โดยทดลองในห้องปฏิบัติการ
ของกลุ่มงานสิ่งแวดล้อม กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

3.6.4 การวิเคราะห์โลหะหนักทำการทดลองโดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6.5 ใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเถ้านั้นเตา เก็บในช่วง 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่าง
จำนวน 2 ครั้ง

1. เก็บตัวอย่างเถ้า 1-15 มีนาคม พ.ศ. 2541 และ 15-30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541
2. คัดขนาดเถ้า 1-10 เมษายน พ.ศ. 2541 และ 1-8 ธันวาคม พ.ศ. 2541
3. เตรียมสารละลาย 1-31 พฤษภาคม พ.ศ. 2541 และ 9-31 ธันวาคม พ.ศ. 2541
4. วิเคราะห์โลหะหนัก 1-30 มิถุนายน พ.ศ. 2541 และ 1-30 มกราคม พ.ศ. 2542

3.7 การศึกษาการกำจัดเถ้า

การกำจัดเถ้านั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง มีขั้นตอนดังนี้

3.7.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้ดูแลเตาเผา เอกสาร บันทึกและ
ทะเบียนการจัดการเถ้านั้นเตาของแต่ละหน่วยงาน

3.7.2 การศึกษาและสังเกต จากการรวบรวมเถ้านั้นเตาหลังการเผา การเคลื่อนย้ายขน
ส่งเข้าไปกำจัด วิธีการกำจัด

3.7.3 การจัดทำแนวทางการกำจัดเถ้า โดยการทบทวนข้อกำหนดการกำจัดเถ้าที่ถูกหลัก
สุขภาพ และข้อเสนอแนะในการกำจัดเถ้า

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.8.1 การประเมินความเป็นพิษของเถ้า จากความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้าง
เถ้า โดยเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่กำหนด ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งเป็นดัชนีในการตรวจวัดสำหรับทดลองครั้งนี้ มีปริมาณโลหะหนักใน
น้ำชะล้างเถ้าเท่ากับ หรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งดัง ตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ความเข้มข้นของโลหะหนัก ที่กำหนดตามประกาศ
กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 6 (พ.ศ. 2540)

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สารหนู (รวม)	5.0
แบเรียม	100.0
แคดเมียม (รวม)	1.0
โครเมียม (รวม)	5.0
ตะกั่ว (รวม)	5.0
ปรอท (รวม)	0.2
เซลิเนียม (รวม)	1.0
เงิน (รวม)	5.0

ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับ 6 (พ.ศ. 2540)

3.8.2 การวิเคราะห์ทางเลือกในการกำจัดเถ้ากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ โดย
พิจารณาจากปริมาณโลหะหนักในเถ้า ความเป็นพิษของเถ้า และแนวทางกำจัดเถ้าที่เหมาะสม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ถ้ำกั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต 4 แห่ง ที่นำมาศึกษาแม้จะมีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกันคือ มาจากองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุทางการแพทย์ แต่เมื่อเผาไหม้มาเป็นถ้ำแล้ว ลักษณะทางกายภาพของถ้ำกั้นเตาแต่ละแห่งจะมีความแตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องมาจากประเภทของเตาเผา ขนาดเตาเผา อุณหภูมิการเผา การจัดการเตาเผา ในระหว่างการเผา ในการนำเสนอผลการศึกษาโลหะหนักในถ้ำกั้นเตา มีประเด็นดังนี้

- 4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างถ้ำกั้นเตา
- 4.2 ผลการศึกษาปริมาณโลหะในถ้ำกั้นเตา
- 4.3 ผลการศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำกั้นเตา
- 4.4 การศึกษาแนวทางการกำจัดถ้ำกั้นเตา

4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างถ้ำกั้นเตา

ตัวอย่างถ้ำกั้นเตาจากเตาเผา 4 แห่ง เก็บมาวิเคราะห์ 2 ครั้ง ก่อนการวิเคราะห์นำตัวอย่างมาคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานโดยวิธี Sieve analysis แล้วนำตัวอย่างถ้ำกั้นเตาในแต่ละตะแกรงมาศึกษาดังนี้ 1) การจำแนกองค์ประกอบของถ้ำ 2) การชั่งน้ำหนัก และ 3) การบันทึกสีของถ้ำกั้นเตา

4.1.1 ขนาดอนุภาคเถ้ากันเตา ตัวอย่างเถ้ากันเตาที่นำมาคัดแยกอนุภาคโดยตะแกรงมาตรฐาน 3/8 4 และ 35 เมช มีช่องผ่าน (Aperture) 9.50 4.75 และ 0.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อร่อนเขย่าแล้วได้ตัวอย่างเถ้ากันเตาที่มีขนาดอนุภาค 4 ช่วงคือ

- 1) บนตะแกรง 3/8 เมช ขนาดอนุภาคเถ้าใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร
- 2) บนตะแกรง 4 เมช ขนาดอนุภาคเถ้าใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร
- 3) บนตะแกรง 35 เมช ขนาดอนุภาคเถ้าใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร
- 4) บนถาด ขนาดอนุภาคเถ้าตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตร และเล็กกว่า

การกระจายตัวของอนุภาคเถ้าแต่ละช่วงขนาดของเถ้ากันเตาจากเตาเผาแต่ละแห่งจะไม่เท่ากัน การกระจายตัวของอนุภาคเถ้าขนาดใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร จากช่องเผาไหม้ที่ 1 และเถ้าจากเตาเผาแบบ ดช.2 (โรงพยาบาลปาดอง) จะมีร้อยละของน้ำหนักมากที่สุด โดยเฉลี่ยจากทุกเตาเผาจะอยู่ในช่วงร้อยละ 38.43-57.61 และขนาดอนุภาคเถ้าที่มีร้อยละของน้ำหนักรองลงมาคือขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตร และเล็กกว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.01-37.72 (ดูภาคผนวก ข.)

ในตารางที่ 4-1 ซึ่งเป็นเถ้ากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลช่องเผาไหม้ที่ 1 ในการวิเคราะห์ครั้งแรกไม่ได้แยกขนาดอนุภาคเถ้าที่ใหญ่กว่า 0.95 มิลลิเมตร ออกจากเถ้าที่อยู่ในช่วงขนาดใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร ร้อยละของน้ำหนักในช่วงนี้จึงมีมากถึงร้อยละ 68.47 ส่วนการวิเคราะห์ครั้งที่ 2 เมื่อแยกเถ้าขนาดใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร ออกมาจะพบว่าเถ้าขนาดใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตรจะมีถึงร้อยละ 57.61 และมากกว่าอนุภาคเถ้าขนาดอื่น ๆ ส่วนอนุภาคเถ้าขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา จะมีการรองลงมาร้อยละ 20.41 ซึ่งการกระจายตัวของอนุภาคเถ้าในเตาเผามูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลกลาง โรงพยาบาลมิชชัน ในช่องเผาไหม้ที่ 1 และเตาเผาแบบ ดช.2 ของโรงพยาบาลปาดอง จะมีการกระจายตัวของอนุภาคเถ้าไปในการทำงานเดียวกับเตาเผามูลฝอยติดเชื้อของเทศบาล การกระจายตัวของอนุภาคเถ้าเหล่านี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4-1 ขนาดอนุภาคเก้กัันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลช่องเผาไหม้ที่ 1

ขนาด ตะแกรง(เมฆ)	ขนาดของเก้กััน บนตะแกรง (มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักเก้กััน(กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักเก้กััน(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 4,793.28	} 8.47	7,053.53	57.61
4	> 4.75-9.50			756.03	6.17
35	> 0.50-4.75	768.41	10.97	1,934.46	15.80
ถาด	<= 0.50	1,438.31	20.54	2,498.89	20.41
รวม		7,000.00	100.00	12,242.91	100.00

หมายเหตุ : ในการทดลองครั้งที่ 1 ไม่ได้คัดแยกขนาดเก้กัันเตา > 9.50 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร
ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้อนุภาคเก้กัันขนาดใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร มีร้อยละของน้ำหนักมากกว่าตัวอย่างเก้กัันขนาดอื่นๆ เนื่องมาจากในการเก็บตัวอย่างเก้กัันไม่ได้คัดแยกเอาวัสดุชิ้นใหญ่ๆ เช่น กระป๋อง ขวดแก้ว โลหะ ออกจนหมด จึงมีวัสดุทางการแพทย์ที่มีขนาดใหญ่ติดมาด้วยเป็นจำนวนมาก ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Hasselbriis F. ที่พบว่าเมื่อคัดแยกแก้วและโลหะที่มีขนาดใหญ่ออกทั้งหมดแล้วนำเก้กัันที่เหลือไปเทียบเป็นร้อยละ ปริมาณร้อยละของเก้กัันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อ 2.3.3 (35) หากสังเกตจากเก้กัันในช่องเผาไหม้ที่ 2 ที่ไม่มีแก้ว และโลหะขนาดใหญ่ปะปนอยู่ ตัวอย่างเก้กัันจะมีอนุภาคที่เล็กและละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน น้ำหนักตัวอย่างเก้กััน ที่อยู่ในช่วงอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมาร้อยละ 71.10-87.67 และอนุภาคเก้กัันขนาดใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ร้อยละ 7.66-28.89 ส่วนอนุภาคเก้กัันที่ใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร ในช่องเผาไหม้ ที่ 2 จะเป็นเศษอิฐหินไฟ และเศษเหล็กที่กะเทาะจากวัสดุที่ฉาบผนังเตาเผาหลุดปนออกมาซึ่งไม่ใช่เก้กัันที่เกิดจากมูลฝอยติดเชื้อ ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4-2 ซึ่งเป็นขนาดต่างๆ ของอนุภาคเก้กััน กัันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลช่องเผาไหม้ที่ 2 และตัวอย่างเก้กัันเตาในช่องเผาไหม้ที่ 2 ที่นำไปวิเคราะห์โลหะหนักจึงมี 2 ช่วงขนาด คือ ขนาดใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร และขนาด ตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา

ตารางที่ 4-2 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล ช้องเผาไหม้ที่ 2

ขนาด ตะแกรง(เมซ)	ขนาดของถ้ำ บนตะแกรง(มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50			42.00	1.80
4	> 4.75-9.50			66.67	2.86
35	> 0.50-4.75	281.54	28.89	178.51	7.66
ถาด	< = 0.50	692.65	71.10	2,041.20	87.66
รวม		974.19	100.00	2,328.38	100.00

หมายเหตุ : ในการแยกขนาดครั้งที่ 1 ไม่มีถ้ำขนาดที่ใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

4.1.2 องค์ประกอบของถ้ำก้นเตา ในการศึกษาครั้งนี้ตัวอย่างถ้ำก้นเตาที่นำมาจำแนกองค์ประกอบทางกายภาพโดยการสังเกตด้วยตาเปล่า เป็นถ้ำก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 1 และถ้ำก้นเตาจากเตาเผา ตช.2 ซึ่งปริมาณมากและต่างจากถ้ำก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ซึ่งขนาดอนุภาคถ้ำจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและละเอียดไม่สามารถจำแนกประเภทได้ แต่ละขนาดของอนุภาคถ้ำก้นเตามีองค์ประกอบดังนี้

1) ขนาดใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร ประกอบด้วย เศษโลหะ มีดโกน เข็ม แก้ว ขวด หิน กระจก และวัสดุอื่นๆ ทางกายภาพที่จำแนกออกมาได้แสดงในตารางที่ 4-3

2) ขนาดใหญ่กว่า 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร ประกอบด้วย เศษเข็มนิตยาหัก เศษแก้ว เศษโลหะ และถ้ำที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้

3) ขนาดใหญ่กว่า 0.50 - 4.75 มิลลิเมตร ประกอบด้วย ขนาดของอนุภาคถ้ำเหมือนกับทรายหยาบ ไม่สามารถจำแนกชนิดขององค์ประกอบได้

4) ขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ขนาดของอนุภาคถ้ำจะละเอียดมาก มีลักษณะคล้ายแป้ง ไม่สามารถจำแนกชนิดขององค์ประกอบได้

ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบของได้จากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ช่องเผาไหม้ที่ 1 และ เตาเผา ตข.2 ที่มีขนาดใหญ่กว่า 9.50 มิลลิเมตร

ตัวอย่างเตา	องค์ประกอบ
1. เตาเผาเทศบาล	โลหะ:-ไบมิดโกน มีดผ่าตัด เข็มเจาะเลือด เข็มเจาะปลายนิ้ว ฟอยด์ เข็มบล็อกหลัง เข็มฉีดยา เข็มดูดยา ลวด โลหะหุ้มผ่าขวด ขดสปริง หลอดยาอูมิเนียม กระป๋องสี กระป๋องนม กระป๋องผลไม้ ไม้หลอดไฟฟ้า เหล็ก โลหะอื่นๆ แก้ว:-ขวดแก้ว ขวดสีชา ไชริงซ์แก้ว หลอดไฟ แก้วหลอม แผ่นสไลด์ แผ่นปิดสไลด์ กระป๋องเทอโมมิเตอร์ ขวดยา ขวดเครื่องดื่ม หลอดฉีดยา หลอดยาชา อื่นๆ:เปลือกหอยแครง ใยผ้าก๊อช เศษถ้วยชาม กระดุก ฟัน ถ่านไฟฉายขนาดต่างๆ ถ่านเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ ไม้พินสาลี (ในขวดแก้ว) วัสดุจำแนกประเภทไม่ได้
2. เตาเผาโรงพยาบาลกลาง	โลหะ:-โลหะแผ่นสีเหลี่ยมเล็กๆ ไบมิดโกน มีดผ่าตัด เข็มบล็อกหลัง เข็มเจาะปลายนิ้ว เข็มฉีดยา เข็มดูดยา โลหะหุ้มผ่าขวด แผ่นอูมิเนียม ฟอยด์ ลวด ไม้หลอดไฟฟ้า หลอดยาอูมิเนียม โลหะอื่นๆ แก้ว:-ขวดยา แก้วหลอม หลอดฉีดยา ขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ ไชริงซ์แก้ว อื่นๆ: ไม้สวอบ (ในขวดแก้ว) แผ่นผ้าเปดาน กระดาษมัน ใยผ้าก๊อช กระดุก ฟัน ถ่านไฟฉาย วัสดุจำแนกประเภทไม่ได้
3. เตาเผาโรงพยาบาลมิชชัน	โลหะ:-ไบมิดโกน มีดผ่าตัด เข็มเจาะเลือด เข็มบล็อกหลัง เข็มฉีดยา คีม ฟอยด์ โลหะหุ้มผ่าขวด ไม้หลอดไฟฟ้า โลหะอื่นๆ แก้ว:-ขวดแก้วชนิดต่างๆ ขวดยาดูด ขวดยา หลอดไฟ แก้วหลอม หลอดฉีดยา แก้วอื่นๆ อื่นๆ: ใยผ้าก๊อช วัสดุจำแนก ประเภทไม่ได้
4. เตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง(ตข.2)	โลหะ:-ตะปู(พบจำนวนมาก) กระป๋องผลไม้ กระป๋องนม เข็มบล็อกหลัง ลวดหนีบเอกสาร ช้อน ส้อม ฟอยด์ ไบมิดโกน มีดผ่าตัด เข็มฉีดยา เข็มเจาะปลายนิ้ว โลหะหุ้มผ่าขวด ขดลวด แก้ว:-หลอดทดลอง แผ่นสไลด์ แก้วปิดแผ่นสไลด์ ขวดยา หลอดฉีดยา หลอดยาคุมกำเนิด หลอดยาชา ขวดโซดาอื่นๆ อื่นๆ: เศษกระเบื้องถ้วยชาม หิน วัสดุจำแนกประเภทไม่ได้

ที่มา : จากการสังเกตและคัดแยกเตา, 2541.

ถ้ำกันเตาในตารางที่ 4-3 ส่วนใหญ่มาจากมูลฝอยติดเชื้อที่ไม่ติดไฟ หากสามารถคัดแยกก่อนเผาและนำไปเผาเชื้อด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การแช่น้ำยาฆ่าเชื้อ การอบด้วยไอน้ำก็สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ (7) เช่น ขวดยา แผ่นสไลด์ ไซริงค์แก้ว นอกจากนี้มีมูลฝอยทั่วไปปะปนมาเป็นจำนวนมาก เช่น กระป๋องผลไม้ ขดลวดสปริง ถ้วย ชาม ช้อน ส้อม ขวดโฆดา จากการศึกษาของเพลินพิศ พรหมมะณี (2541) พบว่า หากคัดแยกมูลฝอยทั่วไปออกจากมูลฝอยติดเชื้อ ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อโดยน้ำหนักจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 46.57 เท่านั้น (22) การคัดแยกมูลฝอยจะช่วยลดน้ำหนักของมูลฝอยติดเชื้อ ช่วยให้สะดวกต่อการเก็บขน ช่วยประหยัดพลังงานในการเผาไหม้ และช่วยลดปริมาณเถ้าที่เหลือทำให้ประหยัดพื้นที่ในการกำจัดเถ้าได้ด้วย

4.1.3 สីของตัวอย่างถ้ำกันเตา ตัวอย่างถ้ำกันเตาแต่ละเตาเผาจะมีสีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่สีเทาอ่อนเกือบขาวไปจนถึงสีดำเข้ม ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิการเผาไหม้ ประเภทของเตาเผา ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ จากการศึกษาสี่ของตัวอย่างถ้ำจากเตาเผา 4 แห่ง ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สี่ของตัวอย่างถ้ำกันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต

ประเภทของถ้ำ	สี	อุณหภูมิการเผา (°C)	ข้อสังเกต
1. เตาเผาเทศบาล - ถ้ำช่องเผาไหม้ที่ 1 - ถ้ำช่องเผาไหม้ที่ 2	เทาดำ เทา-ขาว	700-800 ¹	ห้องเผาไหม้ใหญ่ ปริมาณอากาศมาก
2. เตาเผาโรงพยาบาลกลาง - ถ้ำช่องเผาไหม้ที่ 1 - ถ้ำช่องเผาไหม้ที่ 2	ดำเข้ม เทาเข้ม-น้ำตาล	450-500 ¹	ห้องเผาไหม้เล็ก มีอากาศไหลเวียนน้อย
3. เตาเผาโรงพยาบาลมิชชัน - ถ้ำช่องเผาไหม้ที่ 1 - ถ้ำช่องเผาไหม้ที่ 2	ดำอ่อน เทาอ่อน	600-700 ¹	ห้องเผาไหม้เล็กอากาศ ไหลเวียนน้อยกว่า
4. เตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง	เทาดำอ่อน	797-927 ²	ใช้ไม้ฟืนเผา อากาศไหล เวียนดี

หมายเหตุ : 1. อุณหภูมิจากการบันทึกในการเผามูลฝอยของแต่ละแห่ง

2. อุณหภูมิของเตาเผาโรงพยาบาลป่าตองไม่สามารถวัดได้ อุณหภูมินี้อ้างมาจากข้อมูลเตาเผา
กองสุขาภิบาล (7)

ที่มา : จากการสำรวจและข้อมูลทุติยภูมิ, 2541

เมื่อเปรียบเทียบได้จากเตาเผาเดียวกัน ถ้าจากช่องเผาไหม้ที่ 1 จะมีสีดำหรือสีเข้มกว่าช่องเผาไหม้ที่ 2 ทั้งนี้เพราะ ส่วนประกอบของมูลฝอยที่เป็นคาร์บอนในช่องเผาไหม้ที่ 1 เมื่อถูกเผาจะเป็นสีดำ ส่วนถ้าในช่องเผาไหม้ที่ 2 จะถูกเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจึงทำให้มีสีอ่อนกว่า ส่วนความแตกต่างระหว่างเตาแต่ละเตาเผา นั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ เตาเผาของเทศบาลจะมีอุณหภูมิการเผาที่สูงกว่าเตาเผาโรงพยาบาลกลางและเตาเผาโรงพยาบาลมิชชั่น ถ้าที่ได้จึงมีสีที่อ่อนกว่า และขนาดของห้องเผาไหม้ของเตาเผาเทศบาลใหญ่กว่า ปริมาณอากาศไหลเวียนดีกว่า จึงทำให้มูลฝอยติดเชื่อมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์มากกว่า ถ้าจากเตาเผาโรงพยาบาลกลางจะมีสีเข้มมากที่สุด เพราะอุณหภูมิการเผาของเตาเผาโรงพยาบาลกลางต่ำสุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะมีผลต่อสีของถ่าน เช่น ระยะเวลาในการเผา ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เผา ซึ่งในที่นี้ไม่ได้มีการเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้ การที่ถ่านเตามีสีดำเข้มนั้น นอกจากประสิทธิภาพของเตาเผาแล้ว การเผาไหม้ของมูลฝอยอาจจะไม่ทั่วถึง การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อาจจะไม่สมบูรณ์ ถ่านจึงมีสีดำเข้ม กล่าวโดยสรุปปริมาณอากาศที่มากพอและอุณหภูมิที่สูงของเตาเผาเป็นปัจจัยสำคัญให้มูลฝอยที่เป็นสารคาร์บอนเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และสีของถ่านเตามีสีอ่อนลง

4.2 ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ่านเตา

ตัวอย่างถ่านเตาที่ได้คัดแยกขนาดแล้วนั้น นำมาศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ่าน โดยนำถ่านขนาดตั้งแต่ 9.50 มิลลิเมตรลงมา เพื่อให้สอดคล้องกับการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ่านตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 แต่ในการทดลองนี้ตัวอย่างถ่านถูกคัดแยกออกเป็น 3 ขนาด เพื่อที่จะเปรียบเทียบดูแนวโน้มของปริมาณโลหะหนักในถ่านที่ขนาดอนุภาคต่างกัน โดยตัวอย่างถ่านเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 1 และถ่านเตาจากเตาเผาแบบตข. 2 แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ ตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ขนาดใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร ส่วนถ่านจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ไม่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร จึงแบ่งเป็น 2 ขนาด คือตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา และขนาดใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร

ปริมาณโลหะหนักในถ่านเตาที่วิเคราะห์ได้ของแต่ละเตาเผา(ภาคผนวก ค) จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนัก บางชนิดตรวจพบได้มาก บางชนิดตรวจพบได้น้อย ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในถ่านเตาเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ แบเรียม (Ba) ตะกั่ว (Pb)

โครเมียม (Cr) เงิน (Ag) เซลีเนียม (Se) แคดเมียม (Cd)ปรอท (Hg) สารหนู (As) ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

โลหะหนักในถ้ำ	ค่าต่ำสุด (มก./กก.)	ค่าสูงสุด (มก./กก.)	ค่าเฉลี่ย (มก./กก.) ¹
1. แบเรียม	688.17	5,856.25	2,602.41
2. ตะกั่ว	132.85	2,966.57	1,130.00
3. โครเมียม	35.91	6,597.92	559.91
4. เงิน	10.10	3,278.55	245.27
5. เซลีเนียม	< 0.20	124.21	39.48
6. แคดเมียม	0.05	37.54	13.18
7. ปรอท	13.73 ไมโครกรัม/กิโลกรัม	16,834.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม	1,965.64 ไมโครกรัม/กิโลกรัม
8. สารหนู	<1.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม	131.71 ไมโครกรัม/กิโลกรัม	14.73 ไมโครกรัม/กิโลกรัม

หมายเหตุ : 1. ค่าเฉลี่ยได้มาจากการนำทุกค่าของทุกตัวอย่างรวมกันแล้วหารด้วยจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

2. หน่วยการวิเคราะห์ปรอทและสารหนูเป็นไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

แบเรียมเป็นโลหะหนักที่พบปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก แบเรียมเป็นโลหะหนักที่นำมาใช้ในรูปของสารประกอบที่ใช้ในการเติมลงในพลาสติกเพื่อให้เกิดการคงตัว (Stabilizers) ของพลาสติก และในปัจจุบันพลาสติกถูกนำมาใช้ทางการแพทย์ในปริมาณที่สูง เพื่อป้องกันการแพร่ของเชื้อโรคเอดส์ และเชื้อไวรัสตับอักเสบบี เช่น กระบอกฉีดยาพลาสติกชนิดใช้แล้วทิ้ง นอกจากนี้ แบเรียม(Ba) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) เซลีเนียม (Se) แคดเมียม (Cd) ยังเป็นสารประกอบในหมึกที่พิมพ์บนพลาสติก และสีที่เติมลงในพลาสติก (38) ปริมาณโลหะหนักเหล่านี้พบได้ในปริมาณสูง ส่วนเงินเป็นองค์ประกอบของวัสดุทางการแพทย์พวกโลหะและสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ปรอทและสารหนูเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณต่ำมากจนเกือบไม่พบเลย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปรอทระเหยได้ง่ายแม้ในอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิในเตาเผาที่สูงจึงทำให้ปรอทระเหยไปหมด ส่วนสารหนูเป็นโลหะหนักที่ไม่นำมาใช้ทางการแพทย์ ส่วนใหญ่ใช้เป็นยาฆ่าแมลงหรือยาเบื่อโอกาสการปนเปื้อนจึงมีน้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดกับขนาดอนุภาคแต่ละช่วงพบว่า มีการตรวจพบโลหะหนักที่แตกต่างกันเมื่อขนาดอนุภาคต่างกัน ดังนี้

แบเรียม (Barium-Ba)

แบเรียมเป็นโลหะที่พบในปริมาณมากที่สุดในการทดลองนี้ ปริมาณของแบเรียมที่พบอยู่ในช่วง 688.17-5,856.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโดยเฉลี่ย 2,602.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแบเรียมที่พบมากที่สุดในการเก็บจากเตาเผาโรงพยาบาลปาดองขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ส่วนปริมาณแบเรียมน้อยที่สุดพบในการเก็บจากเตาเผาโรงพยาบาลกลาง ช่องเผาไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร แหล่งที่มาของแบเรียมในการเก็บจากเตาเผาจากองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อที่เป็นพลาสติก สี หมึกพิมพ์ กระดาษ ซึ่งสารประกอบแบเรียมที่ใช้ในรูปของ Barium-Cadmium Brium-Lead Tin-Barium (6) ซึ่งวัสดุทางการแพทย์ที่เป็นพลาสติกนับวันจะมีการใช้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการพัฒนาอุตสาหกรรมวัสดุและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ (35) และการระบาดของโรคติดต่อ เช่น โรคเอดส์ โรคไวรัสตับอักเสบ ทำให้มีการใช้พลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้งเพิ่มมากขึ้นและพลาสติกที่ใช้เป็นถุงใส่มูลฝอยติดเชื้อเพิ่มมากขึ้นด้วย (26) ปริมาณแบเรียม ที่ตกค้างในถ้ำจึงมีปริมาณที่สูงมาก

เมื่อพิจารณาปริมาณแบเรียมกับขนาดอนุภาคถ้ำ ระหว่างขนาดอนุภาคถ้ำตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา กับขนาดอนุภาคถ้ำใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร จะไม่พบความแตกต่างของปริมาณแบเรียมที่ชัดเจน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคถ้ำขนาดใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร ถ้ำขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะมีปริมาณแบเรียมมากกว่าอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าจะมีโลหะหนักจับที่ผิวได้มากกว่าเพราะมีพื้นที่ผิวด้านหน้ามากกว่า (2) ปริมาณโลหะหนักในอนุภาคจึงมากกว่าด้วย อาจกล่าวได้ว่าขนาดอนุภาคถ้ำตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา มีแนวโน้มการตรวจพบแบเรียมมากกว่าอนุภาคถ้ำขนาดใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-6

เมื่อพิจารณาช่องเผาไหม้ ถ้ำจากช่องเผาไหม้ที่ 1 และช่องเผาไหม้ที่ 2 ไม่สามารถบอกแนวโน้มการตรวจพบได้อย่างชัดเจน เช่นเดียวกันกับแต่ละประเภทเตาเผาที่มีความแตกต่างของปริมาณแบเรียม ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าเพราะอะไร แต่อาจจะเป็นผลมาจากความแตกต่างจุดหลอมเหลวและจุดเดือดของแบเรียม และอุณหภูมิของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ (จุดหลอมเหลวของแบเรียม 614°C แบเรียมออกไซด์ $1,918^{\circ}\text{C}$ และ แบเรียมไดออกไซด์ 450°C จุดเดือดของแบเรียม $1,640^{\circ}\text{C}$ แบเรียมออกไซด์ $2,000^{\circ}\text{C}$ และแบเรียมไดออกไซด์ 800°C) (40) ความแตกต่างของพลาสติกที่เป็นองค์ประกอบของมูลฝอยแต่ละเตาเผา ความแตกต่างของปริมาณแบเรียมในพลาสติกแต่ละชนิด จำนวนครั้งในการวิเคราะห์ตัวอย่างและประสิทธิภาพของเตาเผาแต่ละชนิด

ตารางที่ 4-6 ปริมาณแบเรียม (Ba) ในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ปริมาณของแบเรียมในถ้ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2'
เทศบาลช่องที่ 1	2,090.88	3,230.32	4,327.37	1,458.01	1,792.83
เทศบาลช่องที่ 2	3,113.23	1,095.42	2,760.42	1,713.62	-
รพ. กลางช่องที่ 1	3,491.62	997.79	2,084.18	1,006.51	688.17
รพ. กลางช่องที่ 2	3,266.38	1,836.18	1,280.44	1,094.87	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	3,349.39	-	2,863.01	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	3,999.92	-	4,748.40	-	-
รพ. ป่าตอง	5,207.25	5,856.25	2,559.42	2,532.05	1,821.04

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา

และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มี

ตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ตะกั่ว (Lead-Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่พบเป็นลำดับสองในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณตะกั่วในถ้ำก้นเตาที่พบ 132.85-2,966.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 1,130.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วพบมากที่สุดในถ้ำจากเตาเผาโรงพยาบาลมิชชันช่องเผาที่ 1 ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ส่วนปริมาณตะกั่วที่พบน้อยที่สุดในถ้ำจากเตาเผาเทศบาลเมืองภูเก็ต ช่องเผาไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในพลาสติกไม่ว่าจะเป็นสารคงตัว สี หมึก โดยเฉพาะพลาสติกชนิด PET (Polyethylene terphthale) HDPE (High density polyethylene) เช่นเดียวกับโครเมียม แคดเมียม และแบเรียม นอกจากนี้ตะกั่วยังใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบสำหรับภาชนะถ้วยชามและเครื่องปั้นดินเผา แบตเตอรี่ หรือถ่านไฟฉาย ซึ่งวัสดุเหล่านี้อาจมีการกำจัดปนมากับมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งพบวัสดุเหล่านี้บางส่วนได้จากองค์ประกอบของถ้ำก้นเตาแสดงในตารางที่ 4-3

เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคถ้ำกับปริมาณตะกั่วในถ้ำก้นเตาแต่ละขนาด พบว่าแนวโน้มของอนุภาคถ้ำขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา จะมีปริมาณโลหะหนักมากกว่าขนาดอื่นๆ และ

แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคเข้าขนาดใหญ่กว่า 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในตาราง 4-7 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barton (39) ที่พบว่าอนุภาคเข้าขนาดเล็กจะมีปริมาณตะกั่วมากกว่าอนุภาคเข้าขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพราะตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ระเหยได้ และจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิของเตาเผา (จุดหลอมเหลว 328 °ซ และจุดเดือด 1,740°ซ) ตะกั่วเมื่อระเหยเป็นไอจะจับกับผิวของอนุภาคเข้า ถ้าที่มีอนุภาคนขนาดเล็กพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักของเข้าจะมาก ดังนั้นปริมาณตะกั่วในเข้าจึงมากด้วย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณในตะกั่วในเข้าของเตาเผาแต่ละแห่งไม่พบว่าเตาเผาแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันของการตรวจพบปริมาณตะกั่วในเข้ากันเตา เช่นเดียวกันกับช่องเผาไหม้ปริมาณตะกั่วในเข้ากันเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 1 และช่องเผาไหม้ที่ 2 ไม่ได้แสดงแนวโน้มความแตกต่างที่ชัดเจนมากนัก

ตารางที่ 4-7 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในเข้ากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเข้า	ปริมาณของตะกั่วในเข้า (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	1,191.23	446.66	1,044.23	132.85	176.73
เทศบาลช่องที่ 2	1,145.42	325.55	1,336.88	623.15	-
รพ. กลางช่องที่ 1	2,675.32	864.88	1,468.85	310.21	162.14
รพ. กลางช่องที่ 2	1,400.02	792.01	1,284.42	690.73	-
รพ. มิชชั่นช่องที่ 1 ²	2,966.57	-	2,034.50	-	-
รพ. มิชชั่นช่องที่ 2	2,345.80	-	1,538.53	-	-
รพ. ป่าตอง	1,727.80	996.93	1,545.02	947.55	335.95

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเข้าอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และเข้าในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างเข้าครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชั่นเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

โครเมียม (Cromium-Cr)

ปริมาณของโครเมียมในถ้ำก้นเตามีมากเป็นลำดับสามในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณโครเมียมที่พบอยู่ระหว่าง 35.91-6,597.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 559.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หากพิจารณาค่าที่ตรวจพบทั้งหมด โครเมียมจะมีค่าสูงที่สุดมากกว่าโลหะหนักอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแล้ว โครเมียมจะมีปริมาณน้อยกว่าตะกั่วและแบเรียม และหากไม่นำค่าสูงที่สุดมาพิจารณา ปริมาณโครเมียมที่พบจะอยู่ระหว่าง 35.91-2,523.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโครเมียมที่พบมากที่สุดได้มาจากเตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณโครเมียมที่พบน้อยที่สุดในถ้ำก้นเตาเผาเทศบาลเมืองภูเก็ต ช่องเผาไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-8

โครเมียมนอกจากเป็นส่วนผสมของสารคงตัวในพลาสติก สี และหมึกแล้ว โครเมียมยังเป็นโลหะที่ผสมสารเคลือบผิวป้องกันสนิม ผสมเหล็กกล้าให้แข็งแรงขึ้น หรือทนต่อการกัดกร่อนที่อุณหภูมิปกติ (59) โลหะเหล่านี้นำมาใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์เป็นจำนวนมากการปนเปื้อนของโครเมียมในถ้ำก้นเตาจึงมีปริมาณมาก

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมกับขนาดอนุภาคถ้ำ ก้นเตาอนุภาคขนาดเล็กจะมีแนวโน้มปริมาณการตรวจพบโครเมียมมากกว่าถ้ำอนุภาคขนาดใหญ่กว่า ในทุกช่องเผาไหม้ของเตาเผาที่มี 2 ช่อง ส่วนเตาเผาแบบ ดช.2 กลับมีทิศทางในตรงข้ามคือ ยิ่งอนุภาคของถ้ำขนาดใหญ่ยิ่งพบปริมาณโครเมียมมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง มีโลหะหนักชนิดนี้อยู่มาก สังเกตได้จากองค์ประกอบของถ้ำจากเตาเผาชนิดนี้ มีซัลเฟอร์ สังกะสี ซึ่งมีโครเมียมเป็นองค์ประกอบอยู่ปะปนมาในปริมาณมากกว่าเตาเผาติดเชื้อที่อื่น

ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างช่องเผาไหม้กับปริมาณโครเมียม ถ้ำจากช่องเผาไหม้แรกจะมีแนวโน้มปริมาณโครเมียมในอนุภาคถ้ำน้อยกว่าช่องเผาไหม้ที่ 2 ซึ่งการศึกษานี้ยังไม่สามารถหาเหตุผลที่ชัดเจนมาอธิบายได้

ตารางที่ 4-8 ปริมาณโครเมียม (Cr) ในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ปริมาณของโครเมียมในถ้ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2'
เทศบาลช่องที่ 1	216.05	206.50	102.33	35.91	36.33
เทศบาลช่องที่ 2	219.47	247.33	139.37	157.99	-
รพ. กลางช่องที่ 1	177.56	266.61	67.19	102.38	188.62
รพ. กลางช่องที่ 2	200.04	456.59	200.94	162.58	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	364.02	-	161.93	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	718.52	-	228.50	-	-
รพ. ป่าตอง	334.84	306.94	2,523.51	697.69	6,597.92

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา

- และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

เงิน (Silver-Ag)

เงินเป็นโลหะหนักที่พบมากในถ้ำก้นเตา โดยพบอยู่ในช่วง 10.10-3,278.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ยปริมาณเงินในถ้ำ 245.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณเงินที่พบมากที่สุดในถ้ำจากเตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณเงินที่พบน้อยที่สุดในถ้ำจากเตาเผาโรงพยาบาลกลางช่องเผาไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-9 แหล่งที่มาของเงินในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อนั้น เนื่องจากเงินเป็นโลหะที่ใช้ผสมทำภาชนะและโลหะที่ใช้ทางการแพทย์ ตลอดจนฟิล์มในการถ่ายภาพเอกซเรย์ และน้ำยาล้างฟิล์มก็มีเงินเป็นองค์ประกอบ (59) สิ่งเหล่านี้จึงมีโอกาสนปนเปื้อนมากับมูลฝอยติดเชื้อ

เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคกับปริมาณเงินที่ตรวจพบในการทดลองครั้งนี้ ขนาดอนุภาคถ้ำใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร และอนุภาคถ้ำขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา จะมีปริมาณเงินที่แสดงแนวโน้มไม่ชัดเจน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถ้ำอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 4.75-9.50 มิลลิเมตร ในช่องเผาไหม้เดียวกันพบว่า อนุภาคถ้ำขนาดเล็กจะมีแนวโน้มปริมาณเงินมากกว่า

ถ้าในช่องเผาไหม้ที่ 1 ช่องเผาไหม้ที่ 2 ไม่แสดงแนวโน้มปริมาณเงินที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากจุดหลอมเหลว และจุดเดือดของเงินมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของการเผา (จุดหลอมเหลว 962 °ซ และจุดเดือด 2,212 °ซ) (32)

ตารางที่ 4-9 ปริมาณเงิน (Ag) ในถ้ำกันตายจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ปริมาณของเงินในถ้ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
เทศบาลช่องที่ 1	56.51	123.43	27.98	1,429.55	31.62
เทศบาลช่องที่ 2	52.89	115.12	10.14	104.55	-
รพ. กลางช่องที่ 1	10.10	52.37	11.79	62.66	24.90
รพ. กลางช่องที่ 2	15.59	201.49	23.41	46.29	-
รพ. มิชันช่องที่ 1	18.87	-	15.38	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	13.75	-	39.43	-	-
รพ. ป่าตอง	78.07	413.28	3,278.55	194.83	169.74

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

เซเลเนียม (Selenium-Se)

เซเลเนียมเป็นโลหะหนักที่พบได้น้อยกว่าโลหะหนักชนิดอื่นในการทดลองนี้ ช่วงของการตรวจพบปริมาณเซเลเนียมในถ้ำอยู่ระหว่าง < 0.20-124.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 39.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณเซเลเนียมที่พบมากที่สุดมาในถ้ำจากเตาเผาเทศบาลเมืองภูเก็ต ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณเซเลเนียมที่พบน้อยที่สุดพบในหลายตัวอย่างรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-10 ในธรรมชาติเซเลเนียมจะพบในปริมาณน้อยมาก และเซเลเนียมมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำกว่าโลหะหนักอื่นๆ เช่น แบเรียม โครเมียม ตะกั่ว เงิน แคดเมียม และต่ำกว่าอุณหภูมิของเตาเผาบางแห่งเช่น เตาเผาของเทศบาล (จุดหลอมเหลวของเซเลเนียม 217°ซ และจุดเดือด 685° ซ) การเผาไหม้อาจทำให้เซเลเนียมระเหยออกจากเตาเผาได้ จึงทำให้ตรวจพบได้น้อย



การปนเปื้อนของเซลีเนียมในเจ้าจากมูลฝอยติดเชื้อนั้นอาจมาจากหลอดไฟหรือไส้หลอดไฟที่ใช้ในอุปกรณ์การแพทย์ ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ครั้งค่าที่พบแตกต่างกันมาก อาจเป็นเพราะการสุ่มตัวอย่างในแต่ละครั้งปริมาณเซลีเนียมแตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์จึงผันแปรอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างในข้อมูลดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของเถ้ากับปริมาณเซลีเนียมนั้นพบว่า อนุภาคเถ้าขนาดเล็กกว่ามีแนวโน้มพบปริมาณเซลีเนียมมากกว่าอนุภาคเถ้าขนาดใหญ่กว่า

เมื่อพิจารณาถึงช่องเถ้าใหม่กับปริมาณเซลีเนียมที่ตรวจพบนั้น ความแตกต่างของปริมาณเซลีเนียมระหว่างช่องเถ้าใหม่ไม่ได้แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนในเตาเผาที่มี 2 ช่องเถ้า

ตารางที่ 4-10 ปริมาณเซลีเนียม (Se) ในเถ้าจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเถ้า	ปริมาณของเซลีเนียม ในเถ้า (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	102.70	< 0.20	102.07	< 0.20	< 0.20
เทศบาลช่องที่ 2	103.28	< 0.20	124.21	< 0.20	-
รพ. กลางช่องที่ 1	119.24	< 0.20	90.11	< 0.20	< 0.20
รพ. กลางช่องที่ 2	32.88	< 0.20	< 0.20	< 0.20	-
รพ. มิชชันช่องที่ 1 ²	93.15	-	19.18	-	-
รพ. มิชชันช่องที่ 2	100.77	-	< 0.20	-	-
รพ. ป่าตอง	96.45	< 0.20	79.18	< 0.20	< 0.20

หมายเหตุ: 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเถ้าอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา

และเถ้าในช่องเถ้าใหม่ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างเถ้าครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

แคดเมียม (Cadmium-Cd)

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่ระเหยเป็นไอได้ ปริมาณแคดเมียมที่พบในอนุภาคเถ้า จึงมีน้อยกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ ปริมาณที่พบในเถ้าก้นเตาจากการทดลองครั้งนี้ 0.05-37.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ยของปริมาณทั้งหมด 13.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมที่พบมากที่สุดเถ้าจากเตาเผาเทศบาลเมือง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณแคดเมียมที่พบน้อยที่สุดในเถ้าจากเตาเผาโรงพยาบาลถลาง ช่องเผาไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร และ เถ้าจากเตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-11 แคดเมียมในเถ้าก้นเตามีแหล่งที่มาเช่นเดียวกับแบเรียม ตะกั่ว โครเมียม คือ อยู่ในสี หมึกพิมพ์ สารคงตัว ในกระดาษและพลาสติก โดยอยู่ในรูปของสารประกอบแคดเมียม แคดเมียม-ปรอท แบเรียม-แคดเมียม นอกจากนี้แคดเมียมยังใช้ทำแบตเตอรี่แบบอัลคาไล ซึ่งในองค์ประกอบของเถ้าที่วิเคราะห์ตามตารางที่ 4-3 พบว่า มีการทิ้งแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย ปะปนมากับมูลฝอยติดเชื้อด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมกับขนาดอนุภาคเถ้า ถ้าอนุภาคขนาดเล็กจะมีแนวโน้มปริมาณการตรวจพบแคดเมียมมากกว่าถ้าอนุภาคขนาดใหญ่ในทุกช่องเผาไหม้ของเตาเผา เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมระหว่างช่องเผาไหม้ ช่องเผาไหม้ที่ 2 จะมีปริมาณแคดเมียมมากกว่าช่องเผาไหม้ที่ 1 ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติการกลายเป็นไอของแคดเมียม (จุดหลอมเหลว 321°C และจุดเดือด 765°C) เป็นปัจจัยสำคัญ กลไกของการกลายเป็นไอ (39) เกิดจากโลหะหนักอยู่ในสถานะแวดล้อมของการเผาไหม้จากช่องเผาไหม้ที่ 1 ระเหยเป็นไอผ่านไปยังช่องเผาไหม้ที่ 2 เมื่ออุณหภูมิการเผาขึ้นลงโลหะหนักก็จะจับกับอนุภาคของเถ้าและแก๊สที่เกิดระหว่างการเผาไหม้ในช่องเผาที่ 2 และควบแน่นออกมา (41) ในกลไกเหล่านี้ นอกจากจะทำให้อนุภาคเถ้าจากช่องเผาไหม้ที่ 2 มีปริมาณแคดเมียมมากกว่าช่องเผาไหม้ที่ 1 แล้ว ยังมีผลต่อขนาดของอนุภาคเถ้าด้วย อนุภาคของเถ้าขนาดเล็กกว่าในช่องเผาไหม้เดียวกันจะมีแนวโน้มปริมาณแคดเมียมมากกว่าอนุภาคเถ้าขนาดใหญ่กว่า

ตารางที่ 4-11 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ปริมาณของแคดเมียมในถ้ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
เทศบาลช่องที่ 1	17.61	11.81	8.84	2.94	15.90
เทศบาลช่องที่ 2	27.25	37.09	25.06	37.54	-
รพ. กลางช่องที่ 1	3.08	6.15	0.05	3.28	1.96
รพ. กลางช่องที่ 2	24.16	27.89	16.35	14.70	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	18.40	-	11.13	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	17.14	-	7.83	-	-
รพ. ป่าตอง	2.88	9.29	0.05	6.90	0.59

หมายเหตุ: 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา

และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ปรอท (Mercury-Hg)

ปรอทเป็นโลหะหนักที่พบน้อยกว่าโลหะหนัก 6 ชนิดที่กล่าวมา ปริมาณปรอทที่พบในถ้ำก้นเตาอยู่ระหว่าง 13.73-16,834.00 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 1,965.64 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณปรอทที่พบมากที่สุดที่ถ้ำจากเตาเผาโรงพยาบาลมิชชัน ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณปรอทที่พบน้อยที่สุดในถ้ำจากเตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ปริมาณของปรอทที่ตรวจพบจะมีความแปรผันค่อนข้างสูง คือมีค่าอยู่ระหว่าง 13.73-16,834.00 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-12 ปริมาณการปนเปื้อนของปรอทในมูลฝอยติดเชื้ออาจจะมีมาก เนื่องจากปรอทนำมาใช้ในวัสดุทางการแพทย์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์หลายชนิด เช่น ปรอทที่ใช้ในเทอร์โมมิเตอร์ ใช้ทำโลหะเจือในทางทันตกรรม (อะมัลกัม) สารประกอบของปรอทใช้เป็นสารฆ่าเชื้อราและยาฆ่าเชื้อโรคเพราะปรอทมีความเป็นพิษมาก (59) แต่จากการทดลองพบว่าปรอทมีปริมาณน้อยในถ้ำก้นเตา อาจเป็นเพราะปรอทเป็นโลหะหนัก ที่อยู่ในรูปของของเหลวที่อุณหภูมิและความดันปกติ (60) จุดหลอมเหลวเพียง -38.87 ° ซ และจุดเดือด 356.10 ° ซ (61) ดังนั้นในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของปรอทจึงตรวจพบปรอทในปริมาณที่น้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณปรอทที่ตรวจพบระหว่างขนาดอนุภาคเข้า ในแต่ละขนาดไม่สามารถบอกถึงแนวโน้มของความแตกต่างได้อย่างชัดเจน เช่นเดียวกับช่องการเผาไหม้ระหว่างช่องเผาไหม้ที่ 1 และช่องเผาไหม้ที่ 2 ปริมาณของปรอทไม่ได้มีแนวโน้มที่ชัดเจนออกมา

ตารางที่ 4-12 ปริมาณปรอท (Hg) ในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเข้า	ปริมาณของปรอทในถ้ำ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
เทศบาลช่องที่ 1	2,377.30	457.50	2,287.60	774.50	584.50
เทศบาลช่องที่ 2	2,884.60	59.71	299.30	36.79	-
รพ. กลางช่องที่ 1	498.60	27.73	1,394.00	1,583.50	91.00
รพ. กลางช่องที่ 2	3,993.00	1,028.00	1,289.70	406.50	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	6,987.40	-	16,834.00	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	2,880.00	-	1,988.40	-	-
รพ. ปาดอง	198.20	13.73	498.00	49.34	3,549.50

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา

และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

สารหนู (Arsenic-As)

ตัวอย่างถ้ำที่นำมาวิเคราะห์สารหนุนั้นได้ทำการวิเคราะห์ในครั้งแรก จากจำนวน 14 ตัวอย่าง สารหนูเป็นโลหะหนักที่ตรวจพบปริมาณน้อยที่สุดในการทดลองนี้ ในการเก็บตัวอย่างถ้ำก้นเตาครั้งที่ 2 จึงไม่ได้วิเคราะห์สารหนู ในมูลฝอยติดเชื้อมีสารหนูเป็นองค์ประกอบของมูลฝอยอยู่น้อยเพราะส่วนมากสารหนูใช้เป็นยาฆ่าแมลง และเป็นยาเบื่อ (59) สารหนูมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของเตาเผา 4 แห่ง (จุดหลอมเหลวของสารหนู 358 ° ซ อาร์เซนิกไตรออกไซด์ 312° ซ ส่วนจุดเดือดสารหนูไม่มีใน รายงาน ส่วนอาร์เซนิกไตรออกไซด์ 457° ซ)(40) มีความเป็นไปได้ที่สารหนูจะระเหยเป็นไอไปหมด ซึ่งจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะพบว่าไม่มีถ้ำจากช่องเผาที่ 2 เท่านั้นที่สามารถตรวจพบสารหนู ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ปริมาณสารหนู (As) ในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ปริมาณสารหนูในถ้ำ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)	
	<= 0.50 มม.	> 0.50 - 4.75 มม.
เทศบาลช่องที่ 1	< 1.00	< 1.00
เทศบาลช่องที่ 2	18.83	28.77
รพ. กลางช่องที่ 1	< 1.00	< 1.00
รพ. กลางช่องที่ 2	< 1.00	16.86
รพ. มิชันช่องที่ 1	< 1.00	< 1.00
รพ. มิชันช่องที่ 2	< 1.00	131.71
รพ. ป่าตอง	< 1.00	< 1.00

หมายเหตุ : เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างเฉพาะการเก็บตรวจตัวอย่างครั้งที่ 1
ถ้ำตัวอย่างอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา
ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนัก 8 ชนิด ในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต 4 แห่ง พบว่ามีปริมาณโลหะหนักแตกต่างกัน ชนิดของโลหะหนักที่พบในปริมาณมากที่สุดคือ แบเรียม และโลหะหนักที่พบน้อยที่สุดคือสารหนู ในอนุภาคถ้ำก้นเตาขนาดเล็กมีแนวโน้มปริมาณ แบเรียม ตะกั่ว โครเมียม เงิน เซลีเนียม และแคดเมียม มากกว่าในอนุภาคถ้ำขนาดใหญ่ปรอทและสารหนูไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนถึงความแตกต่างระหว่างขนาดอนุภาคกับปริมาณโลหะหนัก โลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากมูลฝอยติดเชื้อและกระบวนการเผาไหม้มูลฝอยติดเชื้อโลหะหนักเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษที่มีอยู่ในถ้ำก้นเตา ซึ่งมีโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้หากจัดการไม่เหมาะสม

ส่วนความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 1 และถ้ำก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 2 โลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ที่มีแนวโน้มปริมาณมากกว่าถ้ำจากช่องเผาไหม้ที่ 1 ได้แก่ โครเมียม แคดเมียม และสารหนู ส่วนปริมาณโลหะหนักที่เหลือไม่ได้แสดงแนวโน้มของความแตกต่างระหว่างช่องเผาไหม้ทั้งสองอย่างชัดเจน

4.3 ผลการศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถา

การศึกษาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถากันเตาด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เป็นวิธีหนึ่งที่จะทดสอบว่า ตัวอย่างเถากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเป็นมูลฝอยอันตรายหรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่กำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)(14) การทดลองครั้งนี้ได้แบ่งขนาดอนุภาคของเถาจากช่องเผาไหม้ที่ 1 เป็น 3 ช่วงขนาด และเถาจากช่องเผาไหม้ที่ 2 เป็น 2 ช่วงขนาด เนื่องจากไม่มีขนาดที่ใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาขนาดของอนุภาคเถาที่แตกต่างกันจะมีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถาแตกต่างกันหรือไม่ เช่นเดียวกันกับการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเถากันเตา

จากผลการศึกษาพบว่า ค่าโลหะหนักในน้ำชะล้างเถาที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ แบเรียม ความเข้มข้นสูงสุดของแบเรียมในน้ำชะล้างเถา 14.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และรองลงมาคือ ตะกั่ว ความเข้มข้นสูงสุดของตะกั่วในน้ำชะล้างเถา 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักอื่นๆในน้ำชะล้างเถาเรียงตามลำดับได้แก่ โครเมียม แคดเมียม เซลีนียม เงิน โปรท และสารหนูเป็นโลหะหนักที่พบความเข้มข้นในน้ำชะล้างเถาต่ำที่สุด ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถา 8 ชนิดไม่มีค่าใดสูงกว่าค่าที่กฎหมายกำหนดดังแสดงในตารางที่ 4- 14 และผลการศึกษาของโลหะหนักแต่ละชนิดได้นำเสนอในลำดับต่อไป

ตารางที่ 4-14 ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
เปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่กฎหมายกำหนด

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสูงสุดในน้ำชะล้างใต้ดิน (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่กฎหมายกำหนด (มก./ล.)
แบเรียม	14.30	100.0
ตะกั่ว	2.71	5.0
โครเมียม	2.228	5.0
แคดเมียม	0.4425	1.0
เซลิเนียม	0.23	1.0
เงิน	0.079	5.0
ปรอท	96 ไมโครกรัม/ลิตร	0.2 (200 ไมโครกรัม/ลิตร)
สารหนู	2.76 ไมโครกรัม/ลิตร	5.0 (5,000 ไมโครกรัม/ลิตร)

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

แบเรียม (Barium-Ba)

ความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากการทดลองอยู่ในช่วง 0.68-14.30 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของแบเรียม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่พบว่ามีตัวอย่างใดเกินกว่าค่าที่กำหนด น้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผาของโรงพยาบาลมิชชั่นช่องเขาใหม่ที่ 1 อนุภาคเข้าขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา มีค่าความเข้มข้นของแบเรียมสูงสุด 14.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเข้มข้นของแบเรียมต่ำสุดในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจากเตาเผาของเทศบาลช่องเขาใหม่ที่ 1 ขนาดอนุภาคเข้าใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-15

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำชะล้างใต้ดินเตากับขนาดอนุภาคเข้า พบว่าอนุภาคเข้าขนาดเล็ก ความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำชะล้างใต้ดินเตาจะมากกว่าถ้าที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแบเรียมในใต้ดินเตาที่อยู่ในตัวอย่างใต้ดินเตาที่มีปริมาณแบเรียมอยู่มาก เมื่อนำมาสกัดความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำชะล้างใต้ดินเตาของตัวอย่างนั้นก็จะมีความเข้มข้นสูงด้วย ในทางกลับกันตัวอย่างใต้ดินเตาที่มีปริมาณแบเรียมอยู่น้อย เมื่อนำมาสกัดความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำชะล้างใต้ดินเตาก็จะเข้มข้นน้อยเช่นกัน แต่ความเข้มข้นของแบเรียมที่ถูกชะออกมาจากใต้ดินเตาจะมีความเข้มข้นที่น้อยมากหากเปรียบเทียบกับปริมาณ

แบเรียมที่มีอยู่ในถ้ำกั้นเตา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารประกอบบางรูปของแบเรียมละลายน้ำได้น้อยมาก เช่น แบเรียมซัลเฟต และแบเรียมคาร์บอเนตไม่ละลายน้ำ (59) ตัวอย่างถ้ำกั้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 1 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นในน้ำชะล้างถ้ำมากกว่า ตัวอย่างถ้ำกั้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 2

ตารางที่ 4-15 ความเข้มข้นของแบเรียม (Ba) ในน้ำชะล้างถ้ำกั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ความเข้มข้นของแบเรียมในน้ำชะล้างถ้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
เทศบาลช่องที่ 1	11.18	3.77	0.68	3.78	3.52
เทศบาลช่องที่ 2	10.16	4.36	6.73	3.71	-
รพ. กลางช่องที่ 1	10.26	6.46	5.77	4.90	3.06
รพ. กลางช่องที่ 2	7.46	4.81	5.78	2.69	-
รพ. มิชชันช่องที่ 1 ²	14.30	-	8.13	-	-
รพ. มิชชันช่องที่ 2	13.09	-	6.54	-	-
รพ. ป่าตอง	6.12	5.26	2.42	6.15	4.01

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

3. ค่าความเข้มข้นของแบเรียม (Ba) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ตะกั่ว (Lead-Pb)

ตะกั่วที่พบในถ้ำกั้นเตาจะมีปริมาณที่สูงมาก เมื่อนำมาทดสอบการชะล้างกลับพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างถ้ำกั้นเตามีน้อยมาก ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างถ้ำกั้นเตาอยู่ในช่วง < 0.01-2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกั่วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่พบว่ามีตัวอย่างน้ำชะล้างถ้ำกั้นเตาจากเตาเผาใดที่เกินกว่าค่าที่กำหนด ค่าสูงสุดที่พบ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นตัวอย่าง

น้ำชะล้างเอากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ส่วนค่าต่ำสุดนั้นพบในน้ำชะล้างเอากันเตาหลายตัวอย่าง ได้ในแสดงตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะล้างเอากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเถ้า	ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างเถ้า (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
เทศบาลช่องที่ 2	0.04	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-
รพ. กลางช่องที่ 1	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
รพ. กลางช่องที่ 2	< 0.01	2.71	< 0.01	0.06	-
รพ. มิชชั่นช่องที่ 1 ²	< 0.01	-	< 0.01	-	
รพ. มิชชั่นช่องที่ 2	< 0.01	-	0.02	-	
รพ. ปาดอง	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03

หมายเหตุ : 1.ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเถ้าอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และเถ้าในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์
2. การเก็บตัวอย่างเถ้าครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชั่นเลิกใช้งาน
3. ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างเอากันเตากับขนาดอนุภาคเถ้าพบว่า แนวโน้มของความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน เนื่องจากความเข้มข้นของตะกั่วที่ตรวจพบมีปริมาณน้อย แต่อนุภาคเถ้าขนาดเดียวกันในช่องเผาไหม้ที่ 1 จะมีแนวโน้มความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างเถ้าต่ำกว่าเถ้าจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างเถ้า ไม่มีความสอดคล้องกับปริมาณของตะกั่วในเถ้าที่พบ ในการทดลองครั้งนี้ความสามารถของการชะล้างตะกั่วในเถ้าที่ต่ำ เพราะตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ละลายได้มากในสภาพของกรดหรือด่างเข้มข้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา Denison (2) ที่พบว่ากรดจะชะล้างตะกั่วที่เกิดในสภาพของกรดหรือด่างเข้มข้นและสอดคล้องกับการศึกษาของ Ontiveros และคณะ (34) ที่พบว่า ตะกั่วไม่ค่อยถูกสกัดในสารละลายที่มีพีเอช 6 และในพจนานุกรมศัพท์เคมี (59) ได้ระบุว่า เกลือของตะกั่วส่วนมากไม่ละลายน้ำไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเจือจาง แต่ทำปฏิกิริยากับกรดในتركเข้มข้นในการทดลองนี้ตัว

อย่างถั่วกั้นเตาเมื่อนำมาเติมน้ำสกัด สารละลายที่ได้จะมีความเป็นด่าง (พีเอช 8.0 - 12.2) จากนั้นเติมกรดเข้มข้นให้พีเอชคงที่ 5.0 ± 0.2 แต่ระหว่างการเขย่าไม่ได้ควบคุมให้พีเอชคงที่ตลอดเวลา พีเอชของสารละลายสุดท้ายอยู่ในสภาพเป็นกลางจนถึงด่างอ่อน (pH 7.0-8.5) จึงอาจส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะล้างถั่วกั้นเตามีความเข้มข้นต่ำ

โครเมียม (Cromium-Cr)

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะล้างถั่วกั้นเตาอยู่ในช่วง 0.005-2.228 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของโครเมียมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะล้างถั่วจากตัวอย่างถั่วกั้นเตาในการทดลองครั้งนี้จึงไม่มีค่าใดเกินกว่าค่าที่กำหนด ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโครเมียมในน้ำชะล้างถั่วที่พบ 2.228 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวอย่างถั่วกั้นเตาจากเตาเผาโรงพยาบาลป่าตอง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนค่าต่ำสุดพบในน้ำชะล้างถั่วกั้นเตาจากเตาเผาโรงพยาบาลกลางช่องเผาไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคถั่วใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4-17

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะล้างถั่วกั้นเตากับขนาดอนุภาค ถั่วพบว่าอนุภาคถั่วกั้นเตาขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา จะมีแนวโน้มความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะล้างถั่วมากกว่าอนุภาคถั่วกั้นเตาที่มีขนาดใหญ่กว่า และอนุภาคถั่วกั้นเตาขนาดเท่ากัน ช่องเผาไหม้ที่ 1 จะมีความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะล้างถั่วน้อยกว่าถั่วจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ โครเมียมในถั่วกั้นเตา (ตารางที่ 4-8) ตัวอย่างถั่วกั้นเตาที่มีปริมาณ โครเมียมมาก การถูกระหว่างของโครเมียมในตัวอย่างเดียวกันจะมากด้วย

ตารางที่ 4-17 ความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) ในน้ำชะล้างใต้ก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
4 แห่ง

ตัวอย่างเก่า	ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะล้างเก่า (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
เทศบาลช่องที่ 1	0.024	0.245	0.013	0.118	0.073
เทศบาลช่องที่ 2	0.418	0.645	0.429	0.198	-
รพ. กลางช่องที่ 1	0.099	0.124	0.005	0.099	0.193
รพ. กลางช่องที่ 2	0.053	0.190	0.034	0.158	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	0.199	-	0.048	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	0.507	-	0.208	-	-
รพ. ป่าตอง	1.456	0.130	2.228	0.148	0.840

- หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเก่าอนภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และเก่าในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์
2. การเก็บตัวอย่างเก่าครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน
3. ค่าความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

แคดเมียม (Cadmium-Cd)

ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะล้างใต้ก้นเตาจากการทดลองอยู่ในช่วง < 0.0006-0.4425 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของแคดเมียมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำชะล้างเก่าจากตัวอย่างเก่าก้นเตาในการทดลองครั้งนี้จึงไม่มีค่าใดเกินกว่าค่าที่กำหนด ความเข้มข้นสูงสุดของแคดเมียมในน้ำชะล้างเก่าที่พบ 0.4425 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวอย่างเก่าก้นเตาจากเตาเผาโรงพยาบาลกลาง ช่องเผาไหม้ที่ 2 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนค่าต่ำสุดพบในหลายตัวอย่าง ที่นำมาวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 ความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) ในน้ำชะล้างถ้ำกันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำชะล้างถ้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	0.1260	0.0025	0.0035	0.0040	0.0045
เทศบาลช่องที่ 2	0.1100	0.2920	0.1420	0.2990	-
รพ. กลางช่องที่ 1	0.0250	0.0015	< 0.0006	0.0010	0.0010
รพ. กลางช่องที่ 2	0.3970	0.0412	0.0380	0.4425	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	0.0120	-	0.0020	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	0.0171	-	0.0310	-	-
รพ. ป่าตอง	< 0.0006	0.0595	< 0.0006	0.0530	0.0540

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วงในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

3. ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะล้างถ้ำกันเตากับขนาดอนุภาค ถ้ำกันเตาไม่ได้แสดงแนวโน้มที่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจำนวนครั้งและจำนวนตัวอย่างที่ วิเคราะห์กระทำเพียง 2 ครั้งเท่านั้น และอนุภาคถ้ำที่ขนาดเท่ากันช่องเผาไหม้ที่ 1 จะมีแนวโน้ม ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำชะล้างถ้ำน้อยกว่า ถ้ำจากช่องเผาไหม้ที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ แคดเมียมในถ้ำกันเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 2 มีค่ามากกว่าจากช่องเผาไหม้ที่ 1 ในการทดลองนี้ไม่ได้ ควบคุมพีเอชของน้ำสกัดให้คงที่ตลอดเวลา ความเป็นด่างของถ้ำกันเตาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ความเป็นกรดต่างของน้ำสกัด อาจมีผลต่อการสกัดแคดเมียมได้น้อยลง

เซเลเนียม (Selenium-Se)

ความเข้มข้นของเซเลเนียมในน้ำชะล้างเถ้าจากการทดลองอยู่ในช่วง < 0.20-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของเซเลเนียมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ 2540) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองครั้งนี้จึงไม่มีค่าความเข้มข้นของเซเลเนียมในน้ำชะล้างเถ้าเกินกว่าค่าที่กำหนด ความเข้มข้นสูงสุดของเซเลเนียมในน้ำชะล้างเถ้า 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวอย่างเถ้าที่เก็บจากเตาเผามูลฝอยโรงพยาบาลกลางช่องเฒ่าไหม้ที่ 1 และ 2 ขนาดอนุภาคเถ้าใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนค่าต่ำสุดพบหลายตัวอย่าง มีเพียง 4 ตัวอย่างที่ค่าความเข้มข้นของเซเลเนียมในน้ำชะล้างเถ้าที่วิเคราะห์ได้มากกว่าหรือเท่ากับค่า DL (0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 ความเข้มข้นของเซเลเนียม (Se) ในน้ำชะล้างเถ้าที่เก็บจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเถ้า	ความเข้มข้นของเซเลเนียม ในน้ำชะล้างเถ้า (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
เทศบาลช่องที่ 2	<0.20	0.20	<0.20	0.20	-
รพ. กลางช่องที่ 1	0.20	<0.20	0.23	<0.20	<0.20
รพ. กลางช่องที่ 2	<0.20	<0.20	0.23	<0.20	-
รพ. มิชันช่องที่ 1 ²	<0.20	-	<0.20	-	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	<0.20	-	<0.20	-	-
รพ. ป่าตอง	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเถ้าอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา เถ้าในช่องเฒ่าไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างเถ้าครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเลิกใช้งาน

3. ค่าความเข้มข้นของเซเลเนียมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเซเลเนียมในน้ำชะล้างเถ้าที่เก็บจากเตาเผาขนาดอนุภาคเถ้าและช่องเฒ่าไหม้ไม่ได้แสดงแนวโน้มต่อความเข้มข้นของเซเลเนียม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าที่ตรวจพบมีความเข้มข้นต่ำ

เงิน (Silver-Ag)

ความเข้มข้นของเงินในน้ำชะล้างเถ้านเตาที่วิเคราะห์ได้อยู่ระหว่าง 0.002-0.079 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของเงินตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ไม่มีตัวอย่างใดที่เกินกว่าค่าที่กำหนด ค่าสูงสุดที่วิเคราะห์ได้ 0.079 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวอย่างน้ำชะล้างเถ้านเตาจาก เตาเผา มูลฝอยติดเชื้อเทศบาลช่องเขาใหม่ที่ 2 ขนาดอนุภาคถ้ำตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวอย่างน้ำชะล้างเถ้านเตาจากเตาเผา มูลฝอยติดเชื้อ เทศบาลช่องเขาใหม่ที่ 1 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ความเข้มข้นของเงิน (Ag) ในน้ำชะล้างเถ้านเตาจากเตาเผา มูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเถ้าน	ความเข้มข้นของเงินในน้ำชะล้างเถ้าน (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 - 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	0.040	0.017	0.002	0.021	0.066
เทศบาลช่องที่ 2	0.079	0.034	0.061	0.022	-
รพ. กลางช่องที่ 1	0.044	0.016	0.032	0.015	0.011
รพ. กลางช่องที่ 2	0.045	0.017	0.019	0.042	-
รพ. มิชชันช่องที่ 1 ²	0.049	-	0.028	-	-
รพ. มิชชันช่องที่ 2	0.054	-	0.071	-	-
รพ. ป่าตอง	0.042	0.028	0.010	0.042	0.024

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเถ้านขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และเถ้านในช่องเขาใหม่ที่ 2

แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์

2. การเก็บตัวอย่างเถ้านครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันเล็กใช้งาน

3. ค่าความเข้มข้นของเงิน (Ag) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเงินในน้ำชะล้างเถ้านเตากับขนาดอนุภาคเถ้านพบว่าอนุภาคเถ้านขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา จะมีแนวโน้มความเข้มข้นของเงินมากกว่าอนุภาคเถ้านที่ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเงินในเถ้านเตาที่มีขนาดเล็ก และอนุภาคเถ้านที่ขนาดเท่ากันในห้องเผาไหม้ที่ 1 มีแนวโน้มความเข้มข้นของเงินในน้ำชะล้างเถ้านน้อยกว่าเถ้านจากช่องเผาไหม้ที่ 2

ปรอท (Mercury-Hg)

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะล้างเถ้าจากการทดลองอยู่ในช่วง < 10-96 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของปรอทตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) 200 ไมโครกรัมต่อลิตร (0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) การทดลองครั้งนี้จึงไม่มีค่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะล้างเถ้าเกินค่าที่กำหนด ความเข้มข้นสูงสุดของปรอทในน้ำชะล้างเถ้า 96 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นของตัวอย่างเถ้าจากเตาเผาเทศบาลช่องเฒ่าไหม้ที่ 1 ขนาดอนุภาคเถ้าตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมา และความเข้มข้นต่ำสุดพบในตัวอย่างเถ้าหลายตัวอย่าง ได้แสดงในตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 ความเข้มข้นของปรอท (Hg) ในน้ำชะล้างเถ้าจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างเถ้า	ความเข้มข้นของปรอท ในน้ำชะล้างเถ้า (ไมโครกรัมต่อลิตร)				
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.		> 4.75 – 9.50 มม.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2 ¹
เทศบาลช่องที่ 1	96	41	60	< 10	< 10
เทศบาลช่องที่ 2	< 10	< 10	< 10	< 10	-
รพ. กลางช่องที่ 1	40	< 10	26	< 10	< 10
รพ. กลางช่องที่ 2	18	< 10	< 10	< 10	-
รพ. มิชชั่นช่องที่ 1 ²	16	-	44	-	-
รพ. มิชชั่นช่องที่ 2	< 10	-	< 10	-	-
รพ. ป่าตอง	44	< 10	16	< 10	< 10

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างเถ้าอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และเถ้าในช่องเฒ่าไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง ในตารางช่องที่มี - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างให้วิเคราะห์
2. การเก็บตัวอย่างเถ้าครั้งที่ 2 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชั่นเลิกใช้งาน
3. ค่าความเข้มข้นของปรอท (Hg) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 200 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทในน้ำชะล้างเถ้ากับขนาดอนุภาคเถ้าพบว่าเถ้าอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตรลงมาจะมีความเข้มข้นของปรอทมากกว่าอนุภาคเถ้าขนาดใหญ่กว่า และเถ้าจากช่องเฒ่าไหม้ที่ 1 จะมีความเข้มข้นปรอทในน้ำชะล้างมากกว่าเถ้าจากช่องเฒ่าไหม้ที่ 2 ถึงแม้ว่าปริมาณปรอทในเถ้าไม่ได้แสดงแนวโน้ม ทั้งขนาดอนุภาคและช่องเฒ่าไหม้ก็ตาม

สารหนู (Arsenic-As)

ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำชะล้างถ้าจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดอื่นๆ ในการทดลองครั้งนี้มีเพียง 1 ตัวอย่างที่พบความเข้มข้นสูงสุด 2.76 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินค่าความเข้มข้นของสารหนูตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตัวอย่างดังกล่าวเป็นถ้ำก้นเตาจากเตาเผาโรงพยาบาลป่าตองขนาดอนุภาคถ้าใหญ่กว่า 0.50-4.75 มิลลิเมตร ส่วนตัวอย่างอื่นๆ ค่าที่ตรวจพบต่ำกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 ความเข้มข้นของสารหนู (As)ในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

ตัวอย่างถ้ำ	ความเข้มข้นของสารหนู ในน้ำชะล้างถ้ำ (ไมโครกรัมต่อลิตร)			
	<= 0.50 มม.		> 0.50 - 4.75 มม.	
	ครั้งที่ 1 ¹	ครั้งที่ 2 ²	ครั้งที่ 1 ¹	ครั้งที่ 2 ²
เทศบาลช่องที่ 1	<1.00	-	<1.00	-
เทศบาลช่องที่ 2	<1.00	-	<1.00	-
รพ. กลางช่องที่ 1	<1.00	-	<1.00	-
รพ. กลางช่องที่ 2	<1.00	-	<1.00	-
รพ. มิชันช่องที่ 1	<1.00	-	<1.00	-
รพ. มิชันช่องที่ 2	<1.00	-	<1.00	-
รพ. ป่าตอง	<1.00	-	2.76	-

หมายเหตุ : 1. ในการวิเคราะห์ครั้งแรกเก็บตัวอย่างถ้ำอนุภาคตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา และถ้ำในช่องเผาไหม้ที่ 2 แบ่งขนาดอนุภาคได้เพียง 2 ช่วง

2. การเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 ไม่ได้วิเคราะห์สารหนู (ในตารางช่องที่มี -)

3. ค่าความเข้มข้นของสารหนู(As) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) 5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : จากการทดลอง, 2541.

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหนูในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตากับขนาดอนุภาคถ้ำก้นเตา และช่องการเผาไหม้ของเตาเผา ไม่ได้แสดงแนวโน้มใด ๆ ทั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณสารหนูที่มีในถ้ำซึ่งพบในปริมาณที่น้อยมากและไม่แสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารหนูกับขนาดอนุภาคถ้ำและช่องการเผาไหม้

การศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนัก 8 ชนิดในน้ำชะล้างเถาจากตัวอย่างเถากั้นเตาของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต 4 แห่ง พบว่าโลหะหนักในน้ำชะล้างเถากั้นเตาทุกตัวอย่างไม่เกินกว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่กำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเถากั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อทั้ง 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ตไม่ได้จัดเป็นมูลฝอยอันตราย แม้ว่าผลการทดลองในครั้งนี้ปริมาณโลหะหนักบางชนิด เช่น แบเรียม ตะกั่ว โครเมียม เงิน จะมีอยู่ในเถากั้นเตาที่มีปริมาณมากพอสมควร แต่เมื่อทดสอบการชะล้างโลหะหนักในเถากั้นเตาเหล่านี้แล้ว พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดต่ำกว่าค่าที่กฎหมายกำหนด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถากั้นเตากับขนาดอนุภาคเถากั้นเตาพบว่า อนุภาคเถากั้นเตาขนาดเล็กมีแนวโน้มความเข้มข้นของ แบเรียม โครเมียม เงิน โปรท ในน้ำชะล้างเถามากกว่าอนุภาคเถาขนาดใหญ่ ส่วนโลหะหนักที่เหลือแสดงแนวโน้มไม่ชัดเจน

จากลักษณะทางเคมีของเถากั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อทั้ง 4 แห่งนี้สามารถนำไปพิจารณาประกอบการตัดสินใจกำหนดทางเลือกในการวางแผนกำจัดเถากั้นเตาต่อไป

4.4 การศึกษาการกำจัดเถากั้นเตา

จากลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างเถากั้นเตาที่ได้ศึกษา ในการทดลองครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงขนาดของอนุภาคเถากั้นเตา องค์ประกอบของเถากั้นเตา สีของเถากั้นเตา ปริมาณโลหะหนักในเถากั้นเตา และความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถากั้นเตา ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะสรุปได้ว่า เถากั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ตไม่ได้จัดเป็นมูลฝอยอันตราย แต่ในเถากั้นเตายังคงมีความเป็นพิษของโลหะหนักแฝงอยู่ในอนุภาค การกำจัดเถาด้วยการฝังกลบยังคงเป็นวิธีกำจัดที่เหมาะสม แม้น้ำชะล้างเถาไม่แสดงแนวโน้มของการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำใต้ดินหรือน้ำผิวดินก็ตาม การศึกษาการกำจัดเถา โดยการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ และจากการสำรวจการกำจัดเถากั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งสรุปได้ดังนี้

4.4.1 แก้วกันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่กำจัดของเสียรวมของเทศบาลเมืองภูเก็ต ซึ่งประกอบด้วย บริเวณพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย เตาเผามูลฝอยชุมชน เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ และระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาลเป็นเตาเผาแบบ Multichamber ขนาด 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 3 ตันต่อวัน ออกแบบและก่อสร้างโดยบริษัทกิจจาคอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง จำกัด ซึ่งประกอบด้วย 1) อาคารเตาเผา 2) ระบบเตาเผา มีส่วนประกอบหลักคือ ห้องเผาไหม้มูลฝอย ห้องเผาวัน และห้องเก็บเถ้า 3) ระบบควบคุมการเผา 4) ปล่องควัน ปริมาณ มูลฝอยติดเชื้อที่นำมาเผาแยกตามสถานที่ผลิตดังนี้

1. โรงพยาบาลวชิระภูเก็ต	มูลฝอยติดเชื้อ	120 กิโลกรัมต่อวัน
2. โรงพยาบาลภูเก็ตรวมแพทย์	มูลฝอยติดเชื้อ	10 กิโลกรัมต่อวัน
3. โรงพยาบาลแพทย์สมพงษ์	มูลฝอยติดเชื้อ	3 กิโลกรัมต่อวัน
4. โรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ต	มูลฝอยติดเชื้อ	6 กิโลกรัมต่อวัน
5. โรงพยาบาลศิริโรจน์	มูลฝอยติดเชื้อ	15 กิโลกรัมต่อวัน
6. โรงพยาบาลพญาไท	มูลฝอยติดเชื้อ	17 กิโลกรัมต่อวัน
7. โรงพยาบาลมิชชัน	มูลฝอยติดเชื้อ	16 กิโลกรัมต่อวัน
8. ศูนย์บริการสาธารณสุขเทศบาล	มูลฝอยติดเชื้อ	3 กิโลกรัมต่อวัน
9. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด	มูลฝอยติดเชื้อ	4 กิโลกรัมต่อวัน
10. คลินิกเอกชน	มูลฝอยติดเชื้อ	25 กิโลกรัมต่อวัน
รวม		219 กิโลกรัมต่อวัน

การจัดการมูลฝอยติดเชื้อของเทศบาลเมืองภูเก็ต อยู่ในความรับผิดชอบของกองอนามัย และสิ่งแวดล้อม ร่วมกับกองช่างสุขาภิบาล มีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบ 4 คน รถยนต์ที่เก็บรวบรวม มูลฝอยติดเชื้อจะแยกต่างหาก ขนาด 4 ลูกบาศก์หลา จำนวน 1 คัน รวบรวมมูลฝอยติดเชื้อเป็นถุง สีแดง มีเครื่องหมายมูลฝอยติดเชื้อ มีชื่อสถานบริการ วันที่ส่ง จำนวนถุง และน้ำหนักมูลฝอย โดยกำหนดให้ผู้ให้บริการต้องซื้อถุงจากเทศบาลเมืองภูเก็ต มูลฝอยติดเชื้อในถุงแดงจะต้องใส่ในถัง มูลฝอยติดเชื้อสีแดง ถึงรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อเป็นแบบถังล้อเลื่อน เมื่อเก็บขนจะแลกถังใหม่ให้ โดยรถเก็บมูลฝอยจะเก็บขนจากแหล่งผลิตทุกวันในช่วง 8.00-12.00 น. และนำมาพักไว้ในเตาเผา หากมูลฝอยติดเชื้อมีปริมาณน้อยจะเผา 2 วันต่อครั้ง หากมูลฝอยติดเชื้อมีปริมาณมากจะเผาทุกวัน ใช้เวลาเผา 2-3 ชั่วโมง

การกำจัดกากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล

1. การรวบรวมเถ้า เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ประมาณวันละ 15-20 กิโลกรัม จะถูกเขี่ยผ่านช่องตะแกรงในห้องเผาที่ 1 ลงในกะบะที่รองรับในห้องเก็บเถ้า ส่วนมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่หมด เช่น เศษโลหะ กระป๋อง ขวดแก้ว จะเหลือค้างอยู่บนตะแกรงจะถูกคัดออกใส่รถเข็น แล้วนำไปทิ้งในหลุมฝังกลบรวมกับมูลฝอยทั่วไป ส่วนเถ้าในห้องเผาวันจะสะสมรวมไว้ประมาณ 15-30 วัน จึงคัดออกไปกำจัดในหลุมฝังกลบ

2. การขนส่ง เนื่องจากเตาเผาอยู่ติดกับบริเวณหลุมฝังกลบ เถ้าจากเตาจะถูกตักใส่รถเข็น 2 ล้อโดยไม่มีการปกปิดให้มิดชิด เพื่อเข็นไปทิ้งที่หลุมฝังกลบ

3. การกำจัดเถ้า กากันเตาจะถูกฝังและกลบในหลุมในพื้นที่ฝังกลบ (Sanitary Landfill) ซึ่งประกอบด้วย การป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอย โดยการบดอัดชั้นล่างด้วยดินเหนียว ชั้นกลางปูด้วย Geotextile และ ปูด้วย Geomembrane หนา 1 มิลลิเมตร ทั้งพื้นและผนังด้านข้าง ส่วนน้ำชะมูลฝอยจะถูกรวบรวมไปยังบ่อสูบและนำไปบำบัดด้วยระบบบ่อบำบัด

การกำจัดกากันเตาจากเตาเผาเทศบาล พื้นที่ฝังกลบและวิธีการฝังกลบเหมาะสมในการกำจัด แต่ในการจัดการมีบางขั้นตอนจะต้องปรับปรุงแก้ไข เช่น การปฏิบัติงานของพนักงานดูแลเตาเผาควรป้องกันตนเองจากการสัมผัสเถ้า และการขนส่งเถ้าไม่มีการปกปิดให้มิดชิด ส่วนบริเวณพื้นที่ฝังกลบนั้นได้ออกแบบและก่อสร้างให้ถูกหลักสุขาภิบาล สามารถป้องกันการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำใต้ดิน หรือสิ่งแวดล้อมใกล้เคียง บริเวณนั้นได้เหมาะสมอยู่แล้ว

4.4.2 กำกับเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลางตั้งอยู่ด้านหลังของโรงพยาบาลกลาง เป็นเตาเผาแบบ Multichamber มี 2 ห้องเผา ขนาด 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ออกแบบและก่อสร้างโดยห้างหุ้นส่วนไททิม ซึ่งประกอบด้วยอาคารเตาเผาและระบบเตาเผาที่อยู่ภายในอาคาร ในส่วนอาคารจะมีห้องควบคุมการเผาและห้องรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อ ระบบเตาเผาจะประกอบด้วย ห้องเผาไหม้ที่ 1 มีช่องบรรจุมูลฝอยติดเชื้อที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ ด้านล่างเป็นตะแกรงรองรับ ได้ห้องเผาไหม้เป็นห้องเก็บรวบรวมเถ้าจากการเผาไหม้ ห้องเผาไหม้ที่ 2 เป็นห้องเผากลิ่นและควัน ด้านบนเป็นปล่องควัน ด้านล่างเป็นห้องเก็บรวบรวมเถ้ามีประตูเปิดสำหรับเขี่ยเถ้าออกจากห้องเผาไหม้ที่ 2 ได้ มูลฝอยติดเชื้อใน โรงพยาบาลจะถูกรวบรวมจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ห้องตรวจและห้องชันสูตรโรค

2. ห้องพยาบาลฉุกเฉินและอุบัติเหตุ

3. ห้องคลอดและห้องผ่าตัด
4. งานทันตกรรมและเภสัชกรรม
5. ตึกผู้ป่วยใน
6. งานส่งเสริมสุขภาพ และงานสุขาภิบาลและป้องกันโรค

มูลฝอยติดเชื้อจากส่วนต่างๆ จะมีคนงานประจำหน่วยนั้นๆ เก็บมารวบรวมไว้ที่ห้องพักมูลฝอยติดเชื้อในอาคารเตาเผา เจ้าหน้าที่ดูแลเตาเผาจะชั่งน้ำหนักมูลฝอยติดเชื้อและขนมูลฝอยป้อนเข้าห้องเผาไหม้ที่ 1 โดยจะเผาสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ปริมาณมูลฝอยประมาณ 17-25 กิโลกรัมต่อวัน มีผู้รับผิดชอบ 2 คน ส่วนการกำจัดดำเนินการดังนี้

1. การเก็บรวบรวมเอาก้นเตา เอาก้นเตาที่เหลือจากการเผาประมาณ 8-10 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง (เผามูลฝอยติดเชื้อ 90-120 กิโลกรัมต่อครั้ง) จะผ่านช่องตะแกรงที่รองรับมูลฝอยลงด้านล่าง พนักงานดูแลเตาเผาจะเขี่ยและกวาดเอาก้นเตาใส่รถเข็นและเข็นไปกำจัด ส่วนเอาก้นเตาไหม้ที่ 2 จะรวบรวมไว้ประมาณ 1 เดือน จึงกวาดออกใส่รถเข็นไปกำจัด

2. การขนส่ง ใช้รถเข็น 2 ล้อ ขนเอาก้นเตาจากเตาเผาไปกำจัดบริเวณที่ลุ่มในบริเวณโรงพยาบาล ซึ่งอยู่ใกล้เตาเผามูลฝอยติดเชื้อไม่มีการฝังกลบ

3. การกำจัด เป็นการเทกองบนพื้นที่ลุ่มแบบ Open dumping

การกำจัดเอาก้นเตาจากเตาเผาโรงพยาบาลกลางไม่ถูกหลักสุขาภิบาล ทั้งการขนส่งและการกำจัดซึ่งการขนส่งไม่ได้มีการปกปิดให้มิดชิดและไม่มีการป้องกันการปนเปื้อน ส่วนการกำจัดนั้น แม้เอาก้นเตาไม่ใช่มูลฝอยอันตรายแต่มีโลหะหนักบางชนิดอยู่ในเอาก้นเตามากอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โอกาสที่เอาก้นเตาจะฟุ้งกระจายสู่สิ่งแวดล้อมหรือน้ำชะล้างเอาก้นเตาจะปนเปื้อนต่อน้ำผิวดินหรือต่อดินได้ จึงควรกำจัดเอาก้นเตาด้วยการฝังกลบที่ถูกหลักสุขาภิบาล

ทางเลือกที่เหมาะสมในการกำจัดเอาก้นเตาของโรงพยาบาลกลาง

การกำจัดเอาก้นเตาโดยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ในบริเวณโรงพยาบาลกลางทำได้ยากเนื่องจากพื้นที่บริเวณโรงพยาบาลกลางมีจำกัด และด้านหลังโรงพยาบาลเป็นหมู่บ้าน การส่งเอาก้นเตาให้เทศบาลกำจัดจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสม โดยเอาก้นเตาที่เหลือจากการเผาไหม้รวบรวมใส่ถุงที่บ่งบอกว่าเปื้อน ถ้า หรือติดฉลากบอกเพื่อป้องกันการรื้อค้นของคนงานเก็บมูลฝอยแล้วส่งให้เทศบาลกำจัดในหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล

4.4.3 ถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชัน

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชันเป็นเตาเผาแบบ Multichamber ขนาด 30-50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ออกแบบและสร้างโดยบริษัทสเวนเทค (ประเทศไทย) จำกัด ลักษณะเตาเผาคัด้ายกับโรงพยาบาลกลางแต่กระทัดรัดกว่า ปัจจุบันทางโรงพยาบาลเลิกใช้งาน และส่งมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล วันละ 16 กิโลกรัมให้เทศบาลเมืองภูเก็ตเป็นผู้กำจัดให้ การกำจัดเข้าจึงรวมกับการกำจัดถ้ำก้นเตาของเทศบาล

4.4.4 ถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง เป็นเตาเผาแบบ ดช.2 ที่ออกแบบโดย กองสุขาภิบาล กรมอนามัย ใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เตาเผาขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร มีห้องเผาเพียงห้องเดียว ไม่มีอุปกรณ์หรือระบบที่ซับซ้อน มูลฝอยติดเชื้อจะถูกวางบนตะแกรงในห้องเผา และสุมพื้นเผาในห้องเผาไหม้ โดยต้องเติมพื้นเป็นระยะๆ เตาเผามูลฝอยติดเชื้อแบบนี้จึงเหมาะสำหรับโรงพยาบาลที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชนบท หาพื้นง่าย ซึ่งโรงพยาบาลป่าตองตั้งอยู่ในเขตเทศบาลที่เป็นเมืองท่องเที่ยวระดับโลก การหาพื้นเป็นเรื่องยาก ตลอดจนถึงที่ตั้งของเตาอยู่ด้านหลังของโรงพยาบาล ซึ่งอยู่ใกล้กับที่พักอาศัยของประชาชนและโรงแรมโดยรอบ จึงมักมีปัญหาเรื่องเรียนจากประชาชนในการเผามูลฝอยเสมอ เตาเผาประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ห้องเผามูลฝอยติดเชื้อที่มีตะแกรงรองรับ ได้ห้องเผาเป็นห้องรองรับถ้ำ และปล่องควันสร้างเป็นปล่องสูงขึ้นไป มูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลจะถูกรวบรวมจากส่วนต่างๆ ของโรงพยาบาล เช่นเดียวกันกับโรงพยาบาลกลาง ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ 16 – 25 กิโลกรัมต่อวัน ในแต่ละสัปดาห์จะเผา 2 ครั้ง ปริมาณถ้ำก้นเตาที่เหลือจากการเผา 8-10 กิโลกรัมต่อการเผา 1 ครั้ง (การเผามูลฝอยติดเชื้อ 90-120 กิโลกรัมต่อครั้ง) การกำจัดถ้ำก้นเตาจากเตาเผาโดยการตักและกวาดถ้ำก้นเตาออกจากช่องรับถ้ำ และถ้ำที่เหลืออยู่บนตะแกรงในห้องเผาไหม้ ทิ้งลงในหลุมซึ่งขุดลึกประมาณ 1-2 ฟุต ข้างบริเวณเตาเผา เมื่อเติมหลุมจึงกลบ และขุดหลุมอื่นๆต่อไป และถ้ำบางส่วนจะถูกทิ้งไว้ข้างเตาเผาซึ่งเป็นคันดินข้างคลองสาธารณะ

ทางเลือกในการกำจัดถ้ำก้นเตาของโรงพยาบาลป่าตอง

โรงพยาบาลป่าตองตั้งอยู่ในที่ลุ่ม พื้นที่บริเวณของโรงพยาบาลมีจำกัด และที่ดินมีราคาแพง การขุดหลุมกำจัดถ้ำก้นเตาในบริเวณโรงพยาบาลจึงไม่เหมาะสม การดำเนินการที่เป็นไปได้คือ

1. โรงพยาบาลป่าตองเผามูลฝอยติดเชื้อด้วยตนเอง แล้วรวบรวมเข้ากันเตาที่เหลือจากการเผาไหม้ไต้ถลุงแยกพิเศษหรือติดฉลากบ่งบอกว่าเป็นเตา เพื่อป้องกันการรื้อค้นของคนงาน และส่งเข้ากันเตาให้เทศบาลเมืองภูเก็ตกำจัดในหลุมฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล
2. โรงพยาบาลป่าตองส่งมูลฝอยติดเชื้อให้เทศบาลกำจัดโดยเสียค่าบริการ ทั้งนี้ต้องมีการควบคุมการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อโดยมีวิธีป้องกันการปนเปื้อนที่เหมาะสม

การกำจัดเข้ากันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 3 แห่ง ที่ศึกษามี 3 รูปแบบ คือ การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) การเทกองในที่ถม (Dumping on land) และการทิ้งในหลุมที่ขุดตื้นๆ ข้างเตาเผาเมื่อเต็มจึงถมกลบ ในการกำจัดเข้ากันเตาที่เหมาะสมจะต้องดำเนินการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งเป็นรูปแบบการดำเนินงานของเทศบาลเมืองภูเก็ตในปัจจุบัน ทางเลือกที่เหมาะสมในการกำจัดเข้ากันเตา จึงควรใช้พื้นที่ฝังกลบรวมของเทศบาลเมือง

พื้นที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) ของเทศบาลเมืองภูเก็ตตั้งอยู่บริเวณคลองเกาะผี ซึ่งเป็นพื้นที่เชื่อมต่อระหว่างเขตเทศบาลเมืองภูเก็ตกับเขตตำบลวิชิต อำเภอเมืองภูเก็ต ในปี พ.ศ. 2535 กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย ได้ว่าจ้างให้กลุ่มบริษัทที่ปรึกษาได้แก่ บริษัทพอลคอนซัลแตนท์จำกัด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) และบริษัทวอเตอร์ แอนด์เอ็นไวรอนเม้นท์คอนซัลแตนท์จำกัด ดำเนินการสำรวจ ศึกษาความเหมาะสม และออกแบบรายละเอียดระบบการจัดการมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากพื้นที่เดิมที่ใช้ฝังกลบมูลฝอยบริเวณป่าชายเลนคลองเกาะผี 50 ไร่ใช้งานหมดลงแล้ว คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (เดิม) ได้มีมติผ่อนผันให้จังหวัดภูเก็ต เข้าใช้ประโยชน์สำหรับการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลในพื้นที่ใหม่ได้ (13) การออกแบบและก่อสร้างได้ใช้พื้นที่ประมาณ 292 ไร่ ซึ่งประกอบด้วย 1) พื้นที่ฝังกลบมูลฝอยจำนวน 120 ไร่ 2) พื้นที่ก่อสร้างเตาเผา มูลฝอย ชุมชน และเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจำนวน 46 ไร่ 3) พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนจำนวน 46 ไร่ และ 4) พื้นที่แนวฉนวน (Buffer Zone) จำนวน 80 ไร่ (62)

บริเวณพื้นที่ฝังกลบประมาณ 120 ไร่ แบ่งเป็น 5 พื้นที่ย่อย (Zone A B C D E)

- | | | |
|-------------|----------------------|-----------------------------|
| พื้นที่ A : | มีพื้นที่ 11.735 ไร่ | ฝังกลบมูลฝอยได้ 33,095 ตัน |
| พื้นที่ B : | มีพื้นที่ 15.617 ไร่ | ฝังกลบมูลฝอยได้ 43,209 ตัน |
| พื้นที่ C : | มีพื้นที่ 17.193 ไร่ | ฝังกลบมูลฝอยได้ 45,571 ตัน |
| พื้นที่ D : | มีพื้นที่ 39.662 ไร่ | ฝังกลบมูลฝอยได้ 130,134 ตัน |
| พื้นที่ E : | มีพื้นที่ 36.289 ไร่ | ฝังกลบมูลฝอยได้ 117,313 ตัน |

ในแต่ละแปลงขุดเป็นบ่อลึกประมาณ 3.5 เมตร พื้นด้านล่างและผนังด้านข้างของบ่อมีการบดอัดดินเหนียวปูพื้น ชั้นกลางปูด้วย Geotextile และปูด้วย Geomembrane (HDPE) หนา 1 มิลลิเมตร ชั้นบนเมื่อฝังกลบแล้วเสร็จเป็นชั้นทรายบดอัดแน่น หนา 0.30 เมตร และมีระบบป้องกันน้ำท่วม ระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอย และระบบการระบายแก๊ส ในแต่ละบ่อแบ่งชั้นฝังกลบเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นสูง 2.5 เมตร (33) การดำเนินงานที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 ได้ใช้บ่อฝังกลบหมดไป 2 บ่อ และในบ่อที่ 3 ซึ่งกำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันได้ฝังกลบไปแล้ว 1 ชั้น ในปี พ.ศ. 2541 เทศา มูลฝอยชุมชนเปิดดำเนินการ มูลฝอยชุมชนจะถูกนำมาเผา ทำให้ลดปริมาณมูลฝอยลงร้อยละ 80 (ถ้าที่เหลือจากการเผาตามหลักการออกแบบเตาเผาร้อยละ 20) การวางแผนการใช้พื้นที่ฝังกลบจะสามารถรองรับการฝังกลบเถ้าและมูลฝอยที่เผาไม่ได้อีกไม่ต่ำกว่า 20 ปี ทั้งนี้เทศบาลเมืองภูเก็ต และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้วางแผนการลดปริมาณมูลฝอยจากชุมชนด้วยการรณรงค์และประชาสัมพันธ์ควบคู่ไปกับการดำเนินงานกำจัดมูลฝอยด้วย (63)

ถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่งในจังหวัดภูเก็ต โดยเฉลี่ย 153 กิโลกรัมต่อ สัปดาห์ (ประมาณจากตารางที่ 2-9) สามารถนำมากำจัดในพื้นที่ฝังกลบร่วมกับเถ้าจากเตาเผาชุมชน ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณพื้นที่ฝังกลบ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต 4 แห่ง เพื่อทดสอบว่าถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อนั้นจัดเป็นมูลฝอยอันตรายหรือไม่ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในอนุภาคถ้ำ และความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตา ตลอดจนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตากับขนาดอนุภาคของถ้ำก้นเตาที่แตกต่างกัน และความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตากับขนาดอนุภาคถ้ำก้นเตาที่แตกต่างกัน และเมื่อทราบถึงลักษณะสมบัติของถ้ำก้นเตาแล้วนำมากำหนดแนวทางการกำจัดที่เหมาะสม ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตา เป็นโลหะหนักที่มาจากมูลฝอยติดเชื้อ โลหะหนักบางส่วนระเหยเป็นไอและออกไปกับแก๊ส คาร์บอนหรือถ้ำลอยระหว่างการเผาไหม้ โลหะหนักบางส่วนควบแน่นเกาะจับกับอนุภาคถ้ำก้นเตา ทำให้อนุภาคถ้ำก้นเตามีปริมาณโลหะหนักบางชนิดสูงมาก ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักเหล่านี้ได้แก่ แบเรียม 2,602.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว 1,130.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โครเมียม 559.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเงิน 245.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เซเลเนียม 39.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม 13.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โลหะหนักเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในพลาสติก โลหะ สารเคมีและวัสดุทางการแพทย์ ปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในถ้ำก้นเตาแสดงถึงความเป็นพิษของถ้ำก้นเตา และมีโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้หากจัดการไม่เหมาะสม ส่วนโลหะหนักที่พบในปริมาณน้อย

ในอนุภาคเล็ก ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักเหล่านี้ได้แก่ ปรอท 1,965.64 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนู 14.73 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิในเตาเผาที่สูงทำให้ปรอทระเหยไปหมด และองค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อมีสารหนูปริมาณน้อย

2. ขนาดอนุภาคเล็กที่แสดงถึงความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักบางอย่าง พบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กในเตาเล็กลงแนวโน้มปริมาณโลหะหนักในอนุภาคเล็กในเตาจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นได้แก่ แบเรียม ตะกั่ว โครเมียม (ในเตาเผาที่มี 2 ช่อง) เงิน แคดเมียม และเซลีเนียม ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการที่สำคัญระหว่างการเผาไหม้ คือในช่วงอุณหภูมิการเผาที่สูงของเตาเผา โลหะหนักจะกลายเป็นไอและเมื่ออุณหภูมิของเตาเผาตกลงโลหะหนักจะควบแน่นและเกาะไป บนผิวอนุภาคเล็ก ขนาดอนุภาคเล็กที่เล็กลงก็จะมีพื้นที่ผิวที่โลหะหนักจับมากขึ้น ปริมาณโลหะหนักในอนุภาคขนาดเล็กจึงมีมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ในเตาเผาแบบ ดช.2 มีแนวโน้มปริมาณโครเมียมมากในอนุภาคขนาดใหญ่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตัวอย่างเตาเผาที่นำมาวิเคราะห์ มีการปนเปื้อนโครเมียมในองค์ประกอบของอนุภาคขนาดใหญ่มากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก โดยสังเกตได้จากเศษโลหะ เช่น ช้อน ส้อม ซึ่งมีโครเมียมเป็นองค์ประกอบ โลหะหนักอีก 2 ชนิดคือ สารหนู และปรอทในการวิเคราะห์พบในปริมาณที่น้อยมากจึงไม่อาจบอกถึงแนวโน้มความแตกต่างขนาดอนุภาคกับปริมาณโลหะหนักชนิดนี้ได้

3. ปริมาณโลหะหนักเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่องเผาไหม้ แนวโน้มที่เตาเผาในช่องเผาไหม้ที่ 2 มีมากกว่าช่องเผาไหม้ที่ 1 ได้แก่ โครเมียม แคดเมียม และสารหนู ส่วนโลหะหนักที่เหลือแสดงแนวโน้มไม่ชัดเจน

4. ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเตาจากการทดลอง พบว่า โลหะหนักทุกชนิดที่ถูกชะล้างออกมาไม่เกินกว่าค่าความเข้มข้นที่กฎหมายกำหนด ค่าความเข้มข้นสูงสุดของแบเรียม ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม เซลีเนียม เงิน ปรอท และสารหนู ในน้ำชะล้างเตา 14.30 2.71 2.23 0.44 0.23 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 96 2.76 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นตามกฎหมายนั้น แบเรียม ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม เซลีเนียม เงิน ปรอท และสารหนู มีค่าเท่ากับ 100.0 5.0 5.0 1.0 1.0 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 200 , 5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในน้ำชะล้างเตาที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองไม่ได้ควบคุมพีเอชของน้ำชะล้างเตาให้คงที่ (5.0 ± 0.2) ระหว่างการสกัด ความเป็นต่างของเตาเผาจึงไปรบกวนการสกัดจากน้ำฝนกรด เพราะโลหะหนักบางชนิดเช่น ตะกั่ว จะถูกสกัดได้ดีที่สภาวะเป็นกรดหรือด่างเข้มข้น ส่วนแบเรียม โครเมียม เงิน ยังไม่มีการรายงานว่าสภาวะความเป็นกรดด่างมีผลต่อการสกัด

5. ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตา เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างขนาดอนุภาคพบว่าเมื่ออนุภาคเถ้านั้นเตาเล็กลง ความเข้มข้นของโลหะหนักคือ แบเรียม โครเมียม เงิน โปรท ในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อธิบายในเหตุผลเดียวกับ ข้อ 3 คือ ขนาดอนุภาคเถ้านั้นเตาที่เล็กลงโลหะหนักบางชนิดจับที่ผิวอนุภาคมากขึ้น โอกาสที่โลหะหนักจะถูกชะล้างออกมาจึงมากขึ้นด้วย อีกเหตุผลหนึ่งในกรณีที่อนุภาคเถ้านั้นเตาขนาดเล็กกับอนุภาคเถ้านั้นเตาขนาดใหญ่ น้ำหนักเท่ากัน แต่โลหะหนักจะถูกชะล้างออกจากอนุภาคเถ้านั้นเตาขนาดเล็กมากกว่า เพราะพื้นที่ผิวของอนุภาคขนาดเล็กมากกว่า ส่วนตะกั่ว แคดเมียม เซลีนีئمและสารหนู ในการทดลองนี้ แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโลหะหนักไม่ชัดเจนมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตาที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำมาก ส่วนช่องการเผาไหม้กับแนวโน้มความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตาพบว่าช่องเผาไหม้ที่ 1 โลหะหนักมีแนวโน้มความเข้มข้นในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตามากกว่าช่องเผาไหม้ที่ 2 ได้แก่ แบเรียม และโปรท และช่องเผาไหม้ที่ 2 โลหะหนักมีแนวโน้มความเข้มข้นในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตามากกว่าช่องเผาไหม้ที่ 1 ได้แก่ ตะกั่ว โครเมียม เงิน และแคดเมียม ส่วนเซลีนีئمและสารหนูไม่ได้แสดงแนวโน้มที่ชัดเจน

6. องค์ประกอบทางกายภาพของเถ้านั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ มีโลหะ แก้ว และวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ที่มีขนาดใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ร้อยละ 38.42-57.61 แสดงให้เห็นว่า มีวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ปนเปื้อนปริมาณมาก หากมีการคัดแยกมูลฝอยที่ไม่ติดเชื้อออกจากมูลฝอยติดเชื้อและแยกมูลฝอยติดเชื้อประเภทโลหะและแก้วออกไปเผาเชื้อแล้วนำไปหลอมใหม่ จะช่วยทำให้ลดปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งส่งผลถึงการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บขน การเผาไหม้ และการประหยัพื้นที่ฝังกลบในการกำจัดเถ้านั้นเตาได้ด้วย

7. การกำจัดเถ้านั้นเตา จากการศึกษาพบว่าเถ้านั้นเตาที่มีโลหะหนักบางชนิดปริมาณมาก อยู่ในอนุภาค แสดงถึงความเป็นพิษที่อาจเกิดอันตรายได้ในบางโอกาส หากจัดการไม่เหมาะสม เช่นการหายใจเอาฝุ่นเถ้านั้นเตาเข้าปอดหรือการกินอาหารที่ปนเปื้อนเถ้านั้นเตา แม้จะทดสอบความเป็นพิษของโลหะหนักในน้ำชะล้างเถ้านั้นเตาแล้วก็ไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่การกำจัดเถ้านั้นเตาที่เหมาะสมนั้นไม่ควรที่จะทิ้งหรือกองเถ้านั้นเตาไว้บนพื้นดิน หรือกำจัดเถ้านั้นเตาในหลุมดินๆ ที่ไม่ใช่การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การกำจัดเถ้านั้นเตาที่ถูกหลักสุขาภิบาลจะต้องรวบรวมและขนย้ายเถ้านั้นเตาในระบบปิดซึ่งสามารถป้องกันการฟุ้งกระจายได้ การฝังกลบเถ้านั้นเตาจะต้องมีการป้องกันการปนเปื้อนที่อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลของเทศบาลเมืองภูเก็ต ในการกำจัดเถ้านั้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจังหวัดภูเก็ต 3 แห่ง จึงควรนำมากำจัดในพื้นที่ฝังกลบของเทศบาล

5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีข้อสรุปได้ดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างถ้ำก้นตามาวิเคราะห์ในห้องทดลองเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ สามารถบอกลักษณะสมบัติทางเคมีของถ้ำก้นเตาระดับหนึ่ง หากจะต้องพิจารณารายละเอียดหรือแนวโน้มของโลหะหนักในถ้ำก้นเตาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรใช้ระยะเวลาการศึกษาในรอบปีเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนัก

2. การทิ้งมูลฝอยทั่วไปปะปนกับมูลฝอยติดเชื้อ จะทำให้ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น หากวัสดุเหล่านี้เป็นพลาสติกก็จะเพิ่มโลหะหนักในถ้ำก้นเตาด้วย จึงควรแยกมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ควรแยกออกไปบำบัดด้วยวิธีอื่นๆ เพื่อลดปริมาณมูลฝอยติดเชื้อและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัด

3. ถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อมีโลหะหนักปะปนอยู่ แม้การทดลองในห้องปฏิบัติการไม่ได้แสดงถึงความเป็นพิษในน้ำชะล้างถ้ำก้นเตาตาม การปนเปื้อนของโลหะหนักในถ้ำก้นเตาที่จัดการไม่เหมาะสมเป็นไปได้ทั้งในระยะสั้นๆ เช่น การสัมผัสถ้ำโดยตรง การหายใจเอาอนุภาคถ้ำเข้าปอด การปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำและอาหาร และในระยะยาวโลหะหนักในถ้ำก้นเตาอาจจะปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน และดิน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรวางแผนหรือกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการกำจัด

4. การศึกษาวิจัยต่อไป

- การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะล้างถ้ำที่เตรียมในห้องทดลองเปรียบเทียบกับน้ำชะล้างถ้ำจากสนามหรือบริเวณที่กำลังจัดจริง
- การศึกษาและวิจัยในด้านการใช้ประโยชน์จากถ้ำก้นเตา เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดพื้นที่การฝังกลบเช่น การนำไปใช้ในงานก่อสร้าง การผสมกับวัสดุสร้างถนน

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอนามัย กองอนามัยสิ่งแวดล้อม . แนวทางการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ . กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ . 2539 .
2. Denison R.A . , Ruston J. , editors . MSW Incinerator Ash . In: Recycling and Incineration Evaluating The Choices. Washington DC . : Island press , 1990 .
3. Green AE.S. , Wagner J.C. Toxic Products of Medical Waste Incineration. In : Green AE.S., editor. Medical Waste Incineration and Pollution Prevention. New York : Van Nostrand Reinhold , 1992 : 1-33.
4. Hasselriis F., Constantine L. Characterization of Today's Medical Waste. In : Green AE.S. , editor. Medical Waste Incineration and Pollution Prevention. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992 : 37-51.
5. Bagchi A., Sopcich D. Characterization of MSW Incineration Ash. J. Envi Engineering. 1989 ; 115 : 447-451.
6. Hasselriis F. Relationship between Input and Output. In : Green AE.S., editor. Medical Waste Incineration and Pollution Prevention . New York : Van Nostrand Reinhold , 1992 : 97-125.
7. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเอ็นเทค อาเซียน 95 เรื่องวิธีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้ออย่างถูกต้องและประหยัด ; 16 มิถุนายน 2538. ม.ป.ท. : ม.ป.ป.
8. สุวรรณ เตียรย์สุวรรณ . มูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทย. การส่งเสริมสุขภาพและอนามัย สิ่งแวดล้อม 2540 ; 20 : 93-103.
9. พนิด มโนการ. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของบุคลากรทางการแพทย์ในการจัดการขยะ ติดเชื้อจากโรงพยาบาล กรณี : โรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุขขนาด 500 เตียงใน จังหวัดนนทบุรี [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539.
10. Bungorn Kietthanakorn. An Appropriate Alternative of Hospital Solid Waste Disposal in Bangkok Metropolitan [MS. Thesis Technology of Environmental management]. Bangkok : Faculty of Graduate Studies , Mahidol University , 1991.
11. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดภูเก็ต . สรุปผลงานประจำปี 2540 . ม.ป.ท. : ม.ป.ป.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

12. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. รายงานการวางแผนแนวทางการแก้ไขปัญหาภาวะมลพิษในเมืองหลัก โครงการพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมของเมืองหลัก เมืองภูเก็ต จัดทำโดยภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล . กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2530.
13. กรมโยธาธิการ . รายงานการศึกษาความเหมาะสม เล่มที่ 4 จังหวัดภูเก็ต , โครงการสำรวจศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดระบบการจัดการขยะมูลฝอย ในเขตพื้นที่รวม 3 แห่ง จัดทำโดยบริษัทพอลคอนซัลแตนท์ จำกัด ร่วมกับ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และบริษัทเวอร์เตอร์ แอนด์ เอนไวรอนเมนต์ คอนซัลแตนท์ จำกัด . กรุงเทพมหานคร : กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย , 2536.
- 14.ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, ฉบับที่ 6. (2540).
15. United States Environmental Protection Agency. EPA Guide for Infectious Waste Management Washington D.C. : Office of Solid Waste , 1986 .
16. Peter A.R. and Judith G.G. Infectious and Medical Waste Management. USA : Lewis , 1991.
17. World Health Organization. ESR 97. Management of Waste from Hospital. Copenhagen : WHO . Regional Office for Europe , 1983.
18. สุวรรณ เตียรย์สุวรรณ . สถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยของประเทศไทย . การอนามัยสิ่งแวดล้อม 2533 . 13 (2) : 21-33.
19. Sachs D.A. Municipal Incinerator Bottom Ash : Heavy Metal Trends with Respect to Ash Particle Size. [M.S. Thesis in Environmental and Resource Engineering]. New York : College of Environmental Science and Forestry, State University of New York, 1994.
20. United States Environmental Protection Agency. Seminar Publication : Medical and Institutional Waste Incineration : Regulation, Management, Technology, Emissions and Operations, EPA/625/4-91/030, December 1991 : US.EPA Office of Research and Development , 1991.
21. United States Environmental Protection Agency. Handbook : Operation and Maintenance of Hospital Medical Waste Incinerators , EPA/625/6-89/024 , January 1990 : US.EPA Office of Air Quality Planning and Standards Research , 1990.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

22. เพลินพิศ พรหมมะลิ . การศึกษาการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลศิริราช [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม].
กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล , 2541 .
23. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม .
ขยะและสิ่งปฏิกูล . ใน : สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , รายงานสถานการณ์
คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2538-2539. กรุงเทพฯ : Kampai Imaging Company.
2541:123-132 .
24. สำนักรักษาความสะอาด,กรุงเทพมหานคร. โรงงานเตาเผาขยะมูลฝอย. กรุงเทพมหานคร,2538.
25. กรมควบคุมมลพิษ .รายงานการศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการกำจัดมูลฝอย , รายงาน
ฉบับสมบูรณ์, จัดทำโดยบริษัทแมคโครคอนซัลแตนท์ จำกัด ร่วมกับ Fichtner (Asia)
PTE/LTD. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และ สิ่งแวดล้อม , 2536 .
26. Lee C.C. Medical Waste Incineration Handbook. USA : Government Institutes, Inc.,1990.
27. สุทธิรักษ์ สุจิตตานนท์ . การกำจัดมูลฝอยแบบใช้เตาเผาและเทคนิค , รายงานการประชุมเชิง
ปฏิบัติการเทคนิคการกำจัดมูลฝอยแบบใช้เตาเผา กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยสภาวะ
แวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับกรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย , 2535 :
212-227.
28. เฉลา งามนิกุลขลิ้น , วัชวุฒิ ผลทวี และบุษรา ผลทวี. การศึกษาการกำจัดขยะติดเชื้อในโรงพยาบาล
ชุมชนด้วยเตาเผาขยะแบบ ดช.2 : กรณีศึกษาจังหวัดในเขต 9. กองสุขภาพ 2537 ;
20 : 3-9.เทศบาลเมืองภูเก็ต. การจัดการมูลฝอย สิ่งปฏิกูลและการบำบัดน้ำเสีย. ม.ป.ท. :
2540 .
29. กรมอนามัย , กองอนามัยสิ่งแวดล้อม . คู่มือการดูแลระบบบำบัดของเสียในโรงพยาบาล
ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 2538 .
30. บริษัทสเวนเทค (ประเทศไทย) จำกัด. คู่มือการปฏิบัติงานของเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยา-
บาล รุ่น NF-35. กรุงเทพมหานคร, 2536.
31. พิชิต สกุลพราหมณ์ . การสุขภาพสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : หจก.ชนะการพิมพ์, 2535.
32. สุทิน อยู่สุข. คำนวณปริมาณและลักษณะมูลฝอย. ใน : อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์, สุณี ขวัญศิริ-
โรจน์ , สุชัย เจริญนารถ , บรรณารักษ์ . การจัดการมูลฝอย . นนทบุรี : มหาวิทยาลัย
สุโขทัยธรรมาราช , 2531 : 1-56 - 1-59.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

33. กรมโยธาธิการ. รายงานผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมระบบกำจัดขยะมูลฝอย จังหวัดภูเก็ต, โครงการสำรวจศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดระบบการจัดการขยะมูลฝอย ในเขตพื้นที่รวม 3 แห่ง จัดทำโดยบริษัทพอลคอนซัลแตนท์ จำกัด ร่วมกับสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และบริษัทรเวอร์เตอร์ แอนด์ เอนไวรอนเมนต์ คอนซัลแตนท์ จำกัด. กรุงเทพมหานคร : กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย, 2536.
34. Ontiveros J.L., Kosson D.S., Ablert R.C. Leaching Characteristics and Composition of Residual Ashes from Various Municipal Waste Incinerators. In : Wu Cu., editor. International Conference on Physiochemical and Biological Detoxification of Hazardous Wastes 1988. New Jersey, USA : Technomic Publishing, 1988 : 515-526.
35. Hasselriis F. Ash Disposal. In : Green A.E.S., editor. Medical Waste Incineration and Pollution Prevention. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992 : 142-154.
36. Belevi H., Stampfi D.M., Baccini P. Chemical Behaviour of Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash in Monofills. J. Waste Management & Research 1992 ; 10 : 153-167.
37. Brown, H.L. Thomas Jefferson University Hospital Waste Characterization Study. Drexel University, Philadelphia, 1989.
38. Bulley M.M. Medical Waste Management in Australia. In : Green A.E.S., editor. Medical Waste Incineration and Pollution Prevention. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992 : 53-71.
39. Barton, Robert G., Clark W.D., Seeker W.R. Fate of Metals in Waste Combustion Systems. J. Combustion Science and Technology 1990 ; 74 : 327-342.
40. Weast, Robert C., editor. 1984. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 65th Edition. CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
41. Theis T.L., Gardner K.H. Environment Assessment of Ash Disposal. Critical Review in Environment Control. 1990;20:21-42.
42. Faculty of Science, Silpakorn University. Leaching Tests for Hazardous Wastes. In : Management Workshop. New South Wales : Department of Chemical Engineering, UNESCO Centre for Membrane Science and Technology School of Civil Engineering, 1994.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

43. Wentz C.A. Hazardous Waste Management. International Edition . Singapore : Mc Graw-Hill Book Company , 1989.
44. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้าย และการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, ฉบับที่ 1. (2531).
45. Kellermeyer D.A., Stewart S.L. Environmental Impacts and Management Alternatives of Municipal Waste Combustor Ash. J. Environmental Impact Assessment Rev. 1989 ; 9 : 223-238.
46. United States Environmental Protection Agency. Characterization of MWC Ashes and Leachates from MSW Landfills , Monofills and Co-Disposal Sites. EPA 530-SW-87-028F. 1987.
47. United States Environmental Protection Agency. Draft Guidance , Municipal Waste Combustion Ash. EPA 530-SW-88-006. 1988.
48. Washburn S.T. , Brainard J., Harris R.H. Human Health Risks of Municipal Solid Waste Incineration. J. EIA REV 1989 ; 9 : 181-198.
49. Petts J. Incineration Risk Perceptions and Public Concern : Experience in the U.K. Improving Risk Communication. J. Waste Management & Research 1992 ; 10 : 169-182.
50. Eighmy T.T. and Minichiello J. A. Proceedings of the Ash Research Seminar. New England Center, University of New Hampshire, Durham, N.H. 1988.
51. Chesner W.H. Potential of MSW Combustion Residue Recycling in Construction Applications. Presented at Municipal Solid Waste Technology Conference, San Diego. California, January 30 -February 1 .1989.
52. Penberthy L. Vittrification of Ash as Concrete Aggregate. Presented at MSW Incineration Ash Conference, Orlando, Florida, December 1-2 .1988.
53. Behel D., Giordano Jr.,P.M. and Stephenson D.R. Attenuation of Cd and Pb solubility in municipal waste incineration ash. J. Soil Science Plant Analysis. 1986;17(4) :385-392.
54. Goodwin R.W. MSW Ash :Liability or Asset. Paper submitted at MSW Incineration Ash Conference, Orlando, Florida, December 1-2 .1988.
55. Roethel F.J. The Fixation of Incineration Residues. Final Report. Waste Management Institute, State University of New York, Stony Brook, N.Y. 1986.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

56. Berry W. ISPE Recovery and Concentration Process. Presented at MSW Incineration Ash Conference, Orlando, Florida, December 1-2 .1988.
57. Chemfix Technologies, Treatment and Ash Residues by the Chemfix Process. Metarie, Louisiana, Department of Research and Development, Chemfix, September 18, 1987.
58. ปรีดา แฉ่มเจริญวงศ์. การจัดการขยะมูลฝอย. ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2531.
59. ถัดดา มีสุข. พจนานุกรมศัพท์เคมี. กรุงเทพฯ : เอนเนอรัลบุ๊กส์เซนเตอร์, 2532.
60. Fergusson E.J. The Heavy Elements : Chemistry, Enviromental Impact and Health. England.English : Pergamon Press, 1933.
61. ชัยวัฒน์ เอนวานิชย์. สารานุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์ , 2525.
62. จังหวัดภูเก็ต. โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติการและจัดลำดับความสำคัญการลงทุนเพื่อแก้ไขปัญหาสังแวดล้อม จังหวัดภูเก็ต, รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1, จัดทำโดยบริษัท โมดัส คอนซัลแต้นส์ จำกัด. กรุงเทพฯ : จังหวัดภูเก็ต, 2540.
63. ประชุม สุริยะ. 1 สิงหาคม 2542. นักวิชาการสาขาภิบาล 7 เทศบาลเมืองภูเก็ต. สัมภาษณ์.



ตารางที่ ก-1 Leaching test protocols

Extraction Test	Dynamic Test
1. Agitated Extraction Test -EP Toxicity Test -TCLP -Q.R.S.Q.(Quebec) -W.E.T California -French Leach Test -German Leach Test -Swiss Leach Test -E.E. Environment Canada -ASTM D 3987 -M.B.L.P. Environment Canada -M.C.C.-3S Materials -Characterization center	1.Serial Batch Test -M.E.P. EPA Method 1320 - M.W.E.P. U.S. EPA -Graded Serial Batch U.S. Army -S.B.E. ASTMD 4793-88 -W.R.U. Leach Test -S.L.T. Cascade Test SOSUV Netherlands
2. Non- Agitated Extraction Test -MCE-1 Static leach test Method -MCE-2 High Temperature Static leach test Method	2.Flow- around Test -MCC-4S -AIEA Dynamic Leach Test -I.S.O. Leach Test -A.N.S.I./ANS 16.1 -D.L.T.
3. Sequential Chemical Extraction test	3. Flow-through Test -Column Extraction Method -S.L.T. Column Method
4. Concentration Build up test	

ที่มา : Silpakorn University Waste Management Workshop, 1994.

ภาคผนวก ข.

ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

- ข-1 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล ช่องเผาไหม้ที่ 1
- ข-2 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล ช่องเผาไหม้ที่ 2
- ข-3 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง ช่องเผาไหม้ที่ 1
- ข-4 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง ช่องเผาไหม้ที่ 2
- ข-5 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชั่น ช่องเผาไหม้ที่ 1
- ข-6 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชั่น ช่องเผาไหม้ที่ 2
- ข-7 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง (แบบดข.2)

ตารางที่ ข-1 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล ช้องเผาไหม้ที่ 1

ขนาด ตะแกรง(เมช)	ขนาดของถ้ำ บนตะแกรง (มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 4,793.28	} 68.47	7,053.53	57.61
4	> 4.75-9.50			756.03	6.17
35	> 0.50-4.75	768.41	10.97	1,934.46	15.80
ถาด	<= 0.50	1,438.31	20.54	2,498.89	20.41
รวม		7,000.00	100.00	12,242.91	100.00

หมายเหตุ : ในการคัดแยกอนุภาคถ้ำก้นเตาครั้งที่ 1 ไม่ได้แยกขนาดที่ใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร

ตารางที่ ข-2 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล ช้องเผาไหม้ที่ 2

ขนาด ตะแกรง(เมช)	ขนาดของถ้ำ บนตะแกรง(มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	-	-	42.00	1.80
4	> 4.75-9.50			66.67	2.86
35	> 0.50-4.75	281.54	28.89	178.51	7.66
ถาด	<= 0.50	692.65	71.10	2,041.20	87.66
รวม		974.19	100.00	2,328.38	100.00

หมายเหตุ : ในการคัดแยกอนุภาคถ้ำก้นเตาครั้งที่ 1 ไม่มีถ้ำที่ใหญ่กว่าขนาด 4.75 มิลลิเมตรในตาราง - หมายถึงไม่มีตัวอย่าง

ตารางที่ ข-3 ขนาดของเก้าอี้กันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง ช่องเผาไหม้ที่ 1

ขนาด ตะแกรง(เมช)	ขนาดของเก้าอี้ บนตะแกรง(มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักเก้าอี้(กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักเก้าอี้(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 1,169.66	} 52.45	3,970.01	53.21
4	> 4.75-9.50			652.15	8.74
35	> 0.50-4.75	492.84	22.10	1,793.66	24.04
ถาด	<= 0.50	567.50	25.44	1,044.96	14.00
รวม		2,230.00	100.00	7,460.78	100.00

หมายเหตุ : ในการคัดแยกอนุภาคเก้าอี้กันเตาครั้งที่ 1 ไม่ได้แยกขนาดที่ใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร

ตารางที่ ข-4 ขนาดของเก้าอี้กันเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง ช่องเผาไหม้ที่ 2

ขนาด ตะแกรง(เมช)	ขนาดของเก้าอี้ บนตะแกรง(มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักเก้าอี้(กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักเก้าอี้(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 310.25	} 38.78	426.69	17.89
4	> 4.75-9.50			399.30	16.74
35	> 0.50-4.75	77.43	9.67	520.00	21.81
ถาด	<= 0.50	412.32	51.54	1,038.17	43.54
รวม		800.00	100.00	2,384.16	100.00

หมายเหตุ : ในการคัดแยกอนุภาคเก้าอี้กันเตาครั้งที่ 1 ไม่ได้แยกขนาดที่ใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร

ตารางที่ ข-5 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชั่น ชื่องาไหมที่ 1

ขนาด ตะแกรง(เมษ)	ขนาดของถ้ำ บนตะแกรง(มม.)	ครั้งที่ 1	
		น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 2,679.86	} 66.99
4	> 4.75-9.50		
35	> 0.50-4.75	533.96	13.34
ถาด	< = 0.50	786.18	19.65
รวม		4,000.00	100.00

- หมายเหตุ : 1. ในการคัดแยกอนุภาคถ้ำก้นเตาครั้งที่ 1 ไม่ได้แยกขนาดที่ใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร
2. ในการเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2541 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชั่นชำรุด และเลิกเผามูลฝอยติดเชื้อนำไปเผาพร้อมกับเตาเทศบาล

ตารางที่ ข-6 ขนาดของถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชั่น ชื่องาไหมที่ 2

ขนาด ตะแกรง(เมษ)	ขนาดของถ้ำ บนตะแกรง(มม.)	ครั้งที่ 1	
		น้ำหนักถ้ำ(กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 326.64	} 46.66
4	> 4.75-9.50		
35	> 0.50-4.75	77.99	11.14
ถาด	< = 0.50	295.37	42.19
รวม		700.00	100.00

- หมายเหตุ : 1. ในการคัดแยกอนุภาคถ้ำก้นเตาครั้งที่ 1 ไม่ได้แยกขนาดที่ใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร
2. ในการเก็บตัวอย่างถ้ำครั้งที่ 2 ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2541 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชั่นชำรุด และเลิกเผามูลฝอยติดเชื้อนำไปเผาพร้อมกับเตาเทศบาล

ตารางที่ ข-7 ขนาดของไส้ก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลปทุม (แบบ ตข. 2)

ขนาด ตะแกรง (เมช)	ขนาดของไส้ บนตะแกรง (มม.)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		น้ำหนักไส้ (กรัม)	ร้อยละ	น้ำหนักไส้ (กรัม)	ร้อยละ
3/8	> 9.50	} 967.97	} 26.57	5,030.12	38.42
4	> 4.75-9.50			673.30	5.14
35	> 0.50-4.75	784.04	21.52	2,449.23	18.71
ถาด	<= 0.50	1,890.99	51.90	4,937.78	37.72
รวม		3,643.00	100.00	13,090.43	100.00

หมายเหตุ : ในการคัดแยกอนุภาคไส้ก้นเตาครั้งที่ 1 ไม่ได้แยกขนาดที่ใหญ่กว่า 9.5 มิลลิเมตร ออกจากขนาด 4.75 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ก.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ 4 แห่ง

- ค-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล
- ค-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลกลาง
- ค-3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลมิชชั่น
- ค-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาลป่าตอง

ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเทศบาล

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากการย่อย (Total digestion) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	กากตะกอนจากห้องเผาไหม้ที่ 1			กากตะกอนจากห้องเผาไหม้ที่ 2	
	<= 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.	> 4.75-9.50 มม. ¹	<= 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.
Ag	56.51-123.43	27.98-1,429.55	31.62	52.89-115.12	10.14-104.55
As ^{2,3}	< 1.00	< 1.00	-	18.83	28.77
Ba	2,090.88-3,230.32	1,458.01-4,827.37	1,792.83	1,095.42-3,113.23	1,713.62-2,760.42
Cd	11.81-17.61	2.94-8.84	15.91	27.25-37.09	25.06-37.54
Cr	206.50-216.05	35.91-102.33	36.33	219.47-247.33	139.37-157.99
Hg ³	457.50-2,377.30	774.50-2,287.60	584.50	59.71-2,884.60	36.79-299.30
Pb	446.66-1,191.23	132.85-1,044.23	176.73	325.55-1,145.42	623.15-1,336.88
Se	1.13-1.16	0.26-1.13	0.20	1.14-1.25	1.28-1.35

หมายเหตุ : 1. ถ้าขนาดอนุภาค > 4.75-9.50 มม. เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ครั้งเดียว ในครั้งที่ 2
ในตาราง - หมายถึง ไม่มีตัวอย่าง
2. As จากการวิเคราะห์ในครั้งแรกพบปริมาณน้อยมากจึงวิเคราะห์ 1 ครั้ง
3. As , Hg หน่วยการวัดเป็นไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ppb)

ตารางที่ ค-2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
โรงพยาบาลถลาง

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากการย่อย (Total digestion) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	กากตะกอนจากช่องเผาไหม้ที่ 1			กากตะกอนจากช่องเผาไหม้ที่ 2	
	<= 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.	> 4.75-9.50 มม. ¹	<= 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.
Ag	10.10-52.37	11.79-62.66	24.90	15.59-201.49	23.41-46.29
As ^{2,3}	< 1.00	< 1.00	-	< 1.00	16.86
Ba	997.79-3,491.62	1,006.51-2,084.18	688.17	1,836.18-3,266.38	1,094.87-1,280.44
Cd	3.08-6.15	< 0.05-3.28	1.96	24.16-27.89	14.70-16.35
Cr	177.56-266.61	67.19-102.38	188.62	200.04-456.59	162.58-200.94
Hg ³	27.73-498.60	1,394.00-1,583.50	91.00	1,028.00-3,993.00	406.50-1,289.70
Pb	864.88-2,675.32	310.21-1,468.85	162.14	792.01-1,400.02	690.73-1,284.42
Se	1.30-1.71	0.78-1.00	1.15	0.20-0.43	0.20-0.59

หมายเหตุ : 1. ถ้าขนาดอนุภาค > 4.75-9.50 มม. เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ครั้งเดียว ในครั้งที่ 2
ในตาราง - หมายถึง ไม่มีตัวอย่าง

2. As จากการวิเคราะห์ในครั้งแรกพบปริมาณน้อยมากจึงวิเคราะห์ 1 ครั้ง

3. As, Hg หน่วยการวัดเป็นไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ppb)

ตารางที่ ก-3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
โรงพยาบาลมิชชัน^{1,2}

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในเถ้าก้นเตาจากการย่อย (Total digestion) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	เถ้าก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 1		เถ้าก้นเตาจากช่องเผาไหม้ที่ 2	
	< = 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.	< = 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.
Ag	18.87	15.38	13.75	39.43
As ³	< 1.00	< 1.00	< 1.00	131.71
Ba	3,349.39	2,863.01	3,999.92	4,748.40
Cd	18.40	11.13	17.14	7.83
Cr	364.02	161.93	718.52	228.50
Hg ³	6,987.40	16,834.00	2,880.00	1,988.40
Pb	2,966.57	2,034.50	2,345.80	1,538.53
Se	1.03	0.29	1.01	0.20

หมายเหตุ : 1. ในการคัดแยกอนุภาคเถ้าก้นเตาครั้งที่ 1 คัดแยกขนาดที่ตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรลงมา
2. ในการเก็บตัวอย่างเถ้าครั้งที่ 2 ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2541 เตาเผาโรงพยาบาลมิชชันชำรุด
และเลิกเผามูลฝอยติดเชื้อนำไปเผาพร้อมกับเตาเผาเทศบาล
3. As , Hg หน่วยการวัดเป็น ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ppb)

ตารางที่ ค-4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ
โรงพยาบาลปาดอง (ตข.2)

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในถ้ำก้นเตาจากการทำ Total Digestion (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	< = 0.50 มม.	> 0.50-4.75 มม.	> 4.75-9.50 มม. ¹
Ag	78.07-413.28	194.83-3,278.55	169.74
As ^{2,3}	< 1.00	< 1.00	-
Ba	5,207.25-5,856.25	2,532.05-2,559.42	1,821.04
Cd	2.88-9.29	< 0.05-6.90	0.58
Cr	306.94-334.84	697.69-2,523.51	6,597.92
Hg ³	13.73-198.20	49.34-498.00	3,549.50
Pb	996.93-1,727.80	947.55-1,545.02	335.95
Se	1.07-1.35	0.28-0.89	0.20

หมายเหตุ : 1. ถ้ำขนาดอนุภาค > 4.75-9.50 มม. เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ครั้งเดียว ในครั้งที่ 2
 ในตาราง - หมายถึง ไม่มีตัวอย่าง
 2. As จากการวิเคราะห์ในครั้งแรกพบปริมาณน้อยมากจึงวิเคราะห์ 1 ครั้ง
 3. As , Hg หน่วยการวัดเป็น ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ppb)

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ นายธนชาติ โสดสิงห์

วัน เดือน ปีเกิด 5 ตุลาคม 2505

สถานที่เกิด ตำบลเชิงทะเล อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต

ประวัติการศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, พ.ศ. 2525-2528
 วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์)
 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, พ.ศ. 2534-2536
 ศศ.บ. (อาชีพอนามัยและความปลอดภัย)
 มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2539-2542
 วท.ม. (เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท)
 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

พ.ศ. 2529-2530
 นักวิชาการสุขาภิบาล โรงพยาบาลปากน้ำชุมพร
 พ.ศ. 2531-2532
 นักวิชาการควบคุมโรค สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดพังงา
 พ.ศ. 2532-ปัจจุบัน สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดภูเก็ต
 ตำแหน่ง : นักวิชาการสาธารณสุข 6 ว.