การพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก

นายอัศวิน สืบนุการณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-533-061-2

UPGRADING THE CAPACITY OF A SMALL SCALE SOLID WASTE INCINERATOR

Mr. Asawin Suebnukarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2001

ISBN 974-533-061-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก

UPGRADING THE CAPACITY OF A SMALL-SCALE SOLID WASTE INCINERATOR

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ)

ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย วนภู)

กรรมการ

.....

(ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

กรรมการ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิช จิตรสมบูรณ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รองศาสตราจารย์ น.อ.ดร.วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อัศวิน สืบนุการณ์: การพัฒนาเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก
(UPGRADING THE CAPACITY OF A SMALL-SCALE SOLID WASTE INCINERATOR) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ, 95 หน้า.
ISBN 974-533-061-2

ได้ทำการพัฒนาเตาเผาขนาดเล็กสำหรับใช้กำจัดขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในองค์การบริหารส่วนตำบล เตาเผามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m สูง 2.6 m และมีท่อระบายไอเสียเชื่อมกับหอพ่นน้ำ (Spray Tower) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m สูง 6.4 m ซึ่งใช้สำหรับบำบัดมลสาร ก่อนระบายออกสู่บรรยากาศ หลังทำการจำแนกองค์ประกอบของขยะมูลฝอยแล้ว ได้เติม “ขยะแห้ง” และ “ขยะเปียก” ซึ่งขยะแห้งจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 และขยะเปียกมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 40 ได้ทำการผสมกันก่อนเข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราส่วน 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 เพื่อประเมินหาอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสมสำหรับคงไว้ซึ่งความสามารถในการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Self-Burning Capacity) พบว่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้มีค่าต่ำสุด และสูงสุดอยู่ที่ 150 และ 1,100 ^{o}C ตามลำดับ และพบว่าในการเผาโดยไม่ใช้เหล็กก้างปลาในห้องเผาไหม้อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 450 ^{o}C และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 80 ^{o}C อัตราการเผาลดลงมาที่ 40.5 kg/h

จากการติดตั้งเหล็กก้างปลา (Bar Rake) ในห้องเผาไหม้เพื่อช่วยเพิ่มความพรุนในกองขยะที่เข้าเผา อัตราการเผาสามารถเพิ่มสูงขึ้นที่ค่าเฉลี่ย 114 kg/h หรือ 2.74 ton/d

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ASAWIN SUEBNUKARN: UPGRADING THE CAPACITY OF A SMALL-SCALE SOLID WASTE INCINERATOR. THESIS ADVISOR: ASITANT. PROF. CH0NGCHIN POLPRASERT, Ph.D., 95 PP. ISBN 974-533-061-2

SELF-BURNING INCINERATOR/SOLID WASTE/MOISTURE CONTENT/TEMPERATURE/ BAR RAKE

A small-scale self-burning incinerator used intentionally for burning solid wastes generated in sub-district area (or Tambon Administration Organization) was evaluated at the Suranaree University of Technology in order to improve its efficiency. It is cylindrical in shape with the diameter of 0.8 m and 2.6 m high and is connected to the 0.8 m diameter, 6.4 m high spray tower, which is used to reduce the pollutant emission. After the composition was determined, mixtures of "dry garbage" (defined as those having moisture content less than 40%) and "wet garbage" (more than 40% moisture content) at the ratios of 1:0, 4:1, 3:1, 2:1, and 1:1 were used to quantify the feed rate to the incinerator appropriate for maintaining the self-burning capacity. The average maximum and minimum temperatures were found at 1,100 and 150 ^{o}C, respectively. Without bar rack, The average maximum and minimum temperatures were found to be 450 and 80 ^{o}C, respectively. The feed rate decreased to 40.5 kg/h.

With the use of bar rake to loosen the garbage pack in the combustion chamber, the feed rate could be increased dramatically to average of 114 kg/h or about 2.74 ton/d.

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา ……..

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา …..…….....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จงจินต์ ผลประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โชคชัย วนภู และ ดร. อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์
- กรรมาธิการสภาผู้แทนราษฎร ปีงบประมาณ 2543 ที่สนับสนุนงบประมาณโครงการวิจัยนี้ โดยมีหน่วยงานเทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นผู้ประสานงาน
- อาจารย์บุญชัย วิจิตรเสถียร และพันเอกโกวิทย์ นงค์ชะนาที่ปรึกษาโครงการ
- เจ้าหน้าที่หน่วยงานเทคโนธานี และเจ้าหน้าที่ส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
- เพื่อนๆ บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยช่วยเหลือแนะนำ ให้กำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดที่ผ่านมา

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณสถาบันราชภัฏสุรินทร์ หน่วยงานต้นสังกัดที่สนับสนุนด้านการศึกษา จนทำให้ผู้ทำวิจัยประสบผลสำเร็จในด้านการศึกษา

อัศวิน สืบนุการณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... ข
กิตติกรรมประกาศ..... ค
สารบัญ..... ง
สารบัญตาราง..... ช
สารบัญภาพ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ..... ญ

บทที่

1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 องค์ประกอบของมูลฝอย.....3
2.1.1 ประเภทของมูลฝอย.....4
2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยชุมชน.....5
2.1.3 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยชุมชน.....5
2.2 ระบบกำจัดมูลฝอย.....8
2.2.1 วิธีฝังกลบสุขาภิบาล.....8
2.2.2 การหมักทำปุ๋ย.....9
2.2.3 การเผา.....13
2.3 ชนิดของเตาเผามูลฝอย.....15
2.3.1 เตาเผามูลฝอยแบบหมุน Rotary Kiln.....15
2.3.2 เตาเผามูลฝอยแบบ ฟลูอิดไดเบด.....17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3 เตาเผามูลฝอยแบบตะกรับ 18
2.3.4 เตาเผามูลฝอยระบบ ไพโรไลซิส 20
2.4 การนำความร้อนและของเหลือจากการเผามาใช้ประโยชน์ 23
2.5 หลักการเผาไหม้ 24
2.5.1 ความร้อนจากการเผาไหม้ 24
2.5.2 การวัดความร้อนจากการเผาไหม้ 25
2.5.3 อุณหภูมิของจุดติดไฟ 25
2.5.4 อุณหภูมิเปลวแอเดียบาติก 26
2.5.5 การคำนวณการเผาไหม้ 27
2.5.6 การสูญเสีย 27
3 การดำเนินการวิจัย 29
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย 29
3.1.1 การจำแนกประเภทและปริมาณของมูลฝอย 29
3.1.2 การผสมมูลฝอยที่จะหาอัตราเผา 30
3.1.3 การเผามูลฝอย 30
3.2 สถานที่ทำการทดลอง 30
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 30
3.4 การสร้างเตาเผามูลฝอย 30
3.4.1 วัสดุที่ใช้สร้างเตาเผาขยะมูลฝอย 31
3.4.2 การออกแบบ 31
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 32
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 33
4.1 องค์ประกอบของมูลฝอย 33
4.1.1 แนวคิดรูปแบบของมลสารทางอากาศ 33
4.1.2 แนวคิดรูปแบบของมลสารทางอากาศ 33
4.1.3 แนวคิดรูปแบบของมลสารทางอากาศ 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การหาน้ำหนักป้อนมูลฝอยที่เหมาะสม 36
4.2.1 น้ำหนักป้อนมูลฝอยที่อัตราส่วน 1:0 37
4.2.2 น้ำหนักป้อนมูลฝอยที่อัตราส่วน 4:1 37
4.2.3 น้ำหนักป้อนมูลฝอยที่อัตราส่วน 3:1 40
4.2.4 น้ำหนักป้อนมูลฝอยที่อัตราส่วน 2:1 40
4.2.5 น้ำหนักป้อนมูลฝอยที่อัตราส่วน 1:1 40
4.3 อัตราการเผาและอุณหภูมิที่ได้ 40
4.3.1 อุณหภูมิที่เผาโดยไม่ใช้เหล็กก้างปลา 44
4.3.2 อุณหภูมิการเผาในอัตราส่วน 1:0 44
4.3.3 อุณหภูมิการเผาในอัตราส่วน 4:1 44
4.3.4 อุณหภูมิการเผาในอัตราส่วน 3:1 46
4.3.5 อุณหภูมิการเผาในอัตราส่วน 2:1 46
4.3.6 อุณหภูมิการเผาในอัตราส่วน 1:1 46
4.4 อัตราการเผา 46
4.5 ปริมาณขี้เถ้า 49
4.6 อุณหภูมิในอุดมคติ 49
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 52
5.1 สรุปผลการทดลอง 52
5.2 ข้อเสนอแนะ 52
รายการอ้างอิง 54
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา 55
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ 58
ภาคผนวก ค แบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก 92
ประวัติผู้เขียน 95

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่าน้ำหนักจำเพาะและร้อยละความชื้นของมูลฝอยประเภทต่างๆ 6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานของมูลฝอยชุมชน 9
2.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการฝังกลบสุขาภิบาล 10
2.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำจัดมูลฝอยโดยการหมักทำปุ๋ย 14
2.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำจัดมูลฝอยด้วยการเผา 16
2.6 อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ 26
4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย 34
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยในการศึกษาครั้งนี้ 35
4.3 สัดส่วนโมลของมูลฝอย 35
4.4 ร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุแต่ละชนิด 36
4.5 ผลของอัตราเผา 49
4.6 ผลของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผามูลฝอย 50
1ก รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาความหนาแน่นมูลฝอย 56
2ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความชื้น 56
3ก รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเผามูลฝอย 57
1ข องค์ประกอบของมูลฝอยแยกตามประเภทที่เกิดขึ้นใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 59
2ข ความชื้นของแต่ละองค์ประกอบของขยะมูลฝอย 59
3ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 5 kg อัตราส่วน 1:0 60
4ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 10 kg อัตราส่วน 1:0 60
5ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 15 kg อัตราส่วน 1:0 61
6ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 20 kg อัตราส่วน 1:0 62
7ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 5 kg อัตราส่วน 4:1 63
8ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 10 kg อัตราส่วน 4:1 64
9ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 15 kg อัตราส่วน 4:1 65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

10ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 20 kg อัตราส่วน 4:1 66
11ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 5 kg อัตราส่วน 3:1 67
12ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 10 kg อัตราส่วน 3:1 68
13ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 15 kg อัตราส่วน 3:1 69
14ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 20 kg อัตราส่วน 3:1 70
15ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 5 kg อัตราส่วน 2:1 71
16ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 10 kg อัตราส่วน 2:1 72
17ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 15 kg อัตราส่วน 2:1 73
18ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 20 kg อัตราส่วน 2:1 74
19ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 5 kg อัตราส่วน 1:1 75
20ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 10 kg อัตราส่วน 1:1 75
21ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 15 kg อัตราส่วน 1:1 76
22ข ผลการเผาในการเติมมูลฝอย 20 kg อัตราส่วน 1:1 77
23ข ผลการเผามูลฝอยอัตราส่วนผสม 1:0 น้ำหนักมูลฝอย 200 kg 78
24ข ผลการเผามูลฝอยอัตราส่วนผสม 4:1 น้ำหนักมูลฝอย 200 kg 80
25ข ผลการเผามูลฝอยอัตราส่วนผสม 3:1 น้ำหนักมูลฝอย 200 kg 82
26ข ผลการเผามูลฝอยอัตราส่วนผสม 2:1 น้ำหนักมูลฝอย 200 kg 84
27ข ผลการเผามูลฝอยอัตราส่วนผสม 1:1 น้ำหนักมูลฝอย 200 kg 86
28ข ผลการเผามูลฝอยโดยไม่ใส่เหล็กก้างปลาอัตราส่วนผสม 1:0 น้ำหนักมูลฝอย100 kg. 89
29ข แสดงการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทางอุดมคติ 90
30ข ผลอุณหภูมิทางอุดมคติ 91

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ระบบเตาเผาแบบหมุน....17
2.2 เตาเผาฟลูอิดไดเบด....18
2.3 การเกิดการไหลในการเผา....19
2.4 โครงสร้างหลักของเตาเผามูลฝอยแบบตะกรับ....21
2.5 ลักษณะของช่องตะแกรง และคานตะแกรง....21
2.6 หลักการทำงานในห้องเผาไหม้ที่หนึ่งและที่สองของเตาเผาระบบไพโรไลซิส....22
3.1 ขั้นตอนการทดลองเผามูลฝอย....29
3.2 เตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก....31
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนมูลฝอยของอัตราส่วน 1:0....38
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนมูลฝอยของอัตราส่วน 4:1....39
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนมูลฝอยของอัตราส่วน 3:1....41
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนมูลฝอยของอัตราส่วน 2:1....41
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนมูลฝอยของอัตราส่วน 1:1....41
4.6 ความสัมพันธ์เวลากับอุณหภูมิของการเผาโดยไม่ใช้เหล็กก้างปลา....45
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 1:0....45
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 4:1....47
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 3:1....47
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 2:1....48
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 1:1....48
4.12 ความสัมพันธ์อุณหภูมิทางอุดมคติ....51
1ค รายละเอียดส่วนประกอบเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก....93
2ค ความสัมพันธ์อุณหภูมิทางอุดมคติ....94

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

kg	=	Kilogram
m^3	=	Cubic meter
m^3/kg-h	=	Cubic meter per kilogram per hour
h	=	Hour
min	=	Minute
kJ/kg	=	Kilojoules per kilogram
Btu/lb	=	British thermal unit per pound
C	=	Carbon
H	=	Hydrogen
O	=	Oxygen
S	=	Sulfur
N	=	Nitrogen
H_2O	=	Water
CO_2	=	Carbon dioxide
CH_4	=	Methane
Kg/cap-d	=	Kilogram per capital per day
NO	=	Nitrogen oxide
NO_2	=	Nitrogen dioxide
NO_x	=	Oxides of nitrogen
SO_x	=	Oxides of sulfur
^oC	=	Degrees of celsius (centigrade)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในสภาพปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม ได้มีการลงทุนตั้งโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นอย่างมากมาย ทำให้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตามมา มลภาวะที่เกิดจากขยะมูลฝอยเป็นปัญหาที่สำคัญอันหนึ่งของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยที่ตกค้าง จากการกำจัด และการจัดเก็บ ขีดความสามารถในการจัดเก็บ และการกำจัดของเทศบาล หรือหน่วยงานที่รับผิดชอบยังไม่เพียงพอ เพราะปัญหาหลายๆ อย่าง เช่น งบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการ บุคลากร การจัดเก็บ และการกำจัดขยะมูลฝอย ทำให้การกำจัดทำไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ การนำไปกองทิ้ง ปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ หรือการจุดไฟเผา ทำให้ปัญหาต่างๆ ติดตามมา ทำให้เกิดทัศนียภาพไม่ดี ปัญหาเนื่องจากกลิ่น และยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคระบาดต่างๆ การปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดินหรือแหล่งน้ำใต้ดิน ทำให้แหล่งน้ำต่างๆ เกิดการเน่าเสีย

การกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกต้องตามหลักวิชาการทำได้หลายวิธีได้แก่การฝังกลบสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ซึ่งต้องใช้ที่ดินในการฝังกลบและต้องกระทำการฝังกลบวันต่อวัน ทำให้เกิดปัญหาในการจัดการที่ดินที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งในปัจจุบันที่ดินมีราคาสูงมากและหายาก การกำจัดโดยนำไปทำปุ๋ยหมัก (Composting) ซึ่งต้องใช้เวลาและพื้นที่ในการบ่ม ทำให้มีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างมาก การกำจัดโดยการใช้เตาเผา (Incinerator) สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยได้มากเพราะสามารถกำจัดขยะมูลฝอยได้ประมาณร้อยละ 80-90 ที่เหลือจะเป็นเถ้าซึ่งมีปริมาณไม่มากนักสามารถนำไปฝังกลบได้ การกำจัดขยะมูลฝอยโดยการใช้เตาเผายังไม่แพร่หลายมากนักในประเทศไทย เนื่องมาจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ขาดแคลนบุคลากรหรือความชื้นของขยะมูลฝอยในประเทศมีค่าสูง จากการรายงานของสำนักรักษาความสะอาดกรุงเทพมหานคร (2538) พบว่าขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 40-60 ซึ่งมีค่าสูงมากก่อให้เกิดปัญหาในการเผา ดังนั้นในการใช้งานเตาเผาขยะมูลฝอยขนาดเล็กสำหรับชุมชนทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

ชุมชนขนาดเล็กของประเทศไทย เช่นชุมชนหมู่บ้านและตำบลซึ่งเปลี่ยนแปลงการบริหารเป็นองค์การบริหารส่วนตำบลในปัจจุบัน ไม่มีการจัดการขยะมูลฝอยที่ถูกวิธี ซึ่งขยะมูลฝอยที่ออก

จากชุมชนจะมีขยะมูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาลชุมชนด้วยและปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งการเผาเป็นวิธีหนึ่งที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนและขยะมูลฝอยติดเชื้อได้อย่างถูกวิธี ในการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการเผาในชุมชนขนาดเล็ก ในงานวิจัยที่สร้างขึ้น จะเป็นการจุดประกายในการริเริ่มที่จะพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก ที่จะใช้งานพร้อมกับมีการบำบัดมลภาวะที่ออกจากเตาเผา จะไม่เป็นการเพิ่มมลภาวะแก่ชุมชน ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำมาปรับปรุงสร้างเตาเผาขยะมูลฝอยเพื่องานวิจัย ได้แก่

- ความชื้นของขยะมูลฝอยทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์
- ปัญหาควันดำเนื่องจากปริมาณอากาศเข้าห้องเผาไหม้ไม่เหมาะสม
- ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการดูดซับไอเสียในห้องลดมลพิษ

ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จำเป็นต้องมีการแก้ไขโดยจะทำการสร้างเตาเผาขยะมูลฝอยขึ้นมาใหม่เพื่อทำการทดลองเผาขยะมูลฝอยชุมชนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

1.2 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เพื่อหาความเป็นไปได้ของการพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็กเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.2.1 ออกแบบและสร้างเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน ที่ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง

1.2.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การใช้งานของเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน โดยคงไว้ซึ่งความสามารถเผาไหม้ตัวเอง (Self-Burning Capacity)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างเตาเผา สำหรับเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.945 m^3

1.3.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การใช้งานของเตาเผาขยะมูลฝอยโดยการผสมขยะมูลฝอยเพื่อ

ทำการเผา ระหว่างขยะมูลฝอยแห้งกับขยะมูลฝอยเปียกในอัตรา 1:0, 4:1, 3:1, 2:1, และ 1:1 ทำการเผา 4 ครั้งในแต่ละอัตราส่วนโดยใช้ขยะมูลฝอยในการเผาครั้งละ 200 kg

1.3.3 ศึกษาอัตราการเผาไหม้และระยะเวลาที่ป้อนขยะมูลฝอยสู่เตาเผาที่มีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยคงไว้ซึ่งความสามารถเผาไหม้ตัวเอง

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันขยะมูลฝอยเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่สร้างปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมซึ่งทุกเมืองกำลังเผชิญอยู่ ในการทำลายขยะมูลฝอยมีวิธีการทำลายอยู่หลายวิธี เช่น การหมัก การทำปุ๋ยอินทรีย์ การฝังกลบอย่างถูกวิธี และการเผาในเตาเผาที่ถูกสุขลักษณะ ฯลฯ โดยแต่ละวิธีมีข้อจำกัดในตัวเอง ตัวอย่างเช่นการหมักเพื่อทำปุ๋ยอินทรีย์ (Composting) เหมาะสำหรับขยะมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น พวกเศษอาหาร เศษพืช ผัก ผลไม้ ฯลฯ เท่านั้น ส่วนการฝังกลบสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) นั้นต้องใช้พื้นที่มากซึ่งในปัจจุบันราคาที่ดินมีราคาสูงขึ้น การเผาขยะภายในเตาเผา เป็นการแปรรูปขยะมูลฝอยให้อยู่ในรูปของสารเฉื่อย (Inert Substances) โดยกระบวนทางความร้อนและมีความเหมาะสมกับการกำจัดที่มีปริมาณความร้อนสูง การกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีการเผาในเตาเผานี้ต้องการเนื้อที่ในการปฏิบัติงานน้อยมาก เหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งตัวอย่างเตาเผาขยะที่มีผู้นำเข้ามาจำหน่ายและใช้ในประเทศไทยมีอยู่หลายประเภท

2.1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ขยะได้ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะเกิดขึ้นในชุมชนขนาดใหญ่ ซึ่งในอดีตมีการจัดการอย่างไม่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ขึ้นมาซึ่งจะแยกปัญหาออกดังนี้

ก. เป็นแหล่งอาหารและเผ่าพันธุ์แมลงนำโรค เช่น แมลงวัน แมลงสาบ และยุง ฯลฯ

ข. เป็นที่ซุกซ่อนแหล่งอาหารและเผ่าพันธุ์ของหนูและสัตว์อื่น ๆ เช่น สุนัข แมว

ค.ทำให้เกิดความสกปรกแก่พื้นดิน และบริเวณใกล้เคียง

ง. ทำให้เกิดมลพิษแก่แหล่งน้ำทิ้งแหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน อันเนื่องมาจากน้ำที่ออกจากกองขยะ (Leachate)

จ. ขยะเปียก ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอันเป็นเหตุแห่งความรำคาญ

ฉ. ทำให้เกิดสภาพน่ารังเกียจ ขาดความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมืองเสื่อมเสียทัศนียภาพ

ช. อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ อันเนื่องมาจากการเผาขยะหรือแก๊สที่เกิดจากการหมักของขยะมูลฝอย

2.1.1 ประเภทของขยะมูลฝอย

ขยะชุมชนมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด โดยมีรายละเอียดสรุปได้ดังนี้

ก. ขยะจากที่พักอาศัยและย่านพาณิชย์กรรม (Residential and Commercial) ขยะมูลฝอยจากที่พักอาศัยและจากย่านพาณิชย์กรรม ประกอบด้วย สารอินทรีย์ (Organic) หรือสารที่เผาไหม้ได้และสารอนินทรีย์ (Inorganic) หรือสารที่เผาไหม้ไม่ได้ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ จะเป็นพวกเศษอาหาร กระดาษ กระดาษแข็ง พลาสติกทุกชนิด เศษผ้า ยาง หนัง ไม้ ขยะมูลฝอยจากสถานที่สาธารณะ สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว เศษเครื่องกระเบื้อง กระป๋องดีบุก อะลูมิเนียม เหล็ก ฝุ่น ขยะมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ จะย่อยสลายได้ง่ายโดยเฉพาะในอากาศร้อน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและเกิดแมลงวันได้ ขยะมูลฝอยอื่น ๆ ที่เกิดจากที่พักอาศัยและจากย่านพาณิชย์กรรมได้แก่ ของชิ้นใหญ่ ๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้ในครัวเรือน ขยะมูลฝอยจากที่สาธารณะ นอกจากนี้ ยังมี ขยะมูลฝอยจำพวกแบตเตอรี่ น้ำมัน และยางรถยนต์ ซึ่งจำเป็นต้องแยกในการกำจัด

ข. ขยะมูลฝอยจากสถาบัน หมายถึง ขยะมูลฝอยจากสถานที่ราชการ โรงเรียน วิทยาลัย สถานศึกษาอื่น ๆ เรือนจำ และโรงพยาบาล ซึ่งขยะมูลฝอยเหล่านี้ถูกเก็บรวบรวมอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชน ยกเว้นขยะมูลฝอยจากสถานพยาบาล ซึ่งจำต้องมีการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อน

ค. ขยะมูลฝอยจากสถานที่ก่อสร้าง หรือจากการรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง หมายถึงขยะมูลฝอยจากสถานที่ก่อสร้าง การซ่อมแซม การรื้อถอน ขึ้นอยู่กับลักษณ์ของอาคารที่พัก หรืออาคารพาณิชย์กรรมนั้น ส่วนใหญ่ขยะมูลฝอยจะเป็น ฝุ่น หิน คอนกรีต อิฐ ปูน เศษไม้ กรวด ท่อน้ำ ชิ้นส่วนผ้า ฯลฯ

ง. ขยะมูลฝอยจากสถานที่สาธารณะของชุมชนขยะมูลฝอยจากสถานที่สาธารณะของชุมชน ได้แก่ ขยะมูลฝอยที่เกิดจากการควบคุมและการบำรุงรักษาสถานที่สาธารณะต่างๆ เช่น การกวาดถนน หญ้า ขยะมูลฝอยข้างถนน หรือเศษขยะมูลฝอย จากถังรวบรวมขยะมูลฝอยเศษกิ่งไม้จากสวนสาธารณะ เศษขยะมูลฝอยที่สะสมอยู่ในท่อระบายน้ำ ซากสัตว์ ซากยานพาหนะ เป็นต้น

จ. ขยะมูลฝอย จากโรงงานกำจัดของเสียและกากของเสีย ขยะมูลฝอยที่เป็นของแข็งและของเหลวจากน้ำ น้ำเสีย ของเสียจากการบำบัดของเสียจากโรงงาน ลักษณะของขยะมูลฝอยประเภทนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการในการบำบัด ส่วนใหญ่ในการกำจัดขยะมูลฝอยประเภทนี้จะนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

ฉ. ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงานวัตถุดิบ กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์รวมทั้งขยะมูลฝอยจากชุมชนที่เกิดจากคนงานและสำนักงาน

ช. ขยะมูลฝอยจากการเกษตรได้แก่ ขยะมูลฝอยจากการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร เศษหญ้า ต้นไม้ ผลิตภัณฑ์จากน้ำนม ขยะมูลฝอยจากโรงฆ่าสัตว์ และจากการปศุสัตว์

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชน

ลักษณะทางกายภาพของขยะมูลฝอยชุมชนที่สำคัญได้แก่ น้ำหนักจำเพาะหรือความหนาแน่นของขยะมูลฝอยและปริมาณความชื้นในขยะมูลฝอย

ก. น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) น้ำหนักจำเพาะของขยะมูลฝอย หมายถึง น้ำหนักวัสดุต่อหน่วยของปริมาตรเช่น lb/ft^3 หรือ kg/m^3 ซึ่งแทนด้วยความหนาแน่นของขยะมูลฝอยนั้น เนื่องจากน้ำหนักจำเพาะของขยะมูลฝอยขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์ของสถานที่นั้น ฤดูกาล ช่วงเวลาที่ขยะมูลฝอยนั้นถูกเก็บกักไว้ ขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกเก็บโดยรถเก็บขยะมูลฝอยแบบอัดพบว่ามีค่าน้ำหนักจำเพาะอยู่ประมาณ 180 kg/m^3 ถึง 415 kg/m^3 หรือประมาณ 296 kg/m^3 แสดงดังตารางที่ 2.1

ข. ปริมาณความชื้นในขยะมูลฝอย (Moisture Content) ปริมาณความชื้นในขยะมูลฝอยโดยทั่วไปแล้วจะระบุค่าเป็นร้อยละของความชื้นในปริมาณโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยเปียกหรือแห้งแล้วแต่กรณี ค่าประมาณความชื้นของส่วนประกอบต่างๆในขยะมูลฝอยแสดงดังตารางที่ 2.1 สำหรับขยะมูลฝอยรวบรวมจากชุมชน มักมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 15-40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของขยะมูลฝอยนั้นๆ ฤดูกาล และสภาพอากาศโดยเฉพาะในช่วงที่มีฝนตก ซึ่งค่าความชื้นของขยะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของขยะมูลฝอยนั้น ฤดูกาลของปี ความชื้นในอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฝนซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ปริมาณค่าความชื้นในขยะมูลฝอยมีค่าสูงขึ้น จากรายงานการศึกษา Country Status Report Solid Waste Management in Thailand (Environmental Health Division, 1989) พบว่าค่าความชื้นของขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครมีค่าประมาณร้อยละ 55

2.1.3 ลักษณะทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชน

ลักษณะทางเคมีขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนมีความสำคัญ ต่อการประเมินทางเลือกในกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอย เช่น การใช้ขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ จำเป็นต้องทราบองค์ประกอบของขยะมูลฝอยก่อน เนื่องในขยะมูลฝอยจะมีสารที่เผาไหม้ได้และสารที่เผาไหม้ไม่ได้ รวมทั้งค่าความชื้นในขยะมูลฝอย ข้อมูลของคุณสมบัติทางเคมีสำคัญมาก ในการประเมินความเป็นไปได้ของการแปลงรูปหรือการคืนรูปของขยะมูลฝอย เช่นการพิจารณาใช้วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยนั้นๆ โดยหวังจะได้พลังงานความร้อนมาใช้ประโยชน์ ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และขี้เถ้า ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเฉลี่ยทั่วไปของส่วนประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ สำหรับค่าพลังงานความร้อนนอกจากวัดค่าได้โดยตรงจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องพลังงานจุดระเบิด หรืออาจหาได้จากการคำนวณจากส่วนประกอบทางเคมี

ตารางที่ 2.1 ค่าน้ำหนักจำเพาะและร้อยละความชื้นของขยะมูลฝอยประเภทต่างๆ

ประเภทของขยะมูลฝอย	น้ำหนักจำเพาะ (kg/m^3)		ค่าความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	ช่วง	ค่าที่ใช้	ช่วง	ค่าที่ใช้
ขยะมูลฝอยจากที่พักอาศัย (ขยะมูลฝอยไม่ถูกอัด)				
เศษอาหาร	220-810	490	50-80	70
กระดาษ	70-220	150	4-10	6
กระดาษแข็ง	70-135	85	4-8	5
พลาสติก	70-220	110	1-4	2
เศษผ้า	70-170	110	6-15	10
ยาง	170-340	220	1-4	2
หนัง	170-440	270	8-12	10
ขยะมูลฝอยจากสนามหญ้า	100-380	170	30-80	60
เศษไม้	220-540	400	15-40	20
แก้ว	270-810	330	1-4	2
กระป๋องดีบุก	85-270	150	2-4	3
อะลูมิเนียม	110-405	270	2-4	2
โลหะอื่น ๆ	220-1940	540	2-4	3
ฝุ่น เถ้าและอื่น ๆ	540-1685	810	6-12	8
เถ้า	1095-1400	1255	6-12	6
ของเสีย (Rubbish)	150-305	220	5-20	15
ขยะมูลฝอยจากสนามหญ้าของที่พักอาศัย				
เศษกิ่งไม้แห้ง	50-250	100	20-40	30
ใบไม้สด	350-500	400	40-80	60
ใบไม้สดที่เปียก	1000-1400	1000	50-90	80
เศษใบไม้กิ่งไม้ที่ย่อยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้ว	450-600	500	20-70	50
เศษใบไม้กิ่งไม้ที่ย่อยสลาย	450-650	550	40-60	50
ขยะมูลฝอยจากสถานที่สาธารณะ				
ขยะมูลฝอยในรถบรรทุกขยะมูลฝอย	300-760	500	15-40	20
ขยะมูลฝอยในสถานที่กลบฝัง				
ขยะมูลฝอยที่ถูกกลบฝังแบบธรรมดา	610-840	760	15-40	25
ขยะมูลฝอยที่ถูกกลบฝังอย่างดี	995-1250	1010	15-40	25
ขยะมูลฝอยจากย่านพาณิชย์กรรม				
เศษอาหาร (เปียก)	800-1600	910	50-80	70

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ประเภทของขยะมูลฝอย	น้ำหนักจำเพาะ (kg/m^3)		ค่าความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	ช่วง	ค่าที่ใช้	ช่วง	ค่าที่ใช้
เครื่องมือเครื่องใช้	250-340	305	0-2	1
เศษไม้ลง	185-270	185	10-30	20
เศษกิ่งไม้ใบไม้	170-305	250	20-80	5
ของเสียที่เผาไหม้ได้ (Combustible Rubbish)	85-305	200	10-30	15
ของเสียที่เผาไหม้ไม่ได้ (noncombustible Rubbish)	305-610	505	5-15	10
ของเสียที่ผสม (mixed Rubbish)	235-305	270	10-25	15
ขยะมูลฝอยจากสถานที่ก่อสร้างและการรื้อถอน				
ขยะมูลฝอยผสมจากการรื้อถอนที่เผาไหม้ไม่ได้	1685-2695	2395	2-10	4
ขยะมูลฝอยผสมจากการรื้อถอนที่เผาไหม้ได้	505-675	605	4-15	8
ขยะมูลฝอยผสมจากการก่อสร้างที่เผาไหม้ได้	305-605	440	4-15	8
เศษคอนกรีต	2020-3035	2595	0-5	-
ขยะมูลฝอยจากโรงงาน				
ตะกอนเปียกของสารเคมี	1350-1855	1685	75-99	80
เถ้าลอย	1180-1515	1350	2-10	4
เศษหนัง	170-420	270	6-15	10
เศษโลหะ (หนัก)	2530-3370	3000	0-5	-
เศษโลหะ (เบา)	840-1515	1245	0-5	-
เศษโลหะ (ผสม)	1180-2530	1515	0-5	-
น้ำมัน ทาร์ แอสฟัลส์	1350-1685	1600	0-5	2
ฝุ่น	170-590	490	10-40	20
เศษผ้า	170-370	305	6-15	10
เศษไม้ (ผสม)	675-1140	840	30-60	25
ขยะมูลฝอยจากการเกษตรกรรม				
ขยะมูลฝอยผสม	675-1265	945	40-80	50
ซากสัตว์	340-840	605	-	-
เศษผลไม้(ผสม)	420-1265	605	60-90	75
มูลสัตว์ (ผสม)	1515-1770	1685	75-96	94
เศษผัก (ผสม)	340-1180	605	60-90	75

หมายเหตุ จาก Integrated Solid Waste Management. (p.70-71)โดย Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993, Singapore: McGraw-Hill.

2.2 ระบบกำจัดขยะมูลฝอย

ระบบกำจัดขยะมูลฝอยที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธีการด้วยกันคือ

2.2.1 วิธีฝังกลบสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

การกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีนี้เป็นการนำขยะมูลฝอยมาฝัง หรือกองไว้ในที่จัดเตรียมไว้ใช้เครื่องจักรกลเกลี่ย บดอัดให้ยุบตัวลงแล้วใช้ดินกลบทับและอัดให้แน่นอีกครั้ง หลังจากนั้นนำขยะมูลฝอยมาเกลี่ยและบดอัดอีกเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบเพื่อป้องกันปัญหาของกลิ่นเหม็น แมลง และน้ำฝนชะล้าง และเหตุรำคาญอื่นๆ ทั้งนี้อินทรีย์สารที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยจะถูกย่อยสลายตามธรรมชาติโดยแบคทีเรีย ทำให้ขยะมูลฝอยยุบตัวและเกิดแก๊สมีเทนขึ้นในชั้นของขยะมูลฝอย อย่างไรก็ตามพื้นที่ซึ่งจะใช้ในการฝังกลบจะต้องมีการสำรวจตรวจสอบแล้วว่าเหมาะสม กล่าวคือเป็นพื้นที่ว่างไม่ได้ใช้ประโยชน์ไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น รวมทั้งจะต้องเตรียมมาตรการลดผลกระทบและมีการติดตามตรวจสอบในระหว่างทำการฝังกลบด้วย

การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบมีอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ แบบฝังกลบบนพื้นที่ (Area Method) และแบบขุดร่อง (Trench Method) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. วิธีฝังกลบบนพื้นที่ เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับดินเดิม โดยไม่มีการขุดดิน โดยจะทำการบดอัดขยะมูลฝอยตามแนวราบก่อนแล้วค่อยบดอัดทับในชั้นถัดไปสูงขึ้นเรื่อยๆ จนได้ระดับตามที่กำหนด การฝังกลบขยะมูลฝอยโดยวิธีนี้จำเป็นต้องทำคันดิน (Embankment of Berm) ตามแนวขอบพื้นที่กำจัด เพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบยันการบดอัดขยะมูลฝอยและทำหน้าที่ป้องกันน้ำเสียที่เกิดจากการย่อยสลายของขยะมูลฝอยที่บดอัดและฝังกลบเพื่อไม่ให้น้ำซึมออกมาด้านนอก เพราะจะทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและเกิดมลภาวะน้ำเสียได้ ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้วิธีนี้คือ ที่ราบลุ่มหรือที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง หรือน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย (ไม่เกิน 1 m) ทำให้ไม่สามารถขุดดินเพื่อกำจัดด้วยวิธีฝังกลบแบบขุดร่องได้ เพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเสียที่เกิดจากขยะมูลฝอยต่อน้ำใต้ดินได้ การกำจัดด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องจัดหาที่ดินมาจากที่อื่นเพื่อมาทำคันดิน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงขึ้น

ข. วิธีฝังกลบแบบขุดร่อง เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับที่ต่ำกว่าระดับดินเดิม โดยการทำการขุดดินลึกลงไปให้ได้ระดับตามที่กำหนด แล้วจึงเริ่มบดอัดขยะมูลฝอยเป็นชั้นบาง ๆ ทับกันหนาขึ้นเรื่อย ๆ จนได้ระดับตามที่กำหนดของขยะมูลฝอยบดอัดแต่ละชั้น โดยทั่วไปความลึกของการขุดร่องจะถูกกำหนดด้วยระดับน้ำใต้ดินอย่างน้อยระดับก้นร่องควรจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1 m โดยยึดระดับน้ำใต้ดินในฤดูฝนเป็นเกณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนต่อน้ำใต้ดิน การฝังกลบแบบขุดร่องโดยไม่จำเป็นต้องทำคันดิน เพราะสามารถใช้ผนังของร่องขุดเป็นกำแพงยันขยะมูลฝอยที่บดอัดได้โดยตรง ทำให้ไม่จำเป็นต้องขนดินมาจากข้างนอก และยัง

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานของขยะมูลฝอยชุมชน

ส่วนประกอบของขยะมูลฝอย	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Dry basis)						ค่าพลังงาน (kJ/kg)
	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ไนโตรเจน	ซัลเฟอร์	ขี้เถ้า	
สารอินทรีย์							
เศษอาหาร	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0	4700
กระดาษ	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0	16800
กระดาษแข็ง	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0	16300
พลาสติก	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0	32600
เศษผ้า	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5	17500
ยาง	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0	23300
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0	17500
ขยะมูลฝอยจากสนามหญ้า	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5	6500
เศษไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5	18600
สารอนินทรีย์							
แก้ว	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9	140
โลหะ	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5	700
ฝุ่น,เถ้า,อื่น ๆ	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0	7000

หมายเหตุ จาก การจัดการขยะมูลฝอย. (p.47) โดย พัชรี หอวิจิตร, 2536, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

สามารถใช้ดินที่ขุดออกแล้วนั้นนำกลับมาใช้กลบขยะมูลฝอยได้อีก ข้อดีและข้อเสียการฝังกลบสุขาภิบาลแสดงดังตารางที่ 2.3

2.2.2 การหมักทำปุ๋ย (Composting)

วิธีการหมักปุ๋ย

วิธีการหมักขยะมูลฝอยเพื่อทำปุ๋ย อาศัยขบวนการทางชีววิทยาของแบคทีเรียในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในขยะมูลฝอย โดยเฉพาะแอโรบิคแบคทีเรีย (Aerobic Bacteria) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งสัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน กระบวนการหมักขยะมูลฝอยประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอนได้แก่

ก. การย่อยแบบแอโรบิค (Aerobic Decomposition) เป็นการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้โดยใช้ออกซิเจนและแบคทีเรียจนได้ผลผลิตของปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายดังสมการที่ 2.1 กล่าวคือจะมี

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการฝังกลบสุขาภิบาล

ข้อดีของการฝังกลบสุขาภิบาล	ข้อเสียของการฝังกลบสุขาภิบาล
1. ค่าลงทุนต่ำ	1. ใช้ที่ดินมากจึงทำให้ค่าลงทุนสูงถ้าที่ดินมีราคาแพงมาก ปัญหาที่สำคัญที่สุดคือบางเมืองอาจหาที่กำจัดขยะมูลฝอยทีเหมาะสมและมีขนาดตามที่ต้องการไม่ได้
2. ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ ถ้าสถานที่ตั้งอยู่ไกลตัวเมือง	2. มักต้องตั้งอยู่ไกลตัวเมืองพอสมควร เพื่อลดปัญหามลภาวะและความรำคาญทำให้ค่าดำเนินการในการขนส่งขยะมูลฝอยสูง
3. เป็นการกำจัดขยะมูลฝอยขั้นสุดท้ายที่เกือบสมบูรณ์ (Ultimate Disposal) เพราะขยะมูลฝอยเกือบทั้งหมดถูกกำจัดด้วยวิธีนี้ได้	3. ไม่สามารถแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ทั้งหมด ยังมีกลิ่นและแมลงวันรบกวนอยู่บ้าง ขณะที่ทิ้งขยะมูลฝอยลงในบริเวณก่อนกลบฝัง
4. การควบคุมดูแลการดำเนินการกำจัดขยะมูลฝอยง่ายไม่ต้องการเทคโนโลยีและผู้ควบคุมที่มีประสบการณ์สูงมาก	4. ถ้าป้องกันการรั่วซึมไม่ดีอาจมีปัญหามลภาวะต่อน้ำใต้ดิน และน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย อาจมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดินโดยเฉพาะขยะมูลฝอยติดเชื้อหรือขยะมูลฝอยมีพิษ
5. ที่ดินบริเวณกำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งใช้งานแล้วเมื่อทิ้งไว้สักระยะหนึ่งก็สามารถนำ กลับมาใช้ประโยชน์บางอย่างได้ เช่น เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และสวนพักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น	5. อาจเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ เนื่องจากแก๊สที่เกิดขึ้นในชั้นขยะมูลฝอยที่ฝังกลบแล้ว
	6. การคัดเลือกวัสดุที่มีคุณค่ากลับมาใช้มักทำอย่างไม่เป็นระบบ แต่ทำโดยคนงานรื้อค้นขยะมูลฝอยทั่วไป ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและทำให้เกิดปัญหาล่าช้าในการฝังกลบ

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นหลัก

$$\text{Organic Matter (CHON)} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic Bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_3 + SO_4 \qquad (2.1)$$

ถ้ามีธาตุฟอสฟอรัสอยู่ด้วยจะให้ฟอสเฟตออกมาจากปฏิกิริยา เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายแล้วจะให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมาพร้อมแร่ธาตุ ซึ่งเป็นอาหารสำหรับพืชเช่น ไนเตรต ซัลเฟต เป็นต้น การหมักแบบแอโรบิคทำได้ 2 วิธี คือ

- การหมักโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ (Windrow Composting) โดยนำขยะมูลฝอยที่มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ไปกองให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้ขยะมูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากที่สุด ถ้ากองให้ขนาดใหญ่ขยะมูลฝอยอยู่ข้างในได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดสภาพการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic Decomposition) ขึ้นได้ วิธีนี้จึงต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลาประมาณ 30 วัน

- การหมักโดยการเร่งอัตราการย่อยสลาย โดยใช้เครื่องจักรช่วย (High- Rate Composting) มีการใช้เครื่องมือช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับขยะมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้พัดลมหรือใบพัดให้อากาศหมุนเวียน หรืออาจทำเป็นกระทะรูมีการพลิกกลับ เป็นต้น นอกจากใช้เครื่องจักรกลเติมออกซิเจนให้ขยะมูลฝอยแล้ว ในการหมักจำเป็นต้องทำให้ขยะมูลฝอยเป็นชิ้นเล็กและแยกเอาส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไป จะช่วยให้สัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นการย่อยสลายก็จะเร็วขึ้นด้วย โดยใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ คือ วิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

ข. การหมักแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic Decomposition) เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในอากาศผลผลิตของขบวนการนี้จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน แอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟต์ ดังสมการที่ 2.2 จะได้ผลผลิตขั้นสุดท้าย (End Product) ดังนี้

$$\text{Organic Matter (CHONS)} \xrightarrow{\text{Anaerobic Bacteria}} CO_2 + H_2O + NO_3 + SO_4 \qquad (2.2)$$

ผลผลิตที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นแก๊สจะหายไป และส่งกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจายไปไกล กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าแบบย่อยสลายแบบใช้แอโรบิค โดยใช้เวลาประมาณ 2 เดือน 6 เดือน ถึง 1 ปี และถ้านำขยะมูลฝอยสดมาหมักแบบไม่ใช้แอนแอโรบิคจะให้สารที่เป็นอันตราย และการเปลี่ยนเป็นสารอาหารของพืชจะมีน้อย การหมักด้วยวิธีนี้จึงไม่มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ เป็นต้น

สภาวะของขยะมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการหมักขยะมูลฝอย

การหมักขยะมูลฝอยให้เกิดผลดีนั้นจะต้องใช้เวลาในการหมักน้อย แต่มีการสลายตัวของอินทรีย์สารเป็นปริมาณมากซึ่งมีปัจจัยต่างๆที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

- ชนิดของขยะมูลฝอยควรมีองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชนิดที่เน่าเปื่อยได้ง่าย ปนอยู่มาก โดยที่องค์ประกอบของวัสดุที่ไม่เหมาะสมกับการหมักปุ๋ย ไม่ควรเกินร้อยละ 50 ของขยะมูลฝอยทั้งหมดที่น้ำหนักแห้ง

- ความชื้นพอเหมาะ ความชื้นที่เหมาะต่อการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของอากาศต่อเนื้อขยะมูลฝอยน้อยลง การย่อยสลายจะเกิดช้า และอาจเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิค ถ้ามีความชื้นน้อยเกินไป จะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพราะว่าน้ำเป็นตัวทำลายที่ดี ถ้ามีความชื้นร้อยละ 30 หรือต่ำกว่านี้กระบวนการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นช้ามาก

- ขนาดขยะมูลฝอย ขยะมูลฝอยที่เก็บมามีขนาดต่างๆกัน เพื่อให้ขยะมูลฝอยได้สัมผัสกับอากาศมากที่สุด จะต้องมีการตัดหรือบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ เสียก่อน ขนาดที่เหมาะคือ 1.1-3.3 cm ถ้ามีขนาดเล็กเกินไปขยะมูลฝอยจะอัดกันแน่น สัดส่วนของอากาศต่อเนื้อขยะมูลฝอยจะลดลงทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ช้า

- อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี สภาพของภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูง การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุเป็นไปได้เร็ว และจะให้ความร้อนประมาณ 8 kcal/kg ของคาร์บอนที่ย่อยสลาย ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปกับอากาศ อุณหภูมิในการหมักแบ่งเป็น 2 ระยะ ระยะแรกอยู่ในช่วง 10-40 ^{o}C หรือ 45 ^{o}C เป็นช่วงการย่อยสลายของ เมโสฟิลลิค แบคทีเรีย (Mesophillic Bacteria) และระยะที่สองเป็นการย่อยของ เทอร์โมฟิลลิค แบคทีเรีย (Thermophillic Bacteria) อุณหภูมิระหว่าง 40 ^{o}C หรือ 45-70 ^{o}C

- อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะมูลฝอย (C:N Ratio) คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย ธาตุไนโตรเจนเป็นสิ่งจำเป็นโดยใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนถ้าขยะมูลฝอยมีธาตุไนโตรเจนน้อยเกินไปแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนได้น้อย ถ้าไนโตรเจนมีมากเกินไป ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียกระจายสู่บรรยากาศ ฉะนั้นอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นอัตราส่วนคาร์บอนกับไนโตรเจน ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 30-35:1

กระบวนการนำขยะมูลฝอยมาทำปุ๋ย

ในการนำขยะมูลฝอยมาทำปุ๋ยมีกรรมวิธีหรือกระบวนการ ตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ก. ขั้นเตรียมการหรือปรับสภาพของขยะมูลฝอย (Pretreatment Method or Conditioning) เพื่อให้ขยะมูลฝอยมีสภาพที่เหมาะสมต่อการหมัก โดยการบดขยะมูลฝอยแล้วทำการแยกวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ เช่น เศษแก้ว หรือโลหะ ซึ่งต้องใช้วิธีการที่แตกต่างกันออกไป ส่วนขยะมูลฝอยที่ถูกบดแล้วยังต้องแยกเอาวัสดุที่มีขนาดใหญ่หรือย่อยสลายยากออก แล้วนำไปกำจัดโดยการเผาหรือฝังกลบ ขยะมูลฝอยที่เหลือต้องปรับความชื้นให้อยู่ช่วงร้อยละ 50-60 หรือไม่เกินร้อยละ 70

ข. การหมักครั้งที่หนึ่ง (Primary Fermentation) เป็นการหมักชนิดที่มีการเร่งให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้นโดยให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเช่น กรุงเทพมหานครใช้ระบบ Multifloor โดยใช้กระทะหมักที่มีรู 5 ชั้น ชั้นบนสุดจะรับขยะมูลฝอยก่อนเมื่อครบ 1 วัน จะพลิกกลับกระทะให้ขยะมูลฝอยตกลงในกระทะที่อยู่ชั้นถัดมาจนครบ 5 ชั้น ขยะมูลฝอยส่วนใหญ่ที่ย่อยสลายตัวไปมากแล้วจะเหลือขยะมูลฝอยร้อยละ 52 ของขยะมูลฝอยที่เข้ามาทั้งหมด การย่อยสลายในชั้นนี้อุณหภูมิอาจสูงถึง 70 ^{o}C

ค. การหมักครั้งที่สอง (Secondary Fermentation) ในการหมักครั้งที่หนึ่ง สารอินทรีย์ย่อยสลายได้ยากไม่ถูกย่อยในการหมักครั้งนี้ จะถูกนำมากองรวมไว้กลางแจ้ง อินทรีย์วัตถุสลายตัวได้ยาก เช่น เซลลูโลส (Cellulose) จะค่อยๆ สลายเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงอาจใช้เวลา 2 เดือน 6 เดือน หรือ 1 ปี

ง. การร่อนและบรรจุขาย (Trammel and Packing) ขยะมูลฝอยที่ผ่านมาการหมักอย่างสมบูรณ์แล้วจะถูกนำมาร่อนเอาส่วนที่ไม่สลายออกเช่น พลาสติก แก้ว และอื่น ๆ โดยใช้เครื่องร่อน ขยะมูลฝอยที่ผ่านเครื่องร่อนจะมีขนาดต่ำกว่า 30 mm บรรจุขายปุ๋ยที่ได้จะเหลือประมาณร้อยละ 16 จากขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เข้าสู่โรงงาน

ข้อดีและข้อเสียของการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการหมักทำปุ๋ยแสดงดังตารางที่ 2.4

2.2.3 การเผา (Incinerator)

หลักการทำงาน

การกำจัดขยะมูลฝอยโดยการใช้เตาเผาเป็นวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพที่ดีมากวิธีหนึ่ง สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยลงได้ประมาณร้อยละ 70-90 อาศัยลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยซึ่งสามารถติดไฟได้ภายในเตาเผา โดยมีอากาศหรือเชื้อเพลิงเสริมภายใต้อุณหภูมิความดันที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับรูปแบบและขนาดของเตาเผาแต่ละประเภท ผลที่ได้จากปฏิกิริยาเผาไหม้จะเกิดก๊าซชนิดต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่น และขี้เถ้า อุณหภูมิเผาไหม้ขั้นสุดท้ายภายในเตา โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงระหว่าง 650-1200 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการเผา นอกเหนือจากเตาเผาแล้วยังมีส่วนอุปกรณ์เสริมภายในระบบเตาเผาอีกด้วยขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของเตาเผามีดังนี้

- ขบวนการกำจัดเถ้า (Residue Handling Process)
- ขบวนการทำให้ไอเสียเย็นลง (Flue Gas Cooling Process)
- ขบวนการกำจัดไอเสีย (Flue Gas Treatment Process)
- ขบวนการกำจัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment Process)
-ขบวนการใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาขยะมูลฝอยให้เป็นประโยชน์ (Waste Heat Utilization Process)

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการหมักทำปุ๋ย

ข้อดีการกำจัดขยะโดยการหมักทำปุ๋ย	ข้อเสียการกำจัดขยะโดยการหมักทำปุ๋ย
1. การคัดเลือกวัสดุที่มีค่ากลับมาใช้ทำได้อย่างเป็นระบบ เพราะใช้เครื่องจักรกลที่ทันสมัยทำให้ไม่เสียเวลา 2. สามารถนำสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ซึ่งปกติไม่มีประโยชน์กลับมาใช้เป็นปุ๋ยได้เกือบทั้งหมดทำให้เกิดคุณค่ามากขึ้น 3. สามารถเพิ่มปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ขาดแคลนภายในประเทศ	1. ขยะมูลฝอยอีกส่วนหนึ่งซึ่งมากพอควรยังต้องถูกนำไปกำจัดขั้นสุดท้ายด้วยวิธีฝังกลบ 2. มักประสบปัญหาการขาดทุนเพราะหาตลาดปุ๋ยอินทรีย์ได้ไม่เพียงพอและปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีราคาสูงกว่าปุ๋ยเคมี 3. ปุ๋ยอินทรีย์มีสัดส่วนของสารอาหารน้อย ดังนั้นจึงต้องลงทุนค่าขนส่งสูงมากเพื่อจะให้ได้คุณค่าสารอาหารที่เท่าเทียมปุ๋ยเคมี ดังนั้นเกษตรกรจึงไม่นิยมนำมาใช้ 4. ต้องการผู้ควบคุมระบบการทำปุ๋ยหมักที่ชำนาญมาก 5. ค่าดำเนินการสูงและเครื่องจักรสึกหรอได้ง่าย 6. ถ้าปุ๋ยอินทรีย์ขายไม่ออกจะเป็นปัญหาในการเก็บรักษาและการขนไปทิ้งอีกต่อหนึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายสูงมากและอาจหาที่นำปุ๋ยไปทิ้งไม่ได้

อุปกรณ์เสริมของระบบเตาเผา (Associated Facilities)

อุปกรณ์เสริมของระบบเตาเผาที่อาจติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาและช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้น แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้คือ

ก. การกำจัดเถ้า (Residue Handing) กากที่เกิดขึ้นจากการเผามี 2 ประเภทคือ เถ้าที่เหลือในเตากับเถ้าบิน (Fly Ash) ซึ่งลอยออกไปจากปล่องไอเสีย โดยทั่วไปเถ้าจะถูกพ่นด้วยน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้ปลิวกระจัดกระจาย และจะถูกรวบรวมไว้ในบ่อเก็บเถ้า (Ash Pit) เพื่อขนไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบสุขาภิบาลต่อไป สำหรับเถ้าบินจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์กำจัดฝุ่นเช่น ไซโคลน (Cyclone) ถุงกรองดักฝุ่น (Baghouse Filter) หรือแยกด้วยไฟฟ้า (Electrostatic Precipitator) และจะถูกรวบรวมนำไปเก็บไว้ที่บ่อเก็บเถ้าเพื่อรอนำไปกำจัดเช่นเดียวกัน

ข. การทำไอเสียเย็นลง (Flue Gas Cooling) ไอเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาเผาไหม้ในเตาเผาจะต้องทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิประมาณ 250-300 ^{o}C ก่อนผ่านไปยังระบบกำจัดไอเสีย อาจทำให้ไอเสียเย็นลงโดยพ่นน้ำไปที่ปล่องไอเสีย หรือติดตั้งหม้อต้มน้ำเพื่อลดอุณหภูมิโดยทางอ้อม

ค. การกำจัดไอเสีย (Flue Gas Treating) ไอเสียที่เกิดจากการเผาขยะมูลฝอยประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ได้แก่ ไฮโดรเจนคลอไรด์ ออกไซด์ของกำมะถัน และไนโตรเจน สามารถกำจัดโดยวิธีกำจัดไอเสียแบบเปียก (Wet Scrubber) เป็นต้น

ข้อดีและข้อเสียของการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการเผาแสดงดังตารางที่ 2.5 ในการพิจารณาคัดเลือกระบบกำจัดขยะโดยระบบใดระบบหนึ่งนั้น วิธีการกำจัดขยะจะดีที่สุดขึ้นอยู่กับการเปรียบเทียบที่สำคัญดังนี้

ก. ความเหมาะสมทางวิศวกรรม คือ ต้องกำจัดขยะมูลฝอยให้ได้มาตรฐานที่ยอมรับได้

ข. ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินซึ่งจะใช้วิธีคิดค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Least Cost Method) ในการเปรียบเทียบ

ค. ความเหมาะสมทางด้านสิ่งแวดล้อม คือ ไม่เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากจนถึงขั้นที่ยอมรับไม่ได้ หรือต้องมีมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมลงจนถึงขั้นที่ยอมรับได้

ง. ขนาดที่ดินที่ต้องการและความยากง่ายของการจัดหาที่ดินขนาดที่ต้องการในแต่ละเมือง

2.3 ชนิดของเตาเผาขยะ

เตาเผาขยะที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ ได้มีเตาเผาขยะหลายชนิดด้วยกัน การเลือกเตาเผาเพื่อการใช้งานต้องเหมาะสมกับสภาพขยะในแต่ละพื้นที่ และวัตถุประสงค์การใช้งานในแต่ละชุมชนนั้น เตาเผาขยะสามารถแบ่งตามประเภทดังต่อไป

2.3.1 เตาเผาขยะแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

เตาเผาขยะแบบนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบเตาเผาที่มีความยืดหยุ่นและความสะดวกในการทำงานมากระบบหนึ่ง เนื่องจากมันเผาไหม้ขยะได้เกือบทุกประเภทและทุกสถานะ (แก๊ส ของแข็ง ของเหลว) ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เตาเผาระบบนี้ในการกำจัดขยะอุตสาหกรรม

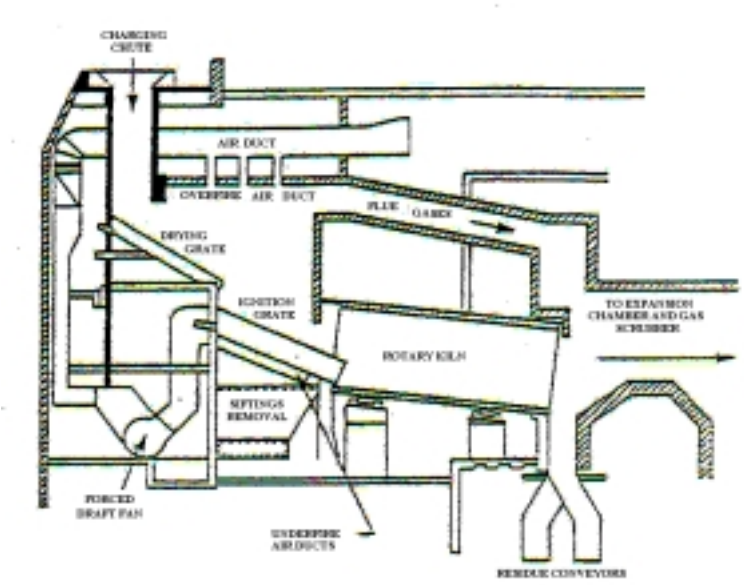
หลักการทำงาน

ระบบเตาเผาขยะได้แสดงดังภาพที่ 2.1 ระบบถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของเตาหมุนและส่วนของห้องเผาไหม้ ส่วนแรกประกอบด้วยเตาหมุน ซึ่งมีลักษณะทรงกระบอกภายในหล่อปูนซีเมนต์ทนความร้อนพร้อมชนวนผิวภายนอกทำด้วยเหล็กกล้าเตาสามารถหมุนรอบแกนด้วย

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการเผา

ข้อดีของการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการเผา	ข้อเสียของการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการเผา
1. เป็นวิธีที่ลดปริมาณขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ลงได้เกือบทั้งหมดจึงลดความต้องการที่ดินได้มากในระยะยาว ดังนั้นจึงมีปัญหาการจัดหาที่ดินน้อยกว่าวิธีฝังกลบมาก	1. ค่าลงทุนและค่าดำเนินการสูงกว่าระบบอื่นมาก (ถ้าไม่คิดค่าที่ดิน)
2. การคัดเลือกวัสดุที่มีคุณค่ากลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเป็นระบบด้วยเครื่องจักรกล	2. การควบคุมต้องทำโดยผู้มีความชำนาญ
3. ที่ตั้งเตาเผาและบริเวณฝังกลบขยะมูลฝอยไม่จำเป็นต้องอยู่ห่างเมืองมากนัก ทำให้ทุ่นค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะมูลฝอยได้มาก	3. ต้องควบคุมมลพิษอากาศทำให้ค่าดำเนินการสูงขึ้น
4. ถ้าหากสามารถควบคุมมลพิษทางอากาศได้ก็จะลดปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมลงได้มาก เช่น กลิ่น แมลงวัน และปัญหาน้ำเสียเป็นต้น	4. อาจไม่เหมาะสมกับขยะมูลฝอยเปียก หรือค่าความชื้นสูงอย่างขยะมูลฝอยในบ้านเรา
5. ถ้าข้อมูลขยะมูลฝอยปริมาณมากเพียงพอก็อาจแปลงเตาเผาไปเป็นโรงผลิตพลังงาน เช่น โรงทำน้ำร้อน หรือโรงผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก	5. ขยะมูลฝอยส่วนหนึ่งที่เผาไม่ได้กับกากขยะมูลฝอยหลังการเผาแล้วยังต้องนำไปกำจัดขั้นสุดท้ายด้วยระบบฝังกลบ ดังนั้นจึงยังต้องการที่ดินสำหรับวิธีนี้ด้วย

มอเตอร์ไฟฟ้า (ระบบขนาดใหญ่อาจใช้มอเตอร์ไฮโดรลิก) ความเร็วรอบหมุนสามารถปรับได้ เตาจะเอียงทำมุมกับแนวระดับเล็กน้อย (ประมาณ 3 องศา) ส่วนท้ายของเตาจะมีถังดักขี้เถ้า ซึ่งทำการลำเลียงขี้เถ้าภายหลังจากการเผาไหม้ออกจากระบบ ขยะที่จะทำการเผาจะถูกลำเลียงเข้าทางปากเตา ระบบป้อนขยะอาจเป็นแบบใช้สกรูขับดันหรือลูกสูบผลักก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของขยะที่เผา นอกจากนี้อาจออกแบบระบบป้อนขยะประเภทตะกอนหรือขยะเหลวเพิ่มอีกได้ กระบวนการเผาไหม้ภายในเตาเผาแบบหมุนจะเป็นแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือการเผาไหม้ที่ปราศจากออกซิเจน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอาจมีการเติมอากาศเข้าไปเพื่อช่วยให้เผาไหม้เกิดง่ายขึ้นและเป็นการประหยัดเชื้อเพลิง กระบวนการพวกนี้อาจทำให้ขยะเปลี่ยนเป็นรูปแก๊ส (Gasification) โดยทำให้เกิดการระเหิด ลอยขึ้นมาจากขยะแข็งที่เหลืออยู่ ดังนั้นการเผาไหม้ภายในเตาหมุนจะเป็นการเผาไหม้ในรูปของแข็งเท่านั้น (Solidphase Combustion) และถ้าทำให้เตาเผาแบบนี้สามารถเผาขยะได้ทั้งสถานะ ของแข็ง ของเหลว แก๊ส ในเวลาเดียวกันอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะประมาณ 700 °C



ภาพที่ 2.1 ระบบเตาเผาขยะแบบหมุน

หมายเหตุ จาก เตาเผาขยะมูลฝอย. โดย สมรัฐ, 2538, สถานับเทคโนโลยีพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

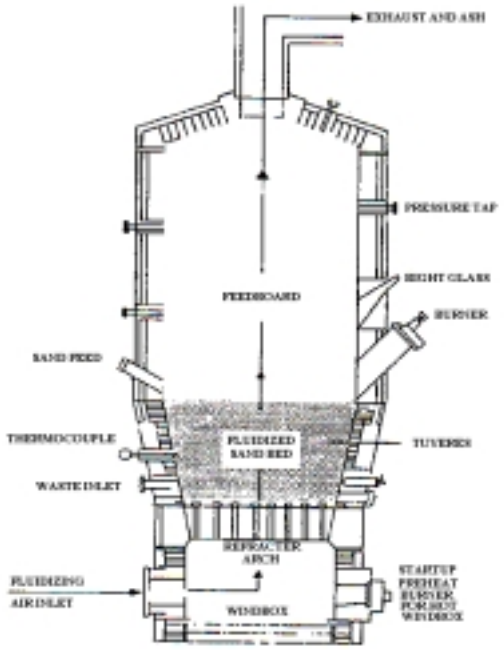
ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดไพโรไลซิส และเพื่อที่จะทำให้การควบคุมอุณหภูมิเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เตาเผาขยะแบบนี้ยังจะมีหัวเผาเป็นแหล่งความร้อนเสริมด้วย ขยะแข็งที่เผาไหม้เรียบร้อยแล้วขี้เถ้าจะเคลื่อนตัวลงมายังถังดักขี้เถ้าด้วยการหมุนและมุมเอียงของเตา

2.3.2 เตาเผาขยะแบบฟลูอิดไดเบด (Fluidized-bed)

เตาเผาขยะแบบนี้มีลักษณะทรงกระบอกภายใน ก่ออิฐทนไฟดังภาพที่ 2.2 ที่ด้านล่างของเตามีลักษณะเป็นตะกรับบรรจุทรายไว้ด้านล่าง อากาศจะถูกอุ่นให้ร้อนและฉีดผ่านตะกรับเข้าไปในเตาที่อุณหภูมิของอากาศประมาณ 300 °C จะทำให้เกิดการไหล ขึ้นในเตา น้ำแยกตัวออกจากขยะและการเผาไหม้เริ่มเกิดทันที

หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเตาเผาแบบฟลูอิดไดเบดนั้นแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนคืออากาศส่วนแรก (Primary Air) จะป้อนเข้าทางด้านล่างของเตาและไหลผ่านพื้นผิวของขยะมูลฝอยแทรกลอยตัว



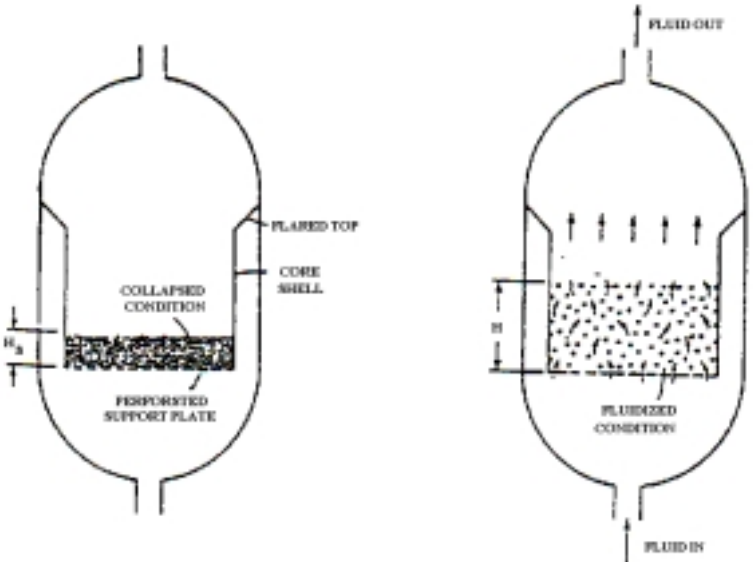
ภาพที่ 2.2 Fluidized-bed Incinerator

หมายเหตุ จาก เตาเผาขยะมูลฝอย. โดย สมรัฐ, 2538, สถานับเทคโนโลยีพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

สู่ขยะมูลฝอยชั้นบนเมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้น อากาศส่วนนี้จะทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับขยะมูลฝอย (เชื้อเพลิง) และความร้อนและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ซึ่งได้แก่แก๊สต่าง ๆ ออกมาดังภาพที่ 2.3 (ก) อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) ซึ่งป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ทางด้านบนจะเป็นตัวช่วยให้แก๊สต่าง ๆ ซึ่งยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้อีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะออกจากห้องเผาไหม้ไป หากเพิ่มความเร็วของอากาศส่วนแรกให้สูงขึ้นจนทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการแยกตัวออกจากกันและลอยขึ้นเหนือตะกรับ จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า Fluidization ดังภาพที่ 2-3 (ข) นั่นคือขยะมูลฝอยจะประพฤติตัวคล้ายของไหล และจะสังเกตเห็นว่าพื้นผิวของขยะมูลฝอย
ที่เกิด Fluidization จะสัมผัสกับอากาศโดยทั่วไป

2.3.3 เตาเผาขยะแบบตะกรับ (Stoker Incinerator)

เป็นเตาเผามีโครงสร้างตามแนวนอนที่อาจก่อด้วยอิฐ เตาเผาประกอบด้วยแผงตะกรับ (Stoker) และแผ่นรองอิสระ (Free Board) แผงตะกรับแบ่งเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ทำให้ขยะแห้ง



(ก) อนุภาคในลักษณะ Static Bed (ข) อนุภาคในลักษณะ Fluidization

ภาพที่ 2.3 การเกิด Fluidization ในการเผา

หมายเหตุ จาก เตาเผาขยะมูลฝอย. โดย สมรัฐ, 2538, สถานับเทคโนโลยีพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

(Dry Section) ตอนที่ขยะกำลังเผาไหม้ (Combustion Section) และตอนหลังจากการเผาไหม้ (Post Combustion) แผงตะกรับจะทำด้วยวัสดุทนความร้อน และมีกลไกให้ขยะพลิกกลับแล้วผสมไปพร้อมกับการเคลื่อนไหวของแผงตะกรับความร้อนที่ใช้สำหรับเผาไหม้ถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของแผงตะกรับและอากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) จะถูกป้อนเข้าไปยังแผ่นรองอิสระ

หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเตาเผาแบบ Stoker ที่สำคัญจะต้องมีส่วนประกอบสำคัญหลักสองส่วนหลักคือห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) และตะแกรงเผา (Furnace Grate) ส่วนแรกคือห้องเผาไหม้ต้องออกแบบให้การเผาไหม้เกิดขึ้นที่แผงตะกรับ จะมีการแบ่งห้องเผาไหม้ตามลักษณะของตะกรับออกเป็น 3 แบบคือ Counter-Flow, Uni-Flow และ Cross-Flow ทั้งนี้แบบ Counter-Flow จะ

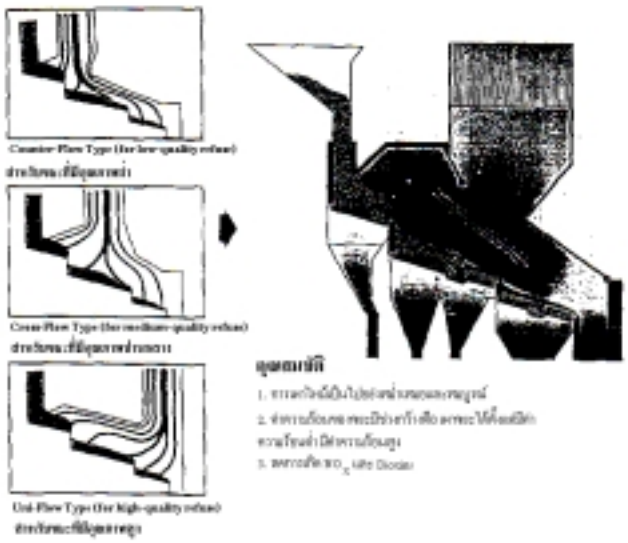
เหมาะกับขยะที่มีความชื้นสูงต้องมีการทำให้แห้งก่อน แต่ถ้าไม่ต้องทำให้ขยะแห้งก่อน แบบ Uni-Flow จะเหมาะสมที่สุด ส่วนชนิด Cross-Flow นั้นเป็นการผสมผสานระหว่าง Counter-Flow กับ Uni-Flow ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ตะกรับทั้งสามแบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ขยะถูกทิ้งลงมาบนตะกรับส่วนแรก ซึ่งทำหน้าที่ทำให้ขยะแห้ง เป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากขยะส่วนที่กำลังเผาไหม้ตะกรับส่วนกลางจะเป็นบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ขึ้น ในขณะที่ขยะส่วนที่เผาไหม้แล้วจะถูกดันไปสู่ตะกรับส่วนปลายเพื่อลำเลียงขี้เถ้าออกจากระบบ ซึ่งการเคลื่อนตัวของขยะเกิดจากน้ำหนักของตัวขยะเอง ส่วนประกอบหลักส่วนที่สอง คือตะแกรงเผาเป็นตะแกรงของเตาเผาประกอบด้วยคานตะแกรง (Grate Beams) ซึ่งช่องตะแกรง (Grate Block) จะถูกติดตั้งและตรึงไว้ คานจะสลับกันระหว่างการเคลื่อนที่ไม่ได้ และการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งทำให้เกิดการกระเพื่อมของขยะเพื่อผ่านเข้าในเตาเผา ช่องตะแกรงทำจากวัสดุทนไฟ ในแต่ละช่องตะแกรงจะมีการใส่คานอากาศสำหรับการเผาไหม้จะเข้าเตาเผาทางด้านใต้ของตะแกรง การไหลของอากาศนี้จะสามารถปรับให้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ต่อไป ซึ่งลักษณะของช่องตะแกรง และคานตะแกรงแสดงดังภาพที่ 2.5

2.3.4 เตาเผาขยะแบบไพโรไลซีส (Pyrolysis Incinerator)

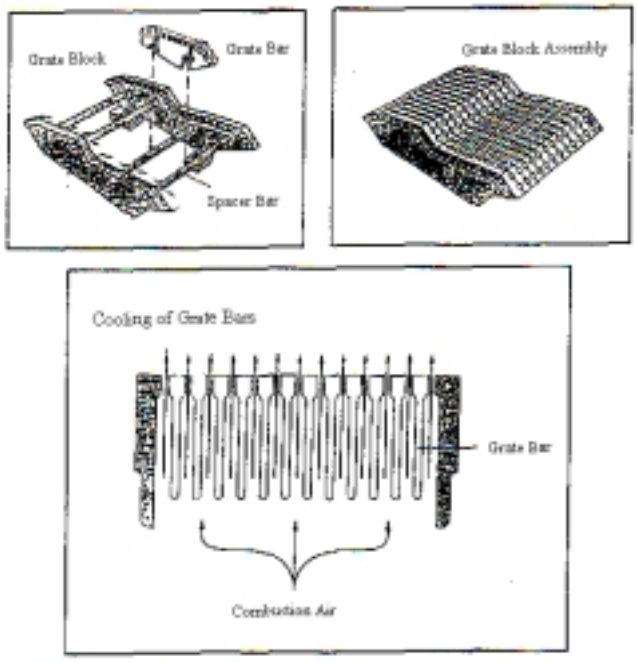
เตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis Incinerator) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการเผาไหม้ (Combustion) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ซึ่งใช้ปริมาณอากาศต่ำกว่าปริมาณที่ต้องการทางทฤษฎี ทำให้จำเป็นต้องมีแหล่งให้ความร้อนแก่กระบวนการ (กระบวนการดูดความร้อน หรือ Endothermic) จากหลักการที่ใช้อากาศในการเผาไหม้ในปริมาณน้อยกว่าเตาขยะแบบอื่นและยังมีความสะดวกในการที่จะนำมาใช้ในชุมชนเพราะง่ายต่อการควบคุม

ลักษณะทั่วไปและการทำงานของเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส

เตาเผาขยะแบบไพโรไลซิสใช้ปริมาณอากาศที่ต่ำกว่าความต้องการทางทฤษฎีมาก จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนให้เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ซึ่งแตกต่างจากเตาขยะแบบอื่นตรงที่ขยะแบบใช้อากาศแบบอื่นจะให้ความร้อนออกมาเป็นปฏิกิริยา ปฏิกิริยาไพโรไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนกับสารตั้งต้น (Substrate) โดยไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงสภาพอื่นใดจึงทำให้เตาเผาขยะมูลฝอยแบบไพโรไลซิสมีความประหยัดกว่าแบบอื่น ซึ่งในทางปฏิบัติจริงแล้วเตาเผาขยะมูลฝอยแบบไพโรไลซิส จะต้องมีการเติมอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้บ้างเพื่อช่วยให้เกิดความร้อนกับกระบวนการ แต่อากาศส่วนที่เติมเข้าไปนั้นมีปริมาณน้อยมากจึงทำให้เกิดแก๊สพิษในปริมาณที่น้อยตามออกมาด้วย ซึ่งโดยทั่วแล้วเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิสจะมีลักษณะในการเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แสดงดังภาพที่ 2.6 จะเห็นเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส มีห้องเผาไหม้ด้วยกัน

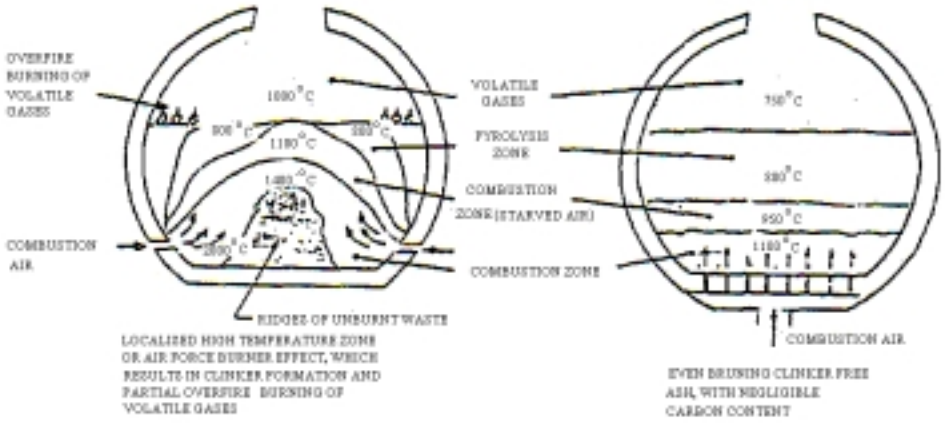


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างหลักของเตาเผาขยะแบบตะกรับ (Stoker Incinerator)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของช่องตะแกรง และคานตะแกรง

หมายเหตุ จาก เตาเผาขยะมูลฝอย. โดย สมรัฐ, 2538, สถานับเทคโนโลยีพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.



(ก) ห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง (ข) ห้องเผาไหม้ที่สอง

ภาพที่ 2.6 หลักการทำงานในห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง และที่สอง ของเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส

หมายเหตุ จาก เตาเผาขยะมูลฝอย. โดย สมรัฐ, 2538, สถานับเทคโนโลยีพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

ห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง (Combustion Chamber)

เป็นห้องที่ขยะถูกส่งเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ โดยมีหัวเผา (Burner) จุดเพื่อไล่ความชื้นและเร่งอุณหภูมิจนถึงจุดที่ตั้งไว้ (ปริมาณ 600-700 ^{o}C) ภายในห้องอากาศและความดันในห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง จะถูกควบคุมโดยให้มีความดันต่ำและปริมาณอากาศที่ถูกส่งเข้ามีเพียงประมาณ 1 ใน 3 ของความต้องการอากาศจริงเพื่อนำไปทำปฏิกิริยากับขยะในห้องเผาไหม้ ดั้งนั้น จึงทำให้ปฏิกิริยาในห้องไหม้นี้เกิดอย่างไม่สมบูรณ์ซึ่งเรียกว่า Pyrolytic Reaction และบางครั้งเรียกห้องเผาไหม้นี้ว่าห้องเผาไหม้ไพโรไลซิส (Pyrolysis Chamber) ด้วย ผลของปฏิกิริยาในห้องนี้เกิดจากแตกความร้อน (Thermal Cracking) และปฏิกิริยากลั่นตัวเป็นของเหลว (Condensation Reaction) ของตัวขยะ ซึ่งมีผลทั้งในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ผลิตผลการเผาไหม้ (Combustion Product) ที่ได้ออกมาส่วนใหญ่จะเป็น H_2, CO, CO_2, CH_4, Tar แก๊สที่มีคาร์บอนเพียงอย่างเดียว (Pure Carbon) และอื่นๆ อีก ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของขยะนั้น ๆ

ห้องเผาไหม้ที่สอง (Thermal Chamber)

ผลผลิตจากการเผาไหม้ ที่เป็นแก๊สจากห้องที่หนึ่งจะลอยไปสู่ห้องที่สอง และถูกจุดให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้นี้ สำหรับขยะที่เป็นสารอินทรีย์โดยทั่วไปจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (End Product) เป็น CO_2 และ H_2O กระบวนการการเผาไหม้ในห้องนี้เกิดขึ้นเมื่ออากาศจากห้องที่หนึ่งผ่านเข้าไปในห้องที่สอง และทำการเป่าอากาศเกินพอ (Excess Air) ที่จะทำปฏิกิริยาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นจุดให้เกิดการลุกไหม้ สภาพของแก๊สไหลในช่วงนี้จะปั่นป่วนมากเพื่อให้เกิดผสม (Mixing) ที่สมบูรณ์และทั่วถึง อุณหภูมิของห้องนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 1,000-1,200 ^{o}C การกำจัดขยะมูลฝอยกำลังเป็นปัญหาที่ต้องการรีบแก้ไขจัดการในชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม วิธีการกำจัดขยะที่ได้ผลและมีประสิทธิภาพวิธีการหนึ่งคือ การเผา แต่การพิจารณาเลือกเตาที่มีการทำงานและขนาดเหมาะสมก็ยังเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ลำบาก ในการตัดสินใจเลือกเตาเผาขยะที่มีความเหมาะสม

2.4 การนำความร้อนและของเหลือจากการเผาขยะมาใช้ประโยชน์ (Energy Recovery)

ในประเทศอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ การเผาขยะถูกมองว่าเป็นทางออกที่ได้ผลดีที่สุดในการกำจัดขยะจำนวนมหาศาลที่เกิดจากการบริโภคต่าง ๆ ของมนุษย์ แท้ที่จริงแล้วการเผาขยะจากบ้านเรือนหรือโรงพยาบาลจำนวน 1 ton จะเหลือกากที่เป็นของแข็งประมาณ 200-300 kg และเถ้าถ่านอีกประมาณ 30-50 kg ซึ่งถ้าจะทำให้การกำจัดขยะโดยวิธีการเผานี้ เป็นวิธีที่สมบูรณ์และคุ้มทุนที่สุดแล้วควรที่จะมีการนำกากของเสียที่เป็นของแข็งกลับมาใช้ประโยชน์ และในการเผาขยะเป็นขบวนการที่ให้ความร้อนออกมาสูงมากซึ่งถ้านำความร้อนจากการเผาขยะกลับมาใช้จะทำให้ผู้ประกอบการได้กำไรกลับมาแทนที่จะต้องเสียเงินกำจัดการนำพลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะมาใช้ต้องทำการต่อท่อเข้าหาหม้อต้ม (Boiler) เพื่อนำแก๊สผ่านท่อในหม้อน้ำและเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำน้ำร้อนหรือน้ำมันร้อนต่อไป เมื่อต้องการนำความร้อนมาใช้ประโยชน์ต้องทำการติดตั้งพัดลมดูดโดยตรงกับหม้อต้ม เพื่อดูดแก๊สร้อนผ่านท่อและสามารถปรับปริมาณการดูดได้ โดยการปรับตามอุณหภูมิหรือความดันภายในหม้อต้ม จากนั้นแก๊สจะถูกปล่อยออกทางปล่องไฟ หากไม่ต้องการพลังงาน ก็สามารถทำได้โดยการปิดพัดลมและปล่อยความร้อนออกไปทางปล่องควันการที่ติดตั้งระบบการนำความร้อนกลับมาใช้กับหม้อต้ม (Heat Recovery Boiler) นี้ต้องทำการศึกษาข้อมูลฐานเกี่ยวกับขยะก่อน และต้องทำหลายครั้งในหลายช่วงเวลาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของขยะว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรในแต่ละช่วงเวลาซึ่งทำให้ค่าความร้อนที่ได้ออกมาแตกต่างกันไปด้วย การที่ค่าความร้อนเปลี่ยนไปทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้น้ำมันในการจุดเผาขยะเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการและให้ค่าความร้อนออกมาอย่างคงที่ ซึ่งจะก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกเช่น ความชื้นของขยะ

ความคุ้มที่จะลงทุน เป็นต้น

2.5 หลักการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วของออกซิเจนกับส่วนประกอบที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง สารเผาไหม้ได้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ 3 อย่าง ได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ทั้งนี้ซัลเฟอร์จะมีความสำคัญน้อยในการเป็นแหล่งความร้อน แต่มีความนัยสำคัญในกรณีที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน และปัญหามลพิษส่วนคาร์บอนและไฮโดรเจนเมื่อถูกเผาไหม้โดยสมบูรณ์กับออกซิเจน สามารถแสดงได้ตามสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$C + O_2 = CO_2 + 32{,}797 \text{ kJ/kg ของ คาร์บอน} \quad (2.3)$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2 + 142{,}119 \text{ kJ/kg ของ ไฮโดรเจน} \quad (2.4)$$

ปฏิกิริยาของการเผาไหม้จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic) และจะปล่อยความร้อนออกมาประมาณ 32,797 kJ/kg ของคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้และ 142,119 kJ/kg ของไฮโดรเจนถูกเผาไหม้ ในการเผาไหม้ที่ดีจะต้องปล่อยความร้อนออกมาทั้งหมด ขณะที่เกิดการสูญเสียจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และการใช้อากาศส่วนเกินน้อยที่สุด การรวมกันของส่วนประกอบที่เผาไหม้ได้และองค์ประกอบของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนต้องการ อุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะทำให้องค์ประกอบต่างๆ ติดไฟ (Ignite) การผสมกันหรือการปั่นป่วน (Mixing or Turbulence) และเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

การคำนวณการเผาไหม้ในรูปของส่วนผสมแก๊ส (Gaseous Mixture) สามารถแสดงโดยโมล เพราะปริมาตรที่เท่ากันของแก๊สที่ความดัน และอุณหภูมิหนึ่งจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากันตามกฎของอะโวกราโด (Avogradro's law) และน้ำหนักของแก๊สที่ปริมาตรเท่ากันเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักโมเลกุลของแก๊สนั้น

2.5.1 ความร้อนจากการเผาไหม้

ความร้อนจากการเผาไหม้จะเกี่ยวข้องกับน้ำหนักและปริมาตรของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนหรืออากาศในกระบวนการเผาไหม้ภายในเตาเผา พลังงานความร้อนเกิดจากสารที่เผาไหม้ได้แต่ละตัวกับออกซิเจน ซึ่งการเผาไหม้ต้องดำเนินไปจนกระทั่งให้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย 1 kg ของคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดความร้อนประมาณ 32,564 kJ พลังงานนี้เป็นการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนเดียวเพื่อสร้าง CO_2 แต่ถ้าภายใต้เงื่อนไขอื่น พลังงานจะแยกออกเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะให้ความร้อนประมาณ 9,211 kJ ของคาร์บอน และในขั้น

ที่สองของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะรับพลังงานเพื่อรวมกันเป็น CO_2 และปล่อยพลังงานออกมา 23,586 kJ/g ของคาร์บอน ถึง 33,366.5 kJ/g ของคาร์บอน อย่างไรก็ตามผลรวมของความร้อนที่ถูกปล่อยทั้งสองขั้นตอนเท่ากับ 32,797 kJ/g ของคาร์บอน เมื่อคาร์บอนถูกเผาไหม้เพื่อให้เกิด CO_2 เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการเผาไหม้วิธีการเผาไหม้จะต้องเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและเกิดเป็น CO_2 ไม่ควรเกิดเป็น CO แต่ถ้าคาร์บอนรวมตัวกันเป็น CO แทนที่จะเป็น CO_2 พบว่ามีการสูญเสียความร้อนที่ปล่อยออกมาประมาณร้อยละ 28 ของความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (Available Heat) ของคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากเชื้อเพลิง

2.5.2 การวัดความร้อนจากการเผาไหม้

หน่วยความร้อนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีหน่วยเป็น kJ หรือ kcal ค่าความร้อนของการเผาไหม้สามารถหาได้โดยใช้คาลอรี่มิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ในคาลอรี่มิเตอร์จะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิเริ่มต้นและความร้อนที่ถูกดูดโดยตัวกลางที่เย็น ซึ่งจะเป็นตัวที่วัดค่าเพื่อหาค่าความร้อนสูงหรือความร้อนทั้งหมดของการเผาไหม้ (Higher or Gross Heat of Combustion)

สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว ใช้คาลอรี่มิเตอร์แบบบอมบ์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งสารที่เผาไหม้ได้จะถูกเผาในปริมาตรที่คงที่ของออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับ และวัดค่าสำหรับเชื้อเพลิง คาลอรี่มิเตอร์ ใช้ชนิดต่อเนื่อง หรือชนิดการไหลที่คงที่

2.5.3 อุณหภูมิของจุดติดไฟ

อุณหภูมิของจุดติดไฟ หมายถึง อุณหภูมิซึ่งความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากกว่าความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้กลายเป็นกระบวนการดำเนินการได้เอง (Self - Sustaining) อุณหภูมิติดไฟและสารที่เผาไหม้ได้จะแปรตามชนิดของสารนั้น แสดงดังตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและช่วงของอุณหภูมิในอากาศสำหรับเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของสารเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิง มีตัวแปรหลายอย่างที่มีผลต่ออุณหภูมิการติดไฟ เช่น ความดัน, ความเร็ว, ระบบที่ล้อมรอบ (Enclose Configuration) วัสดุที่เป็นตัวเร่ง (Catalytic Materials) การผสมกันของอากาศ, เชื้อเพลิง, และจุดที่ติดไฟมีตัวแปรอย่างอุณหภูมิติดไฟ (Ignition Temperature) จะลดลงกับการเพิ่มขึ้นของความดันและเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงในอากาศ

ธาตุและสารประกอบที่เผาไหม้ได้ (Combustible)	สูตรทางเคมี	อุณหภูมิ (^{o}C)
Sulfur	S	243
Charcoal	C	343
Fix Carbon (Semibituminous coal)	C	407
Fix carbon (anthracite)	C	449-602
Acetylene	C_2H_2	304-440
Ethane	C_2H_6	471-629
Ethylene	C_2H_4	482-549
Hydrogen	H_2	574-590
Methane	CH_4	632-749
Carbon Monoxide	CO	254-293
Kerosene	-	254-293
Gasoline	-	260-427

หมายเหตุ จาก Steam. (p. 50) โดย Babcock and Wilcox, 1978, New York:Bobcock and Wilcock.

2.5.4 อุณหภูมิเปลวแอเดียบาติก

อุณหภูมิเปลวแอเดียบาติกเป็นอุณหภูมิสูงสุดตามทฤษฎีที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศและได้ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ โดยสมมติฐานที่ว่าไม่มีความร้อนถ่ายเทไปสู่สิ่งแวดล้อมรอบจนกระทั่งการเผาไหม้เกิดขึ้นสมบูรณ์ความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหลักในอุณหภูมิเปลว แต่ถ้าการเพิ่มของอุณหภูมิของอากาศหรือ ของเชื้อเพลิงก็จะมีต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเปลว (Flame Temperature)

อุณหภูมิแอเดียบาติก จะมีค่าสูงสุดเมื่ออากาศส่วนเกินเป็นศูนย์ หรืออากาศทำปฏิกิริยาพอดีกับเชื้อเพลิง เนื่องจากอากาศส่วนเกินไม่มีผลต่อกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แต่เป็นการช่วยให้เชื้อเพลิงสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น นอกจากนี้อากาศส่วนเกินยังเป็นตัวลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ อุณหภูมิแอเดียบาติก (Adiabatic Temperature) ไม่ใช่ว่าจะมีอุณหภูมิสูงสุดเสมอไป อุณหภูมิเปลวจริงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิแอเดียบาติก ด้วยเหตุผล 2 ประการ ได้แก่

ก. การเผาไหม้ไม่เกิดขึ้นทันใด แต่มีช่วงเวลาที่เกิดขึ้นและจะมีความสูญเสียไปยังสิ่งแวดล้อมถ้าช่วงเวลาของการเผาไหม้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นกว่าความร้อนสูญเสียจะน้อยลงก่อนที่การเผาไหม้จะเสร็จสมบูรณ์แต่ถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ช้าหรือนานกว่าแก๊สจะถูกทำให้เย็นลงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และจะมีเชื้อเพลิงบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้

ข. ที่อุณหภูมิมากกว่า 149 ^{o}C มีบางส่วนของแก๊ส CO_2 และ H_2O ในไอเสียจะแยกตัวออกและดูดซับความร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ไว้ที่อุณหภูมิ 149 ^{o}C ประมาณร้อยละ 10 ของ CO_2 ในไอเสียประกอบด้วย CO และ O_2 ซึ่งจะดูดความร้อน ของ CO ที่รวมตัว และประมาณร้อยละ 3 ของ H_2O จะแตกตัวเป็น CO และ H_2 ที่แตกตัว จะกลับมารวมกับ O_2 อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะได้กระบวนการดูดความร้อน ดังนั้นความร้อนจะไม่สูญเสีย อย่างไรก็ตามผลจากกระบวนการนี้ทำให้อุณหภูมิของเปลว ต่ำกว่าค่าสูงสุด

2.5.5 การคำนวณการเผาไหม้

การคำนวณการเผาไหม้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการออกแบบทั้งหมดและเป็นการประเมินสมรรถนะทั้งหมดของหม้อไอน้ำและองค์ประกอบส่วนอื่น ๆ ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ก. ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลง

ข. ปริมาณของความร้อนที่ปล่อยออกมา

ค. ประสิทธิภาพของกระบวนการเผาไหม้ทั้งเงื่อนไขในอุดมคติและความจริง

2.5.6 การสูญเสีย

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นความร้อนทั้งหมดมีบางส่วนที่ถูกดูดซับโดยส่วนของเตาเผา หรือบางส่วนของเชื้อเพลิงก็ไม่ถูกเผาไหม้ทำให้เกิดคาร์บอนคงเหลืออยู่ในรูปของเถ้า หรือคาร์บอนถูกเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ทำให้เกิด CO แทนที่จะเป็น CO_2 ปกติ H_2 ในเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ทั้งหมด ความร้อนที่สูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นการสูญเสียที่ปล่อง เพราะความร้อนในเชื้อเพลิงจะหาจากที่อุณหภูมิบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของการเผาไม้ถูกทำให้เย็นลงจนเท่ากัน ถ้าหากความร้อนทั้งหมดถูกนำไปใช้ประโยชน์อุณหภูมิที่สูงกว่า ในทางปฏิบัติมีความต้องการอากาศมากว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎีเพื่อเป็นการประกันว่าปริมาณออกซิเจนจะเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อากาศส่วนเกินจะไม่มีความจำเป็นถ้าหากการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ แต่มีความจำเป็น ในการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้น้อยที่สุดเพื่อลดการสูญเสียในปล่อง อากาศส่วนเกินไม่ได้ถูกใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาที่อุณหภูมิปล่อง ความต้องการความร้อนเพื่อที่จะทำให้อากาศร้อนขึ้นจากอุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิปล่อง

นอกจากนี้ยังมีความร้อนสูญเสีย ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ และยังมีความร้อนที่สูญเสียอีกหลายอย่างที่สามารถควบคุมได้ในบางอย่าง เป็นผลเนื่องมาจาก

ก. การกระจายของผลิตภัณฑ์ของการเผาไม้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ

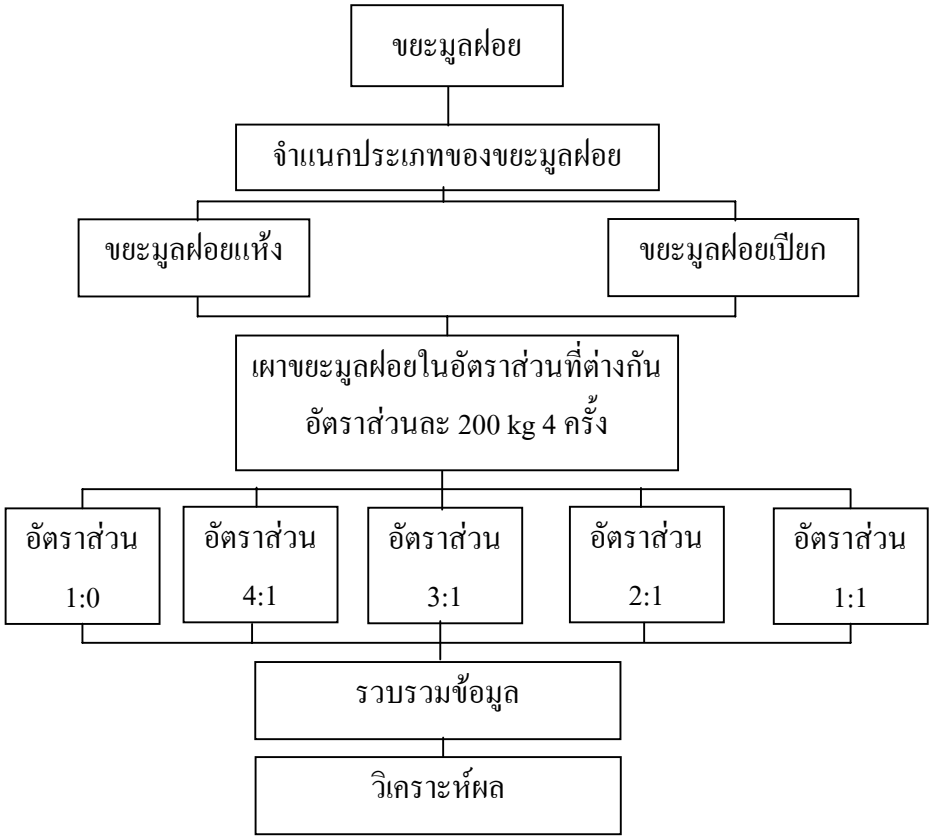
ข. ความชื้นในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงรวมกับผลรวมของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อนสามารถทำได้โดยการออกแบบที่ดีและการควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการสูญเสียความร้อนให้น้อยที่สุดโดยการ

- การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน
- การปล่อยให้มีของแข็งที่ไม่สามารถเผาได้ปนมาในเถ้าหรือกากของของเสียจากการเผาไหม้
- การปล่อยให้แก๊สที่ไม่ถูกเผาไหม้ได้ปล่อยออกไปกับแก๊สเสีย
- การใช้ฉนวนหุ้มอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีวิจัย

การเผาขยะมูลฝอยจากชุมชนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์และขอบเขตโดยมีขั้นตอนการทดลองเผาขยะมูลฝอยแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองเผาขยะมูลฝอย

รายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

3.1.1 การจำแนกประเภทและปริมาณของขยะมูลฝอย

การจำแนกประเภทและปริมาณของขยะมูลฝอยมีขั้นตอนดังนี้

ก. รวบรวมขยะมูลฝอยจากทุกแหล่งกำเนิดในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน นำมาเทกองที่ลานคัดแยกขยะมูลฝอยของเตาเผา

ข. ทำการคัดแยกขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ออกไป ได้แก่ เศษเหล็ก, ถ่านไฟฉาย,หลอดไฟ, ขวด, แก้ว, กระป๋อง, กระเบื้อง, หิน, ฯลฯ ในการเก็บขยะมูลฝอยจะแบ่งเก็บเป็นขยะมูลฝอยแห้งและขยะมูลฝอยเปียก โดยใส่ถุงพลาสติกดำเก็บขยะมูลฝอย โดยผสมขยะมูลฝอยตามอัตราส่วนต่างๆ

3.1.2 การผสมขยะมูลฝอยเพื่อที่จะหาอัตราการเผา

การผสมขยะมูลฝอยเพื่อหาอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสม มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. แยกขยะมูลฝอยออกเป็น 2 ประเภท คือ ขยะมูลฝอยแห้ง และขยะมูลฝอยเปียก ในที่นี้ขยะมูลฝอยเปียกจะมีความชื้นร้อยละ 40 ขึ้นไป และขยะมูลฝอยแห้งจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40

ข. เก็บขยะมูลฝอยเป็นชุด ชุดละ 200 kg ในแต่ละชุดมีอัตราส่วนดังต่อไปนี้ ขยะมูลฝอยแห้งต่อขยะมูลฝอยเปียก 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 ในแต่ละอัตราส่วนจะเตรียมไว้เผา 4 ชุดเพื่อที่จะทราบถึงค่าเฉลี่ย

3.1.3 การเผาขยะมูลฝอย

การเผาขยะมูลฝอยชุมชนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. เผาขยะมูลฝอยตามอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาน้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่เหมาะสม

ข. เผาขยะมูลฝอยตามอัตราส่วนต่างๆที่เตรียมไว้ เพื่อวัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ ดูระยะเวลาเผาเพื่อหาอัตราเผา และชั่งหาปริมาณขี้เถ้าของแต่ละอัตราส่วนผสมขยะมูลฝอย

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

ทำการสร้างเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน โดยมีลานคอนกรีตไว้คัดแยกขยะมูลฝอย และโรงเรือนเอาไว้เก็บขยะมูลฝอย บริเวณหลังอาคารเครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเผาขยะมูลฝอยประกอบด้วย

ก. เครื่องชั่งขนาด 60 kg

ข. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) วัดอุณหภูมิสูงสุดได้ 1600°C

ค. เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ

3.4 การสร้างเตาเผาขยะมูลฝอย

3.4.1 วัสดุที่ใช้สร้างเตาเผาขยะมูลฝอย

ใช้อิฐทนไฟ (Refractory Bricks) ชนิด SK-30 SA-64 และ SK-30 SA-50 (บริษัท สยามวัสดุทนไฟ จำกัด) วัสดุที่เป็นโลหะ ใช้เหล็กหล่อกับเหล็กสแตนเลส พร้อมระบบบำบัดอากาศและบ่อน้ำตกตะกอน แสดงดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบของเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก

3.4.2 การออกแบบ

มีวัตถุประสงค์ที่จะเผาด้วยตัวเอง จึงได้ออกแบบเหล็กก้างปลา (Bar Rack) เพื่อเพิ่มความพรุนขยะมูลฝอยในห้องเผาไหม้ ในสภาพทั่วไปของเตาเผา ซึ่งเผาด้วยตัวเองใช้ขยะมูลฝอยเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ มักเกิดการอัดแน่นของขยะมูลฝอยภายในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้จะทำให้ออกซิเจนที่เข้าไปในห้องเผาไหม้เข้าไปได้น้อย จึงทำให้การเผาไหม้ เผาอย่างไม่สมบูรณ์ การลุกไหม้เป็นไปอย่างล่าช้า จึงทดลองเผาขยะมูลฝอยด้วยการเผาด้วยเหล็กก้างปลา เหล็กก้างปลาทำจากวัสดุทนความร้อน และทนการกัดกร่อน

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1. คัดแยกจากกองมูลฝอยภายหลังที่รถเก็บขยะมูลฝอยนำมาเทรวมกัน แล้วนำมาชั่งและบันทึกน้ำหนักของขยะมูลฝอยแต่ละประเภท เพื่อหาปริมาณ และองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

3.5.2. บันทึกอุณหภูมิในช่วงเวลาที่เผาทุกๆ 2 นาที เพื่อดูค่าความร้อนในแต่ละช่วงของการเผาขยะมูลฝอย และดูช่วงความร้อนเพื่อที่จะเติมขยะมูลฝอยในการเผา

3.5.3. บันทึกเวลาของการเผาขยะมูลฝอย เพื่อทราบอัตราเผาของแต่ละอัตราส่วน

3.5.4. บันทึกอ่านค่าของเครื่องมือวัดปริมาณอากาศที่ ใช้สำหรับเผาไหม้

3.5.5. บันทึกปริมาณของขี้เถ้าหลังการเผาเสร็จในแต่ละอัตราส่วน

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในการทดลองนี้เป็นการนำขยะมูลฝอยที่เกิดจากชุมชนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีประชากรภายในมหาวิทยาลัย ประมาณ 7,000 คน มาทำการเผาที่อัตราส่วนต่างๆ ผลการทดลองจะมีผลของ องค์ประกอบของขยะมูลฝอย, น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่เหมาะสม, อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้, และ อัตราการเผาโดยรวม ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย

4.1.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยที่นำมาเผา

ได้ทำการแยกองค์ประกอบทางกายภาพขยะมูลฝอยแต่ละอย่างมาชั่งน้ำหนักซึ่งได้ผลตามตารางที่ 1ข ในภาคผนวก ข. พบว่าองค์ประกอบของขยะมูลฝอยเป็น ร้อยละโดยน้ำหนักคือ เศษอาหารขยะมูลฝอยเปียก 57.17 กระดาษ 15.58 พลาสติก 17.94 โฟม 2.40 ใบไม้และเศษไม้ 0.19 กระป๋องและโลหะ 2.41 แก้ว 2.49 และอื่นๆ 1.35

4.1.2 ค่าความชื้นในองค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ในช่วงของการทดลองเป็นช่วงฤดูฝน การเก็บขยะมูลฝอยจากมหาวิทยาลัย ได้นำมาเทที่ลานคัดแยก บริเวณเตาเผาขยะมูลฝอย บางครั้งเทกองเพื่อรอการคัดแยก ทำให้ขยะมูลฝอยเกิดการเปียกฝน จากที่ขยะมูลฝอยจากชุมชนมีความชื้นสูงอยู่แล้ว ทำให้ค่าความชื้นในองค์ประกอบของขยะมูลฝอยมีค่าความชื้นสูง ค่าความชื้นของขยะมูลฝอยที่นำมาเผาแสดงดังตารางที่ 1ข ในภาคผนวก ข. ซึ่งขยะมูลฝอยที่มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 35-68 ขยะมูลฝอยแห้งมีความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 35 และขยะมูลฝอยเปียกมีความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 68

4.1.3 น้ำหนักจำเพาะของมูลฝอย

โดยการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักจำเพาะของขยะมูลฝอย ก่อนนำเข้าเตาเผา ซึ่งได้น้ำหนักจำเพาะโดยเฉลี่ย 214.86 kg/m^3 ดังตารางที่ 1ข ในภาคผนวก ข. องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย (แสดงในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก)

รายการ	เทศบาลนครราชสีมา[ก.]		สหรัฐอเมริกา[ข.]	กรุงเทพฯ[ค.]	ในการศึกษา
	ที่พักอาศัย	สถานที่ราชการ	ปี 1990	ปี 2541	ครั้งนี้
1.เศษอาหารขยะเปียก	63.16	49.95	9.00	35.54	57.17
2. กระดาษ	9.12	21.87	34.00	11.58	15.58
3. พลาสติก	15.16	20.97	7.00	19.88	17.94
4. โฟม	-	-	1.00	-	2.40
5. ใบไม้/เศษไม้	-	0.29	20.50	14.54	0.19
6. เศษผ้า	0.35	0.18	2.00	3.71	0.49
7. กระป๋องโลหะ	0.88	1.46	9.50	2.00	2.41
8. แก้ว	10.53	2.92	8.00	4.17	2.49
9. อื่นๆ	0.80	2.36	9.00	8.69	1.35

หมายเหตุ [ก.] จาก รายงานการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบเบื้องต้นระบบการจัดการขยะมูลฝอยเทศบาลนครราชสีมา. (3-20), โดย บ. แมคโครคอนซัลแตนท์, 2540

[ข.] จาก Integrated Solid Waste Management. (49), โดย Tchobanoglous Theisen and Vigil, 1993, Singapore: McGraw-Hill.

[ค.] จาก เอกสารของสำนักรักษาความสะอาดกรุงเทพฯ. (39) โดย ฝ่ายวิจัยกองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพฯ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักที่สำคัญและมีสัดส่วนสูงที่สุดในตัวอย่างขยะมูลฝอยรวมของเทศบาลนครราชสีมา กรุงเทพฯ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คือ เศษอาหาร ขยะมูลฝอยเปียก แต่ของสหรัฐอเมริกา ขยะมูลฝอยประเภทนี้จะมีน้อย แต่ขยะมูลฝอยประเภทที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จะมีปริมาณมากกว่า ทำให้เห็นความแตกต่างขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยของแต่ละที่อย่างชัดเจน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยคือ ชนิดของอาหารที่บริโภค พฤติกรรมการทิ้งขยะมูลฝอยของประชาชน

องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยก็มีความสำคัญมากในการพิจารณาความเป็นไปได้ในการเผาไหม้ ส่วนประกอบที่สำคัญของขยะมูลฝอย คือ องค์ประกอบทางเคมี และค่าพลังงานความร้อน องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และขี้เถ้า ในการศึกษาจะใช้วิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางกายภาพโดยแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยในการศึกษาครั้งนี้ (แสดงในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก)

รายการ	องค์ประกอบ	ความชื้น	น้ำหนักแห้ง	C	H	O	N	S	Ash
เศษอาหารขยะเปียก	57.17	77.16	13.06	6.27	0.84	4.91	0.34	0.05	0.65
กระดาษ	15.58	6.72	14.53	6.32	0.87	6.39	0.04	0.03	0.87
พลาสติก	17.94	3.48	17.32	10.39	1.25	3.95	-	-	1.73
โฟม	2.40	3.20	2.32	1.81	0.23	-	0.05	-	0.23
ใบไม้/เศษไม้	0.19	9.48	0.17	0.09	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00
เศษผ้า	0.49	11.25	0.43	0.24	0.03	0.14	0.02	0.00	0.01
กระป๋องโลหะ	2.41	3.86	2.32	0.10	0.01	0.10	0.00	-	2.10
แก้ว	2.49	2.06	2.44	0.01	0.00	0.01	0.00	-	2.41
อื่นๆ	1.35	6.54	1.26	0.33	0.04	0.03	0.01	0.00	0.86
รวม	100.00		53.85	25.56	3.28	15.60	0.46	0.08	8.87

<u>หมายเหตุ</u> ความชื้นที่ใช้ในการคำนวณ = 46.15 (100.00-53.85)

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนโมลของขยะมูลฝอย

รายการ	สัดส่วนโมล (N=1)		สัดส่วนโมล (S=1)	
	ไม่มี H_2O	มี H_2O	ไม่มี H_2O	มี H_2O
คาร์บอน	64.5	64.5	1064.1	1064.1
ไฮโดรเจน	98.4	252.3	1623.8	4163.4
ออกซิเจน	29.5	107.2	487.5	1769.4
ไนโตรเจน	1.0	1.0	16.4	16.4
ซัลเฟอร์	0.1	0.1	1.0	1.0

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 เป็นผลจากการคำนวณหาองค์ประกอบทางเคมี ทำให้ได้สูตรทางเคมีของขยะมูลฝอย คือ สูตรทางเคมีของขยะมูลฝอยที่ศึกษา (ไม่คิดซัลเฟอร์)

ไม่มี H_2O = $C_{64.5}H_{98.4}O_{29.5}N$

มี H_2O = $C_{64.5}H_{252.3}O_{107.2}N$

สูตรเคมีของขยะที่ศึกษา (คิดซัลเฟอร์)

ไม่มี H_2O = $C_{1064.1}H_{1623.8}O_{487.5}N_{16.4}S$

มี H_2O = $C_{1064.1}H_{4163.4}O_{1769.4}N_{16.4}S$

จากสูตรทางเคมีของขยะมูลฝอยสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุแต่ละชนิด

รายการ	อะตอม/โมล	มวลโมเลกุล	น้ำหนัก	ร้อยละ
C	1064.11	12	12,769	28.06
H	4163.37	1	4,163	9.15
O	1769.38	16	28,310	62.21
N	16.42	14	230	0.51
S	1.00	32	32	0.07
รวม			45,505	100.00

$$Btu/lb = 145C + 610(H_2 - 1/8\ O_2) + 40S + 10N \quad (4.1)$$

โดยที่ C = คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

H_2 = ไฮโดรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

O_2 = ออกซิเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

S = ซัลเฟอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

N = ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.4 แทนค่าในสมการที่ (4.1) จะได้ค่าพลังงานของขยะมูลฝอยที่ทำการศึกษา

$$Btu/lb = 145(1064.11) + 610((4163.37) - 1/8\ (1769.38)) + 40(1) + 10(16.42)$$

$$= 4915\ Btu/lb \text{ หรือ } 11431\ kJ/kg$$

เพราะฉะนั้นพลังจากการเผาขยะมูลฝอยมีค่าเท่ากับ 4915 Btu/lb หรือ 11431 kJ/kg และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานของขยะมูลฝอยจาก (Tchobanoglous, 1993) คือ 5772 Btu/lb หรือ 13426 kJ/kg พบว่ามีค่าแตกต่างกันร้อยละ 14.80

หมายเหตุ วิธีคำนวณทั้งหมดจาก Integrated Solid Waste Management. (p.81-82), G. Tchobanoglous, H. Theisen and S. Vigil, 1993, Singapore: McGraw-Hill.

4.2 การหาน้ำหนักขยะมูลฝอยเข้าเตาที่เหมาะสม

เตาเผาขยะมูลฝอยจากชุมชนมีเจตนาที่จะออกแบบใช้ในชุมชนขนาดเล็กมีวัตถุประสงค์ที่จะประหยัดเชื้อเพลิงในการเผาจึงออกแบบให้ขยะมูลฝอยจากชุมชนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ดังนั้นจึงต้องหาน้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่เหมาะสม การลุกไหม้ของขยะมูลฝอยในห้องเผาไหม้จึงเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และมีอุณหภูมิจาการลุกไหม้สูง การทดลองจึงได้เผาในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

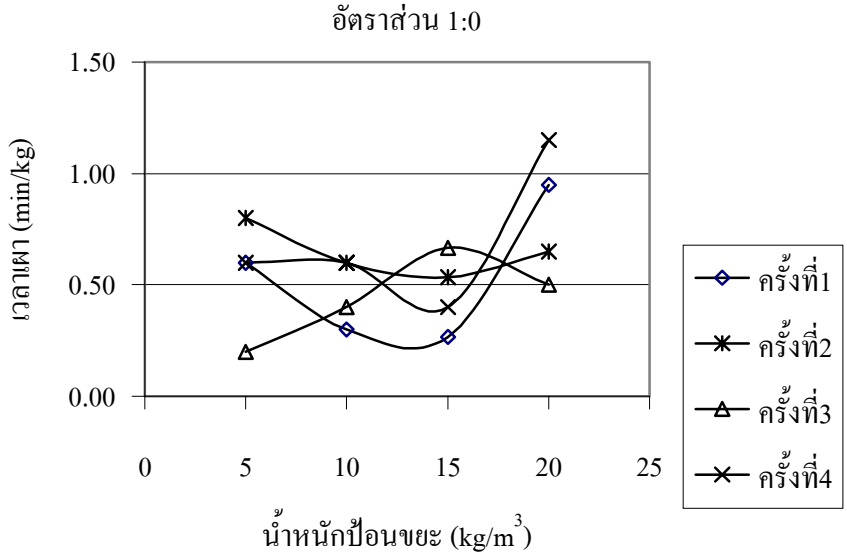
4.2.1 น้ำหนักขยะมูลฝอยเข้าเตาที่อัตราส่วน 1:0

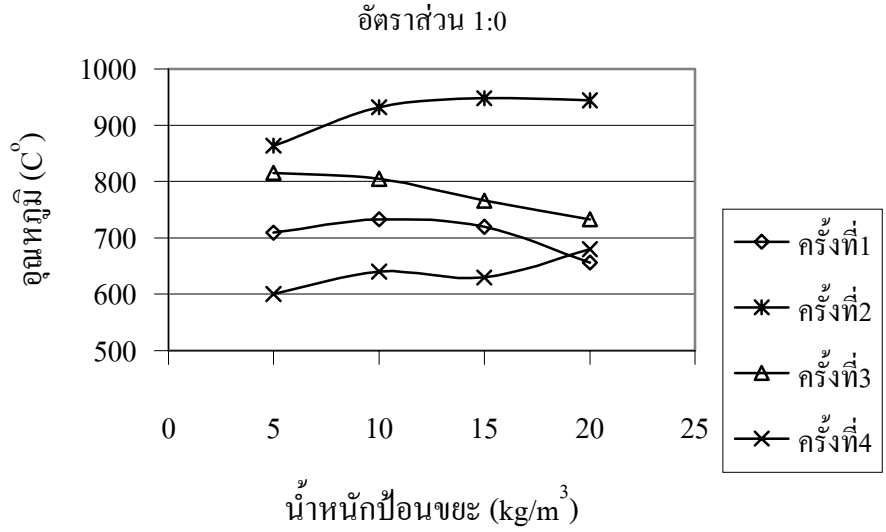
เป็นอัตราส่วนที่ใช้ขยะมูลฝอยแห้งเพียงอย่างเดียว โดยทำการป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ครั้งละ 5, 10, 15, 20 kg เพื่อดูว่าน้ำหนักใดที่ป้อนจะเหมาะสมกับอัตราส่วน 1:0 จากการทดลองแสดงข้อมูลจากตารางที่ 3ข-6ข ในภาคผนวก ข. จะเห็นว่าที่น้ำหนัก 10 kg หรือ 10.6 kg/m^3 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงที่สุดเฉลี่ยในการเผาแต่ละครั้งผลที่ได้คือ 747, 778, 766 และ 753 ^{o}C (ตามลำดับน้ำหนักขยะมูลฝอยคือ 5, 10, 15 และ 20 kg) จากการพิจารณาเพียงแค่อุณหภูมิเพียงอย่างเดียวไม่อาจจะชี้ชัดลงไปว่าที่น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 10 kg จะเป็นอัตราป้อนที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาเวลาในการเผาด้วย แสดงดังภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อน้ำหนักป้อนขยะมูลฝอย ผลของเวลาต่อน้ำหนักในการป้อนขยะมูลฝอยที่ 10 kg ในการเผาแต่ละครั้ง ได้ 0.55, 0.48, 0.47 และ 0.81 min/kg (ตามลำดับน้ำหนักขยะมูลฝอยคือ 5, 10, 15 และ 20 kg)

จากการทดลองเผาขยะมูลฝอยในอัตราส่วนที่ 1:0 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 10 kg เหมาะสมที่สุด ในเรื่องระยะเวลาที่สั้นจะทำให้การเผาขยะมูลฝอยเป็นไปอย่างรวดเร็ว และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้สูงทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

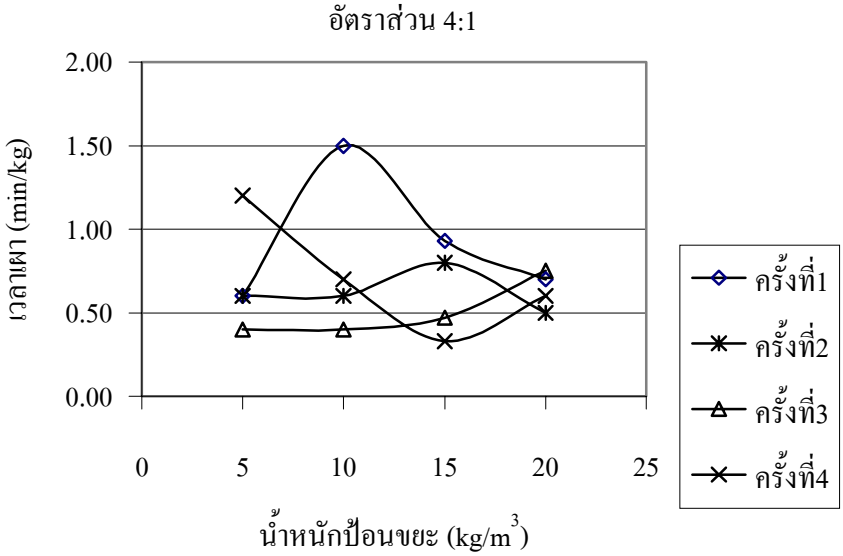
4.2.2 น้ำหนักขยะมูลฝอยเข้าเตาที่อัตราส่วน 4:1

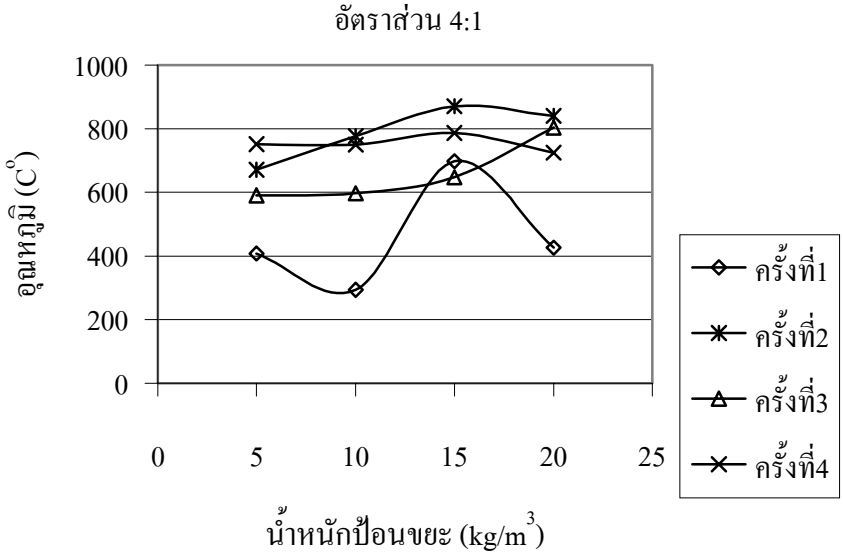
ในอัตราส่วนนี้เป็นการเผาของขยะมูลฝอยแห้ง 4 ส่วน ผสมกับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน จากการทดลองทำให้ทราบว่าที่นำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg หรือ 15.9 kg/m^3 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 7ข-10ข อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงที่สุดเฉลี่ยในการเผาแต่ละครั้งผลที่ได้คือ 605, 605, 751 และ 699 ^{o}C และผลของเวลาในการเผาแต่ละครั้งได้ 0.70, 0.80, 0.63 และ 0.64 min/kg (ตามลำดับน้ำหนักขยะมูลฝอยคือ 5, 10, 15 และ 20 kg) น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg เป็นอัตราป้อนที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงดังภาพที่ 4.2





ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนขยะมูลฝอยอัตราส่วน 1:0





ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนขยะมูลฝอยอัตราส่วน 4:1

4.2.3 น้ำหนักขยะมูลฝอยเข้าเตาที่อัตราส่วน 3:1

ในอัตราส่วนนี้เป็นการเผาของขยะมูลฝอยแห้ง 3 ส่วน ผสมกับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน จากการทดลองทำให้ทราบว่าที่น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg หรือ 15.9 kg/m^3 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 11ข-14ข อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงที่สุดเฉลี่ยในการเผาแต่ละครั้งผลที่ได้คือ 569, 559, 687 และ 683 ^{o}C และผลของเวลาในการเผาแต่ละครั้งได้ 1.35, 0.70, 0.55 และ 0.61 min/kg (ตามลำดับน้ำหนักขยะมูลฝอยคือ 5, 10, 15 และ 20 kg) น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg เป็นอัตราป้อนที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงดังภาพที่ 4.3

4.2.4 น้ำหนักขยะมูลฝอยเข้าเตาที่อัตราส่วน 2:1

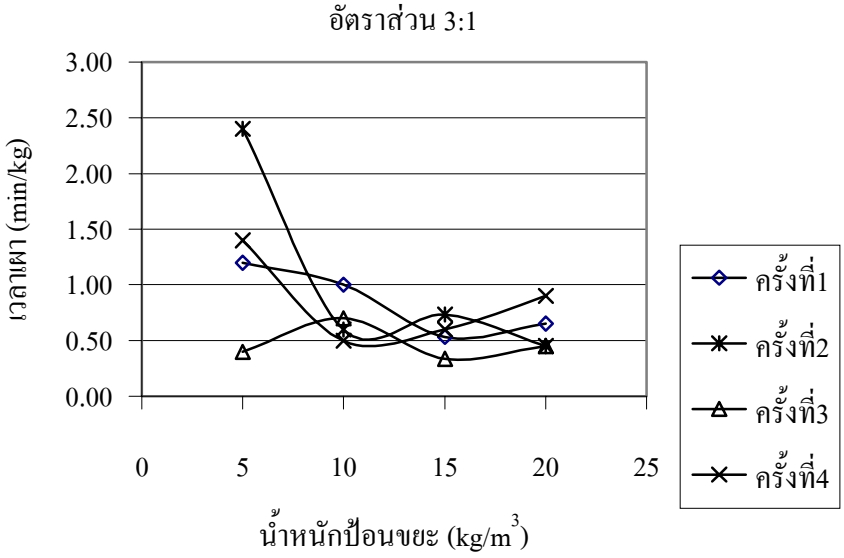
ในอัตราส่วนนี้เป็นการเผาของขยะมูลฝอยแห้ง 2 ส่วน ผสมกับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน จากการทดลองทำให้ทราบว่าที่น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg หรือ 15.9 kg/m^3 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 15ข-18ข อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงที่สุดเฉลี่ยในการเผาแต่ละครั้งผลที่ได้คือ 574, 610, 777 และ 760 ^{o}C และผลของเวลาในการเผาแต่ละครั้งได้ 1.45, 1.10, 0.88 และ 0.89 min/kg (ตามลำดับน้ำหนักขยะมูลฝอยคือ 5, 10, 15 และ 20 kg) น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg เป็นอัตราป้อนที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงดังภาพที่ 4.4

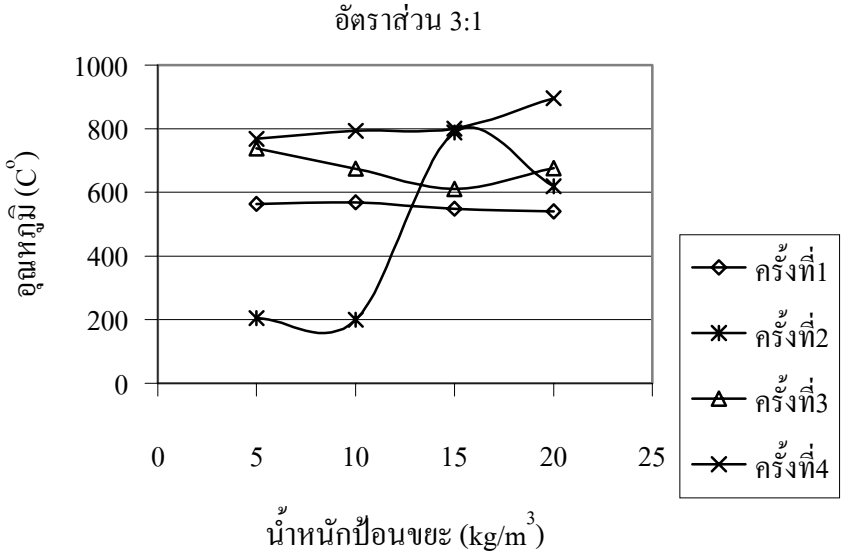
4.2.5 น้ำหนักขยะมูลฝอยเข้าเตาที่อัตราส่วน 1:1

ในอัตราส่วนนี้เป็นการเผาของขยะมูลฝอยแห้ง 2 ส่วน ผสมกับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน จากการทดลองทำให้ทราบว่าที่น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg หรือ 15.9 kg/m^3 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 19ข-22ข อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงที่สุดเฉลี่ยในการเผาแต่ละครั้งผลที่ได้คือ 533, 554, 719 และ 688 ^{o}C และผลของเวลาในการเผาแต่ละครั้งได้ 0.65, 0.65, 0.60 และ 0.71 min/kg (ตามลำดับน้ำหนักขยะมูลฝอยคือ 5, 10, 15 และ 20 kg) น้ำหนักป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg เป็นอัตราป้อนที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงดังภาพที่ 4.5

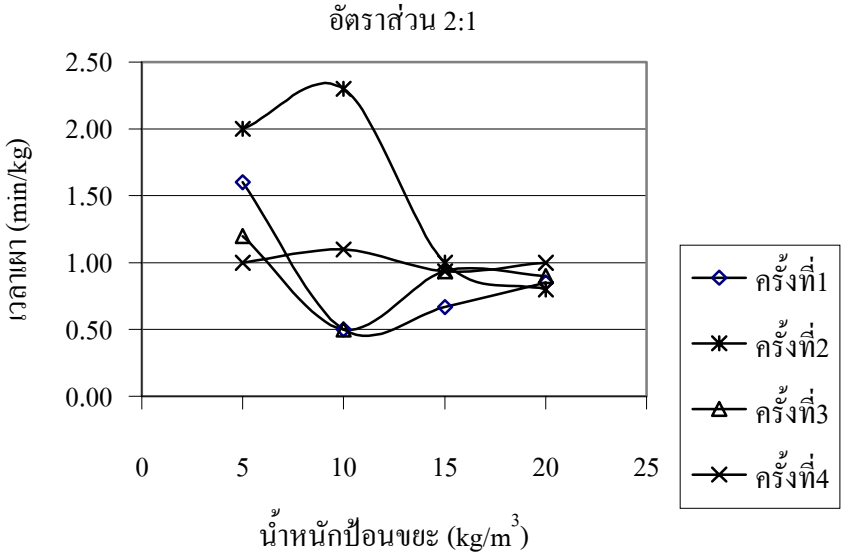
4.3 อัตราการเผาขยะมูลฝอยและอุณหภูมิที่ได้

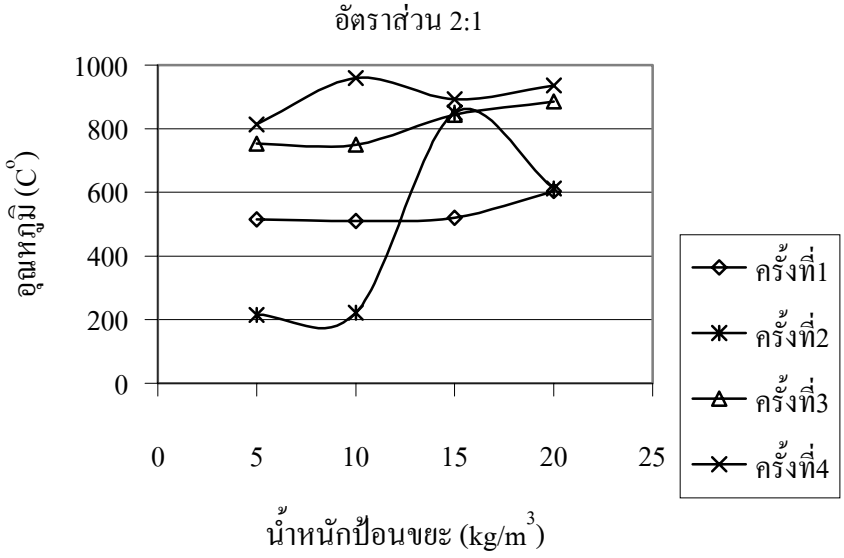
อุณหภูมิของการเผาขยะมูลฝอยสูงและต่ำตามอัตราส่วนผสมของขยะมูลฝอย 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1อุณหภูมิห้องเผาไหม้มีค่าต่ำสุด และสูงสุดอยู่ที่ 150 และ 1,100 ^{o}C ถึงแม้ว่าเราได้



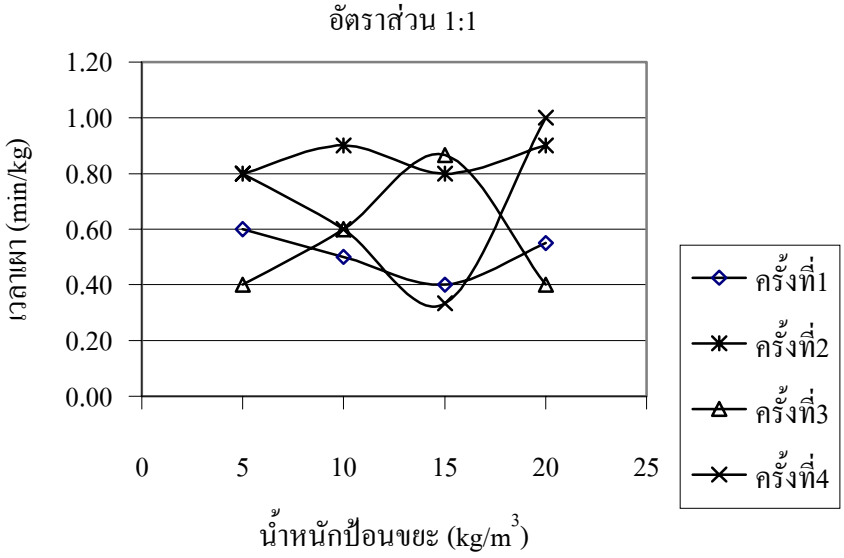


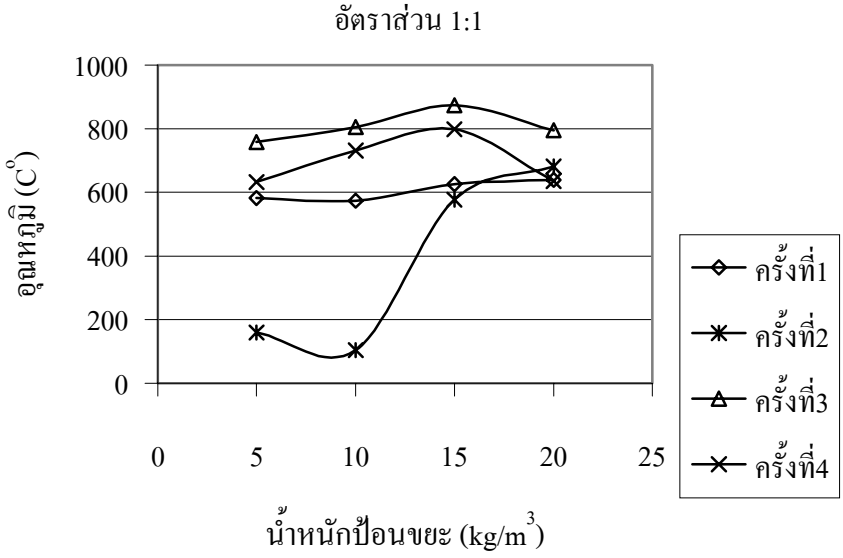
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนขยะมูลฝอยอัตราส่วน 3:1





ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนขยะมูลฝอยอัตราส่วน 2:1





ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการป้อนขยะมูลฝอยอัตราส่วน 1:1

ทดลองเผาขยะมูลฝอยที่มีอัตราส่วนเหมือนกันแต่ความแตกต่างของขยะมูลฝอยชุมชนทำให้ผลของอุณหภูมิในการทดลองเผาขยะมูลฝอยในอัตราส่วนเดียวกันมีผลออกมาแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงทำให้เรารู้ว่าอุณหภูมิของการเผาขยะมูลฝอยขึ้นอยู่กับชนิดของขยะมูลฝอย

4.3.1 อุณหภูมิที่เผาขยะมูลฝอยโดยไม่ใช้เหล็กก้างปลา

การทดลองนี้จะทำให้เราทราบว่า ถ้าไม่มีเหล็กก้างปลาแล้วการเผาไหม้ของขยะมูลฝอยในห้องเผาไหม้จะทำให้อุณหภูมิต่ำ และอัตราการเผาช้ามากในการเผาโดยไม่ใช้เหล็กก้างปลาจะใช้ขยะมูลฝอยเผาเพียงแค่ 100 kg ในการใช้งานจริงไม่สามารถที่จะใช้งานได้ อุณหภูมิที่สูงที่สุดอยู่ในช่วงนาทีที่ 78 วัดความร้อนได้ 450 ^{o}C และช่วงที่ความร้อนต่ำที่สุดคือ 80 ^{o}C ในนาทีที่ 148 ถ้าทำการเติมขยะมูลฝอยเข้าห้องเผาไหม้จะทำให้เตาเผาเกิดการดับเพราะขยะมูลฝอยจะทับกัน ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 28ข ในภาคผนวก ข. จากการทดลองทำให้ทราบว่า ถ้าไม่มีเหล็กก้างปลาเตาเผาขยะมูลฝอยจะไม่สามารถเผาขยะมูลฝอยได้ ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.6

4.3.2 อุณหภูมิการเผาในอัตราส่วน 1:0

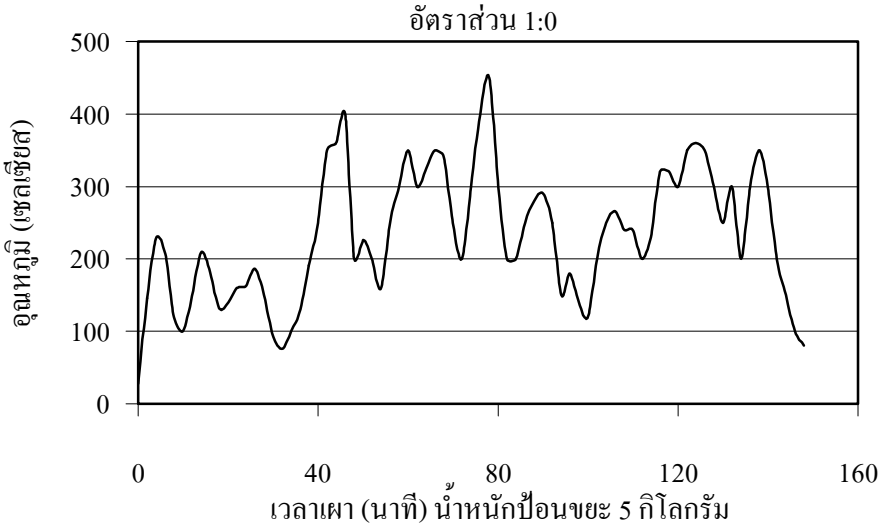
เป็นการเผาขยะมูลฝอยแห้งเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิสูงสุดในการเผาคือการเผาครั้งที่ 3 วัดได้ 1,062 ^{o}C อุณหภูมิที่ต่ำเพียงแค่เวลาเริ่มเผาเท่านั้นดังแสดงตามตารางที่ 23ข ในภาคผนวก ข. เมื่อเตาเผาเริ่มติดแล้ว อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในการเผาในอัตราส่วนนี้ใช้อัตราป้อนขยะมูลฝอยที่ 10 kg เป็นการเผาไหม้ที่รวดเร็ว และสมบูรณ์ที่สุด ซึ่งผลจากการเผาจะแสดงดังภาพที่ 4.7

4.3.3 อุณหภูมิของการเผาในอัตราส่วน 4:1

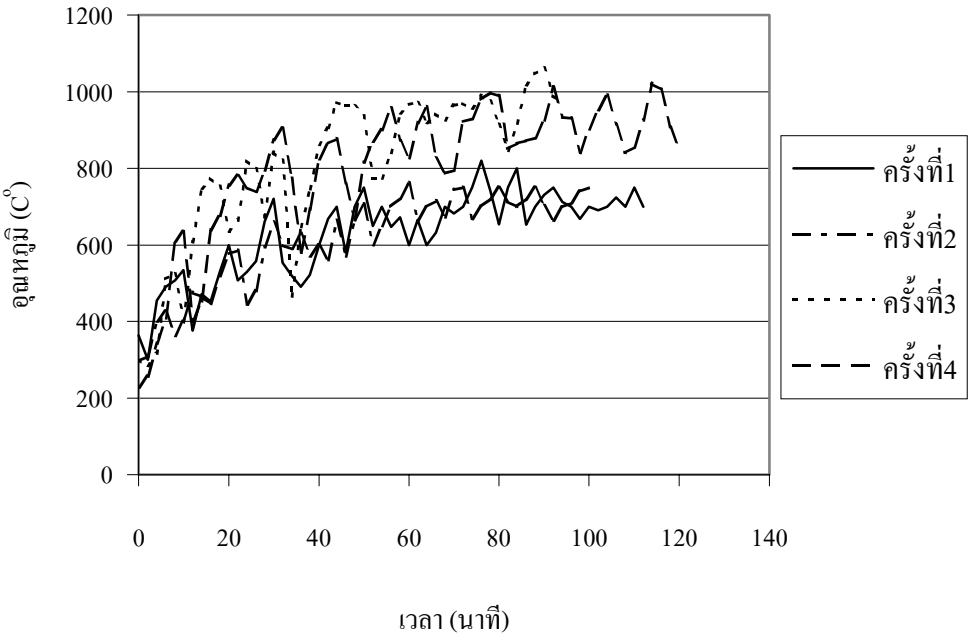
เป็นการเผาขยะมูลฝอยในส่วนผสมขยะมูลฝอยแห้ง 4 ส่วน ผสมกับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน อุณหภูมิสูงสุดของการเผาคือ 900 ^{o}C และอุณหภูมิต่ำสุดแค่เพียงเริ่มเผาขยะมูลฝอยเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 24ข ในภาคผนวก ข. เป็นการเผาที่คล้ายกับอัตราส่วน 1:0 มาก แต่อุณหภูมิกับอัตราการเผาจะต่ำกว่า เป็นการเผาไหม้ที่ต่ำรองลงมาจากอัตราส่วน 1:0 แต่การลุกไหม้ของขยะมูลฝอยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ใช้อัตราการป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg ผลจากการเผาแสดงดังภาพที่ 4.8

4.3.4 อุณหภูมิของการเผาในอัตราส่วน 3:1

เป็นการเผาขยะมูลฝอยในส่วนผสมของขยะมูลฝอยแห้ง 3 ส่วน กับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน อุณหภูมิจากการเผาลดจากอัตราส่วน 4:1 เพราะมีความชื้นจากขยะมูลฝอยเข้ามาเกี่ยวข้อง



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์เวลากับอุณหภูมิของการเผาขยะมูลฝอยโดยไม่ใช้เหล็กก้างปลา



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 1:0

อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 927 °C และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วง 350 °C อยู่ในช่วงเริ่มเผา ดังแสดงในตารางที่ 25ข ในภาคผนวก ข. ใช้อัตราการป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg ผลจากการเผาดังแสดงในภาพที่ 4.9

4.3.5 อุณหภูมิของการเผาในอัตราส่วน 2:1

เป็นการเผาขยะมูลฝอยในส่วนผสมของขยะมูลฝอยแห้ง 2 ส่วน ผสมกับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วนอุณหภูมิเริ่มลดลงจากอัตราส่วน 3:1 ซึ่งขยะมูลฝอยมีความชื้นสูงมากขึ้นนั้นเอง อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 894 °C และต่ำสุดอยู่ที่ 240 °C ดังแสดงในตารางที่ 26ข ในภาคผนวก ข. ใช้อัตราป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg ผลจากการเผาแสดงดังภาพที่ 4.10

4.3.6 อุณหภูมิของการเผาในอัตราส่วน 1:1

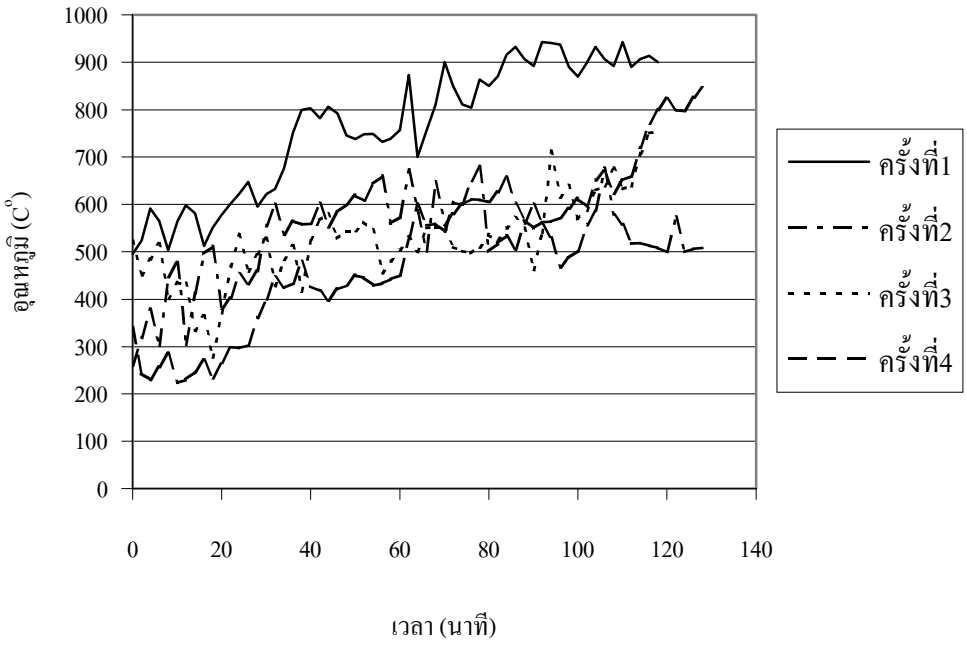
เป็นการเผาขยะมูลฝอยในส่วนผสมของขยะมูลฝอยแห้ง 1 ส่วน กับขยะมูลฝอยเปียก 1 ส่วน อุณหภูมิจากการเผาลดจากอัตราส่วน 2:1 เพราะมีความชื้นจากขยะมูลฝอยเข้ามาเกี่ยวข้อง อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 867 °C และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วง 92 °C อยู่ในช่วงเริ่มเผา ดังแสดงในตารางที่ 27ข ในภาคผนวก ข. ใช้อัตราการป้อนขยะมูลฝอยที่ 15 kg ผลจากการเผาดังแสดงในภาพที่ 4.11

4.4 อัตราการเผา

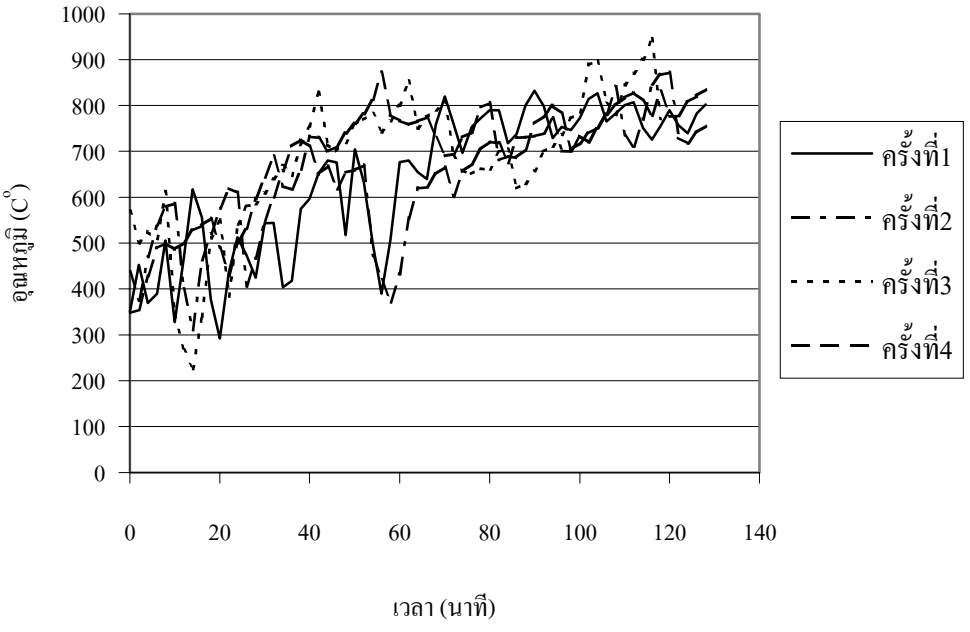
อัตราการเผาขยะมูลฝอยเท่ากับ 120, 104, 99, 97 และ 68 kg/h (ตามลำดับของอัตราส่วนผสมของขยะมูลฝอย 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1) โดยแสดงดังตารางที่ 4.5 อัตราการเผามีค่าเฉลี่ย 114 kg/h หรือ 2.74 ton/d ความเร็วในการเผาขึ้นอยู่กับชนิดของขยะมูลฝอย ถึงแม้ว่าเราจะแยกขยะมูลฝอยออกเป็น 2 ชนิด คือ ขยะมูลฝอยแห้ง (ขยะมูลฝอยที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40) และขยะมูลฝอยเปียก (ขยะมูลฝอยที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 40) ก็ตาม ในอัตราส่วนที่เหมือนกันผลการทดลองมีความต่างกันเนื่องมาจากขยะมูลฝอยชุมชนจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชุดที่เก็บได้จากการเผาขยะโดยไม่ใส่เหล็กก้างปลาในห้องเผาไหม้ที่อัตราส่วน 1:0 การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ไม่ดี อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ต่ำมากจึงทำการทดลองโดยใช้ขยะ 100 kg พบว่าอัตราการเผาเท่ากับ 42 kg/h

4.5 ปริมาณขี้เถ้า

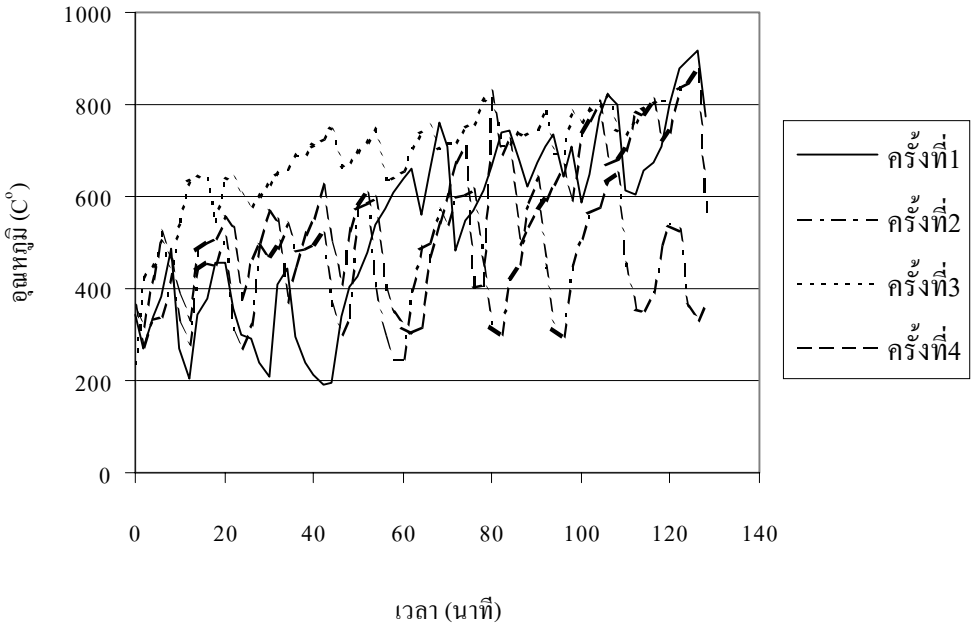
น้ำหนักขี้เถ้าเท่ากับ 15, 26, 23, 23, และ19 kg (ตามลำดับของอัตราส่วนผสมของขยะมูลฝอย 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1) โดยแสดงดังตารางที่ 4.6 น้ำหนักโดยเฉลี่ยของขี้เถ้าที่เหลือ 21 kg



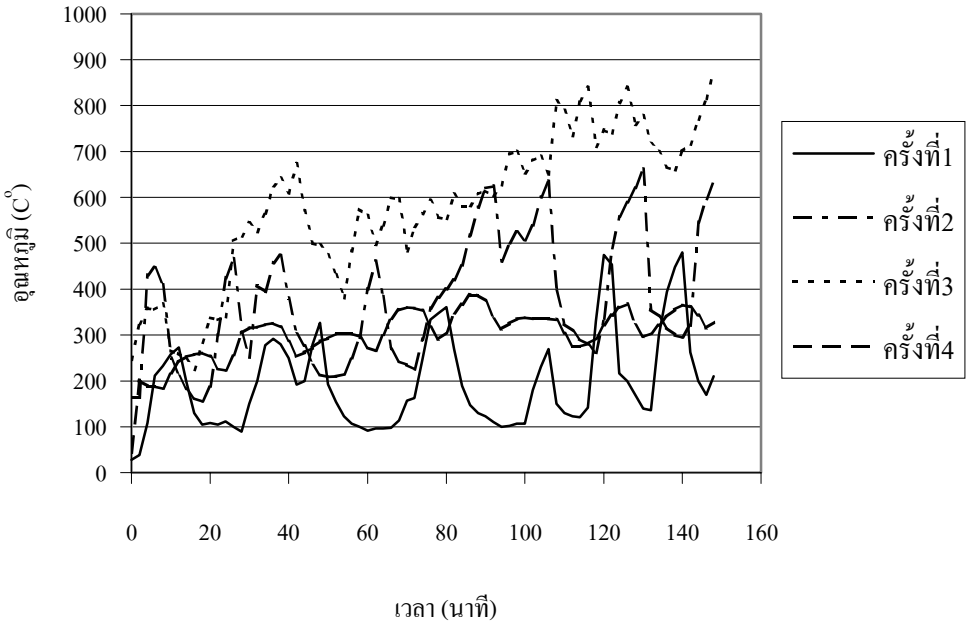
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 4:1



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 3:1



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 2:1



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการเผาอัตราส่วน 1:1

ตารางที่ 4.5 ผลของอัตราเผา (แสดงในหน่วย kg/h)

อัตราส่วน ขยะมูลฝอย	อัตราการเผา ครั้งที่1	อัตราการเผา ครั้งที่2	อัตราการเผา ครั้งที่3	อัตราการเผา ครั้งที่4	อัตราเฉลี่ย
1:0	113	127	135	106	120
4:1	108	99	108	99	104
3:1	97	95	108	97	99
2:1	91	95	104	101	97
1:1	53	72	86	65	68
ไม่มีเหล็ก ก้างปลา	42				42

ซึ่งจากทฤษฎีปริมาณขี้เถ้าจะเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 10-20 ของน้ำหนักขยะมูลฝอยทั้งหมด จากผลการทดลองน้ำหนักของขี้เถ้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงทฤษฎี ในการทดลองจะมีขยะมูลฝอยส่วนหนึ่งที่เผาไหม้ไม่หมด เวลาทำการเผาเสร็จสิ้นจะทำการตักขี้เถ้าส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดเผาซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4.6 อุณหภูมิในอุดมคติ

ผลของอุณหภูมิจากการเผาที่วัดได้จากการทดลองมีค่าขึ้นลงเป็นคลื่นจึงนำสมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งข้อมูลนำมาแทนในสมการที่ 4.2

$$T = T^{*} + a \, \mathrm{SIN}(\omega t) \qquad (4.2)$$

โดยที่ T = อุณหภูมิของการเผาที่เวลา t (^{o}C)

T^{*} = อุณหภูมิเฉลี่ย (^{o}C)

a = ค่าครึ่งหนึ่งของพิสัย (อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิต่ำสุด)/2 (^{o}C)

$\omega = 2\pi/T$ = ความถี่ (Hz/min)

T = ช่วงคาบเวลา (min)

t = เวลาใดๆ (min)

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในภาพที่ 4.12 ในการเผามูลฝอยจากชุมชนที่มีเงื่อนไขในการเผาที่เผาได้ด้วยตัวเอง ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิการเผามูลฝอยในแต่ละอัตราส่วนของการเผา

ตารางที่ 4.6 ผลของขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาขยะมูลฝอย

อัตราส่วนขยะมูลฝอย	ขี้เถ้าของการเผาครั้งที่1 (kg)	ขี้เถ้าของการเผาครั้งที่2 (kg)	ขี้เถ้าของการเผาครั้งที่3 (kg)	ขี้เถ้าของการเผาครั้งที่4 (kg)	น้ำหนักเฉลี่ย (kg)
1:0	16	15	13	14	15
1:1	30	26	23	25	26
2:1	22	24	23	22	23
3:1	24	23	20	25	23
4:1	20	18	17	19	19

มูลฝอย ในช่วงเวลาหนึ่งของการลุกไหม้อุณหภูมิสูงสุดและเวลาที่ใช้ในห้องเผาไหม้ จะเห็นว่าการเผาไหม้ของอัตราส่วน 1:0 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงสุด ใช้เวลาสั้นที่สุดรูปกราฟที่ออกมาจึงแคบกว่าอัตราส่วนอื่น ในส่วนที่กว้างที่สุด ได้แก่อัตราส่วน 1:1 อุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะต่ำ และเวลาที่ใช้ในการลุกไหม้จึงมากกว่าอัตราส่วนอื่น

สามารถที่จะนำเข้าไปสู่การคำนวณเพื่อที่จะหาอัตราป้อนมูลฝอยที่เหมาะสมในเตาเผามูลฝอยระบบออโตเมติก เช่นเตาเผาจะป้อนมูลฝอยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในน้ำหนักที่เหมาะสมกับอัตราส่วนผสมมูลฝอยและอุณหภูมิการลุกไหม้ภายในห้องเผาไหม้ ตัวอย่างการคำนวณค่าอุณหภูมิในอุดมคติ เช่น อุณหภูมิที่อัตราส่วนผสมมูลฝอย 1:0 จากข้อมูลในตารางที่ 30ข ในภาคผนวก ข. ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ เท่ากับ 712 ^{o}C ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 830 ^{o}C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 515 ^{o}C และค่าเฉลี่ยคาบเท่ากับ 8.5 Hz/min

<u>หาตัวแปรในสมการ</u>

T^{*} = 712 $^{\circ}$C

a = (830-515)/2 = 157.5 $^{\circ}$C

ω = $2\pi/t = 2\pi/8.5 = 0.74$ Hz

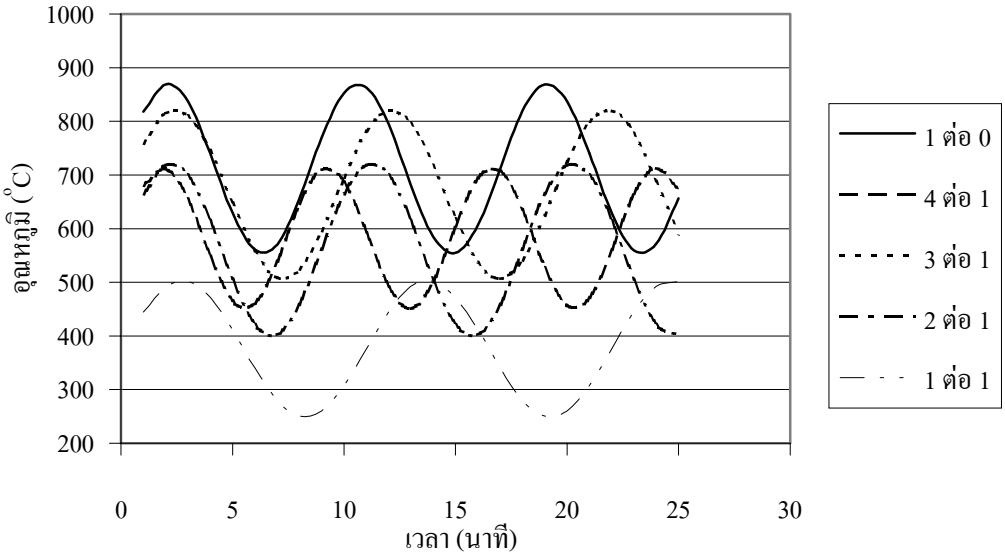
T = สมมุติให้เป็นเวลาที่ 10 นาที

<u>แทนค่าตัวแปรในสมการที่ 4.2</u>

T = 712 $^{\circ}$C+ 157.5 $^{\circ}$C SIN(0.74 Hz x 10 min)

T = 853.55 $^{\circ}$C

เพราะฉะนั้นค่าอุณหภูมิในอุดมคติที่เวลา 10 นาที เท่ากับ 853.55 C° หลังจากนั้นทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆ ดังตัวอย่างโดยทำการแทนค่าเวลาที่เวลาต่างๆ กันจะได้ค่าอุณหภูมิในอุดมคติที่เวลาต่างๆ ในแต่ละอัตราส่วนผสมของมูลฝอย แล้วนำข้อมูลมาใช้สร้างกราฟดังแสดงในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาทางอุดมคติ

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดห้องเผาไหม้ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 m ความสูง 1.88 m มีปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.945 m^3 ประกอบด้วยห้องเผาไหม้ 1 ห้อง และห้องลดมลพิษ 1 ห้อง สามารถเผาขยะได้ในอัตราการเผาไหม้ 120, 104, 99, 97 และ 68 kg/h-m^3 หรือ 2.88, 2.50, 2.38, 2.33 และ 1.63 ton/d-m^3 (เรียงตามลำดับส่วนผสมขยะคือ 1:0, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1) ซึ่งตัวต้นแบบมีอัตราการเผาไหม้ 64 kg/h (บุญชัยและคณะ, 2542) คณะทำงานสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของการเผาไหม้ขึ้นสูงกว่าตัวจากเตาเผาต้นแบบ และได้ออกแบบเหล็กก้างปลาขึ้นมาช่วยในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้จะทำให้ขยะมีความพรุนไม่อัดตัว สามารถให้อากาศเข้าไปได้มากยิ่งขึ้น ทำให้การเผาไหม้ขยะสามารถเผาไหม้ได้มากยิ่งขึ้น และสามารถเผาขยะที่มีความชื้นได้ เตาเผาขยะนี้สามารถรองรับอุณหภูมิสูงได้ถึง 1,200 ^{o}C เนื่องจากวัสดุที่ใช้สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ อาทิ เช่น อิฐทนไฟ กลีบมะเฟืองซึ่งเป็นเหล็กหล่อ ประตูเป็นเหล็กสแตนเลส และท่อไอเสียเป็นเหล็กสแตนเลส ซึ่งในการทดลองมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,100 ^{o}C

อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ในแต่ละอัตราส่วนของการเผาขยะมีความแตกต่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของขยะ และขยะในแต่ละวันซึ่งจะมีความชื้นไม่เหมือนกัน และการทดลองได้ทำในช่วงหน้าฝน ซึ่งปริมาณฝนในจังหวัดนครราชสีมา ในช่วงนี้มีปริมาณฝนมาก ความชื้นของขยะจึงสูงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในเตาเผา องค์ประกอบของขยะ ความชื้นของขยะ รวมถึงสภาพภูมิอากาศด้วย

จากข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางปรับปรุงเตาเผาขยะให้มีความเหมาะสมที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชนได้ จะทำให้ชุมชนสามารถกำจัดขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชนได้เอง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีพัดลมเป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ เพราะมีปัญหาเนื่องจากควันดำ ในช่วงที่เตาเผามีอุณหภูมิที่ประมาณ 900-1,000 ^{o}C ซึ่งอาจจะเกิดจากการเผาพลาสติก ซึ่งทำให้อากาศเข้าไปได้ไม่เพียงพอต่อการลุกไหม้

5.2.2 ควรนำความร้อนจากเตาเผาไปใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

กองวิชาการ. (2542). **เอกสารของสำนักรักษาความสะอาด.** ฝ่ายวิจัยกองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร.

โกศล อมรไชย. (2540). **การออกแบบเตาเผาขยะชุมชนและศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเผาไหม้และการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ.** สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ธนบุรี.

บ. แมคโครคอนซัลแตนท์ จำกัด (2540, ธันวาคม). **การศึกษาความเหมาะสมและออกแบบเบื้องต้นระบบการจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา.** ร่างรายงานการศึกษาความเหมาะสมฉบับสมบูรณ์. 3-20

บุญชัย วิจิตรเสถียร และคณะ. (2542) **โครงการสร้างเตาเผาขยะชุมชนพร้อมระบบกำจัดอนุภาค (เตาเผาขยะอัตตาหิฯ)**. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

พัชรี หอวิจิตร. (2536). **การจัดการขยะมูลฝอย**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น

สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (2538). **เตาเผาขยะมูลฝอย.** เอกสารประกอบการฝึกอบรมการจัดการสิ่งแวดล้อม. สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือร่วมกับ สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม.

กองวิชาการ. (2538). **โรงงานเผาขยะมูลฝอย.** เล่มที่ 1. สำนักรักษาความสะอาดกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร.

อุดร จารุรัตน์. (2539). **การเลือกเตาเผาขนาดเล็กในโรงงานอุตสาหกรรม.** วารสารสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 10 (5): 20-21

Babcock, R., S. and Wilcox, A., W. (1978). **Steam.** Babcock and Wilcox Company. New York

Borman, G., L. and Kenneth,W., R. (1998). **Combustion Engineering.** McGraw-Hill, New York.

Environmental Health Division. (1989). **Country Status Report-Solid Waste Managament in Thailand.** Ministry of Public Health. Thailand.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. (1993). **Integrated Solid Waste Management**. McGraw Hill, Singapore.

ภาคผนวก ก

รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1ก แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาความหนาแน่นขยะ

ลำดับ	รายการ
1.	เครื่องชั่งอย่างหยาบ
2.	ถุงมือยาง
3.	ถุงพลาสติก
4.	ที่คีบขยะ
5.	ปี๊บทราบปริมาตร
6.	แผ่นพลาสติกรองขยะ
7.	พลั่ว
8.	คราด

ตารางที่ 2ก ตารางแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความชื้น

ลำดับ	รายการ
1.	เตาอบอุณหภูมิ 103-105^{o}C
2.	ถ้วยอลูมิเนียม
3.	หม้อดูดความชื้น (Desiccator)
4.	ครีมคีบ
5.	เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Balance, Percisa 240A)

ตารางที่ 3ก แสดงรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเผาขยะ

ลำดับ	รายการ
1.	ถุงพลาสติก
2.	เครื่องวัดความร้อน (Thermocouple)
3.	เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer, rbr-ecom JN)
4.	มิเตอร์น้ำ
5.	หัวพ่นน้ำ (Nozzle, HHSJ ¾ inch)
6.	ปั๊มน้ำ
7.	มิเตอร์วัดแรงดันน้ำ
8.	ไม้ขีดไฟและไฟแช็ค
9.	เครื่องชั่งอย่างหยาบ
10.	พลั่ว
11.	เหล็กดันขยะ

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ 1ข แสดงองค์ประกอบของขยะแยกตามประเภทที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แสดงหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)

ครั้งที่	เศษอาหาร ขยะเปียก	กระดาษ	พลาสติก	โฟม	ใบไม้/ เศษไม้	เศษผ้า	กระป๋องโลหะ	เศษแก้ว	อื่นๆ	น้ำหนักจำเพาะ (kg/m^3)
1	65.41	9.16	15.34	2.20	0.00	0.92	1.42	2.63	2.91	213.43
2	64.92	9.88	15.31	2.13	0.00	0.78	1.36	3.49	2.13	207.24
3	68.47	7.80	15.93	2.37	0.00	0.68	1.53	1.69	1.53	201.14
4	62.21	13.36	16.79	1.91	0.00	0.00	1.91	2.67	1.15	278.96
5	59.35	11.87	19.06	2.88	0.00	1.08	2.16	2.52	1.08	210.39
6	50.41	19.01	19.83	3.72	0.00	0.00	3.72	2.89	0.41	207.24
7	45.87	16.51	21.56	3.67	1.38	0.00	3.67	4.13	3.21	249.90
8	44.71	21.18	25.88	2.94	0.00	0.00	2.94	2.35	0.00	227.05
9	62.65	15.66	15.66	1.20	0.00	0.00	1.20	1.81	1.81	202.77
10	61.18	16.94	15.29	1.65	0.00	1.65	2.12	1.18	0.00	257.52
เฉลี่ย	57.17	15.58	17.94	2.40	0.19	0.49	2.41	2.49	1.35	214.86

ตารางที่ 2ข ความชื้นของแต่ละองค์ประกอบของขยะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แสดงหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)

ครั้งที่	เศษอาหาร ขยะเปียก	กระดาษ	พลาสติก	โฟม	ใบไม้/ เศษไม้	เศษผ้า	กระป๋องโลหะ	เศษแก้ว	อื่นๆ
1	79.52	7.08	3.61	3.60	10.25	11.68	4.12	2.14	6.87
2	71.25	5.68	3.19	2.89	8.72	11.07	3.54	2.08	6.23
3	80.21	7.89	3.92	3.54	10.11	11.59	4.10	2.22	6.69
4	77.65	6.21	3.21	2.75	8.85	10.65	3.68	1.80	6.35
เฉลี่ย	77.16	6.72	3.48	3.20	9.48	11.25	3.86	2.06	6.54

ตารางที่ 3ข ผลการเผาในการเติมขยะ 5 kg อัตราส่วน 1:0

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	620	811	772	526
1	698	814	815	499
2	708	834		586
3	709	844		600
4		864		

ตารางที่ 4ข ผลการเผาในการเติมขยะ 10 kg อัตราส่วน 1:0

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	709	850	762	568
1	629	865	761	533
2	733	871	770	515
3	719	888	779	540
4		915	805	586
5		926	803	615
6		932		640
7				631

ตารางที่ 5ข ผลการเผาในการเติมขยะ 15 kg อัตราส่วน 1:0

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	719	932	791	631
1	700	906	771	550
2	681	907	760	545
3	718	900	766	611
4	720	892	746	604
5	711	914	740	600
6	720	943	731	630
7		942	728	
8		948	733	

ตารางที่ 6ข ผลการเผาในการเติมขยะ 20 kg อัตราส่วน 1:0

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	720	948	733	630
1	659	947	727	614
2	646	937	725	615
3	642	890	702	602
4	635	869	694	568
5	631	881	698	558
6	633	899	714	547
7	629	908	712	547
8	631	907	713	569
9	634	913	714	508
10	638	914	733	478
11	640	915	729	479
12	640	939	720	517
13	635	944		536
14	636	939		538
15	639			547
16	634			566
17	648			585
18	648			600
19	656			622
20	652			649
21	647			664
22				666
23				680
24				676

ตารางที่ 7ข ผลการเผาในการเติมขยะ 5 kg อัตราส่วน 4:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	392	617	495	697
1	381	506	542	685
2	390	651	591	683
3	407	671		679
4		685		700
5				737
6				752

ตารางที่ 8ข ผลการเผาในการเติมขยะ 10 kg อัตราส่วน 4:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	407	685	591	752
1	416	673	565	747
2	404	605	503	754
3	366	643	564	747
4	338	687	598	739
5	318	741		722
6	314	777		717
7	312			750
8	311			748
9	307			
10	305			
11	301			
12	293			
13	290			
14	291			
15	294			
16	292			

ตารางที่ 9ข ผลการเผาในการเติมขยะ 15 kg อัตราส่วน 4:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	562	777	598	748
1	583	744	581	683
2	603	656	512	723
3	623	660	551	756
4	648	658	578	762
5	663	655	601	787
6	636	683	623	756
7	670	704	648	
8	677	723		
9	683	743		
10	683	810		
11	685	860		
12	691	870		
13	694			
14	698			

ตารางที่ 10ข ผลการเผาในการเติมขยะ 20 kg อัตราส่วน4:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	398	648	648	597
1	392	655	635	600
2	367	680	524	615
3	334	710	498	623
4	310	765	583	639
5	297	781	596	656
6	301	805	592	670
7	309	822	622	697
8	314	820	628	701
9	323	812	633	711
10	334	841	671	719
11	352	816	697	724
12	377		735	725
13	398		751	718
14	426		799	
15	406		803	
16			782	

ตารางที่ 11ข ผลการเผาในการเติมขยะ 5 kg อัตราส่วน3:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	354	210	764	718
1	432	210	724	723
2	450	195	738	722
3	450	192		732
4	492	191		730
5	556	194		737
6	563	197		747
7		198		769
8		199		765
9		200		
10		203		
11		204		
12		205		

ตารางที่ 12ข ผลการเผาในการเติมขยะ 10 kg อัตราส่วน 3:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	563	205	729	765
1	556	204	648	739
2	486	202	657	750
3	452	194	650	756
4	454	191	634	780
5	474	195	649	793
6	514	200	671	784
7	542	200	675	
8	555			
9	568			
10	569			

ตารางที่ 13ข ผลการเผาในการเติมขยะ 15 kg อัตราส่วน 3:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	569	620	675	784
1	552	669	653	758
2	487	691	561	752
3	469	716	530	735
4	470	727	602	727
5	478	758	610	740
6	490	766	602	758
7	509	779		778
8	524	789		795
9	532			800
10	541			
11	549			

ตารางที่ 14ข ผลการเผาในการเติมขยะ 20 kg อัตราส่วน3:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	549	191	602	800
1	543	179	592	784
2	484	165	578	721
3	444	165	574	736
4	422	173	620	742
5	433	183	658	732
6	467	470	658	729
7	497	523	673	728
8	512	590	663	727
9	515	619	677	722
10	526	616	668	728
11	534		675	735
12	538		664	742
13	540			760
14	534			814
15				865
16				878
17				885
18				896
19				894

ตารางที่ 15ข ผลการเผาในการเติมขยะ 5 kg อัตราส่วน2:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	468	182	695	893
1	450	179	671	822
2	455	183	693	777
3	466	190	715	805
4	502	198	726	810
5	508	203	750	814
6	510	206	753	
7	513	207		
8	515	208		
9		211		
10		214		

ตารางที่ 16ข ผลการเผาในการเติมขยะ 10 kg อัตราส่วน 2:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	515	214	753	814
1	504	212	733	788
2	482	207	656	744
3	484	199	626	734
4	498	190	619	736
5	510	181	750	762
6		178		812
7		180		843
8		185		906
9		188		915
10		190		948
11		193		959
12		196		
13		196		
14		197		
15		199		
16		201		
17		206		
18		210		
19		212		
20		215		
21		219		
22		221		
23		222		

ตารางที่ 17ข ผลการเผาในการเติมขยะ 15 kg อัตราส่วน 2:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	361	587	750	959
1	387	598	692	884
2	435	601	686	833
3	449	716	603	824
4	461	732	588	821
5	477	761	589	819
6	483	762	610	823
7	495	771	650	826
8	501	781	690	832
9	510	792	728	829
10	520	804	776	824
11		815	786	833
12		829	796	858
13		842	832	889
14		848	844	892
15		850		

ตารางที่ 18ข ผลการเผาในการเติมขยะ 20 kg อัตราส่วน 2:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	506	550	586	798
1	496	549	593	749
2	461	540	615	759
3	457	529	640	762
4	460	516	686	763
5	470	532	715	771
6	490	543	740	788
7	507	556	731	791
8	521	567	744	797
9	528	563	736	801
10	543	569	746	805
11	554	576	711	817
12	556	589	711	810
13	561	598	723	812
14	571	604	760	839
15	602	604	815	860
16	603	613	854	883
17	604	612	874	918
18	598		886	923
19			855	934
20				936
21				928

ตารางที่ 19ข ผลการเผาในการเติมขยะ 5 kg อัตราส่วน 1:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	578	250	754	544
1	562	203	759	581
2	567	190		600
3	582	174		625
4		159		632

ตารางที่ 20ข ผลการเผาในการเติมขยะ 10 kg อัตราส่วน 1:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	582	159	859	690
1	581	135	834	692
2	571	121	768	690
3	554	114	772	714
4	571	105	773	720
5	574	106	781	728
6		100	806	732
7		96		
8		101		
9		104		
10		106		

ตารางที่ 21ข ผลการเผาในการเติมขยะ 15 kg อัตราส่วน 1:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	574	500	806	916
1	572	505	792	827
2	536	505	746	787
3	517	503	738	819
4	511	503	748	834
5	507	504	749	798
6	506	508	742	
7	510	518	732	
8	517	528	722	
9	528	541	739	
10	537	554	757	
11	542	570	758	
12	559	578	873	
13	561	575	875	
14	581			
15	589			
16	626			

ตารางที่ 22ข ผลการเผาในการเติมขยะ 20 kg อัตราส่วน 1:1

เวลา (min)	เผาครั้งที่ 1 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 2 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 3 (^{o}C)	เผาครั้งที่ 4 (^{o}C)
0	626	533	875	498
1	611	551	822	549
2	544	560	756	559
3	536	588	719	562
4	543	620	734	563
5	549	645	764	571
6	570	659	810	588
7	594	661	782	591
8	615	667	796	597
9	626	671	789	601
10	636	671		605
11	639	673		617
12	620	675		610
13		677		612
14		677		639
15		677		660
16		679		683
17		680		618
18		682		623
19				634
20				636
21				628

ตารางที่ 23ข ผลการเผาขยะอัตราส่วนผสมขยะแห้งต่อขยะเปียก 1:0 น้ำหนักขยะ 200 kg ทำการเผา 4 ครั้ง

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
0	364	297	300	227	50	750	706	937	815
2	300	310	284	256	52	649	600	773	870
4	454	400	316	343	54	700	650	774	900
6	490	427	512	408	56	647	700	840	957
8	507	362	524	609	58	672	722	943	873
10	534	404	398	634	60	600	762	967	827
12	377	475	608	398	62	665	664	972	918
14	471	465	747	453	64	600	700	918	96
16	451	446	773	638	66	631	715	942	826
18	529	518	753	676	68	700	672	925	788
20	600	577	635	755	70	681	744	965	795
22	507	585	664	781	72	700	750	970	923
24	530	444	820	750	74	750	667	956	929
26	558	480	798	738	76	820	700	989	980
28	660	594	672	794	78	742	720	976	998
30	720	659	842	874	80	654	750	914	989
32	554	600	821	904	82	750	714	846	852
34	518	589	465	774	84	800	700	917	865
36	490	630	646	580	86	652	721	1018	873
38	521	570	746	693	88	700	750	1046	879
40	600	600	862	824	90	731	702	1062	926
42	668	560	906	865	92	750	664	989	1012
44	700	664	973	876	94	712	700	973	934
46	580	570	965	760	96	700	710		931
48	700	666	963	665	98	667	740		840

ตารางที่ 23ข (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
100	700	750		902	112	700			926
102	690			952	114				1022
104	700			991	116				1006
106	723			914	118				908
108	700			841	120				850
110	750			856					

ตารางที่ 24ข ผลการเผาขยะอัตราส่วนผสมขยะแห้งต่อขยะเปียก 4:1 น้ำหนักขยะ 200 kg ทำการเผา 4 ครั้ง

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
0	495	260	522	340	50	738	619	544	450
2	524	319	450	243	52	748	608	563	446
4	591	378	484	230	54	749	643	546	429
6	565	302	517	257	56	732	660	455	433
8	503	447	401	286	58	739	560	480	443
10	564	477	435	224	60	757	573	503	450
12	598	304	434	230	62	873	672	532	527
14	581	412	333	247	64	700	587	500	600
16	512	496	365	271	66	756	501	551	556
18	551	511	277	233	68	810	647	553	560
20	578	380	370	266	70	900	557	553	543
22	601	402	468	300	72	850	580	510	604
24	623	454	536	297	74	811	600	502	600
26	648	432	458	303	76	804	650	497	612
28	596	460	496	360	78	864	680	509	610
30	622	555	528	400	80	850	500	536	606
32	633	600	428	447	82	871	518	525	626
34	677	536	483	424	84	915	534	550	658
36	751	565	512	433	86	932	505	572	603
38	799	558	418	480	88	907	560	549	568
40	803	560	526	428	90	892	600	462	550
42	782	603	567	418	92	943	560	540	563
44	806	552	580	397	94	940	529	712	564
46	792	583	528	421	96	937	467	615	572
48	746	600	543	429	98	890	486	640	591

ตารางที่ 24ข (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
100	869	502	569	613	116	913	513	751	770
102	899	556	587	596	118	900	509	753	800
104	932	587	631	651	120		500		823
106	907	677	639	670	122		573		800
108	892	579	677	623	124		500		797
110	943	557	633	652	126		507		825
112	890	518	638	660	128		509		846
114	907	519	707	720					

ตารางที่ 25ข ผลการเผาขยะอัตราส่วนผสมขยะแห้งต่อขยะเปียก 3:1 น้ำหนักขยะ 200 kg ทำการเผา 4 ครั้ง

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
0	350	437	570	348	50	705	659	760	760
2	452	374	500	355	52	633	670	770	781
4	370	470	525	428	54	498	472	782	813
6	390	540	509	490	56	390	420	742	872
8	506	580	612	500	58	507	371	766	780
10	328	586	344	486	60	677	432	800	768
12	465	400	268	500	62	680	555	854	759
14	617	310	226	528	64	655	620	750	766
16	556	463	339	538	66	639	622	775	775
18	377	520	510	554	68	759	650	790	730
20	292	576	550	490	70	820	665	810	691
22	436	620	384	429	72	760	601	690	694
24	513	611	541	500	74	697	656	658	731
26	475	406	581	531	76	754	672	651	742
28	424	466	585	596	78	772	703	663	797
30	543	549	608	643	80	789	721	660	806
32	544	600	640	690	82	789	719	700	681
34	403	657	669	625	84	718	674	705	689
36	417	711	646	617	86	737	730	620	686
38	574	726	717	660	88	800	731	629	704
40	597	710	755	732	90	832	734	657	760
42	651	650	829	730	92	799	739	700	777
44	680	667	715	700	94	729	773	710	800
46	676	617	700	710	96	754	701	736	783
48	517	655	719	740	98	747	700	772	704

ตารางที่ 25ข (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
100	773	734	785	718	118	756	868	771	831
102	814	720	889	740	120	790	872		777
104	827	751	896	752	122	757	730		778
106	765	781	805	780	124	739	718		808
108	782	841	780	800	126	783	741		821
110	801	735	844	818	128	802	756		835
112	807	710	870	829	130	796	793		840
114	751	770	900	811	132		813		
116	726	846	945	778					

ตารางที่ 26ข ผลการเผาขยะอัตราส่วนผสมขยะแห้งต่อขยะเปียก 2:1 น้ำหนักขยะ 200 kg ทำการเผา 4 ครั้ง

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
0	343	361	240	354	50	426	582	696	572
2	270	273	426	318	52	478	605	718	589
4	339	333	448	420	54	538	396	742	595
6	381	339	498	522	56	576	291	638	401
8	487	425	431	460	58	608	248	639	347
10	268	320	546	382	60	637	248	658	317
12	205	278	634	330	62	661	396	706	306
14	345	438	647	483	64	563	486	740	316
16	380	455	640	500	66	654	500	751	470
18	456	452	548	510	68	759	571	704	544
20	458	507	643	552	70	710	540	716	598
22	356	303	641	532	72	484	600	718	673
24	301	270	606	378	74	550	604	751	710
26	291	322	579	464	76	570	614	758	405
28	238	490	599	500	78	611	450	814	410
30	210	470	626	566	80	664	317	810	825
32	410	489	647	546	82	738	300	713	692
34	442	540	659	368	84	742	422	714	720
36	297	481	690	446	86	677	451	737	494
38	238	485	693	517	88	623	586	736	536
40	213	496	710	554	90	672	640	750	575
42	191	518	725	623	92	710	450	784	590
44	194	366	745	496	94	736	313	697	626
46	340	301	667	408	96	644	297	695	666
48	406	340	673	526	98	710	450	784	590

ตารางที่ 26ข (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
100	587	508	763	740	122	878	525		835
102	649	566	786	764	124	894	363		847
104	772	580	794	806	126	919	331		875
106	823	632	817	668	128	774	366		570
108	800	646	750	682	130	780	400		
110	613	452	736	700	132	833	452		
112	605	356	759	785	134	836	521		
114	655	352	791	779	136	846			
116	672	390	804	810	138	875			
118	710	494	808	722	140	897			
120	800	539	807	741					

ตารางที่ 27ข ผลการเผาขยะอัตราส่วนผสมขยะแห้งต่อขยะเปียก 1:1 น้ำหนักขยะ 200 kg ทำการเผา 4 ครั้ง

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
0	28	164	246	44	50	193	209	474	293
2	38	164	324	201	52	155	210	431	304
4	108	430	358	188	54	123	215	380	304
6	212	447	356	188	56	107	250	483	304
8	232	409	368	184	58	100	294	575	298
10	258	250	266	217	60	92	400	560	273
12	273	210	260	241	62	96	460	496	266
14	200	183	248	254	64	96	384	540	301
16	130	163	225	258	66	98	270	600	336
18	105	156	284	262	68	114	243	596	355
20	108	188	338	254	70	157	236	482	361
22	105	300	334	227	72	163	226	536	359
24	112	424	339	223	74	246	291	564	354
26	100	466	506	257	76	334	358	593	318
28	90	306	515	303	78	348	381	557	291
30	150	251	544	316	80	360	400	553	306
32	200	408	525	318	82	270	420	607	348
34	278	394	565	323	84	190	452	581	366
36	292	457	625	327	86	148	518	581	387
38	280	473	642	318	88	130	578	607	387
40	250	380	609	286	90	123	621	615	375
42	192	302	673	253	92	110	625	604	335
44	200	277	571	263	94	100	461	627	313
46	280	234	500	272	96	102	500	694	326
48	327	214	496	287	98	107	524	700	336

ตารางที่ 27ข (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
100	107	507	652	338	152	354	753		363
102	180	540	680	336	154	400	638		385
104	230	600	689	336	156	250	630		397
106	270	635	650	336	158	200	676		395
108	150	395	810	334	160	180	726		352
110	130	325	790	304	162	150	602		370
112	123	309	734	276	164	136	608		385
114	121	292	810	276	166	133	655		379
116	142	280	840	281	168	127	712		358
118	330	262	710	293	170	126	758		375
120	475	336	746	322	172	129	759		371
122	454	490	740	343	174	125	810		368
124	216	558	806	359	176	122	868		354
126	200	590	839	367	178	126			319
128	170	621	758	322	180	137			311
130	139	662	778	297	182	238			320
132	136	356	718	304	184	276			337
134	300	341	700	321	186	200			348
136	394	316	666	340	188	180			354
138	448	300	659	356	190	136			356
140	480	295	700	366	192	140			362
142	263	321	715	362	194	145			360
144	200	545	770	343	196	139			365
146	170	596	815	315	198	128			
148	210	634	876	328	200	147			
150	330	670		348	202	130			

ตารางที่ 27ข (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
204	128				224	120			
206	126				226	130			
208	100				228	164			
210	100				230	150			
212	114				232	140			
214	120				234	128			
216	125				236	100			
218	140				238	105			
220	120				240	99			
222	114								

ตารางที่ 28ข ผลการเผาขยะโดยไม่ใส่เหล็กก้างปลาอัตราส่วนผสม 1: 0 น้ำหนักขยะ 100 kg

เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (^{o}C)
0	28	52	200	104	250
2	146	54	159	106	266
4	230	56	250	108	240
6	207	58	300	110	240
8	119	60	350	112	200
10	110	62	300	114	230
12	149	64	325	116	320
14	209	66	350	118	320
16	181	68	340	120	300
18	132	70	250	122	350
20	140	72	200	124	360
22	160	74	300	126	350
24	163	76	400	128	300
26	186	78	450	130	250
28	150	80	300	132	300
30	93	82	200	134	200
32	76	84	200	136	300
34	100	86	250	138	350
36	130	88	280	140	300
38	191	90	290	142	200
40	250	92	250	144	150
42	350	94	150	146	100
44	360	96	180	148	80
46	400	98	140		
48	200	100	120		
50	226	102	200		

ตารางที่ 29ข แสดงการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิทางอุดมคติ

	1 : 0	4 : 1	3 : 1	2 : 1	1 : 1
ค่าสูงสุด	488	691	798	700	830
ค่าเฉลี่ย	376	561	664	582	712
ค่าต่ำสุด	234	370	484	439	515
คาบ	11.0	9.0	9.7	7.4	8.5

ตารางที่ 30ข ผลของอุณหภูมิทางอุดมคติจากการแทนค่าในสมการ 4.2

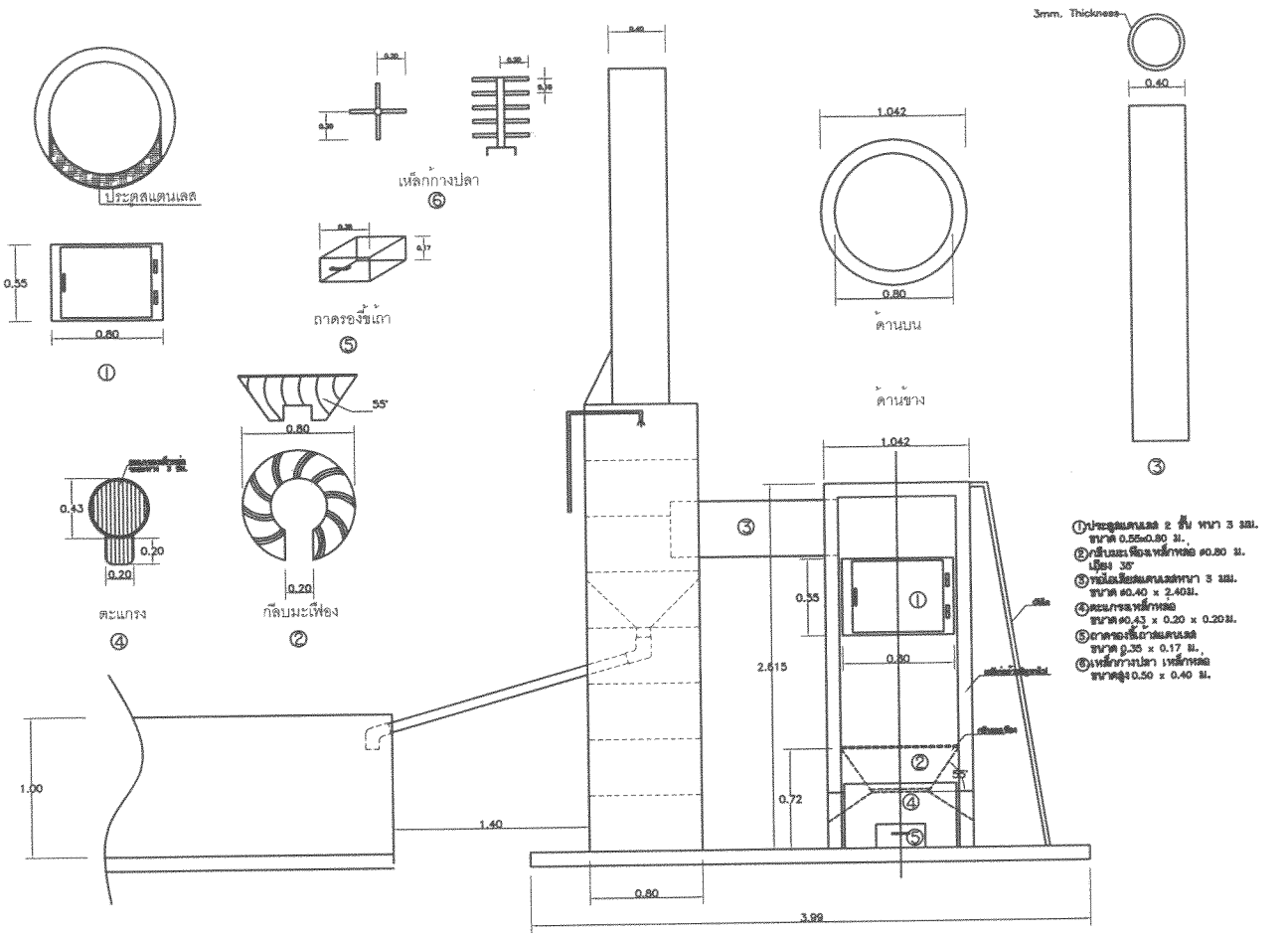
เวลา (min)	1 : 0	4 :1	3 :1	2 :1	1 : 1
1	818	680	759	664	445
2	869	711	815	719	492
3	838	655	810	700	502
4	741	549	746	616	472
5	629	465	649	506	412
6	560	461	557	422	340
7	571	539	509	403	280
8	655	646	524	458	250
9	769	710	596	561	261
10	853	687	695	665	308
11	863	593	781	719	376
12	794	491	821	700	445
13	682	452	796	615	492
14	586	501	718	505	502
15	555	605	618	422	472
16	607	694	537	403	411
17	713	707	507	458	340
18	819	635	541	562	280
19	869	527	625	665	250
20	837	457	724	719	261
21	740	471	800	699	308

ตารางที่ 30ข (ต่อ)

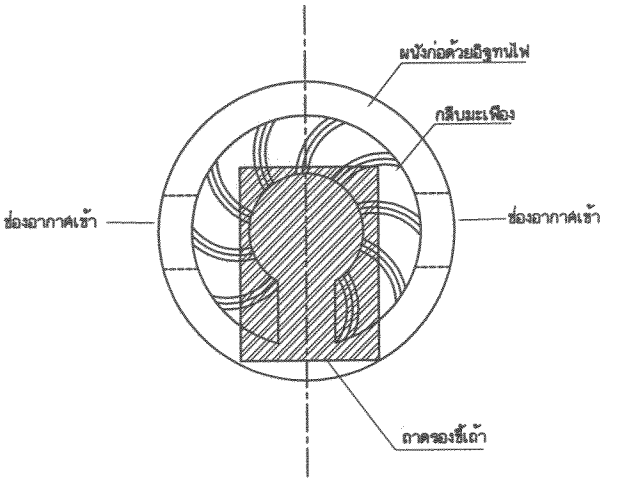
เวลา (min)	1 : 0	4 :1	3 :1	2 :1	1 : 1
22	628	561	820	615	377
23	560	665	777	505	445
24	572	712	688	421	492
25	656	671	590	403	502

ภาคผนวก ค

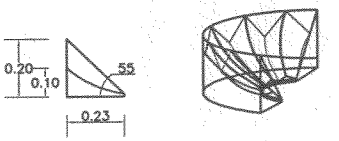
แบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก



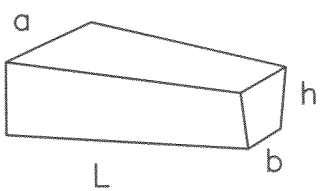
ภาพที่ 1ค แบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กและระบบบำบัดอากาศและน้ำ



รูปตัด ก – ก



รูปตัดกลีบมะเฟือง



ขนาดของอิฐทนไฟ

SA – 64	SA – 50
a = 75 mm.	a = 75 mm.
b = 64 mm.	b = 50 mm.
h = 115 mm.	h = 115 mm.
L = 230 mm.	L = 230 mm.

ภาพที่ 2ค แบบของกลีบมะเฟือง

ประวัติผู้เขียน

นายอัศวิน สืบนุการณ์ เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2507 จบการศึกษาระดับปริญญาที่ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพมหานคร ได้เคยเข้าทำงานที่ บริษัท อิตาเลี่ยน-ไทย จำกัด, บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด, บริษัท เอเชี่ยนเคมีคอล แอนด์เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด และ บริษัท ทีบีเคกรุงเทพ จำกัด ตามลำดับ จากการทำงานที่เกี่ยวกับเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมการผลิต และระบบบำบัดอากาศ ทำให้มีแรงจูงใจในการศึกษาต่อและได้เข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2541

ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏสุรินทร์