

การระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ



นางสาว ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-03-0078-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVAPORATION LEACHATE BY USING LANDFILL GAS

Miss Tidarat Kongvivatsakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-03-0078-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะ

โดย

นางสาว อิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ร.ศ.สุรี ชาวเขียว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ)

.....กรรมการ

(รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.ธีระ เกรอต)

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล : การระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะ.

(Evaporation of leachate by using Landfill Gas;LFG)

อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ, 157 หน้า. ISBN 974-03-0078-2

องค์ประกอบ LFG ที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน จ.นครปฐม มีก๊าซมีเทน 45-50% คาร์บอนไดออกไซด์ 35 % ออกซิเจน 1-2 % ที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์มีค่า 0-18 พีพีเอ็ม ไนตริกออกไซด์ 0-9 พีพีเอ็ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0-0.6 พีพีเอ็ม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0-1 พีพีเอ็ม งานวิจัยนี้ใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสนเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในการเผาระเหยน้ำชะมูลฝอย น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นมีค่า บีโอดี 1800 มก./ล ซีโอดีเฉลี่ย 6450 มก./ล นอกจากนี้ยังตรวจพบปริมาณโลหะหนักได้แก่ โครเมียม 1.06 มก./ล ตะกั่ว 0.228 มก./ล และปรอท 0.03 มก./ล โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรอทมีค่าเกินมาตรฐานมาก

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเตาเผาระเหย 2 รูปแบบ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน เปรียบเทียบประสิทธิภาพเตาเผาทั้ง 2 รูปแบบ ไอรระเหยน้ำชะมูลฝอยที่ควบคุม ค่าซีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจนจากเตาเผาระเหย Direct Fire มีค่าสูงกว่าแบบ Fire Tube เนื่องจากเขม่า คาร์บอนและก๊าซที่เกิดขึ้นจากการลุกไหม้เป็นเปลวไฟลอยตัวปนมากับไอรระเหย และรูปแบบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าของเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire ทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนระเหยออกในปริมาณสูง มีผลให้พีเอชของไอรระเหยที่ควบคุมมีค่าสูงด้วยเช่นกัน

เตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube ทำการติดตั้งหัวเผาที่บริเวณด้านนอกทางตอนล่างของตัวเตาเผาเชื่อมต่อกับท่อถ่ายเทความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเตา ในช่วงแรกของการทดลองจะทำการเดินระบบแบบ แบทซ์ อัตราการเผาระเหยอยู่ในช่วง 2-13.9 ลิตร/ชม. อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 0.17-1.6 ลบ.ม.มีเทน/ลิตร น้ำชะมูลฝอย และในช่วงหลังเดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน อัตราการเผาระเหยอยู่ในช่วง 4-7 ลิตร/ชม. อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 0.49-0.72 ลบ.ม.มีเทน/ลิตร น้ำชะมูลฝอย ซึ่งแสดงให้เห็นอัตราการเผาระเหยจะลดลง อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนสูงขึ้น ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว

เตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire ทำการติดตั้งหัวเผาและป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าที่บริเวณตอนบนของตัวเตาเผาให้เปลวไฟและน้ำชะมูลฝอยไหลอยู่ในท่อเดียวกัน ทำการเผาระเหยน้ำชะมูลฝอย 50 ลิตร ปรับอัตราการป้อน 0.23, 0.55, 0.8, 1.0 ลิตร/นาที่ ที่อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที่ อัตราการเผาระเหยมีค่าสูงสุด 15-19 ลิตร/ชม. อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนมีค่าต่ำสุด 0.1-0.15 ลบ.ม.มีเทน/ลิตร น้ำชะมูลฝอย ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube เป็นอย่างมาก

ผลการตรวจวัดก๊าซที่เกิดขึ้นหลังการเผาระเหยก่อนและหลังผ่านเตาเผาควัน พบว่าเตาเผาควันช่วยลดระดับก๊าซมลพิษก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนด

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

##4070302121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORDS : LANDFILL GAS (LFG) / FIRE TUBE / DIRECT FIRE/ EVAPORATION RATE/
METHANE LOSING RATE

TIDARAT KONGVIVATSAKUL : EVAPORATION LEACHATE BY USING LANDFILL GAS

THESIS ADVISOR : ASSC. PROF.PETCHPORN CHAWAKITCHAREON,Ph.D., 157pp.

ISBN 974-03-0078-2

Evaporated leachate in two patterns evaporator ; Fire Tube and Direct Fire Evaporator ; by using landfill gas (LFG) at Kamphansan Landfill , Nakornpathom province. LFG consists of CH_4 45-50%, CO_2 35%, O_2 1-2%, concentration of pollute gas in LFG such as CO 0-18 ppm., NO 0-9 ppm, SO_2 0-0.06 ppm, H_2S 0-1 ppm. Raw leachate has very high level of BOD 1800 mg/l, COD average 6450 mg/l and heavy metal such as chromium 1.06 mg/l lead 0.228 mg/l and mercury 0.03 mg/l that are over standard limit.

The distillate leachate from Direct Fire Evaporator was higher COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ than Fire Tube Evaporator because of smoke and exhausted gas after burning be able to accumulate in the evaporator and contaminate in evaporate leachate that directly effected to COD level. For high heat transfer efficiency in Direct Fire Evaporator that cause $\text{NH}_3\text{-N}$ could evaporate very well that effected to high pH value in distillate leachate as well.

Fire Tube Evaporator's burner was installed at the bottom outside evaporator. The burner had been connected with heat transfer pipe that passed through inside the evaporator. The beginning of experiment was run batch process. Evaporation rate was in range 2-13.9 l/hr, Methane Losing Rate was in range 0.17-1.6 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ / l leachate. The next experiment was run 5 days continuous process . Evaporation rate was in range 4-7 l/hr., Methane Losing Rate was in range 0.49-0.72 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ / l leachate. The result of experiment showed that after using Fire Tube Evaporator for couple months, Evaporation Rate, Methane Losing Rate and efficiency were decreased.

Direct Fire Evaporator's burner was installed at the top of evaporator . Fire and influent leachate traveled into the same vertical pipe. Vary feed rate 0.23, 0.55, 0.8, 1.0 l/min. At feed rate 1.0 l/min received the highest Evaporation Rate ; 15-19 l/hr, the lowest Methane Losing Rate ; 0.1-0.15 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ / l leachate

The polluted gas from evaporation was decreased after passed through the Oxidation Chamber. The polluted gas level were lower than defined air quality standard before released to the atmosphere.

Department Environmental Engineering

Student's signature

Field of study Environmental Engineering

Advisor's signature

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

คุณ อรรถวุทธิ์ รื่นเรใจ และเจ้าหน้าที่ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในการอนุเคราะห์ใช้ สถานที่หลุมฝังกลบขยะกึ่งแอมบิโอติกในการดำเนินงานวิจัย อุปกรณ์เครื่องมือวัด พร้อมทั้งจัดหาสถานที่พักให้แก่ผู้วิจัยในระหว่างดำเนินงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และผู้ใกล้ชิดทุกท่าน ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4. ข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1. ขยะมูลฝอย.....	6
2.1.1. ขยะมูลฝอย.....	6
2.1.2. คุณสมบัติของมูลฝอย.....	6
2.1.3. วิธีการกำจัดมูลฝอย.....	8
2.1.4. การฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล.....	11
2.2. น้ำชะมูลฝอย.....	12
2.2.1. การเกิดน้ำชะมูลฝอย.....	12
2.2.2. ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย.....	13
2.2.3. การควบคุมน้ำชะมูลฝอย.....	18
2.3. ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย (Landfill Gas; LFG).....	18
2.3.1. กระบวนการในการเกิด LFG.....	18
2.3.2. องค์ประกอบของ LFG.....	20
2.3.3. การนำก๊าซ LFG มาใช้ประโยชน์ในเมืองไทย.....	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4 ทฤษฎีการระเหย.....	23
2.4.1.กลไกการระเหย.....	23
2.4.2.ปัจจัยที่ทำให้เกิดการระเหย.....	23
2.4.3.องค์ประกอบที่ควบคุมการระเหยของน้ำ.....	24
2.4.4.การคำนวณหาค่าการระเหยของน้ำ.....	25
2.4.5.เทคนิคในการเร่งการระเหย.....	28
2.4.6.การหาค่าพลังงานความร้อนในการระเหยน้ำระเหย.....	29
2.5 มลพิษทางอากาศ.....	30
2.5.1.องค์ประกอบของอากาศ.....	30
2.5.2.ก๊าซและไอต่างๆซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ.....	30
2.5.3.ผลของก๊าซพิษบางชนิดต่อสุขภาพมนุษย์.....	31
2.6 ทบพวนเอกสาร.....	33
3.วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 แผนการวิจัย.....	45
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	46
3.3 ขั้นตอนในการวิจัย.....	47
3.4 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย.....	52
4.ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	58
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น(Raw Leachate)จากหลุมฝังกลบขยะ.....	58
กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม	
4.2 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซ LFG สำหรับหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน.....	60
4.2.1 ความเร็วและอุณหภูมิของก๊าซ LFG.....	60
4.2.2 องค์ประกอบของก๊าซ LFG.....	60
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของเตาเผาขยะแบบ Fire Tube และแบบ.....	64
Direct Fire	
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าก๊าซและอุณหภูมิ.....	64

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3.1.1	64
เปอร์เซ็นต์ก๊าซ (% CH ₄ , %O ₂ , %CO ₂ , % ก๊าซอื่นๆ) และความเข้มข้น.....	
ก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO ₂ , H ₂ S) ที่เหลือก่อนผ่านไปยังเตาเผาควัน	
4.3.1.2	68
เปอร์เซ็นต์ก๊าซ (% CH ₄ , %O ₂ , %CO ₂ , % ก๊าซอื่นๆ) และความเข้มข้น.....	
ก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO ₂ , H ₂ S) ที่เหลือหลังผ่านเตาเผาควัน	
4.3.1.3	71
ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเตาเผาขยะ.....	
4.3.2	72
ผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมีของน้ำชะมูลฝอย.....	
4.3.2.1	74
ซีโอไซด์.....	
4.3.2.2	78
แอมโมเนียไนโตรเจน.....	
4.3.2.3	78
อินทรีย์ไนโตรเจน.....	
4.3.2.4	81
พีเอช.....	
4.3.2.5	83
ความเป็นด่าง.....	
4.3.2.6	85
กรดไขมันระเหย.....	
4.3.2.7	85
สารแขวนลอย สารคงตัว และสารระเหยได้.....	
4.3.3	91
ผลของอัตราการเผาขยะ.....	
4.3.3.1	91
ผลของอัตราการเผาขยะการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tub.....	
4.3.3.2	94
ผลของอัตราการเผาขยะการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire.....	
4.3.3.3	97
เปรียบเทียบอัตราการเผาขยะในการทดลองเตาเผาขยะ.....	
แบบ Fire Tube และแบบ Direct Fire	
4.3.4	97
ผลของอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย (V _{Loss}).....	
4.3.4.1	98
ผลของอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย.....	
ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube	
4.3.4.2	98
ผลของอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย.....	
ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire	
4.3.4.3	100
เปรียบเทียบอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย.....	
ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube กับแบบ Direct Fire	
4.3.5	100
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเผาขยะกับอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตร.....	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.สรุปผลการทดลอง.....	101
6.ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม.....	104
รายการอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.ค่าที่ทำการตรวจวัดก๊าซและอุณหภูมิในภาคสนาม.....	108
ภาคผนวก ข.ค่าวิเคราะห์ทางเคมี.....	121
ภาคผนวก ค.ระยะเวลาและอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง.....	134
ภาคผนวก ง.ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย.....	140
ภาคผนวก จ.มาตรฐานคุณภาพอากาศ.....	146
ภาคผนวก ฉ.มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง.....	150
ภาคผนวก ช.การคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย.....	153
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	157

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ.....9 ระหว่างปี 2529-2539	
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมูลฝอย.....10 ระหว่างปี 2529-2539	
ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่และเก่า.....15 (Tchobanoglous และคณะ., 1993)	
ตารางที่ 2.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขยะมูลฝอย(Keenan, 1993).....16	
ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากกองขยะข่อยอ่อนนุช.....17 (วีรวรรณ, 2531)	
ตารางที่ 2.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยน้ำชะมูลฝอย (Steinmetzer, 1987).....35	
ตารางที่ 2.7 คุณภาพในการกลั่น ค่ารับประกัน ประสิทธิภาพในการกำจัด.....35 (Steinmetzer, 1987)	
ตารางที่ 2.8 พารามิเตอร์ในการประมาณค่า Leachate Evaporation Potential.....38	
ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย.....48	
ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดในการดำเนินการทดลอง.....52	
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น(Raw Leachate).....59	

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย (วรพงศ์,2543).....	12
รูปที่ 2.2 รูปแบบการเกิดก๊าซที่ได้จากหลุมฝังกลบ (Augenstein และ Pacey, 1981).....	19
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขบวนการต่างๆในหลุมฝังกลบกับ ค่า Feasibility Ratio ตลอดชั่วอายุของหลุมฝังกลบในรูปแบบของกราฟ Hypothetical (Birchler,1994)	39
รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเตาเผาขยะแบบ Fire Tube.....	53
รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบเตาเผาขยะแบบ Direct Fire.....	54
รูปที่ 3.3 แสดงชุดหัวเผาและท่อที่น้ำชะมูลฝอยผ่านได้รับความร้อนจากหัวเผา.....	55
ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire	
รูปที่ 3.4 แสดงชุดเตาเผาขยะแบบ Fire Tube และตำแหน่งการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ.....	56
รูปที่ 3.5 แสดงชุดเตาเผาขยะแบบ Direct Fire และตำแหน่งการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.1 ความเร็วก๊าซภายในเส้นท่อที่ต่อกับชุดเตาเผาขยะแบบต่างๆ.....	61
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิก๊าซภายในเส้นท่อที่ต่อกับชุดเตาเผาขยะแบบต่างๆ.....	61
รูปที่ 4.3 เปอร์เซนต์องค์ประกอบก๊าซ LFG ภายในท่อก๊าซที่ต่อเข้ากับตัวเตาเผาขยะ.....	62
รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษใน LFG ภายในท่อก๊าซที่ต่อเข้ากับตัวเตาเผาขยะ.....	63
รูปที่ 4.5 เปอร์เซนต์ก๊าซ LFG หลังการเผาขยะก่อนผ่านเตาเผาควัน.....	66
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO ₂ , H ₂ S).....	67
หลังการเผาขยะก่อนผ่านเตาเผาควัน	
รูปที่ 4.7 เปอร์เซนต์ก๊าซหลังผ่านเตาเผาควัน.....	69
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO ₂ , H ₂ S) หลังผ่านเตาเผาควัน.....	70
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดเตาเผาขยะแบบ Fire Tube.....	73
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน...73	73
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ฮีโรไดต์ การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube.....	76
เดินระบบแบบ แปะช	
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ฮีโรไดต์ การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube.....	76
เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน	

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ที่ไฮโดรในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	77
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ที่ไฮโดรในน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น.....	77
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียในโตรเจน การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	79
รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียในโตรเจน.....	79
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์ในโตรเจน การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	80
รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์ในโตรเจน การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire.....	80
รูปที่ 4.19 พีเอชของน้ำชะมูลฝอย การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	82
รูปที่ 4.20 พีเอชของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น.....	82
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.21 พีเอชของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	82
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.22 ความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอย.....	84
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เดินระบบแบบ แบท	
รูปที่ 4.23 ความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอย.....	84
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน	
รูปที่ 4.24 ความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น.....	84
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.25 ความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	84
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.26 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอย.....	86
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เดินระบบแบบ แบท	
รูปที่ 4.27 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอย.....	86
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน	
รูปที่ 4.28 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น.....	86
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.29 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	86
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.30 สารแขวนลอย สารคงตัว และสารระเหยได้ ในน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น.....	88
รูปที่ 4.31 สารแขวนลอย สารคงตัว และสารระเหยได้ ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	89
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube	
รูปที่ 4.32 สารแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	90
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.33 สารคงตัวในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	90
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.34 สารระเหยได้ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น.....	90
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน	
รูปที่ 4.35 แสดงชุดหัวเผาของชุดเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	92
ที่มีการเจาะรูเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินหลังจุดติดไฟ	
รูปที่ 4.36 แสดงฟองที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	92
รูปที่ 4.37 อัตราการเผาระเหยของเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	93
รูปที่ 4.38 อัตราการเผาระเหยของเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire.....	93
รูปที่ 4.39 แสดงสภาพสีกร่อนของหัวเผาในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube.....	95
รูปที่ 4.40 หัวเผาแบบ Direct Fire.....	96
รูปที่ 4.41 อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่เผาระเหย.....	99
ของเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube	
รูปที่ 4.42 อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่เผาระเหย.....	99
ของเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ผ่านมาส่งผลให้เกิดการขยายตัวของชุมชนภายในประเทศมากขึ้นทั้งในส่วนกลางและส่วนภูมิภาค จำนวนประชากรในชุมชนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีปริมาณมูลฝอยที่ต้องนำไปกำจัดเพิ่มมากขึ้น การกำจัดมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชนเทศบาลและสุขาภิบาลทั่วประเทศมีปริมาณถึงวันละ 11,000 ตัน โดยท้องถิ่นสามารถให้บริการเก็บขนไปกำจัดได้ประมาณ 80-90% ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นและนำไปกำจัดในสถานที่กำจัดของชุมชนแต่ละแห่ง วิธีการกำจัดที่ปฏิบัติกันอยู่โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีกองบนพื้นหรือเผากลางแจ้ง มีชุมชนบางแห่งเท่านั้นที่มีการกำจัดโดยการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล เนื่องจากวิธีฝังกลบเป็นวิธีที่สะดวก เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุน และดำเนินการต่ำกว่าวิธีอื่นๆ นอกจากประโยชน์ทางการประหยัด การฝังกลบยังลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมมากมาย รวมถึงความเสี่ยง และความสะดวกรวดเร็ว โดยมูลฝอยย่อยสลายภายใต้สถานที่ที่ถูกควบคุม จนกระทั่งมีการเปลี่ยนรูปมูลฝอยจนเป็นสารคงตัว (Stabilized Material) อย่างไรก็ตามในกระบวนการฝังกลบจะทำให้เกิดมลพิษอันเนื่องมาจากน้ำฝน และน้ำจากมูลฝอยซึมผ่านชั้นมูลฝอยที่ฝังกลบ โดยน้ำได้พาสารละลาย และสารแขวนลอยมากมายทำให้เกิดเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสูง ซึ่งเรียกว่า น้ำชะมูลฝอย (Leachate) ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าน้ำชะมูลฝอยนี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนอย่างรุนแรงแก่ดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน จากการที่น้ำเสียนั้นซึมผ่าน

น้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำเสียที่มีความคงตัวสูง (High-strength wastewater) ซึ่งมีบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) สูงและอาจมีสารที่เป็นพิษ ระบบบำบัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือการใช้บ่อผึ่งในการบำบัดน้ำเสียซึ่งไม่สามารถลดค่าความสกปรกนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวิธีนี้ต้องการพื้นที่มาก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อที่ดิน และเสียพื้นที่ที่จะใช้ในการฝังกลบมูลฝอย

เนื่องจากวิธีฝังกลบมูลฝอยจะให้ผลพลอยได้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas ; :LFG) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบของมีเทนเป็นหลักประมาณ 55% คาร์บอนไดออกไซด์ 45% ที่เหลือจะเป็นก๊าซออกซิเจน และก๊าซอื่นๆ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีหลุมฝังกลบที่สามารถทำการเก็บรวบรวม LFG ได้เพียงแห่งเดียวคือ ที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน จ.นครปฐม ซึ่งดำเนินการนำขยะมาจากบริเวณภายใน และโดยรอบกรุงเทพมหานคร ทำการฝังกลบวันละประมาณ 4,000 ตัน ปัจจุบันมีขยะที่ถูกทำการฝังกลบแล้วประมาณ 11 ล้านตัน โดยใช้พื้นที่ในการฝังกลบขยะดังกล่าวเป็นบริเวณ 610,000 ตารางเมตรและจะมีการเพิ่มเนื้อที่เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรับปริมาณขยะที่ถูกนำเข้ามาฝังกลบเป็นจำนวนเพิ่มขึ้นในแต่ละวัน ทำให้ปริมาณน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ยกแก่การบำบัดโดยวิธีบ่อบำบัด ซึ่งใช้ในปัจจุบัน

ในการวิจัยครั้งนี้ได้สังเกตเห็นถึงประโยชน์ของการนำ LFG มาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงให้ความร้อน เพื่อทำการระเหยน้ำชะมูลฝอย อันเป็นวิธีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยวิธีหนึ่ง และลดการใช้พื้นที่ในการบำบัด พร้อมทั้งศึกษาถึงผลของค่าวิเคราะห์ต่างๆ เช่น BOD, COD, $\text{NH}_3\text{-H}$, Organic-N, pH, Alkalinity ,VFA, SS, FS, TVS , และปริมาณโลหะหนัก (Heavy Metal) ของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการบำบัด รวมทั้งตรวจวัดก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการเผาระเหยว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียงใด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีการเผาระเหย โดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน
- 1.2.2 ออกแบบตัวเตาเผาระเหย ศึกษาปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่สูญเสีย ระดับของก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาระเหย ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการเผาระเหยและที่เหลือเปรียบเทียบกับค่าก่อนการบำบัด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1. ศึกษาปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ

1.3.2. ทำการออกแบบระบบเตาเผาขยะน้ำชะมูลฝอย 2 รูปแบบและทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยเตาเผาทั้ง 2 รูปแบบจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

- รูปแบบเตาเผาแบบที่ 1 เรียกว่า Fire Tube จะมีการป้อนน้ำเสียเข้าไปภายในเตาเผาขยะบริเวณด้านข้าง ทางตอนล่างของเตาเผาขยะโดยตลอด หัวเผาจะทำการติดตั้งอยู่ภายนอกตัวเตาเผาขยะและเชื่อมต่อกับท่อถ่ายเทความร้อนซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในเตาเผา เมื่อทำการจุดหัวเผา ความร้อนจะส่งผ่านไปยังเส้นท่อแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำภายในเตาเผา ตามรูปที่ 3.1
- รูปแบบเตาเผาแบบที่ 2 เรียกว่า Direct Fire น้ำเสียจะถูกป้อนขึ้นทางตอนบนและไหลลงผ่านเวียร์เข้าไปภายในเส้นท่อ ซึ่งทางตอนบนเหนือเวียร์จะทำการติดตั้งหัวเผา ดังนั้นเมื่อมีการจุดหัวเผาเปลวไฟจากหัวเผาจะผ่านไปตามเส้นท่อซึ่งมีน้ำชะมูลฝอยไหลลงจากเวียร์ด้านบนลงสู่ด้านล่าง ทำให้น้ำชะมูลฝอยได้รับความร้อนจากเปลวไฟภายในเส้นท่อโดยตรง ตามรูปที่ 3.2

1.3.3. ทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ดังนี้

1.3.3.1 วัดเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill ; LFG) โดยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซ CH_4 , O_2 , CO_2 และก๊าซอื่นๆ

1.3.3.2 วัดค่าก๊าซ CO , NO , SO_2 , H_2S ที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังผ่านเข้าไปในเตาเผาควัน

1.3.3.3 วัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ภายในชุดเผาขยะ ได้แก่ อุณหภูมิหัวเผาของชุดเตาเผา อุณหภูมิน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผาขยะ อุณหภูมิของไอระเหยก่อนผ่านเข้าสู่ชุดเผาควัน อุณหภูมิหัวเผาของชุดเผาควัน อุณหภูมิภายในชุดเผาควันระดับที่ 1 อุณหภูมิภายในชุดเผาควันระดับที่ 2 ก่อนที่ไอระเหยและก๊าซต่างๆ จะผ่านออกไปสู่บรรยากาศ

1.3.3.4 ทำการทดลองเปรียบเทียบลักษณะสมบัติค่าวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ BOD, COD, TKN, $\text{NH}_3\text{-H}$, Organic-N, pH, Alkalinity, VFA, SS, FS, TVS ของน้ำชะมูลฝอยก่อน-หลังและที่เหลือภายในเตาเผาขยะ

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.4.1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีการเผาขยะ ในตอนเริ่มต้นได้ทำการออกแบบตัวเตาเผาขยะ โดยใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ความสูง 0.90 เมตร ทำการดัดแปลงรูปแบบให้เป็นตัวเตาเผาขยะและเตาเผาควัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณการบรรจุน้ำชะมูลฝอยที่จะทำการบำบัดและการแปรผันสัดส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางกับความสูงของถัง

1.4.2. ในการก่อสร้างออกแบบตัวเตาเผาขยะที่ใช้ปฏิบัติงานจริง จะต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างชุดเตาเผาขยะ ซึ่งจะต้องมีความสามารถในการทนความร้อนสูงๆ ได้เป็นอย่างดี มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูง มีการป้องกันการเกิดสนิมเหล็ก และหุ้มฉนวนความร้อนเป็นอย่างดี เนื่องจากชุดทดลองที่ใช้ นำวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายมาใช้ดัดแปลง เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการก่อสร้าง เมื่อทำการทดลองไปนานๆ จะเกิดสนิมเหล็กและเกิดการสึกกร่อนของเหล็กเนื่องจากความร้อนของเปลวไฟ

1.4.3. งบประมาณที่ใช้ในการลงทุนก่อสร้างตัวเตาเผาขยะมีจำกัด เป็นผลให้แนวทางในการออกแบบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเตาเผาทำได้ไม่เต็มที่

1.4.4. เนื่องจากมีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการตรวจวัดในภาคสนามเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยไม่สามารถทำการวัดค่าทั้งหมดในเวลาเดียวกันได้ จึงอาจมีการคลาดเคลื่อนของค่าที่ทำการตรวจวัด

1.4.5. เนื่องจากต้องทำการทดลองในภาคสนามที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน จ.นครปฐม ทั้งวัน แล้วจึงนำน้ำชะมูลฝอยตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการปริญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในวันถัดไป ซึ่งอาจมีผลให้ค่าวิเคราะห์เกิดการคาดเคลื่อนได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. การนำก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas : LFG) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เพื่อทำการระเหยน้ำชะมูลฝอย อันเป็นแนวทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่งในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ยากแก่การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ และเป็นการประหยัดค่าสารเคมีและวัสดุเติมต่างๆ ที่จะต้องใช้เพื่อการบำบัดทางเคมี และเป็นการประหยัดพื้นที่ที่ใช้เป็นบ่อฝังในการบำบัดแบบบ่อฝัง

1.5.2. เพื่อศึกษารูปแบบของเตาเผาขยะที่มีประสิทธิภาพและแนวทางในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาขยะน้ำชะมูลฝอย เพื่อนำไปใช้ออกแบบจริงในอนาคต

1.5.3. ศึกษาผลที่ได้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีการเผาขยะ โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการตรวจวัดทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ รวมทั้งทำการตรวจสอบก๊าซที่ได้จากการเผ่าขยะว่ามีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศหรือไม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะมูลฝอย

2.1.1 ขยะมูลฝอย

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานฉบับ พ.ศ. 2525 ให้คำจำกัดความของคำว่า “มูลฝอย” ว่าหมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากเหี่ยว และคำว่า “ขยะ” หมายถึง หยากเยื่อมูลฝอย ดังนั้น “ขยะ” และมูลฝอย มีความหมายเดียวกัน จึงใช้แทนกันได้

ตามพระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ. 2535 คำว่า “มูลฝอย” หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถูพลาสติกใส่อาหาร ภาชนะ ถ้ำหรือซากสัตว์ รวมถึงวัตถุอื่นใดซึ่งเก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่นๆ

ในทางวิชาการ “มูลฝอย” หมายถึง บรรดาสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว

2.1.2 คุณสมบัติของมูลฝอย

2.1.2.1 องค์ประกอบมูลฝอยทางกายภาพ (Physical Composition)

องค์ประกอบมูลฝอยจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดของมูลฝอยในปีงบประมาณ 2539 (ตารางที่ 2.1) ค่าองค์ประกอบของมูลฝอยประกอบไปด้วย ประเภทเผาไหม้ได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยที่ 72.13% ประกอบไปด้วย เศษอาหารมากที่สุดคือ 28.74% รองลงมาเป็นพลาสติกและโฟม 19.06% และกระดาษ 11.25% ผ้าและสิ่งของ 7.34% ส่วนมูลฝอยประเภทเผาไหม้ไม่ได้มีค่าเฉลี่ยที่ 9.93% ประกอบไปด้วย แก้วมากที่สุด 6.72% รองลงมาเป็นโลหะอื่นๆ 2.76%

ความหนาแน่น (Density) เป็นจำนวนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมูลฝอย จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการอัดตัว และมีค่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบมูลฝอย ถ้าประกอบด้วยมูลฝอยประเภทเศษอาหารมากจะทำให้ความหนาแน่นของมูลฝอยมีค่ามาก ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2539 มีค่าเฉลี่ยที่ 0.35 กิโลกรัม/ลิตร (ตารางที่ 2.2) ซึ่งข้อมูลของความหนาแน่นสามารถนำไปใช้ในการประกอบการกำหนดขนาดและชนิดของรถเก็บขนมูลฝอยที่เหมาะสม

2.1.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของมูลฝอย (Chemical Composition)

ความชื้น (Moisture Content) หมายถึงปริมาณน้ำหนักรวมที่มีอยู่ในมูลฝอย ซึ่งค่าความชื้นจะขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบของมูลฝอย ฤดูกาล ปริมาณความชื้นจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการพิจารณาวิธีการทำลายมูลฝอยที่เหมาะสม เช่น มูลฝอยที่มีความชื้นมากก็จะนำไปกำจัดโดยวิธีหมักทำปุ๋ยหมัก มีความชื้นอยู่ระหว่าง 40-60% ส่วนมูลฝอยที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 15-35% เหมาะกับการเผาให้พลังงานความร้อน ผลการวิเคราะห์มูลฝอยในปีงบประมาณ 2539 ค่าความชื้นของมูลฝอยโดยเฉลี่ยที่ 49.11% เนื่องจากมูลฝอยประกอบไปด้วยเศษอาหารมากที่สุดจึงเป็นสาเหตุทำให้มูลฝอยมีความชื้นสูง

ปริมาณของแข็งรวม (Total Solids) หมายถึง ปริมาณมูลฝอยแห้งที่เหลือจากการเอาน้ำออกไปแล้ว ในการวิเคราะห์มูลฝอย ปีงบประมาณ 2539 มีปริมาณของแข็งรวมโดยเฉลี่ยที่ 50.89%

ปริมาณสารที่เผาไหม้ (Volatile Solids) คือ ส่วนของมูลฝอยที่สามารถติดไฟหรือเผาไหม้ ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นก๊าซ CO_2 และไอน้ำซึ่งการวิเคราะห์มูลฝอย ปีงบประมาณ 2539 มีค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ที่ 39.20%

ปริมาณเถ้า (Ash) หมายถึง กากของมูลฝอยที่เหลือจากการเผาไหม้ในปีงบประมาณ 2539 มีค่าปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยที่ 11.63%

ค่าความร้อน (Calorific Value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผามูลฝอย (ได้จากการคำนวณ) ในปีงบประมาณ 2539 ค่าปริมาณความร้อนของมูลฝอยที่ได้จากการคำนวณมีค่าอยู่ระหว่าง 1,159 – 1,725.20 kcal/kg และค่าเฉลี่ยที่ 1,471.91 kcal/kg จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการเผามูลฝอยที่จะให้พลังงานความร้อนได้ด้วยอย่าง เช่น ในประเทศเยอรมันตะวันตก Incineration plant ของเมือง Krefeld ได้นำมูลฝอยที่มีค่า Calorific Value ประมาณ 1,000 – 2,000 kcal/kg ไปใช้ผลิตไอน้ำสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าพลังไอน้ำ (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2532)

2.1.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติมูลฝอยทางด้านกายภาพและทางเคมี

องค์ประกอบของมูลฝอยได้เปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางกายภาพระหว่างปี 2529-2539 พบว่ามูลฝอยประเภทเผาไหม้ได้มีค่าอยู่ในช่วง 56.06 – 72.13% และมีค่าเฉลี่ยที่ 61.58% ซึ่งประกอบด้วยมูลฝอยพลาสติกมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 15.24% รองลงมาเป็นกระดาษ 14.8% ผักและผลไม้ (เศษอาหาร) 14.48% ส่วนมูลฝอยประเภทเผาไหม้ไม่ได้ มีค่าเฉลี่ยที่ 12.47%

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมูลฝอย ระหว่างปี 2529 – 2539 แสดงในตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของมูลฝอย มีค่าอยู่ในช่วง 0.28 – 0.35 กิโลกรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยที่ 0.34 กิโลกรัม/ลิตร มีค่าความหนาแน่นปานกลาง

ค่าความหนาแน่นน้อยอยู่ระหว่าง 0.10 – 1.17 กิโลกรัม / ลิตร

ค่าความหนาแน่นปานกลางอยู่ระหว่าง 0.17 – 0.25 กิโลกรัม / ลิตร

ค่าความหนาแน่นสูงอยู่ระหว่าง 0.35 – 0.50 กิโลกรัม / ลิตร

ปริมาณความชื้นของมูลฝอยมีค่าอยู่ในช่วง 45.02% - 59.42% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 52.10%

ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีค่าอยู่ในช่วง 22.66% - 39.26% มีค่าเฉลี่ยที่ 31.76% จากปี 2537 – 2539 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

ปริมาณแถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 11.40% - 24.32% มีค่าเฉลี่ยที่ 16.14% ในช่วงปี 2535 – 2539 มีแนวโน้มที่ลดลง

2.1.3 วิธีการกำจัดมูลฝอย

วิธีการกำจัดมูลฝอยโดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธี คือ

2.1.3.1 การหมักทำปุ๋ย (Composting) เป็นการย่อยสลายอินทรีย์ โดยอาศัย ขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์ให้ได้แร่ธาตุที่ค่อนข้างคงรูป ซึ่งมีคุณค่าใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ระหว่างปี 2529-2539

องค์ประกอบทางกายภาพ	ปริมาณองค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)											
	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	เฉลี่ย
ประเภทเผาไหม้ได้	60.61	61.75	56.07	61.75	56.06	63.91	63.37	59.30	59.52	62.87	72.13	61.58
กระดาษ	18.62	14.71	14.21	15.71	14.95	19.23	10.80	15.40	13.99	14.49	11.25	14.85
ผ้าและสิ่งทอ	10.23	6.11	1.99	6.11	5.44	5.53	4.15	4.50	3.49	1.95	7.34	5.17
พลาสติก	13.09	10.76	12.77	10.76	10.44	16.22	19.10	16.02	20.66	18.72	19.06	15.24
ไม้และใบไม้	8.50	11.18	11.95	10.18	7.05	4.78	7.06	4.24	5.89	5.39	2.98	7.20
ผักและผลไม้ (เศษอาหาร)	6.82	12.66	8.99	12.66	11.21	8.10	18.94	15.76	14.72	20.72	28.74	14.48
กระดุกและเปลือกหอย	3.01	5.62	4.69	5.62	4.13	4.97	1.66	1.21	0.62	0.78	0.40	2.97
หนังและยาง	0.35	0.71	1.47	0.71	2.84	5.28	1.66	2.17	0.15	0.82	2.36	1.68
ประเภทเผาไหม้ไม่ได้	14.79	15.13	14.20	15.13	16.84	14.20	14.54	7.78	7.75	6.91	9.93	12.47
เหล็กและโลหะอื่นๆ	3.27	3.63	3.63	3.63	3.78	4.98	1.66	2.52	2.00	1.28	2.76	3.01
แก้ว	2.84	4.79	8.37	4.79	7.18	4.52	10.80	4.65	4.64	3.86	6.72	5.74
หินและเซรามิค	8.68	6.71	2.21	6.71	5.88	4.70	2.08	0.61	1.11	1.77	0.46	3.72
ประเภทอื่นๆที่มีขนาด	24.60	23.12	29.74	23.12	27.10	21.89	22.09	32.92	32.73	30.22	17.94	25.95
เล็กกว่าและใหญ่กว่า 5 มม.												
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ที่มา : งานสำรวจและวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด กทม., ปี 2540

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมูลฝอย ระหว่างปี 2529-2539

คุณสมบัติ	ปีงบประมาณ											
	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	เฉลี่ย
ความหนาแน่น(กิโลกรัม/ลิตร)	0.29	0.35	0.28	0.35	0.34	0.39	0.32	0.38	0.35	0.35	0.35	0.34
ปริมาณความชื้น (%)	55.95	58.82	57.14	59.42	56.07	45.68	45.02	47.26	48.91	49.71	49.11	52.10
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (%)	29.35	27.72	30.46	26.12	22.66	30.00	34.85	36.07	33.95	38.89	39.26	31.76
ปริมาณเถ้า (%)	14.70	13.46	12.40	14.46	21.23	24.32	20.13	16.67	17.13	11.40	11.63	16.14

ที่มา : งานสำรวจและวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักวิชาความสะอาด กทม., ปี 2540

2.1.3.2 การเผาในเตาเผา (Incineration) หมายถึง กระบวนการเผาไหม้มูลฝอยทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยใช้ความร้อนสูง และทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

2.1.3.3 การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เป็นการนำมูลฝอยมาฝัง หรือกองในพื้นที่ซึ่งจัดเตรียมไว้ และใช้เครื่องจักรกลเกลี่ยและบดอัดให้ยุบตัวแล้วใช้ดินกลบทับและบดอัดให้แน่นอีกครั้ง หลังจากนั้นนำมูลฝอยมาเกลี่ย และบดอัดเป็นชั้นๆ สลับด้วยชั้นดินกลบเพื่อป้องกันปัญหาในด้านกลิ่น แผลง และน้ำฝนชะล้าง และเหตุรำคาญอื่นๆ

2.1.4 การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

วิธีการฝังกลบมูลฝอยสำหรับมูลฝอยชุมชนที่ใช้กันอยู่มี 3 วิธีคือ

2.1.4.1 วิธีฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method) เหมาะกับบริเวณที่มีวัสดุที่ใช้ในการกลบทับอย่างพอเพียง และมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก ดินที่ถูกขุดขึ้นมาจะถูกนำไปใช้ในการกลบทับมูลฝอยในแต่ละวัน ร่องที่เตรียมไว้มีการปูพื้นด้วยวัสดุป้องกันการรั่วซึมของก๊าซ และน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝัง

2.1.4.2 วิธีฝังกลบบนพื้นที่ราบ (Area Method) วิธีนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อบริเวณที่ใช้ในการฝังกลบมูลฝอยไม่เหมาะที่จะทำการขุดเป็นร่อง และยังใช้กับบริเวณที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน มีการเตรียมพื้นที่โดยการปูวัสดุป้องกันการซึม และระบบควบคุมน้ำชะมูลฝอยวัสดุที่ใช้ในการกลบทับจะต้องขนมาจากที่อื่น หรืออาจใช้วัสดุกลบทับชั่วคราวที่สามารถนำออกได้เมื่อจะทำการฝังกลบในชั้นบน

2.1.4.3 วิธีฝังกลบบนพื้นลาด (Depression Method) เป็นการฝังกลบมูลฝอยตามเนินเขา หรือพื้นที่ลาดเอียง เทคนิคที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ ประเภทของระบบควบคุมน้ำชะมูลฝอยและก๊าซที่ใช้ และเส้นทางที่ไปยังพื้นที่ จะต้องมีการป้องกันการสะสมของน้ำทางด้านหลังของเนิน วิธีการกลบทับก็เช่นเดียวกับวิธีการกลบบนพื้นที่ราบ วัสดุที่ใช้ในการกลบทับได้มาจากการขุดเนินในช่วงเตรียมพื้นที่ฝังกลบ ถ้าวัสดุกลบทับมีไม่พอก็ต้องขนมาจากที่อื่น

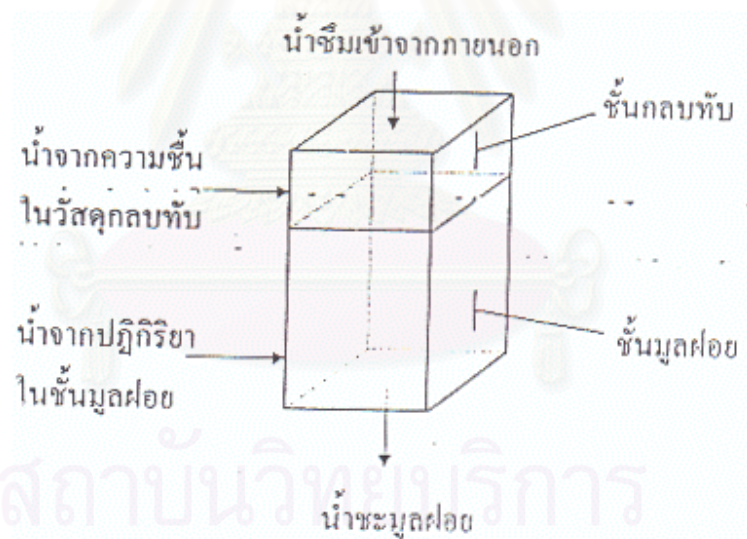
2.2 น้ำชะมูลฝอย

ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคำว่า น้ำชะมูลฝอย (Leachate) หมายถึง ของเหลวที่ซึมผ่านขยะมูลฝอย แล้วชะเอาสารละลายหรือสารแขวนลอยเจือปนออกมาด้วย ในหลุมฝังกลบมูลฝอยส่วนมาก น้ำชะมูลฝอยจะประกอบด้วยน้ำที่มาจากภายนอกหลุมฝังกลบขยะ เช่น น้ำฝน น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน กับน้ำที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของขยะในชั้นฝังกลบ

2.2.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย

ปกติแล้วน้ำชะมูลฝอยจะเกิดจาก

- น้ำซึมเข้าจากภายนอก เช่น น้ำฝน น้ำใต้ดิน เป็นต้น



รูปที่ 2.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย (วรพงษ์, 2543)

- ปฏิกริยาทางชีวภาพภายในขยะ ภายในหลุมฝังกลบขยะจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ทั้งแบบใช้ออกซิเจนในขณะที่มีออกซิเจนเพียงพอ และแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อออกซิเจนได้ถูกใช้ไปหมดแล้ว ทำให้มีน้ำเกิดขึ้น ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นนี้เมื่อผ่านชั้นขยะออกมาจะกลายเป็นน้ำชะมูลฝอยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการดังนี้

ปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน

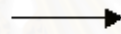
สารอินทรีย์ + ออกซิเจน +
น้ำ + สารอาหาร



เซลล์ใหม่ + สารอินทรีย์ที่เหลือ
+ คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ
+ แอมโมเนีย + ซัลเฟต + +
ความร้อน

ปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สารอินทรีย์ + น้ำ + สารอาหาร



เซลล์ใหม่ + สารอินทรีย์ที่เหลือ
+ คาร์บอนไดออกไซด์ + มีเทน
+ น้ำ + แอมโมเนีย + ไฮโดรเจนซัลไฟด์
+ ความร้อน

...
- ความชื้นของวัสดุกลบทับ

2.2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยจะมีลักษณะเป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ปัจจัยภายนอกหลุมฝังกลบ และปัจจัยภายในหลุมฝังกลบ ปัจจัยภายนอกได้แก่ สภาพแวดล้อมต่างๆ ไป บริเวณหลุมฝังกลบ เช่น สภาพทางอุทกนิยมนิคมวิทยาและสภาพอุทกวิทยา เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายในหลุมฝังกลบหมายถึง สภาพการเปลี่ยนแปลงภายในหลุมฝังกลบหรือภายในกองขยะ นับแต่เมื่อมีการนำขยะมากองรวมกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปฏิกิริยาต่างๆ ภายในหลุมฝังกลบมีผลโดยตรงกับลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย กล่าวคือ ในระยะแรก ขยะที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ผลที่ได้คือ ความร้อน และความชื้นภายในกองขยะจะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่างๆ ในการย่อยสลายขยะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้น ออกซิเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วจนหมด และเป็นเหตุให้ขยะที่อยู่ในชั้นที่ลึกลงไปอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตในสภาวะไร้ออกซิเจนจะเจริญมากขึ้นสารอินทรีย์ต่างๆ ก็จะถูกย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการไร้ออกซิเจนนี้จะมีการผลิตกรดอินทรีย์ออกมาด้วย กรดอินทรีย์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับโลหะที่ปะปนมากับขยะ ทำให้เกิดไอออนของโลหะละลายออกมา นอกจากนี้กรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีพีเอชลดต่ำลงจนอาจเกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ในระยะนี้น้ำชะมูลฝอยจะมีค่าซีไอดีสูงมาก

ในระยะต่อมาจุลินทรีย์จะย่อยสารอินทรีย์ได้มากขึ้นทำให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นกับแบคทีเรียสร้างมีเทนและองค์ประกอบของขยะถ้าขยะมีเซลลูโลสมากจะเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ถ้าขยะมีโปรตีน และไขมันมากจะเกิดก๊าซมีเทนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจะเกิดอัลกอฮอล์ อัลดีไฮด์และไทอลอล ทำให้มีกลิ่นเหม็น ในระยะนี้ค่าพีเอชในน้ำเสียจะสูงขึ้นจนเป็นกลาง และค่าซีไอดีจะลดลง เนื่องจากกรดอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (ศิริรัตน์ ชาญไวยุทธ์ 2536) ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยเมื่ออายุการฝังกลบเพิ่มขึ้นแสดงในตารางที่ 2.3

Chain และ DeWalle (1977) ได้ศึกษาสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยพบว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำเสีย ประกอบด้วยกรดไขมันระเหยได้อิสระ (Free volatile fatty acid) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 500 ส่วนสารอินทรีย์อื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ได้แก่ ฮิวมิก และฟัลวิก นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่มีหมู่ของ Carboxyl และ aromatic hydroxyl จำนวนมากอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล

ในน้ำชะมูลฝอยบางแห่งมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งสารประกอบนี้อาจเป็นสารที่ย่อยสลายยาก หรือเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ตัวอย่างของสารอินทรีย์ประเภทนี้ได้แก่ สารประกอบ Chlorinated organics, AOX (Adsorbable organic halogen) และ PAH (Polyaromatic hydrocarbon)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่และเก่า (Tchobanoglous และคณะ., 1993)

องค์ประกอบ	อายุการฝังกลบ	
	หลุมฝังกลบใหม่ (ต่ำกว่า 2 ปี)	หลุมฝังกลบเก่า
บีโอดี	2,000 – 30,000	100 – 200
ทีโอดี	1,500 – 20,000	80 – 160
ซีโอดี	3,000 – 60,000	100 – 500
ของแข็งแขวนลอย	200 – 2,000	100 – 400
อินทรีย์ไนโตรเจน	10 – 800	80 – 120
แอมโมเนียไนโตรเจน	10 – 800	20 – 400
สภาพต่าง (เทียบกับ CaCO ₃)	1,000 – 10,000	200 – 1,000
พีเอช	4.5 – 7.5	6.6 – 7.5
ความกระด้าง (เทียบกับ CaCO ₃)	300 – 10,000	200 – 500
แคลเซียม	200 – 3,000	100 – 400
แมกนีเซียม	50 – 1,500	50 – 200
โซเดียม	200 – 2,500	100 – 200
คลอไรด์	200 – 3,000	100 – 1,000
ซัลเฟต	50 – 1,000	20 – 500
เหล็ก	50 – 1,200	20 – 200

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอยที่อาจตรวจพบได้คือ โลหะหนัก ซึ่งชนิดและปริมาณจะแตกต่างกันตามสถานที่ฝังกลบแต่ละแห่ง Keenan, Iza, and Switsenbaum (1993) พบว่า ในน้ำชะมูลฝอยมีเหล็กและเซเลเนียมอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนโลหะหนักอื่นๆ มีปริมาณรองลงไป ดังตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากกองขยะชอยอ่อนนุช นอกจากนี้สารมลพิษอื่นๆ ในน้ำชะมูลฝอยได้แก่ ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปไนไตรท์ ไนเตรทและแอมโมเนีย ซึ่งก่อปัญหาเรื่องกลิ่น

ตารางที่ 2.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขยะมูลฝอย (Keenan, 1993)

ลักษณะสมบัติ	ความเข้มข้น (มก./ล)
พีเอช (unit)	5.7 – 6.8
บีโอดี	30 – 4,650
ซีโอดี	800 – 10,000
อัตราส่วน BOD ₅ / COD	0.1 – 0.9
กรดระเหย	340 – 3,600
สภาพต่าง	280 – 2,600
เหล็ก	250 – 550
แมงกานีส	10 – 65
แคลเซียม	400 – 520
แคดเมียม	0.00 – 0.35
โครเมียม	0.01 – 0.10
ทองแดง	0.00 – 0.30
ตะกั่ว	0.10 – 0.08
นิเกิล	0.05 – 1.20
สังกะสี	0.01 – 0.80
เซเลเนียม	0.0 – 11.5

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากกองขยะชอยอ่อนนุช (วีรวรรณ, 2531)

ลักษณะสมบัติ	ความเข้มข้น (มก./ล)
pH	7.0-8.5
TS	3,275.0-21,541.6
TVS	958.0-8,176.0
TSS	81.9-2,732.0
TVSS	61.7-1,015.4
TOC	750.0-2,875.0
COD	900.7-9,214.6
BOD ₅	178.2-1,881.1
TKN	298.7-2,198.6
Organic-N	101.2-440.3
NH ₃ -N	197.5-1,758.3
Total Alkalinity	850.0-9,150.0
Volatile Fatty Acids	110.0-912.7
Chloride	97.6-2,355.4
Sulphate	42.7-340.2
Chromium	<1.0
Mercury	3.8-4.7

2.2.3 การควบคุมน้ำชะมูลฝอย

เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบทางเคมี และชีวภาพมากมายดังกล่าวข้างต้น จึงไม่ควรปล่อยให้ไปเกิดการปนเปื้อนกับน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ หลุมฝังกลบขยะทุกแห่งจะต้องมีการป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยอย่างเหมาะสมดังนี้

- ลดการซึมเข้าของน้ำจากภายนอกลงสู่ชั้นฝังกลบ
- ชะลอการซึมออกของน้ำชะมูลฝอยจากชั้นฝังกลบ
- รวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ เพื่อนำไปบำบัดก่อนปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำ

การลดการซึมของน้ำจากภายนอกและชะลอการซึมออกของน้ำชะมูลฝอยทำได้โดยอาศัยวัสดุป้องกันการซึมที่ลดการซึมผ่านให้อยู่ที่อัตรา 10^{-6} ถึง 10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาทีปัจจุบันนิยมให้แผ่นกันซึมสังเคราะห์ HDPE หรือใช้ชั้นดินเหนียว หรือทั้ง 2 อย่างประกอบกัน เป็นวัสดุป้องกันการซึม

การลดการซึมของน้ำจากภายนอกต้องทำให้ผิวบนของหลุมฝังกลบลาดลงสู่คูรับน้ำข้างหลุมฝังกลบ โดยปูวัสดุกันซึมที่ผิวบนหลังจากฝังกลบขยะในแต่ละวัน หรือหลังจากทำการกลบทับในชั้นสุดท้ายเสร็จแล้ว ส่วนการชะลอการซึมน้ำชะมูลฝอยออกจากชั้นฝังกลบต้องปูวัสดุกันซึมที่ก้นหลุมตั้งแต่ช่วงเตรียมพื้นที่ฝังกลบขยะ

การรวบรวมน้ำชะมูลฝอยทำได้โดยวางท่อบนวัสดุกันซึมที่ก้นหลุมให้สามารถรับน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นได้ทั่วทั้งหลุม

2.3 ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบมูลฝอย (Landfill Gas : LFG)

2.3.1 ขบวนการในการเกิด LFG

มูลฝอยที่ถูกนำไปฝังไว้ยังหลุมฝังกลบ และมีอากาศบางส่วนอยู่ภายในช่องว่างของมูลฝอย ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นโดยทั่วไปประมาณ 6 เดือนถึง 18 เดือน จะเป็นช่วงที่ออกซิเจนซึ่งอยู่ภายในหลุมฝังกลบจะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) เพื่อทำการย่อยสลายมูล

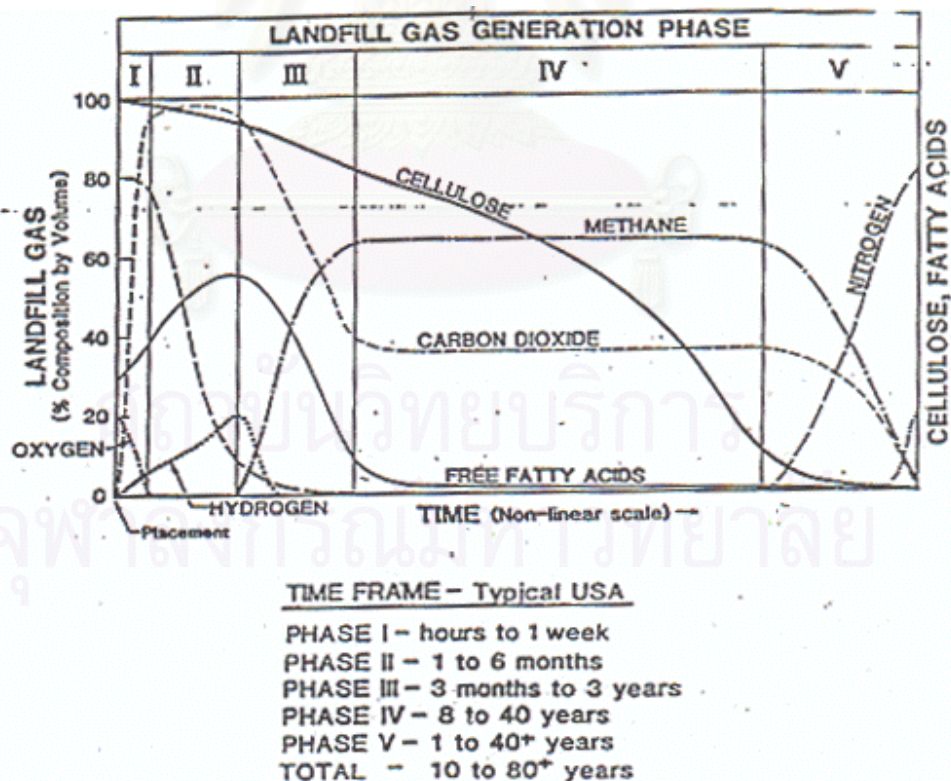
ฝอย หลังจากที่ย่อยสลายจนหมดไป แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) จะทำหน้าที่ย่อยสลายมูลฝอยต่อซึ่งเป็นผลทำให้เกิดก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการทางชีวภาพเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการผลิตก๊าซมีเทนภายในหลุมฝังกลบ โดยแบคทีเรียจะทำปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



ระยะเวลาในการย่อยสลายมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ และลำดับขั้นตอนที่เกิดขึ้นเป็นไปตามรูปที่ 2.2

โดยหลักการในการผลิต LFG จะขึ้นอยู่กับสภาพของหลุมฝังกลบ อัตราในการผลิตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว อาทิเช่น สารอาหารที่แบคทีเรียได้รับ อุณหภูมิ และระดับความสัมพันธ์ของสาร ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดก๊าซกับอุณหภูมิ และความสัมพันธ์ของอัตราเฉพาะเช่น ไมโนด ซึ่งอธิบายถึงอัตราของก๊าซที่เกิดขึ้นอยู่กับระดับปริมาณสารอาหาร



รูปที่ 2..2 รูปแบบการเกิดก๊าซที่ได้จากหลุมฝังกลบ(Augenstein และ Paccy,1981)

2.3.2 องค์ประกอบของ LFG

ลักษณะโดยทั่วไปของก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบ (Typical LFG Characteristics)

- องค์ประกอบโดยทั่วไปได้แก่

Methane(CH ₄)	: 38-58	%
Oxygen(O ₂)	: 0.2-1	%
Nitrogen(N ₂)	: 2-10	%
Carbon Dioxide(CO ₂)	: 30-48	%
Hydrogen(H ₂)	: 0-1	%(typ. < 0.2)

โดยทั่วไป LFG จะมีมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีอัตราส่วนการผสมมีเทน 55 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ 45 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามอาจมีการวัดค่าความเข้มข้นของมีเทนได้สูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ในช่วงระยะแรกของการเกิดก๊าซและเมื่อระยะเวลาผ่านไปความเข้มข้นของมีเทนที่ได้จะลดลงอยู่ในช่วง 45-48 เปอร์เซ็นต์ LFG ที่ได้จะมีไนโตรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนและก๊าซอื่นๆอยู่บางส่วน โดยส่วนใหญ่จะมีการวัดค่าออกซิเจนและไนโตรเจน ก๊าซเหล่านี้ไม่ได้เป็นผลมาจากกระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน แต่เกิดจากอากาศที่ปะปนอยู่ในขณะที่ทำการฝังกลบมูลฝอยหรืออาจเกิดจากการแทรกซึมของอากาศผ่านเข้าไปยังกองภายในหลุมฝังกลบ ถ้าออกซิเจนและไนโตรเจนไม่สามารถวัดค่าได้ในแหล่งที่ทำการสกัดแต่สามารถตรวจวัดค่าได้ในเวลาต่อมาแสดงว่าอาจมีการรั่วซึมของอากาศผ่านเข้ามายังระบบที่รวบรวมก๊าซ

โดยทั่วไปในบรรยากาศจะมีมีเทนอยู่ 5 ถึง 15% โดยปริมาตรอากาศที่ระดับน้ำทะเลและอุณหภูมิ 77 องศาฟาเรนไฮด์ ค่าพลังงานที่ให้ 400-580 BTU/ft³ พลังงานไฟฟ้าสถิตย์เพียง 0.3 มิลลิจูล ก็เพียงพอต่อการจุดติดไฟสำหรับมีเทน และมีเทนสามารถจุดติดไฟได้โดยอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 1000 องศาฟาเรนไฮด์ ความหนาแน่นไอจำเพาะของมีเทนมีค่า 0.55 ความถ่วงจำเพาะ LFG มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ LFG เป็นก๊าซที่เป็นอันตราย ในบางครั้งมีเทนจะมีผลต่อปฏิกิริยาเรือนกระจกถึง 20 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์

ดังนั้น LFG จึงเป็นก๊าซอันตรายที่สามารถระเบิดได้ถ้าถูกเก็บรวบรวมในบริเวณพื้นที่จำกัด และไม่มีการควบคุม นอกจากนี้ LFG ยังสามารถแพร่กระจายไปได้ในระยะไกลซึ่งอาจมีผลกระทบต่อและอาจถึงแก่ชีวิตต่อแหล่งชุมชนได้ LFG และก๊าซที่ได้จะมีผลต่อน้ำใต้ดินและเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นในน้ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะต้องทำการควบคุมในการสกัด LFG

นอกจากนี้ยังมีก๊าซจำพวกสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatil Organic Compounds : VOC) ปะปนอยู่ประมาณ 48 รายการตามที่ EPA ระบุนอกจากนี้ยังมีพวกสาร Hydrogen Sulfide (H₂S) Carbon Monoxide (CO) Sulfides Disulfides Mercaptans

◆ กฎหัวแม่มือความเข้มข้นของมีเทน (Rule of Thumb-Methane Concentration)

ความเข้มข้นของมีเทนใน LFG อาจมีค่าสูงถึง 60% โดยปริมาตร และจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 45-48% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในระบบการสกัด LFG สภาพความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศภายในหลุมฝังกลบ การแทรกซึมของอากาศและความเบาบางของ LFG เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนในบรรยากาศและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่บริเวณผิวหน้าซึ่งมีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนทำให้ได้ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

◆ กฎหัวแม่มือความหนาแน่นของ LFG (Rule of Thumb-LFG Density)

ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน ความหนาแน่นของ LFG จะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของอากาศ

2.3.3 การนำก๊าซ LFG มาใช้ประโยชน์ในเมืองไทย

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีโครงการนำก๊าซที่ผลิตจากหลุมฝังกลบขยะมาใช้ประโยชน์ ในแง่ของการให้พลังงานเชื้อเพลิง (Landfill Gas-to-energy) โดยทำการเก็บรวบรวมก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน จ.นครปฐม หลุมฝังกลบดังกล่าวดำเนินการและจัดการบริหารโดยบริษัทเอกชน ในนามของ กลุ่ม 79 จำกัด โดยได้ดำเนินการจัดการฝังกลบขยะชุมชนมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1988 จนกระทั่งปัจจุบัน ซึ่งขยะทั้งหมดนำมาจากบริเวณภายในและโดยรอบกรุงเทพมหานคร และทำการฝังกลบวันละประมาณ 4,000 ตัน ในปัจจุบันมีขยะที่ถูกทำการฝังกลบแล้วประมาณ 11 ล้านตัน โดยใช้พื้นที่ในการฝังกลบขยะดังกล่าวเป็นบริเวณ 610,000 ตารางเมตร

ในปีค.ศ. 1996 ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ประสบความสำเร็จในการนำก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ(Landfill Gas, LFG) จากกำแพงแสนมาทำการทดสอบเดินเครื่องยนต์ดีเซล หลังจากนั้นในปีค.ศ.1997 ได้มีการจัดตั้งโครงการนำร่องสร้างระบบรวบรวมก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ ทั้งนี้ได้ทำการก่อสร้างบ่อสกัดก๊าซในแนวตั้ง(Vertical Extraction Well) จำนวน 39 บ่อ ในระดับความตื้นที่สัมพันธ์กับระดับของหลุมฝังกลบขยะ โครงการดังกล่าวได้มีการดำเนินการวางท่อก๊าซเพื่อนำก๊าซที่ผลิตได้จากหลุมฝังกลบขยะไปใช้ในการปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 435 กิโลวัตต์จำนวน 2 เครื่อง เพื่อนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในอนาคต

หลังจากที่ดำเนินการก่อสร้างบ่อสกัดก๊าซดังกล่าว พบว่าในช่วงหน้าฝนระดับของน้ำชะมูลฝอยจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าพื้นดินประมาณ 1-2 เมตร ซึ่งระดับของรูที่รวบรวมก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะเข้าไปในบ่อสกัดก๊าซจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าระดับของน้ำชะมูลฝอยทำให้เกิดการอุดตัน ถึงแม้ว่าจะมีการติดตั้งปั๊มสำหรับดูดน้ำชะมูลฝอยแต่ก็ไม่เป็นผลเนื่องจากการอุดตันที่ตัวปั๊ม (pump casing) เป็นผลให้ LFG ที่ได้มีคุณภาพและปริมาณต่ำ และจากสถานการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดการคาดการณ์ได้ว่าปริมาณและคุณภาพของ LFG จะตกลงอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงออกแบบระบบรวบรวม LFG ขึ้นใหม่ รวมทั้งในส่วนของการทำระบบระบายน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ โดยในเดือนมกราคม ปีค.ศ. 1999 ได้มีการติดตั้งท่อรวบรวม LFG ในแนวนอนจำนวน 2 ท่อ

อัตราการผลิตมีเทนที่ได้ของโครงการ (Projected Methane Generation Rate) จากการนำข้อมูลที่ได้อ้างกล่าวมาพัฒนาปรับปรุงและดำเนินการปฏิบัติจากแบบโมเดลทำให้สามารถประมาณค่าอัตราการผลิตมีเทนจากหลุมฝังกลบขยะได้ โดยประมาณค่าสูงสุดที่ทำการผลิตมีเทนได้อยู่ที่ปริมาณ $9,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($18,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ of LFG) โดยคาดการณ์ว่าจะทำการปิดหลุมฝังกลบประมาณปี ค.ศ. 2020 และจากโมเดลที่ทำการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าปริมาณของมีเทนทั้งหมดที่ได้จากหลุมฝังกลบจะลดลงอย่างรวดเร็วในอนาคต และจากการคาดการณ์ปริมาณมีเทนที่ผลิตได้ทั้งหมดในปีค.ศ. 2030 จะลดลงเหลือประมาณ $2,350 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($4,700 \text{ m}^3/\text{hr}$ of LFG)

2.4 ทฤษฎีการระเหย

การระเหย (Evaporation) คือ การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นสถานะก๊าซ และแพร่สู่บรรยากาศ

2.4.1 กลไกการระเหย

ถ้าขยายหยดน้ำเล็กๆ ให้ใหญ่ขึ้น จะเห็นว่าโมเลกุลเหล่านั้นไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเดียวกันทั้งหมด บางโมเลกุลจะเคลื่อนที่เร็วกว่าโมเลกุลอื่น พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่นี้เรียกว่าพลังงานจลน์ (kinetic energy) อุณหภูมิของน้ำหรือสสารต่างๆ ก็เป็นการวัดพลังงานจลน์เฉลี่ยของสสารนั้น หรือกล่าวได้ว่า อุณหภูมิคือค่าความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุล ถ้าเพิ่มพลังงานให้กับน้ำ โมเลกุลของน้ำก็จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น และอุณหภูมิก็จะสูงขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าเอาพลังงานออก โมเลกุลก็จะเคลื่อนที่ช้าลง และอุณหภูมิก็ตกลง

กระบวนการการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ผิวน้ำ โมเลกุลที่มีความเร็วพอเพียงและเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เหมาะสมจะหลุดออกจากผิวของเหลวเข้าสู่บรรยากาศ โมเลกุลเหล่านี้เปลี่ยนจากสถานะของเหลวไปเป็นไอในกระบวนการที่เรียกว่า “การระเหย” ขณะที่ผิวของเหลวมีโมเลกุลหลุดออกจากของเหลวก็มีส่วนที่กลับเข้ามาจากสถานะไอเป็นของเหลว เรียก กระบวนการนี้ว่า “การควบแน่น” ดังนั้นที่ผิวของเหลวเราจะพบว่า มีทั้งโมเลกุลที่ระเหย (หนีออกไป) และที่ควบแน่น (กลับเข้ามา)

2.4.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการระเหย

การระเหยจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีปัจจัยต่อไปนี้

1. มีแหล่งน้ำ
2. มีแหล่งความร้อน ซึ่งอาจมาจาก พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (R_c) กระแสอากาศ (H) พื้นดิน (G) พื้นน้ำ (R_s) ก๊าซเชื้อเพลิง ฯลฯ
3. มีผลต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ผิวน้ำกับความดันไอน้ำในบรรยากาศเป็นบวก ($e_s - e_d > 0$)

2.4.3 องค์ประกอบที่ควบคุมการระเหยของน้ำ

2.4.3.1 องค์ประกอบทางอุณหุนิยมวิทยา ได้แก่

- รังสีดวงอาทิตย์ แปรตามละติจูด ฤดูกาล เวลา วัน และสภาพของท้องฟ้า
- ความดันไอน้ำ อัตราการระเหยของน้ำแปรตามค่าผลต่างระหว่างความดันไอน้ำของน้ำกับความดันไอน้ำของอากาศเหนือผิวน้ำดังสมการของดาลตัน

$$E = f(u)(e_s - e_d) \quad \dots(2.1)$$

โดยที่	E	=	ค่าอัตราการระเหย
	f(u)	=	ฟังก์ชันของความเร็วลม
	e _s	=	ความดันไอน้ำที่ผิวน้ำ
	e _d	=	ความดันไอน้ำในบรรยากาศ ณ ความสูงหนึ่ง

ถ้าผลต่างของความดันไอน้ำมีค่าเป็นบวก การระเหยน้ำจะเกิดขึ้น จนกระทั่งค่าผลต่างของไอน้ำมีค่าเป็นศูนย์ การระเหยน้ำก็จะหยุดลง

- อุณหภูมิของอากาศ เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูง โมเลกุลของไอน้ำที่อยู่ในอากาศก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เมื่อไอน้ำชนกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศก็จะเป็นการชนแบบสะท้อนกลับ แต่เมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลของไอน้ำจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ เมื่อไอน้ำชนกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศก็จะเป็นการชนแบบเกาะติด ทำให้อนุภาคในอากาศมีขนาดและมวลเพิ่มขึ้น เมื่อการชนเกิดขึ้นหลายครั้งก็จะกลายเป็นละอองน้ำขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศและตกลงสู่ผิวน้ำในที่สุด เมื่อมีมวลมากพอ ดังนั้นการที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ โอกาสที่โมเลกุลของน้ำในบรรยากาศจะกลับลงสู่พื้นน้ำจะมีมากขึ้น ทำให้อัตราการระเหยต่ำกว่าเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูง

- ลม ดังสมการที่ 2.1 อัตราการระเหยแปรผันตรงกับฟังก์ชันของความเร็วม โดยที่ลมจะทำให้เกิดความแปรปรวนของกระแสอากาศเหนือผิวน้ำ จึงเกิดการพาไอน้ำที่อยู่บริเวณผิวน้ำออกไปสู่บรรยากาศเร็วขึ้น ทำให้ความดันไอน้ำในบรรยากาศลด

ต่ำลง โมเลกุลของน้ำที่ผิวน้ำจึงมีโอกาสจะหลุดเข้าสู่บรรยากาศมากขึ้น นอกจากนี้
นั้นลมยังช่วยในการถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของน้ำที่ผิวน้ำอีกด้วย

- ความกดของบรรยากาศ ในบริเวณที่มีความกดอากาศสูงจะมีโมเลกุลของอากาศ
อยู่หนาแน่น ทำให้โอกาสที่โมเลกุลของน้ำที่หลุดเข้าสู่บรรยากาศจะชนกับโมเลกุล
ของอากาศและกลับเข้าสู่พื้นน้ำมีมากขึ้น

2.4.3.2 คุณภาพของน้ำ

น้ำที่ถูกเจือปนจะมีความดันไอของน้ำนั้นลดลง เป็นผลให้การระเหยลดต่ำลง
นอกจากนั้นความชื้นและสีของน้ำเจือปนยังส่งผลต่อการดูดกลืนและการสะท้อนพลังงาน
ความร้อนทำให้พลังงานและอุณหภูมิของแหล่งน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงไป อัตราการระเหยจึง
เปลี่ยนไป

2.4.4 การคำนวณหาค่าการระเหยของน้ำ

การหาค่าน้ำระเหยไม่สามารถวัดได้โดยตรง ต้องหาโดยการคำนวณจากสมการต่างๆดังนี้

2.4.4.1 วิธีสมดุลของน้ำ โดยอาศัยหลักการดุลสมการน้ำเข้ามีค่าเท่ากับน้ำออก

$$\text{น้ำเข้า} = \text{น้ำออก} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I + P + \Delta S = O + O_g + E$$

$$\text{โดยที่ } E = \text{ค่าน้ำระเหย}$$

$$\Delta S = \text{การเปลี่ยนแปลงน้ำในการกักเก็บน้ำ}$$

$$I = \text{น้ำไหลเข้า}$$

$$P = \text{น้ำฝน}$$

$$O = \text{น้ำไหลออก}$$

$$O_g = \text{น้ำซึมออก}$$

ในทางปฏิบัติมีข้อผิดพลาดในการวัดปริมาณน้ำไหลเข้า-ออก และมีการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำกักเก็บมาก ทำให้ได้ค่าการระเหยของน้ำที่ผิดพลาดและเวลาที่ใช้ในการหาน้ำระเหยควรจะใช้เวลา นานพอที่จะทำให้ค่าการระเหยมีมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่นๆ

2.4.4.2 วิธีสมดุลของพลังงาน โดยอาศัยหลักการของกฎทรงพลังงานได้สมการ

$$R_n = H + G + LE + R_s + R_p + R_f \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

โดยที่ R_n = ปริมาณรังสีรวมที่ผิวน้ำได้รับ

$$= R_c(1-r) - R_b$$

R_c = ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์

r = อัตราการสะท้อนรังสีที่บรรยากาศ

R_b = ปริมาณรังสีที่สะท้อนกลับ ณ ผิวน้ำ

H = ความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศสู่ผิวน้ำหรือในทิศทางตรงข้าม

G = ความร้อนที่เข้าสู่พื้นดิน

LE = ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนของเหลวให้กลายเป็นไอ โดยที่ L เป็น

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และ E เป็นค่าการระเหย

R_s = ความร้อนที่เก็บอยู่ในน้ำ

R_p = ความร้อนที่เปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

R_f = ความร้อนที่เข้าหรือออกจากระบบ โดยการไหลเข้าหรือออกจากน้ำ

ค่า R_p ไม่ค่อยนำมาใช้เนื่องจากมักมีค่าต่ำกว่า 1% ค่า R_s และ R_f สามารถหาได้จากอุณหภูมิและปริมาตรของน้ำ ค่า G อาจนำมาคิดรวมกับ R_s ได้ ดังนั้นจึงแปรรูปสมการใหม่โดยใช้ค่า R แทนค่า $R_n - G - R_s - R_f$ และตัด R_p ออกจากสมการ จะได้

กำหนดอัตราส่วนของโบเวนดังนี้

$$R = H + LE \quad \text{.....(2.4)}$$

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad \text{.....(2.5)}$$

$$\beta = \frac{\rho c_p K_H \frac{\partial T}{\partial z}}{\rho L K_w \frac{\partial q}{\partial z}} \quad \text{.....(2.6)}$$

$$\beta = \frac{\gamma \Delta T}{\Delta q} \quad \text{.....(2.7)}$$

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) จะได้

$$E = \frac{R}{L(1+\beta)} \quad \text{.....(2.8)}$$

$$E = \frac{R}{L[1+\gamma(T_s-T_a)/(e_s-e_d)]} \quad \text{.....(2.8)}$$

โดยที่ C_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ

T_s = อุณหภูมิที่ผิวน้ำ

T_a = อุณหภูมิอากาศ

e_s = ความดันไอน้ำที่ผิวน้ำ

e_d = ความดันไอน้ำจริงที่บรรยากาศ

K_H = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

K_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทไอน้ำ

q = ความชื้นจำเพาะ

วิธีสมมูลของพลังงานนี้ให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ แต่การตรวจวัดหาค่าของเทอมต่างๆมีความยุ่งยาก

2.4.4.3 วิธีอากาศพลศาสตร์(Aerodynamic approach)

โดยอาศัยสมการของดาลตัน

$$E = f(u)(e_s - e_d) \quad \dots\dots(2.9)$$

ซึ่ง $f(u)$ เป็นฟังก์ชันของความเร็วลมที่อยู่ในรูป $a(1+bu)$ โดยที่ a และ b เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงที่วัด e_d และ u และขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผิวน้ำระเหย

ทฤษฎีพื้นฐานของสมการคือการถ่ายเทไอน้ำจากผิวน้ำไปสู่บรรยากาศทำให้เกิดกระบวนการแปรปรวนซึ่งสามารถหาได้ในรูปของความเร็วลมและความดันไอน้ำ แล้วจึงแปลงเป็นค่าอัตราการระเหยดังความสัมพันธ์ในสมการดาลตัน

2.4.4.4 วิธีสมระหว่างอากาศพลศาสตร์และสมการสมมูลพลังงาน จะได้

$$E = \frac{R\Delta/L + Ea\gamma}{\Delta + \gamma} \quad \dots\dots(2.10)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } E_a &= f(u)(e_s - e_d) \\ &= \text{ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่บรรยากาศ} \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{e_s - e_d}{T_s - T_a}$$

2.4.5 เทคนิคในการเร่งการระเหย

2.4.4.5 โดยการจุ่มขวดลดความร้อนเพื่อให้ของเหลวได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง

2.4.4.6 โดยการผ่านกระแสก๊าซร้อนลงในท่อที่ขดอยู่ในของเหลว

2.4.4.7 โดยการทำให้เป็นฟิล์มบางที่อุณหภูมิสูง

2.4.4.8 โดยการพ่นเป็นฝอยที่อุณหภูมิสูง

2.4.4.9 โดยการฉีดพ่นไปยังที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ

2.4.4.10 โดยการเผาก๊าซภายในของเหลว

2.4.6 การหาค่าพลังงานความร้อนในการระเหยน้ำชะมูลฝอย

วรพงศ์ (1999) ได้ทำการทดลองต้มน้ำก้นและน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะพร้อมกันบนแผ่นให้ความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าทั้งน้ำก้นและน้ำชะมูลฝอยถูกระเหยเป็นปริมาณเท่ากัน และจุดเดือดของของเหลวทั้ง 2 ได้เท่ากัน ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยของเหลวทั้ง 2 จึงใกล้เคียงกัน และจุดเดือดของน้ำชะมูลฝอยมีค่าเท่ากับจุดเดือดของน้ำ ซึ่งเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในการวิจัยจึงใช้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำและค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำในการหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำชะมูลฝอย

$$\text{พลังงานที่ถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ} = mc\Delta T$$

$$\text{พลังงานที่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำเดือด} = mL$$

$$\text{โดยที่ } m = \text{มวลของของเหลว}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ (C)} = 1 \text{ แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส}$$

$$\text{ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (L)} = 540 \text{ แคลอรี/กรัม}$$

น้ำชะมูลฝอยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 30 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นพลังงานที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำชะมูลฝอย} &= (100-30) + 540 \text{ แคลอรีต่อมิลลิเมตร} \\ &= 610 \text{ แคลอรีต่อมิลลิเมตร} \\ &= 610 \text{ กิโลแคลอรีต่อลิตร} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 มลพิษทางอากาศ (Air Pollution)

มลพิษทางอากาศ หมายถึง การมีสิ่งแปลกปลอมอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างเจือปนอยู่ในอากาศรอบๆตัวเราเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกัน ในปริมาณสูงกว่าระดับปกติ จนทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ และพืชพันธุ์ หรือ ทรัพย์สินอื่นๆ เป็นการบั่นทอนสุขภาพอนามัย สภาพของอาคารต่างๆจะมีการผุพังทรุดโทรมเร็วกว่าปกติ

2.5.1 องค์ประกอบของอากาศ

อากาศบริสุทธิ์ประกอบด้วยไนโตรเจน 78.09% โดยปริมาตร ออกซิเจน 20.94% โดยปริมาตร ที่เหลือ 0.97% ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ ซีลีเนียม อาร์กอน คริปตอน ซีนอน ก๊าซอินทรีย์ นอกจากนี้ในอากาศจะมีไอน้ำอยู่ 1-3% และยังมีฝุ่นละอองปะปนอยู่ด้วย

2.5.2 ก๊าซและไอต่างๆซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ ได้แก่

ออกไซด์ของคาร์บอน (Carbon oxide : CO_x) ที่สำคัญได้แก่

- คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide : CO₂) เป็นก๊าซองค์ประกอบปกติของอากาศ และเป็นส่วนหนึ่งของวงจรคาร์บอนในชีวาลัย (Biosphere) ดังนั้นโดยปกติแล้วจะไม่นับว่าคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆและกิจกรรมอื่นๆของมนุษย์ทำให้เกิด คาร์บอนไดออกไซด์ จำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันนี้พบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วโลกเพิ่มมากขึ้น ลักษณะเช่นนี้จะมีผลกระทบต่อบรรยากาศของโลก ทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์โลกร้อน (Green House Effect)

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide : CO) เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่ทำให้เกิดอาการระคายเคือง แต่มีอันตรายมากอาจถึงแก่ชีวิตได้ถ้าหากร่างกายได้รับเข้าไปในปริมาณที่มากพอ

ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (Sulphur oxide : SO_x) ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide : SO₂) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulphur trioxide : SO₃) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์ หรือเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ปนอยู่ เช่น น้ำมันและถ่านหิน เป็นต้น หรือ เกิดจากการถลุงโลหะต่างๆที่มีสารซัลเฟอร์เจือปนอยู่ในแร่ต่างๆ ถ้าอากาศขึ้นมากซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจรวมตัวกับไอน้ำ เกิดเป็นกรดซัลฟูรัส ซึ่งจะถูกล้างโดยน้ำฝนเป็นกรดซัลฟูริกได้ และมีบางส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นกรดซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ โดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (คะตะไลส์) และจะ

ความแน่นต่อไปเกิดเป็นกรดซัลฟูริกได้เช่นกัน กรดซัลฟูรัส และกรดซัลฟูริกมีคุณสมบัติกัดกร่อน ดังนั้นหากบรรยากาศมีออกไซด์ทั้งสองของซัลเฟอร์ปะปนอยู่ เมื่อสูดหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองในเบื้องต้น และถ้ามีฝนตกน้ำฝนที่ตกลงมาจะมีคุณสมบัติเป็นกรด เกิดเป็นฝนกรดขึ้น (พีเอชต่ำกว่า 5.6)

ออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen oxide : NO_x) ที่สำคัญได้แก่ ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide : NO_2) ซึ่งก๊าซสองชนิดนี้เกิดจากการเผาไหม้ต่างๆที่อุณหภูมิสูงๆ ซึ่งทำให้ไนโตรเจนจากอากาศถูกเติมออกซิเจนเกิดเป็นมลสารดังกล่าวขึ้น

ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนและ ไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณอะตอมของคาร์บอนต่อโมเลกุลของสาร (Carbon number) อาจเริ่มตั้งแต่ 1 เช่น มีเทน (CH_4) และเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงหลายร้อยหรือหลายพันอะตอม เช่น ในสารประกอบพวกทาร์ และแอลฟัสท์ การกลายเป็นไอ (Volatility) จะขึ้นอยู่กับคาร์บอนนัมเบอร์ พวกที่มีคาร์บอนนัมเบอร์ตั้งแต่ 1 ถึง 4 จะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิปกติ ส่วนพวกที่มีคาร์บอนนัมเบอร์ตั้งแต่ 5 ขึ้นไปจะอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวหรือของแข็งที่อุณหภูมิปกติ

กลิ่น (Odour) กลิ่นส่วนมากเกิดจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ เช่น จากโรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานฟอกหนัง โรงงานกำจัดขยะมูลฝอย ฯลฯ ซึ่งจะมีกลิ่นเป็นที่น่ารังเกียจ นอกจากนี้กลิ่นยังอาจเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาเคมีของสารอินทรีย์ เกิดก๊าซไข่เน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์ : H_2S) หรือ กลิ่นซึ่งเกิดจากการแยกน้ำมันปิโตรเลียม เป็นต้น

2.5.3 ผลของก๊าซพิษบางชนิดต่อสุขภาพมนุษย์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อหายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไป ก๊าซนี้จะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง กลายเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน ทำให้การลำเลียงออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายไม่เพียงพอ เนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถจับฮีโมโกลบินในเลือดได้ดีกว่าออกซิเจน 200-300 เท่า ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง (โดยเฉพาะ cerebrum) และหัวใจ เนื่องจากมีความไวต่อการขาดออกซิเจนมากกว่าระบบอื่นๆ ปกติคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเกิดได้เองในร่างกายโดยมีความเข้มข้นของคาร์บอกซีฮีโมโกลบินประมาณ 0.1-1.0%

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีสมบัติเป็นกรด จึงเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ คือเกิดการระคายเคืองจมูก หลอดลม ตา ทำให้หายใจไม่สะดวก ไต และมีเสมหะเพิ่มขึ้น ถ้าได้รับปริมาณความเข้มข้นต่ำอย่างต่อเนื่องจะมีโอกาสเกิดโรคระบบทางเดินหายใจส่วนบน สูญเสียการได้ยินและรสชาติ และผู้ป่วยโรคปอดเรื้อรังจะได้รับความทรมานมากกว่าคนปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้เส้นขนเคลื่อนไหวช้าลง ทำให้การขจัดฝุ่นละอองของเส้นขน มีประสิทธิภาพลดลงอีกด้วย

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นสารออกซิไดส์ และไนโตรเจนไดออกไซด์มีแนวโน้มที่จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ลึก ดังนั้นอาจก่อให้เกิดอาการระคายเคืองและเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจได้ ออกไซด์ของไนโตรเจนมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ โดยทำให้เกิดการระคายเคืองมีอาการไอและแน่นหน้าอก หลอดลมอักเสบ ปอดอักเสบ และถ้าได้รับทีละน้อยอาจเกิดอาการเรื้อรังอื่นๆ เช่น ปวดหัว ง่วงเหงา เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย ท้องผูก เป็นแผลเยื่อบุผิวหนังในปากและลำคอ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซที่มีกลิ่นรุนแรง ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้หมดความรู้สึกและเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ

เนื่องจากการดำเนินการวิจัยได้มีการเผาขยะมูลฝอย โดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas) เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดไอระเหยของน้ำชะมูลฝอย ไอระเหยของทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาขยะด้วยความร้อนภายในเตาเผาขยะที่ได้ทำการออกแบบ หลังจากนั้นไอระเหยต่างๆจะผ่านไปยังเตาเผาควันเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นการลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbonmonoxide :CO₂) ซึ่งเป็นก๊าซพิษตัวหนึ่งก่อนปล่อยออกไปสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดค่าออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of nitrogen)ซึ่งในการวิจัยนี้ทำการตรวจวัดในรูปแบบไนตริกออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogensulfide : H₂S) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfurdioxide : S₂O) โดยพิจารณาค่าก๊าซต่างๆที่ทำการตรวจวัดว่ามีค่าไม่เกินตามมาตรฐานการระบายอากาศที่ระบายออกจากโรงงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ-2

2.6 ทบทวนเอกสาร

Steinmetzer (1987) ได้กล่าวถึงกฎกระทรวงสภาเยอรมันตะวันตกว่าด้วยการกำจัดของเสียปี 1972 ได้ร่างรูปแบบเกี่ยวกับการจัดการของเสียตามข้อตกลงของรัฐ โดยรัฐบาลวาเรียนได้ตระหนักถึงความรับผิดชอบในเรื่องการจัดการขยะของเสียอันตรายแต่โดยด่วน โดยได้มีการจัดตั้งฝ่ายประสานงานการดำเนินการระหว่างท้องถิ่นและรัฐรวมไปถึงองค์กรกึ่งสาธารณะขึ้นในปี 1966 และ 1970 ตามลำดับ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเดินระบบเครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีสูงๆ และควบคุมคุณภาพของระบบนิเวศน์

ระบบการบำบัดน้ำชะมูลฝอยแต่เดิมสามารถสกัดและแยกสารจำพวกโลหะหนักซึ่งอยู่ในรูปของ ไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ หรือ ซัลไฟด์ ได้แต่ไม่สามารถกำจัดปริมาณของพวกสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน และลดสารจำพวกเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ ท้ายที่สุดสารเหล่านี้ยังถูกปล่อยออกไปสู่ระบบนิเวศน์

จากผลลัพธ์ในแง่บวกของการทดลองจากระบบนำร่อง โดยรัฐบาลวาเรียนได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีชื่อเรียกว่า Leachate Concentration Facility (LCF) ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 1986 โดยได้เงินอุดหนุนจากรัฐบาลวาเรียนระบบการบำบัดดังกล่าวสามารถทำการระเหยน้ำชะมูลฝอยจำนวน 3.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ภายใต้สภาวะอัลคาไลน์ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย หอสดริ่มสติบปิ้ง เพื่อทำการระเหยสารอินทรีย์บางตัวที่ระเหยได้ในตัวทำละลายจำกัด หลังจากนั้นนำน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (concentrate) ผ่านต่อไปยังหอระเหยแบบ 2 ลำดับ (two stage evaporation process) ในการปฏิบัติงานหอระเหยลำดับที่ 1 จะถูกปฏิบัติงานที่ความดันบรรยากาศ ในขณะที่หอระเหยลำดับที่ 2 จะถูกปฏิบัติงานภายใต้ความดัน 0.75 บาร์หรือ 7 psia เนื่องจากที่ความดันนี้ น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อทำการแยกสารอินทรีย์และเกลือที่เหลือ (salt residues) จากเฟสที่เป็นของเหลว สารอินทรีย์ที่ระเหยได้และสารอินทรีย์ที่เหลือ (organic residues) จะถูกนำไปเผาในเตาเผาเพื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นพลังงานให้แก่หอระเหย

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบทั้ง 3 แห่ง และตารางที่ 2.7 แสดงผลลัพธ์ คุณภาพของน้ำชะมูลฝอยที่ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ค่ารับประกันของผู้ผลิตและเปอร์เซ็นต์การกำจัด หลังผ่านระบบการระเหย พบว่าในการกำจัดฟินอลไม่ผ่านค่าที่รับประกัน ค่าซีไอดี มีค่าเกินกว่าค่ารับประกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเติมสารกำจัดฟิมซึ่งระเหยผสม

มากับส่วนของเหลวที่ถูกระเหย และสิ่งที่ได้ตามที่คาดหวัง พบว่าไม่มีองค์ประกอบของสารจำพวกอนินทรีย์อยู่ในส่วนที่ระเหย และสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ดี

ในส่วนของของแข็งที่เหลือจากสารเข้มข้นภายในหอระเหยลำดับที่ 2 จะผ่านการรีดน้ำออกโดยเครื่องดีเคนเตอร์ ความเป็นผลึกของของแข็งขึ้นอยู่กับค่า พีเอช และวิธีตั้งระบบการทำงานของเครื่องดีเคนเตอร์ ถ้า ค่าพีเอช ต่ำกว่า 11.5 ของแข็งที่เหลือจะมีลักษณะเป็นผลึก แต่ถ้าค่าพีเอชสูงกว่า 11.5 ของเหลวที่ได้จะมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก หลังจากนั้นจะถูกนำไปบรรจุใส่ถุงเพื่อนำไปฝังในหลุมฝังกลบต่อไปและมีโอกาสในการถูกสกัดออกมาปนเปื้อนในน้ำชะมูลฝอยได้ยาก

ปัญหาที่พบเกี่ยวกับระบบ ได้แก่

ปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพการทำงานของตัวบ่ม ถ้าเพคกิ้งริงเป็นชนิดทำด้วยซิลิเกต จะเกิดปัญหาการกระทบกับสารอัลคาไลน์เข้มข้นและเกลือที่เหลือ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาโดยใช้เพคกิ้งประเภทคาร์โบรันเดมไฟเบอร์ แทน

ปัญหาในเรื่องการเกิดโฟม เนื่องจากของเหลวเกิดการเดือดและเกิดโฟมอย่างรุนแรง ทำให้ของเหลวพัดติดปนเปื้อนไปกับไอระเหย ปริมาณการเกิดโฟมขึ้นอยู่กับการเกิดตะกอนที่ผิวของหอระเหย ดังนั้นต้องพยายามกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้น ได้มีการทดลองใช้สารกำจัดโฟมหลายชนิดแต่ก็ได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ สารกำจัดโฟมยังเป็นตัวที่เพิ่มค่า TOC ในไอระเหย

ปัญหาในการเกิดตะกอนภายในสตรีปริงคอล์ม เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของสารคาร์บอนเนต แก้ปัญหาโดยการล้างผ่านความดันคอล์มด้วย อมิโดซัลโฟนิค (กรดซัลโฟมิก) ทุกๆ 2 วัน

นอกจากนี้การที่ระบบดำเนินการไม่ต่อเนื่อง จะก่อให้เกิดปัญหาตะกอนในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มากกว่าการดำเนินระบบอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในหอระเหยที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 : ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยน้ำชะมูลฝอย (Steinmetzer,1987)

พารามิเตอร์	หน่วย	หลุมฝังกลบ A	หลุมฝังกลบ B	หลุมฝังกลบ C
Conductivity	us/cm	47,480	25,890	72,000
COD	mgO ₂ /l	10,050	720	3,630
Phenol	mg/l	37.5	1.8	19
Ammonium	mg/l	934	-	920
Chloride	mg/l	8,625	3,760	32,220
Sulphate	mg/l	16,759	12,510	59,040
Heavy metals	mg/l	43.54	778.75	6.75

ตารางที่ 2.7 : คุณภาพในการกลั่น ค่ารับประกัน ประสิทธิภาพในการกำจัด (Steinmetzer,1987)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ารับประกัน	กำจัด (%)
Conductivity	us/cm	70	400	158	225	99
Phenols	mg/l	0.63	27.4	7.68	1.5	76.5
TOC	mgC/l	48.8	168	100.5	135	90
COD	mgO ₂ /l	227	508	334	300	93
Ammonium	mg/l	1.3	282	43.4	70	96

Birchler และคณะ (1994) ได้กล่าวถึงกระบวนการระเหยน้ำชะมูลฝอยจะทำให้ได้ของเหลวเข้มข้นซึ่งมีคุณภาพสูงและวิธีการนำไปกำจัดง่ายกว่าน้ำเสียที่ได้จากขบวนการบำบัดแบบเดิม เนื่องจากปริมาณของเหลวเข้มข้นที่เหลือที่มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่นำมาบำบัดเริ่มต้น จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองขบวนการระเหยแบบขั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอน โดยทำการปรับค่าพีเอช ทำการทดสอบกับสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท และตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย 3 ตัวอย่างซึ่งนำมาจากหลุมฝังกลบเก่า ได้ผลการทดสอบดังนี้

- กระบวนการกลั่นระเหยในสภาพกรดแบบขั้นตอนเดียว โดยทำการทดสอบกับตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นสูง สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่เจือปนได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้สามารถกำจัดได้เพียง 85 เปอร์เซ็นต์

- กระบวนการกลั่นระเหยในสภาพกรด - ต่างแบบสองขั้นตอน และมีการติดตั้งเครื่องแอร์สตริปริงด้วย จะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดแอมโมเนียและกรดอินทรีย์ระเหยได้ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำชะมูลฝอยเป็นปริมาณสูง

จากการวิเคราะห์โดย Monte Carlo ในการบำบัดระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้พลังงานเพียงพอกภายในตัวเอง ซึ่งในที่นี้หมายถึงการใช้พลังงานจากก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะเป็นตัวให้พลังงานในการบำบัดระเหยน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น จากทฤษฎีพบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนมีเพียงพอต่อการระเหยน้ำชะมูลฝอยสำหรับสภาพของหลุมฝังกลบสมัยใหม่ ความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ผลิตได้และปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนอาจจะอยู่ในระดับที่พอดีพอดี ถึงอย่างไรก็ตามข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาตรงจุดนี้มีอยู่จำกัด จากการตรวจสอบพบว่า น้ำชะมูลฝอยและก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบสามารถนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกันในกระบวนการบำบัด

ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์

$$\text{Leachate Produced} = \frac{P \times f_1}{Z \times D} \frac{\text{m}^3 \text{ leachate}}{\text{t refuse per year}} \quad (2.11)$$

P = precipitation rate (m/yr) , (m³ water / m² surface area per year)

f₁ = fraction of precipitation

- $P^* f_l$ = actual amount of leachate produced at the site
 (m^3 leachate / m^2 surface area per year)
- Z = depth of landfill (m)
- D = compacted refuse density (t/m^3)

$$\text{Leachate Vaporization Potential} = \frac{N \times f_m \times H \times E}{Q} \quad \frac{\text{m}^3 \text{ leachate}}{\text{t refuse per year}} \quad (2.12)$$

- N = rate of gas recovery (L gas / t refuse / yr)
- f_m = methane fraction
- H = heating value of methane (kcal/ L CH_4)
- E = efficiency of heat transfer to the leachate by the evaporation apparatus
- Q = heat needed to vaporize leachate (kcal / m^3 leachate)

$$R = \frac{\text{Leachate Vaporization Potential}}{\text{Leachate Produced}} = \frac{N \times f_m \times H \times E \times Z \times D}{Q \times P \times f_l} \quad (2.13)$$

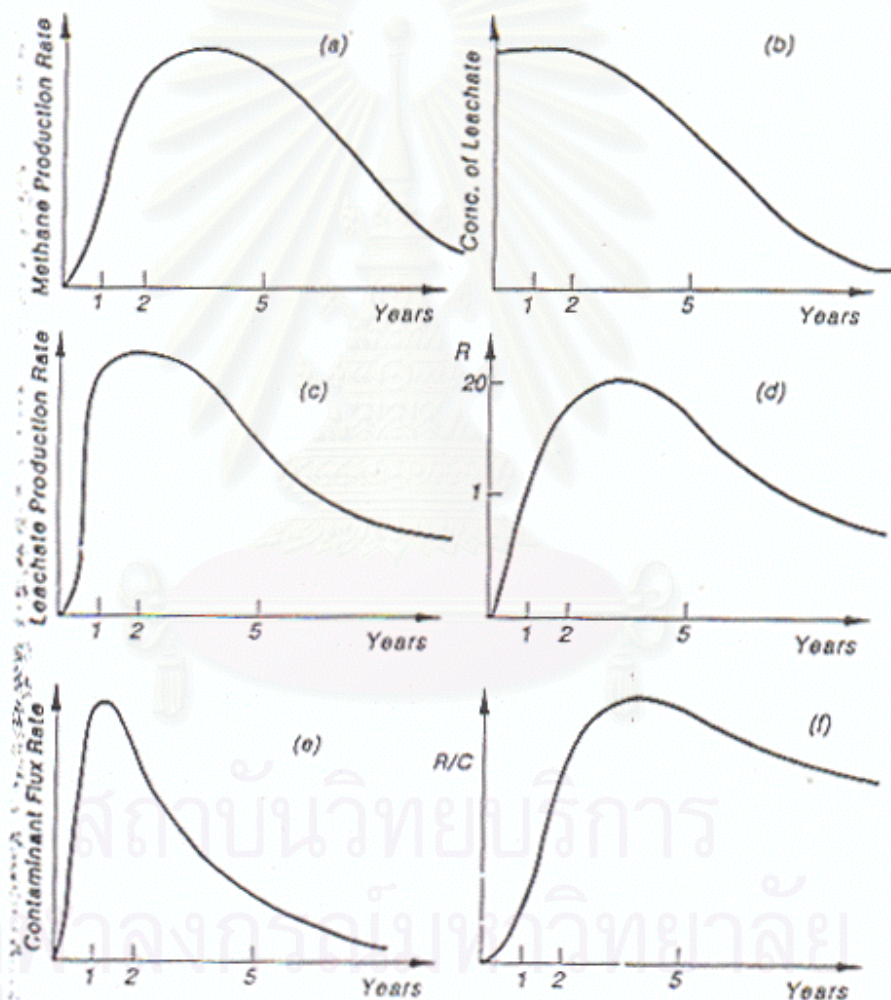
ค่า R ควรมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ากระบวนการนั้นสามารถนำพลังงานในตัวเองมาใช้ได้อย่างเพียงพอ (energy self-sufficient) การวิเคราะห์ค่าตัวแปรของ Monte Carlo ตามตารางที่ 2.8 จะแสดงค่าต่ำสุด ค่ากลาง และ ค่าสูงสุด สำหรับแต่ละตัวแปร โดยส่วนมากจะพิจารณาค่ากลางในการคำนวณ

ตารางที่ 2.8: พารามิเตอร์ในการประมาณค่า Leachate Evaporation Potential

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
N	L gas / t refuse / yr	1,000	10,000	14,000
f_m	L CH ₄ / L gas	0.4	0.5	0.6
H	kcal/ L CH ₄ combusted	-	8.6	-
E	kcal available/ kcal combusted	0.2	0.4	0.8
Z	m refuse	10	30	100
D	t refuse / m ³ refuse	0.5	0.65	0.8
Q	kcal used / m ³ leachate	-	680,000	-
P	m ³ water/ yr m ² refuse	0.2	0.7	2.0
f_i	m ³ leachate/ m ³ water	0.01	0.03	0.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.3 แสดงกราฟไฮโปทetikเคอร์ ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซและความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยซึ่งเป็นฟังก์ชันกับอายุของหลุมฝังกลบ จากกราฟถึงแม้ว่าปริมาณการผลิตก๊าซจะลดลงเมื่ออายุของหลุมฝังกลบเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณของน้ำชะมูลฝอยก็ลดลงตามด้วยเช่นเดียวกัน ส่วนความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยจะลดลงเรื่อยๆเนื่องจากการย่อยสลายของปฏิกิริยาชีวภาพ อัตราส่วนของค่า R อาจเปลี่ยนแปลงไปตลอดชั่วอายุของหลุมฝังกลบ และจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเวลาผ่านไปยาวนานมาก ซึ่งในขณะนั้นปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เจือจางที่ต้องการทำการบำบัดระเหยก็จะมีปริมาณน้อยมากเช่นกัน



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขบวนการต่างๆในหลุมฝังกลบกับ ค่า Feasibility Ratio ตลอดชั่วอายุของหลุมฝังกลบ ในรูปของกราฟ Hypothetical (Birchler,1994)

Marks และคณะ (1994) ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีการระเหย จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อน โดยได้มีการออกแบบจำลองกระบวนการบำบัดโดยวิธีการระเหยแบบกึ่งต่อเนื่องซึ่งมีชื่อเรียกว่า “ Reaction Equilibrium Evaporation Model : (REQEM) “ ขึ้น ซึ่งแบบจำลองนี้ได้รับการพัฒนาทางวิศวกรรมเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังนี้

1. สามารถปฏิบัติงานในการระเหย (Flash Vaporization Process) สำหรับในแต่ละเบซที่แตกต่างกันได้
2. ทำนายองค์ประกอบและปริมาณของไอระเหยที่ออกไปได้
3. คำนวณปริมาณพลังงานที่ต้องการได้

แบบจำลองนี้ได้รวบรวมรูปแบบของกระบวนการสมดุลทางเคมีและทางไดนามิกเข้าด้วยกัน และแสดงให้เห็นว่าการระเหยเป็นไอแบบหลายลำดับขั้น (multi-stage flash) โดยมีการหมุนเวียนน้ำที่ควบแน่นและพลังงานน้ำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลให้ได้ปริมาณไอระเหยมากที่สุดและใช้ปริมาณไอร้อนสำหรับถ่ายเทความร้อนในกระบวนการและพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องสูบน้ำน้อยที่สุด

น้ำชะมูลฝอยที่มีค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Acids: VOA เช่น กรดอะซิติก) และแอมโมเนียในปริมาณต่ำ การปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 4 ในสภาพกรดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (อย่าใช้กรดซัลฟูริกเพราะจะเป็นสาเหตุให้เกิดตะกอน แคลเซียมซัลเฟต) จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดระเหย โดยสามารถกำจัดแอมโมเนียในไอระเหยได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากที่พีเอช 4 แอมโมเนียจะแตกตัวเป็น แอมโมเนียมไอออน ซึ่งไม่ระเหยหรือปนเปื้อนไปในไอระเหยที่ได้

กระบวนการระเหยน้ำชะมูลฝอยในสภาพต่างเหมาะสำหรับน้ำชะมูลฝอยที่มีปริมาณแอมโมเนียต่ำ แต่มีกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ปนเปื้อนอยู่ โดยทำการปรับค่าพีเอชให้เป็น 10 อะซิติกจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและปนอยู่ในส่วนของของเหลวเข้มข้น (concentrate) 99 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ระเหยติดไปกับไอระเหย

น้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียและกรดอินทรีย์ระเหยได้ในปริมาณสูงจะต้องทำการปรับค่าพีเอช 2 ขั้นตอน โดยทำการปรับให้มีสภาพเป็นกรดที่พีเอช 4 เพื่อกำจัดแอมโมเนียในไอระเหยขั้นแรก หลังจากนั้นผ่านไอระเหยที่ได้ไปยังหอระเหยที่ 2 และทำการปรับพีเอชให้มีสภาพเป็นด่างที่พีเอช 10 เพื่อกำจัดกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ไม่ให้เป็นปนเปื้อนไปในไอระเหยในขั้นตอนสุดท้าย

ถ้ามีสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนปนเปื้อนอยู่ในน้ำชะมูลฝอย เช่น โทลูอีน จะต้องมีการบำบัดเบื้องต้นก่อน โดยวิธีการ แอร์สตริปริง มิฉะนั้นโทลูอีนจะระเหยไปในไอระเหยประมาณ 74-76 เปอร์เซ็นต์ จากประสบการณ์ของวิศวกรชาวเยอรมัน การติดตั้งเครื่องแอร์สตริปริงกับชุดระเหยจะช่วยให้สามารถกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ได้ทั้งหมด

การปรับพีเอชในน้ำชะมูลฝอยจะไม่มีผลกระทบต่ออัตราการป้อนและผลิต อัตราการปฏิบัติหรือปริมาณไอระเหย นอกจากนี้ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะยังสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานสำหรับขบวนการระเหยในหลายรูปแบบในปัจจุบัน

ในส่วนของ การประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการโดยพิจารณาจากค่าดังต่อไปนี้

- อัตราส่วนการผลิต - ป้อน (product- to- feed ratio) เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ซึ่งหาได้จากการนำค่าปริมาตรไอระเหยที่ได้ต่อปริมาตรของน้ำป้อนในตอนเริ่มต้น ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากแสดงว่าปริมาณของเหลวเข้มข้นที่เหลือที่จะต้องนำไปกำจัดต่อไปมีปริมาณน้อย
- อัตราส่วนในการปฏิบัติ (Performance ratio) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง กิโลกรัมของไอระเหยที่ผลิตได้ ต่อ กิโลกรัมของไอน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำชะมูลฝอยที่ป้อน ถ้าอัตราส่วนที่ได้มีค่ามากแสดงว่าเสียค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงต่ำ
- คุณภาพของไอระเหยที่ได้

Dennis (1999) ได้กล่าวถึงการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีการระเหยเป็นกระบวนการที่สามารถลดปริมาณน้ำชะมูลฝอยให้เหลือน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น โดยใช้ก๊าซ LFG เป็นตัวให้พลังงาน ในช่วง 2-3 ปี ที่ผ่านมา มีรูปแบบของตัวหระเหย ที่ใช้ LFG เป็นเชื้อเพลิงอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันได้แก่

- ถังระเหย (Evaporation Vessels)
- พ่นฝอยและเป่าแห้ง (Spray-Type Dryer)
- ฉีดเข้าโดยตรง (Direct Injection)

ระบบที่ใช้อยู่โดยทั่วไปสามารถระเหยน้ำชะมูลฝอยได้ในอัตรา 5-10 แกลลอนต่ออนาที (19-37.85 ลิตรต่ออนาที) ในระหว่างที่ทำการระเหย น้ำชะมูลฝอยส่วนหนึ่งจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ส่วนโลหะจะเกิดการตกตะกอนอยู่ในรูปของเกลือโลหะในของเหลวเข้มข้น (concentrate) ส่วนสารอินทรีย์ระเหยได้จะระเหยไปกับไอในขบวนการ สตรีปริง

รูปแบบที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเทคโนโลยีการระเหยแบบสัมผัสโดยตรง (Direct contact evaporative technology) ซึ่งจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการสัมผัสตรงระหว่างน้ำชะมูลฝอยกับก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ LFG ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตซึ่งจะออกแบบตำแหน่งที่ทำการติดตั้งหัวเผาที่ตำแหน่งใดดังต่อไปนี้

- ติดตั้งหัวเผาที่ตำแหน่งด้านบนของถังระเหย โดยก๊าซร้อนจากหัวเผาจะผ่านไปตามแนวท่อด้านล่าง และก๊าซร้อนนี้จะทำให้น้ำชะมูลฝอยที่ผิวหน้าเกิดเป็นฟองเดือด
- ติดตั้งหัวเผาที่ตำแหน่งด้านข้างของถังระเหย โดยก๊าซร้อนจะผ่านไปตามท่อแนวนอนที่จมอยู่ภายในถังระเหย

และในบางครั้งความร้อนสามารถถ่ายเทโดยทางอ้อมจากหัวเผาไปยังผนังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำชะมูลฝอยที่อยู่ภายใน

ไอระเหยที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ปะปนอยู่ ในบางครั้งจะมีการผ่านไอระเหยดังกล่าวไปยังเครื่องกำจัดไอ เพื่อให้เกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำและน้ำกลับไประเหยใหม่ อนุภาคมวลสารต่างๆจากไอระเหยจะปะปนอยู่ในหยดน้ำที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำจัดไอนี้

ในการกำจัดกลิ่นในบางครั้งไอระเหยที่เกิดขึ้นจะถูกฉีดโดยตรงเข้าไปในปล่องที่เผาไหม้ LFG (enclose flare) ซึ่งจะทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 1600 องศาฟาเรนไฮด์) ก่อนปล่อยออกไปสู่ชั้นบรรยากาศ วิธีการนี้เป็นการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds: VOCs) ถึง 98 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของก๊าซที่ออกจากปล่องเผาควันบางตัวดังนี้

- ลดความเข้มข้นของก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์
- เพิ่มปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เล็กน้อย
- เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์เล็กน้อย

สำหรับหลุมฝังกลบโดยทั่วไปปริมาณ LFG ที่ใช้ในการเผาระเหยน้ำชะมูลฝอยอยู่ที่ช่วงประมาณ 22-25 ลูกบาศก์ฟุตต่อน้ำชะมูลฝอย 1 แกลลอน (165-187 ลบ.ม.ต่อน้ำชะมูลฝอย 1 ลบ.ม.) นอกจากนี้ในปล่องเผาควนยังต้องการค่าพลังงานความร้อนจาก LFG ประมาณ 70-75 ลูกบาศก์ฟุตต่อน้ำชะมูลฝอย 1 แกลลอน (524.3-562 ลบ.ม.ต่อน้ำชะมูลฝอย 1 ลบ.ม.) ดังนั้นปริมาณ LFG ที่ต้องการในการระเหยน้ำชะมูลฝอย 1 แกลลอนประมาณ 100 ลบ.ฟุต (750 ลบ.ม.ต่อน้ำชะมูลฝอย 1 ลบ.ม.)

รูปแบบการระเหยแบบพ่นเป็นฝอยในแนวตั้ง จะมีลักษณะเป็นระบบปิดและมีขนาดรองรับน้ำชะมูลฝอยได้ประมาณ 20 แกลลอนต่อนาที โดยที่ระบบดังกล่าว จะไม่มีการติดตั้งหัวเผาที่ชุดถึงระเหย ไม่มีน้ำชะมูลฝอยซึ่งอยู่ในชุดถึงระเหย และไม่มีของเสียที่เหลือสำหรับนำไปกำจัด โดยระบบจะมีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ โดยจะทำหน้าที่ดูดเอาไอร้อนจากการเผาไหม้ LFG ในปล่องเผาควน และดูดก๊าซร้อนที่ผ่านมาตามท่อตั้งในถังระเหย ภายในถังระเหย น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการกรองจะถูกฉีดผ่านไปยังหัวฉีดพ่นฝอย และละอองน้ำชะมูลฝอยนี้จะถูกผสมกับก๊าซร้อน หลังจากนั้นก๊าซร้อนที่ได้จะออกจากถังระเหยที่บริเวณด้านบน โดยตัวพัดลมดูดอากาศและผ่านไปยังบริเวณเปลวไฟที่อยู่ภายในปล่องเผาควน ไอร้อนของน้ำชะมูลฝอยนี้จะถูกเผาไหม้ภายในปล่องควนตลอดเวลาที่ทำการเผาไหม้ LFG และเนื่องจากน้ำชะมูลฝอยไม่ได้เดือดอยู่ภายในถังระเหยจึงไม่มีของเหลือ (residue) อยู่ภายในถังระเหย

วรพงศ์ (1999) ได้ทำการศึกษาวัดระดับการระเหยของน้ำชะมูลฝอยในถาดระเหยกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.22 เมตร ลึก 0.30 เมตร โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด คือระบบระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยระเหยตามปกติ โดยการเร่งการระเหยด้วยเครื่องพ่นน้ำเป็นฝอย และโดยการเร่งการระเหยด้วยการใช้แสงแดกแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ได้ทำการวัดระดับน้ำระเหยของน้ำประปาเพื่อเป็นชุดเปรียบเทียบ วัดสภาพอากาศตลอดปีเพื่อเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำระเหยที่วัดได้กับสภาพอากาศในช่วงที่ทำการทดลอง เพื่อหาสมการการระเหยในแต่ละชุดทดลองเพื่อใช้ในการประมาณค่าน้ำระเหยของแต่ละเดือนตลอดทั้งปี

จากผลการทดลองเบื้องต้นในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าพลังงานความร้อนแฝงในการระเหยน้ำกลั่นและน้ำชะมูลฝอยมีค่าประมาณเท่ากันคือ 540 กิโลแคลอรีต่อลิตร ผลจากการคำนวณอัตราการเกิดน้ำชะมูลฝอยประมาณได้น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบขยะในกรุงเทพฯ เป็น 0.1320 ลูกบาศก์เมตรต่อขยะ 1 ตัน และขยะที่เก็บขนในกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2543 เมื่อคิดจากการคาดการณ์ปริมาณขยะที่เก็บขน 9,800 ตันต่อวัน จะทำให้เกิดน้ำชะมูลฝอยประมาณ 1,132 ลูกบาศก์เมตร

ต่อขณะที่เก็บขนในหนึ่งวัน ผลการทดลองและการคำนวณที่ได้พบว่า ค่าน้ำระเหยในกรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 6.61 มิลลิเมตรต่อวัน การระเหยน้ำชะมูลฝอยสามารถระเหยได้ในอัตราที่สูงกว่าน้ำประปาโดยมีค่าประมาณ 6.98 มิลลิเมตรต่อวัน ในการเร่งการระเหยโดยใช้เครื่องพ่นน้ำเป็นฝอยสามารถระเหยได้ในอัตราที่สูงขึ้นเป็น 7.58 มิลลิเมตรต่อวัน และการใช้แผงดักแสงอาทิตย์ระเหยได้ 7.18 มิลลิเมตรต่อวัน การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้บ่อระเหยที่มีการระเหยตามปกติ ที่มีการพ่นน้ำเป็นฝอย และที่ใช้แผงดักแสงอาทิตย์ จะต้องใช้บ่อระเหยซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 143 132 และ 139 ตารางเมตรต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ต้องการบำบัด 1 ลูกบาศก์เมตรใน 1 วันตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

2. ออกแบบระบบเตาเผาขยะน้ำชะมูลฝอย 2 รูปแบบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยเตาเผาทั้ง 2 รูปแบบจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

- รูปแบบเตาเผาแบบที่ 1 เรียกว่า **Fire Tube** จะมีการป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าไปภายในเตาเผาขยะบริเวณด้านข้าง ทางตอนล่างของเตาเผาขยะโดยตลอด หัวเผาจะทำการติดตั้งอยู่ภายนอกตัวเตาเผาขยะและเชื่อมต่อกับท่อถ่ายเทความร้อนซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในเตาเผา เมื่อทำการจุดหัวเผา ความร้อนจะส่งผ่านไปยังเส้นท่อแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำภายในเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 3.1

- รูปแบบเตาเผาแบบที่ 2 เรียกว่า **Direct Fire** จะมีการป้อนน้ำชะมูลฝอยขึ้นทางตอนบนและไหลล้นผ่านเวียร์เข้าไปภายในเส้นท่อ ซึ่งทางตอนบนเหนือเวียร์จะทำการติดตั้งหัวเผาดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ดังนั้นเมื่อมีการจุดหัวเผาเปลวไฟจากหัวเผาจะผ่านไปตามเส้นท่อซึ่งมีน้ำชะมูลฝอยไหลล้นจากเวียร์ด้านบนลงสู่ด้านล่าง ทำให้น้ำชะมูลฝอยได้รับความร้อนจากเปลวไฟภายในเส้นท่อโดยตรง และมีการปรับอัตราในการป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าเตาเผาขยะโดยใช้เครื่องป้อนแบบรีดสายในอัตรา

0.23, 0.55, 0.8, 1.0 ลิตรต่อนาที เพื่อหาอัตราการป้อนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากอัตราการเผาขยะและปริมาณการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรของน้ำชะมูลฝอย ไอระเหยน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากตัวเตาเผาขยะทั้ง 2 รูปแบบจะผ่านต่อไปยังท่อซีเมนต์ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างชุดเตาเผาขยะและชุดเผาควิน ดังแสดงในที่ 3.4 และ 3.5

3. งานวิจัยนี้จะทำการติดตั้งชุดเตาเผาขยะที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน และทำการเชื่อมต่อท่อก๊าซ LFG จากหลุมฝังกลบเข้ากับชุดเตาเผาขยะโดยตรง ทั้งนี้ค่าที่ทำการตรวจวัดจะแบ่ง

เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การตรวจวัดภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ โดยการวิเคราะห์และประมวลผลจะพิจารณาจากข้อมูลทั้ง 2 ส่วนประกอบกัน

ส่วนที่ 1 ค่าที่ทำการตรวจวัดที่ภาคสนาม ซึ่งทำการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าเตาเผาระเหย อุณหภูมิน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผา ไอรระเหยของน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผา อุณหภูมิของหัวเผาทั้งที่ชุดเตาเผาและชุดเผาควัน อุณหภูมิของไอรระเหยภายในชุดเผาควันที่จุดใกล้กับหัวเผา และจุดก่อนปล่อยไอรระเหยออกไปสู่บรรยากาศ และทำการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบก่อนและหลังการเผาเระเหยทั้งที่ชุดเตาเผาและชุดเผาควัน

ส่วนที่ 2 ค่าที่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยจะนำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยมาวิเคราะห์หาค่า BOD, COD, TKN, $\text{NH}_3\text{-H}$, Organic-N, pH, Alkalinity, VFA, SS, FS, TVS ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. หาประสิทธิภาพของเตาเผาโดยพิจารณาจากปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาเระเหย

5. ตัวแปรที่ศึกษาวิจัย

ตัวแปรคงที่ ได้แก่ รูปแบบเตาเผาเระเหยที่ใช้ในการทดลอง ปริมาณและอัตราในการป้อนน้ำชะมูลฝอยในการทดลองเตาเผาเระเหยแบบ Direct Fire

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ อัตราการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขณะตั้งขึ้นขึ้นอยู่ด้วยความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านเส้นท่อซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขณะ

ตัวแปรตาม ได้แก่ ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อน-หลัง และที่เหลือภายในเตาเผาเระเหย อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในระบบ ระดับของก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาเระเหย น้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังผ่านไปยังปล่องเผาควัน อัตราการเผาเระเหย อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิของก๊าซภายในเส้น
- เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิพร้อมเครื่องแสดงผลการวัดอุณหภูมิ (ยี่ห้อ Fluke 52)

- เครื่องสำหรับวัดองค์ประกอบของก๊าซ LFG (ยี่ห้อ Landtec) โดยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ก๊าซ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและก๊าซอื่นๆ
- เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (ยี่ห้อ Oldham) สำหรับตรวจวัดก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากทำการเผา ระบาย และก๊าซที่เกิดขึ้นภายในปล่องเผาควัน โดยจะทำการวัดค่า CO, NO, SO₂, H₂S
- นาฬิกาจับเวลา
- ชุดเตรียมน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าสู่เตาเผาขยะ ซึ่งประกอบด้วยถังเหล็กขนาดบรรจุ 200 ลิตร จำนวน 1 ใบ ซึ่งสามารถวัดระดับของน้ำชะมูลฝอยที่อยู่ภายในถังได้ และชุดควบคุม พร้อมกลไกเพื่อป้องกันน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่เตาเผาขยะ (สำหรับเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube ดังแสดงในรูปที่ 3.4)
- ชุดเตรียมน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าสู่เตาเผาขยะ ซึ่งประกอบด้วยถังเหล็กขนาดบรรจุ 200 ลิตร จำนวน 1 ใบ ซึ่งสามารถวัดระดับของน้ำชะมูลฝอยที่อยู่ภายในถังได้ และเครื่องปั๊มน้ำชะมูลฝอยแบบปริสตาติก (Perristatic Pump) ซึ่งสามารถปรับอัตราการปั๊มได้ (สำหรับเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ดังแสดงในรูปที่ 3.5)
- ชุดเตาเผาขยะพร้อมหัวเผาและเครื่องเป่าอากาศสำหรับจุดเผาไหม้ LFG เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำภายในเตาเผาขยะ (ดังแสดงในรูปที่ 3.1, 3.2 และ 3.3)
- ชุดเก็บน้ำควบแน่น (Condensate) ซึ่งเป็นท่อเชื่อมต่อระหว่างตัวเตาเผาขยะกับชุดเผา ควัน พร้อมเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น
- ชุดเผาควัน ซึ่งใช้ถังเหล็กขนาดบรรจุ 200 ลิตร จำนวน 4 ถังต่อกัน และมีหัวเผาสำหรับจุด เผาควันอยู่ทางด้านล่าง ที่บริเวณด้านข้างตัวชุดเผาควันจะมีรูปสำหรับเสียบ Probe เพื่อ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซอยู่ 2 ระดับ

3.3 ขั้นตอนในการวิจัย

- 3.3.1 ขั้นตอนแรกของงานวิจัยจะเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น (Raw Leachate) ก่อนที่จะทำการบำบัดด้วยวิธีการเผาขยะ เพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
Total BOD	mg/l	Azide Modification of the Winkler
Total COD	mg/l	Dichormate Reflux
NH ₃ -N	mg/l	Distillation, Titration
Organic-N	mg/l	Digestion, Distillaitn & Titration
Suspended Solid (SS)	mg/l	Total Suspended Matter Dried at 103-105 °C
Fix Solid (FS)	mg/l	Total Volatile Residue Dried at 550 °C
Total Volatile Solid (TVS)	mg/l	Total Volatile Residue Dried at 550 °C
pH	-	Electrometric Method
Alkalinity	mg-N/l	Titration
Volatile Fatty Acids	mg/l as CH ₃ COOH	Titration mg/l
โลหะหนัก		
Nickel (Ni)	mg/l Ni	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Total Chromium (Cr)	mg/l Cr	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Cadmium (Cd)	mg/l Cd	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Copper (Cu)	mg/l Cu	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Zinc (Zn)	mg/l Zn	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Lead (Pb)	mg/l Pb	Flame Atomic Absorption Spectrometry
Mercury(Hg)	mg/l Hg	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry

3.3.2 ขั้นตอนการทดลองรูปแบบเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube

1. เติมน้ำชะมูลฝอยเข้าถังเตรียม 150 ลิตรที่มีมาตรวัดบอกปริมาตรน้ำภายในถัง น้ำชะมูลฝอยจะไหลต่อไปยังถังควบคุมระดับน้ำซึ่งมีลูกกลอยควบคุมระดับน้ำอยู่ภายในก่อนผ่านต่อไปยังเตาเผาระเหย ดังแสดงในรูปที่ 3.4
2. เปิดวาล์วให้น้ำชะมูลฝอยไหลเข้าไปยังภายในเตาเผาระเหย
3. จุดหัวเผาที่ชุดเตาเผาพร้อมเปิดเครื่องเป่าอากาศ
4. จุดหัวเผาที่ชุดเผาควัน
5. ติดตั้งเครื่องป้อนน้ำหล่อเย็นและต่อสายยางเข้ากับท่อทองแดงซึ่งอยู่ภายในท่อที่เชื่อมต่อระหว่างชุดเตาเผาและชุดเผาควัน เพื่อให้ไอรหรือน้ำชะมูลฝอยจากเตาเผาผ่านต่อไปยังชุดเผาควัน
6. เก็บน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นในถังเตรียมปริมาณ 0.5 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี (COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, Organic-N, pH, Alkalinity, VFA, SS, FS, TVS)
7. ติดตั้งขวดเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น (Distillation Leachate;dis) ที่บริเวณรูเจาะของท่อเชื่อมระหว่างชุดเตาเผาและชุดเผาควันเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี (COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, Organic-N, pH, Alkalinity, VFA, SS, FS, TVS)
8. จดบันทึกเวลาที่เริ่มต้นการทดลองและระดับน้ำเริ่มต้น
9. จดบันทึกเวลาและระดับน้ำชะมูลฝอยที่ลดลงในถังเตรียมทุกกระยะจนสิ้นสุดการทดลอง
10. ในระหว่างที่ดำเนินการเผาระเหยทำการตรวจวัดค่าดังต่อไปนี้ (ดังแสดงตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดในรูปที่ 3.4)
 - วัดอุณหภูมิก๊าซภายในเส้นท่อที่ผ่านตัวเตาเผาและตัวเตาเผาควัน ($^{\circ}\text{C}$)
 - วัดองค์ประกอบของก๊าซภายในเส้นท่อน้ำก่อนเข้าหัวเผาของตัวเตาเผาและตัวเตาเผาควัน โดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบของก๊าซ ยี่ห้อ Landtec (วัดค่าเป็น % CH_4 , % O_2 , % CO_2 , % ก๊าซอื่นๆ)

- วัดระดับความเข้มข้นของก๊าซมลพิษภายในเส้นท่อน้ำก่อนเข้าหัวเผาของตัวเตาเผาขยะและตัวเผาควัน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (ยี่ห้อ Oldham) [วัดค่า CO, NO, SO₂, H₂S (ppm)]
 - วัดองค์ประกอบของก๊าซที่เหลือหลังการเผาขยะก่อนและหลังผ่านปล่องเผาควัน โดยใช้เครื่อง โดยองค์ประกอบของก๊าซ ยี่ห้อ Landtec (วัดค่าเป็น % CH₄, % O₂, % CO₂, % ก๊าซอื่นๆ)
 - วัดระดับความเข้มข้นของก๊าซมลพิษก่อนและหลังผ่านปล่องเผาควัน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (ยี่ห้อ Oldham) [วัดค่า CO, NO, SO₂, H₂S (ppm)]
 - วัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ดังต่อไปนี้
วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำชะมูลฝอยก่อนทำการทดลอง, อุณหภูมิที่หัวเผาของตัวเตาเผาขยะ, อุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผาขยะ, อุณหภูมิไอรยะเหยงก่อนผ่านไปยังชุดเผาควัน อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 1 และ อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 2 ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ
11. เก็บน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นในเตาเผาขยะหลังเสร็จสิ้นการทดลอง ปริมาณ 0.5 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมีตาม (COD, NH₃-N, Organic-N, pH, Alkalinity, VFA, SS, FS, TVS)
 12. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-11 จนกระทั่งได้ค่าที่ทำการตรวจวัดในภาคสนามและค่าที่ทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน (ประมาณ 8-10 ครั้ง) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย

3.3.3 ขั้นตอนการทดลองรูปแบบเตาเผาขยะแบบ Direct Fire

ในการทดลองแบบ Direct Fire จะมีการปรับอัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอย โดยทำการป้อนที่อัตรา 0.23, 0.55, 0.8, 1.0 ลิตรต่อนาที โดยขั้นตอนในการทดลองเบื้องต้นจะดำเนินการเหมือนกันดังต่อไปนี้

1. ป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าเตาเผาระเหยจนกระทั่งมีน้ำไหลล้นออกมาทางท่อน้ำล้น จึงหยุดป้อนน้ำชะมูลฝอย บริเวณผิวหน้าของน้ำชะมูลฝอยที่ขังอยู่ในเตาเผาระเหยระดับนี้ จะได้รับความร้อนจากเปลวไฟที่ผ่านมาจากท่อลงสู่ผิวหน้า
2. เติมน้ำชะมูลฝอยเข้าถังเตรียม 50 ลิตรที่มีมาตรวัดบอกปริมาตรน้ำภายในถัง
3. ตั้งเครื่องป้อนน้ำชะมูลฝอยแบบรีดสายให้มีอัตราในการป้อน 0.23 ลิตรต่อนาที
4. จุดหัวเผาที่ชุดเตาเผาระเหยพร้อมเปิดเครื่องเป่าอากาศ
5. จุดหัวเผาที่ชุดเผาควัน
6. ติดตั้งเครื่องป้อนน้ำหล่อเย็นและสายยางเข้ากับท่อทองแดงซึ่งอยู่ภายในท่อที่เชื่อมต่อระหว่างชุดเตาเผาและชุดเผาควัน เพื่อให้ไอระเหยน้ำชะมูลฝอยจากเตาเผาผ่านไปยังชุดเผาควัน
7. เก็บน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นในถังเตรียมปริมาณ 0.5 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี(COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, Organic-N, pH, Alkalinity ,VFA, SS, FS, TVS)
8. ติดตั้งขวดเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น (Distillation Leachate;dis)ที่บริเวณรูเจาะท่อซีเมนต์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี (COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, Organic-N, pH, Alkalinity ,VFA, SS, FS, TVS)
9. จดบันทึกเวลาที่เริ่มทำการทดลองและระดับน้ำเริ่มต้น
10. จดบันทึกเวลาและระดับน้ำชะมูลฝอยที่ลดลงในถังเตรียมทุกระยะจนสิ้นสุดการทดลอง
11. ในระหว่างที่ดำเนินการเผาระเหยทำการตรวจวัดค่าเช่นเดียวกับเตาเผาแบบ Fire Tube ในข้อ 10
12. เก็บน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นในเตาเผาระเหยหลังเสร็จสิ้นการทดลอง ปริมาณ 0.5 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี (COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, Organic-N, pH, Alkalinity ,VFA, SS, FS, TVS)
13. ทำการทดลองดังกล่าวตั้งแต่ข้อ 1-12 จำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับการทดลองที่อัตราป้อน 0.55, 0.8, 1.0 ลิตรต่อนาที ให้ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับอัตราป้อน 0.23

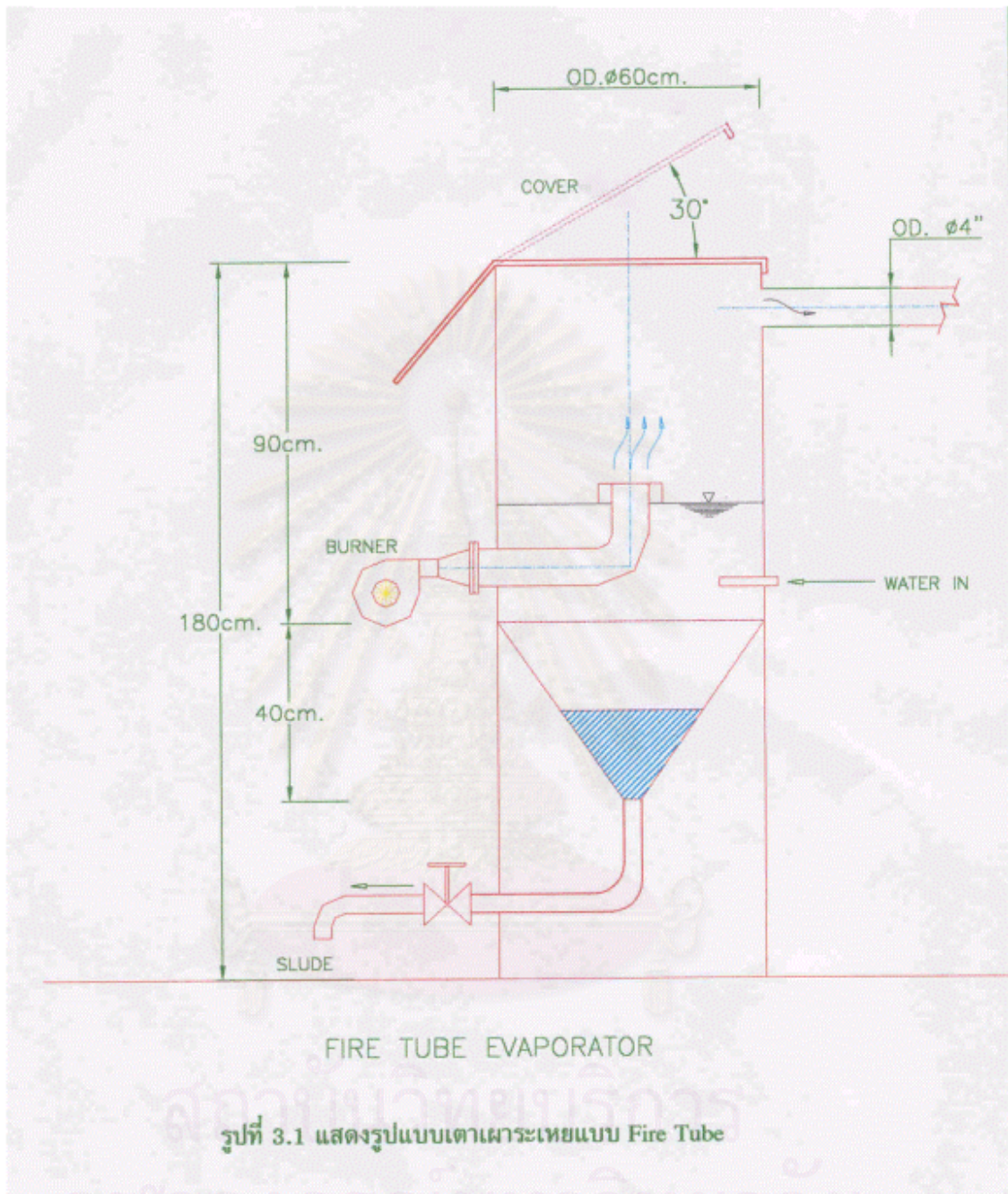
ลิตรต่อหน้าที่ (ตั้งแต่ข้อ1-13) ยกเว้นให้ทำการปรับอัตราการป้อนของเครื่องป้อนแบบปริด
สายในข้อ 3. โดยใช้อัตราการป้อนที่ต้องการ

3.4 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยที่ได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ 2543 และสิ้นสุดการทดลองในช่วง
เดือนมีนาคม พ.ศ 2544 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 10 เดือน ซึ่งแสดงรายละเอียดการดำเนินการทดลองดัง
ตารางที่ 3.2

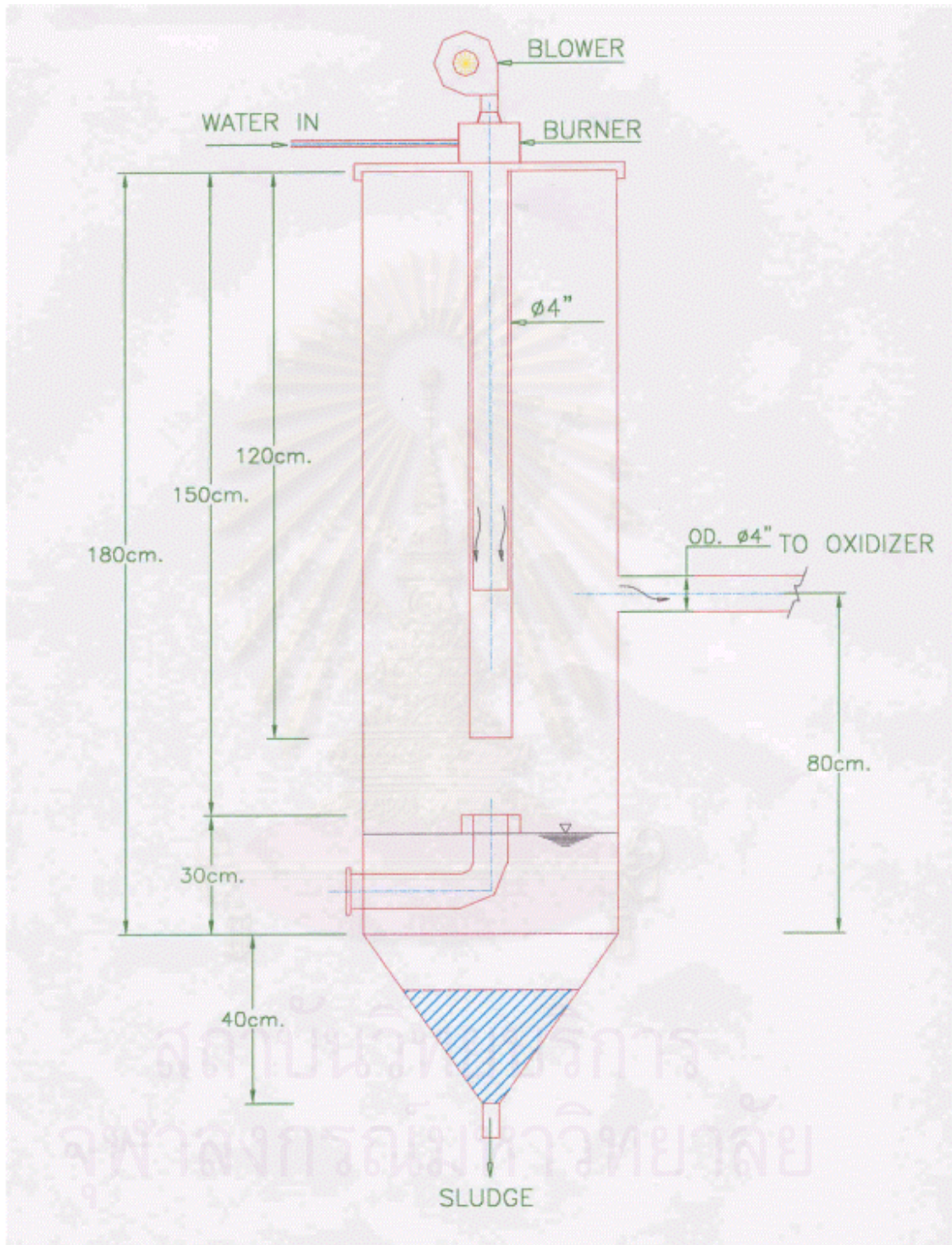
ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดในการดำเนินการทดลอง

	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค
หาข้อมูลในการดำเนินการ วิจัย	←	→								
ออกแบบเตรียมอุปกรณ์ก่อสร้าง ชุดทดลอง		←	→							
ดำเนินการทดลองเตาเผา ระเหยแบบ Fire Tube				←					→	
ดำเนินการทดลองเตาเผา ระเหยแบบ Direct Fire								←		→

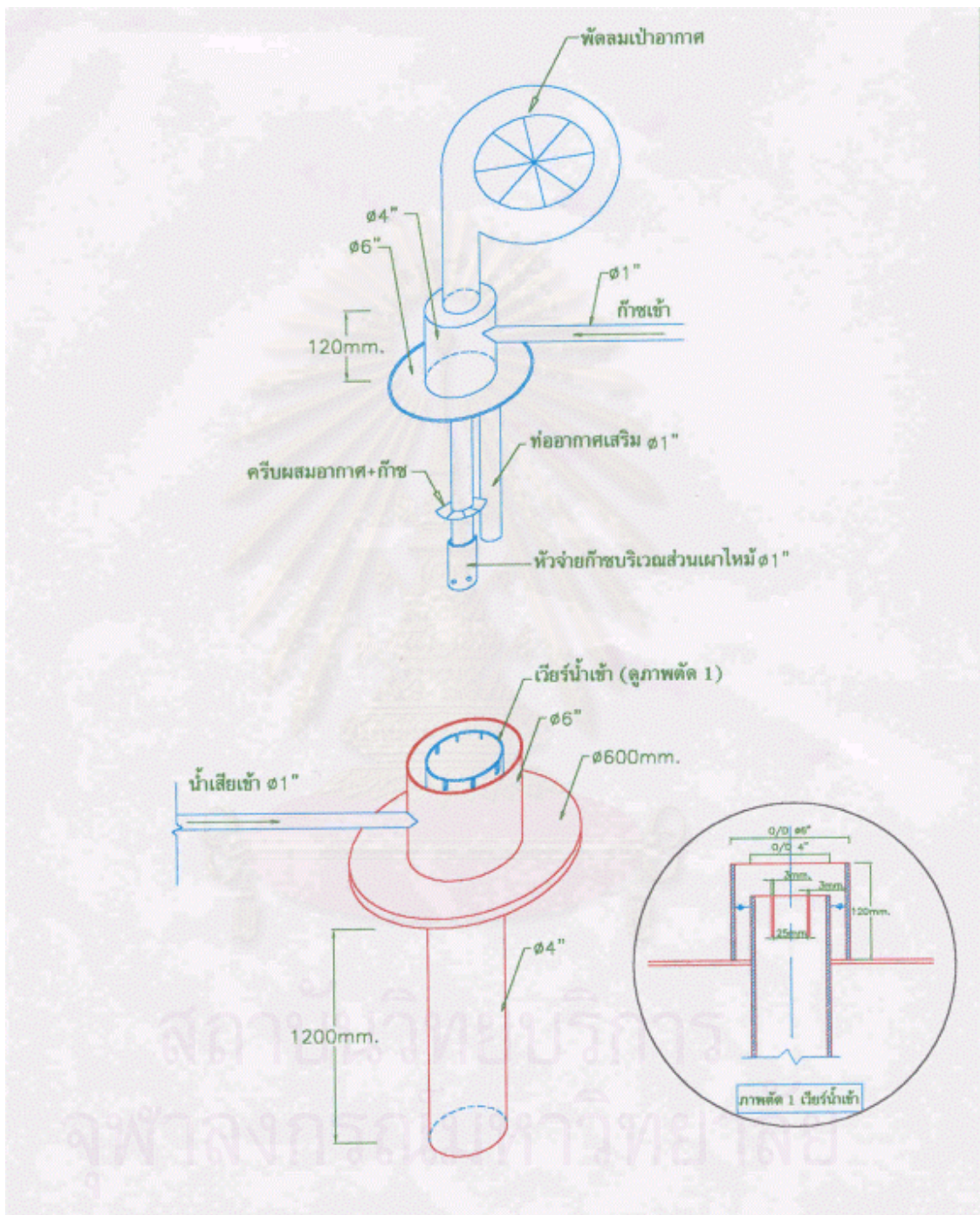


รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube

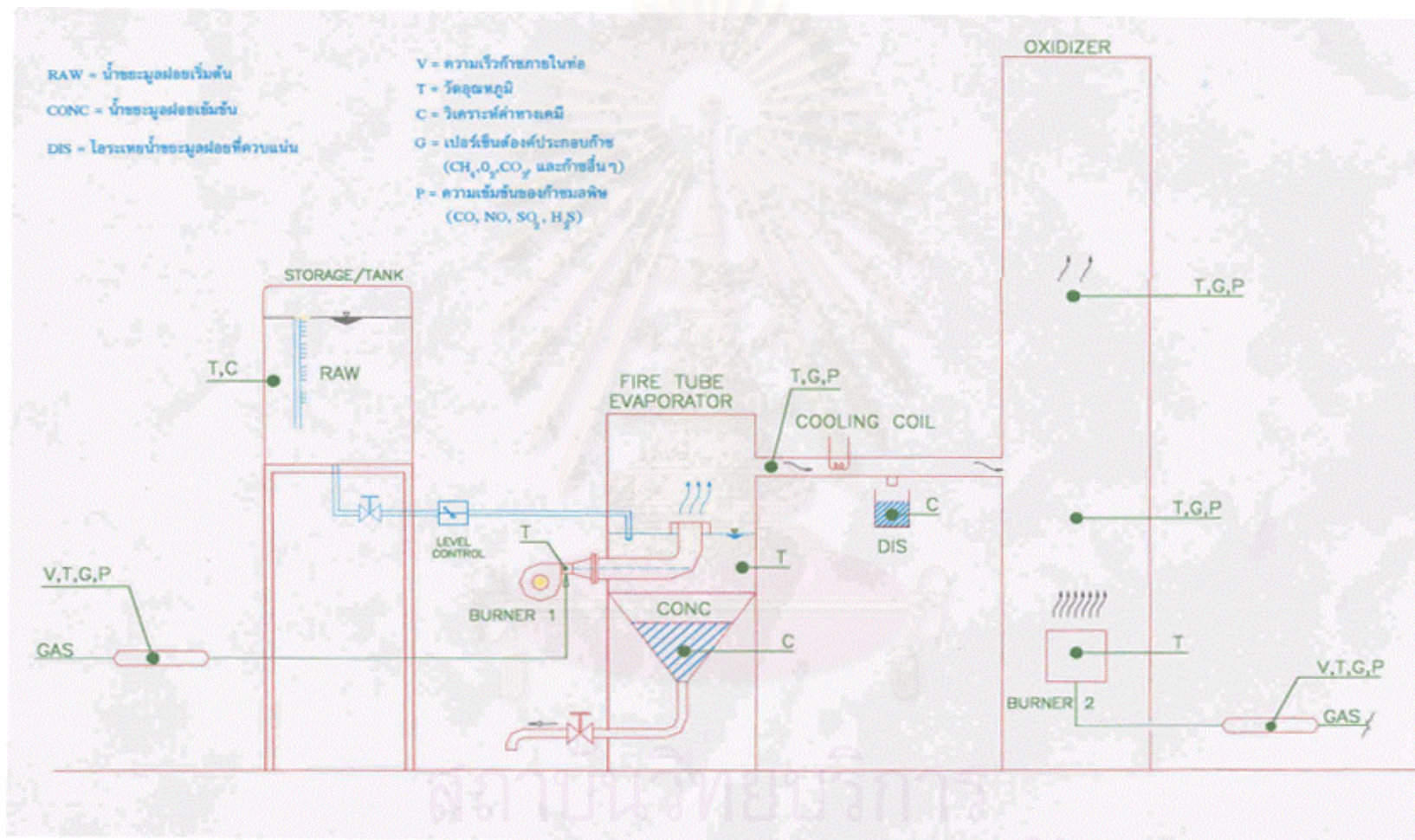
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



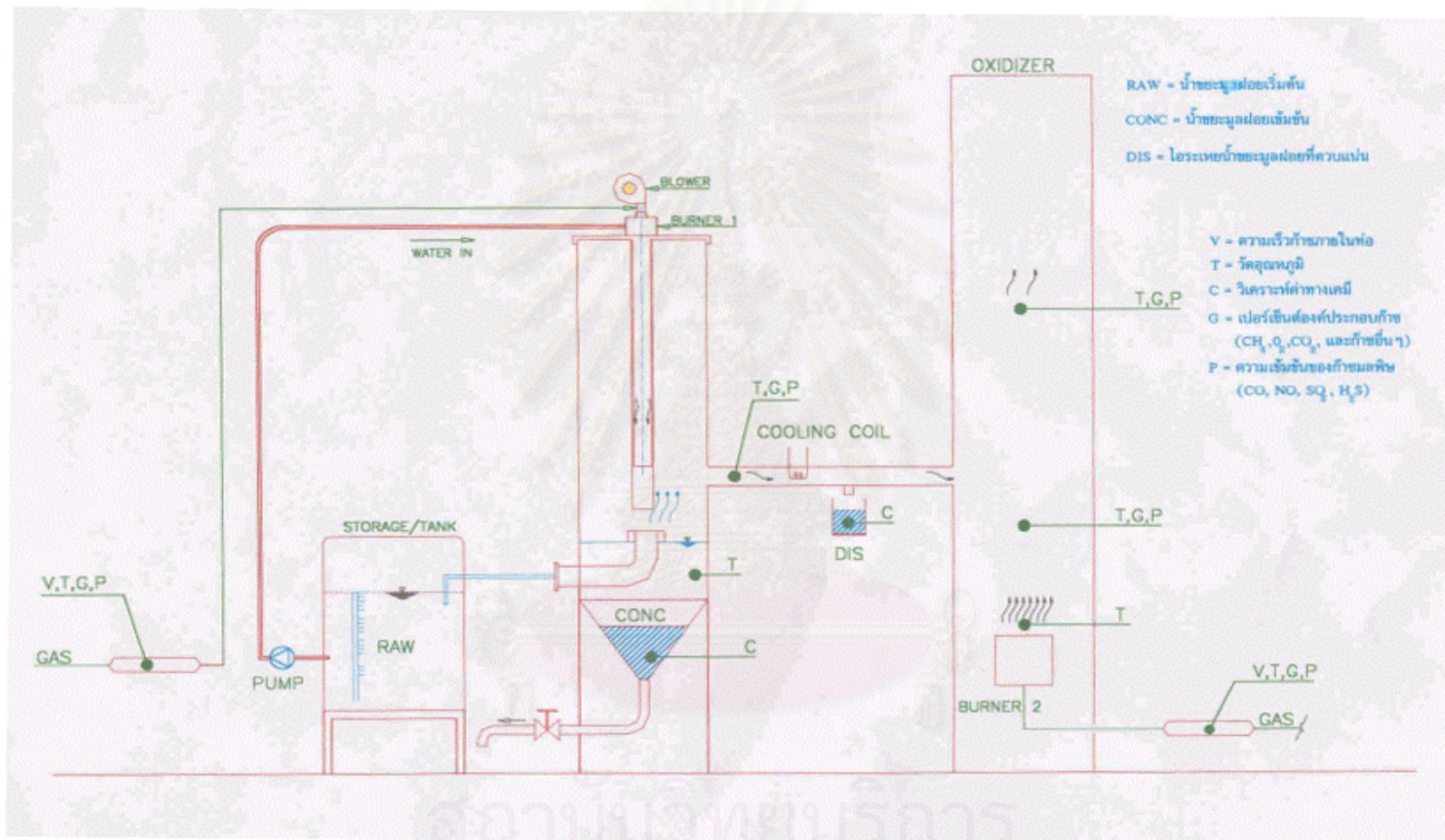
รูปที่ 3.2 แสดงเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire



รูปที่ 3.3 แสดงชุดหัวเผาและท่อที่น้ำขยะมูลฝอยผ่านได้รับความร้อนจากหัวเผา ในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire



รูปที่ 3.4 แสดงชุดเตาเผากระเหยแบบ Fire Tube และตำแหน่งการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ



รูปที่ 3.5 แสดงชุดเตาเผาขยะแบบ Direct Fire และตำแหน่งการวัดพารามิเตอร์ต่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas ; LFG) มาใช้ในการบำบัดเผาขยะน้ำชะมูลฝอย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชุดเตาเผาขยะ 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 เรียกว่า Fire Tube ซึ่งดำเนินการทดลองระบบแบบแบช (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) เป็นเวลา 5 วัน รูปแบบที่ 2 เรียกว่า Direct Fire ซึ่งดำเนินการทดลอง โดยการแปรอัตราป้อนน้ำชะมูลฝอยที่ 0.23, 0.55, 0.80, 1.0 ลิตรต่อนาที

โดยศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะดำเนินการทดลองเผาขยะ ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซ LFG ที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน และเปรียบเทียบผลการทดลองในการวิเคราะห์ค่าก๊าซ การวิเคราะห์ค่าทางเคมี ประสิทธิภาพในการเผาขยะและอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนของเตาเผาขยะทั้ง 2 รูปแบบ

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น (Raw Leachate; Raw) จากหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางเคมีสำหรับน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น แสดงในตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำเสียที่มีค่า บีโอดี 1800 มก./ล ซีโอดีเฉลี่ย 6450 มก./ล ซึ่งสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด ค่าบีโอดีต้องไม่เกิน 20 มก./ล และค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มก./ล (ภาคผนวก ฉ) นอกจากนี้ยังตรวจพบปริมาณโลหะหนักได้แก่ โครเมียม 1.06 มก./ล ตะกั่ว 0.228 มก./ล และปรอท 0.03 มก./ล โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรอทมีค่าเกินมาตรฐานมากและจัดเป็นของเสียอันตราย ดังนั้นน้ำชะมูลฝอยจึงถือว่าเป็นน้ำเสียที่จะต้องทำการบำบัดก่อนที่จะปล่อยออกไปสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น (Raw Leachate ; raw)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	n	ค่าสูงสุด	ค่าที่ตรวจวัดได้	ค่ามาตรฐาน [*]
Total BOD	mg/l	-	-	1	-	1,800	20
Total COD	mg/l	6,000	6,450	8	7,515	6,000 – 7,515	120
NH ₃ -N	mg/l	2,471	3,148	8	3,856	2,471 – 3,856	*
Organic-N	mg/l	232	310	8	519	232 – 519	*
pH	-	8.04	8.51	8	8.80	8.04 – 8.80	5.5-9.0
Alkalinity	mg-N/l	640	983	8	2,488	640 – 2,488	-
Volatile Fatty Acids	mg/l as CH ₃ COOH	960	1,475	8	3,731	960 – 3,731	-
Suspended Solid (SS)	mg/l	20	106	8	260	20-260	50
Fix Solid (FS)	mg/l	16	80	5	122	16-122	-
Total Volatile Solid (TVS)	mg/l	4	24	5	50	4-50	-
โลหะหนัก							
Nickel (Ni)	mg/l Ni	-	-	1	-	0.394	1.0
Total Chromium (Cr)	mg/l Cr	-	-	1	-	1.060	1.0
Cadmium (Cd)	mg/l Cd	-	-	1	-	0.018	0.03
Copper (Cu)	mg/l Cu	-	-	1	-	0.132	2.0
Zinc (Zn)	mg/l Zn	-	-	1	-	2.540	5
Lead (Pb)	mg/l Pb	-	-	1	-	0.228	0.2
Mercury(Hg)	mg/l Hg	-	-	1	-	0.030	0.005
Fe		-	-	1	-	12.5	-

* ค่ามาตรฐานแสดงในภาคผนวก จ.

* ค่า TKN เป็นค่ารวมของ NH₃-N และ Organic-N ซึ่งมาตรฐานกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 100 มก./ล (ภาคผนวก จ.)

4.2 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซ LFG สำหรับหลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน

4.2.1 ความเร็วและอุณหภูมิของก๊าซ LFG

ในการวัดความเร็วและอุณหภูมิของก๊าซ LFG จะทำการตรวจวัดภายในเส้นท่อก๊าซ 2 จุด จุดที่ 1 ทำการตรวจวัดความเร็วภายในเส้นท่อซึ่งเชื่อมต่อกับชุดเตาเผาขยะ และจุดที่ 2 ภายในเส้นท่อที่เชื่อมต่อกับชุดเผาควัน โดยเส้นท่อทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ 2 นิ้ว ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซภายในเส้นท่อ (ภาคผนวก ข) จากผลการทดลองที่ได้ความเร็วของก๊าซในเส้นท่อทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละครั้งที่ทำการตรวจวัด เนื่องจากเป็นท่อสาขาที่แยกมาจากท่อหลักเส้นเดียวกัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.1 ความเร็วของก๊าซภายในเส้นท่อที่ต่อกับชุดเตาเผาขยะมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-1.5 ม./วินาที คิดเป็นค่าความเร็วเฉลี่ย 0.93 ม./วินาที

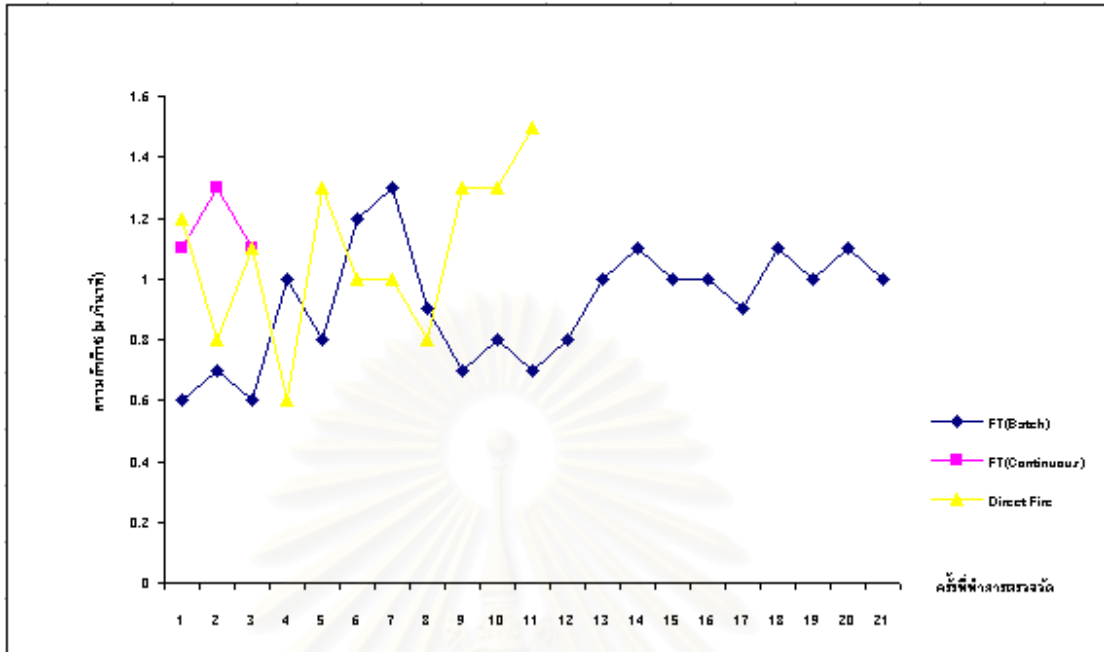
อุณหภูมิของก๊าซภายในเส้นท่อมีค่าอยู่ในช่วง 32-38 องศาเซลเซียส ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.2

4.2.2 องค์ประกอบของก๊าซ LFG

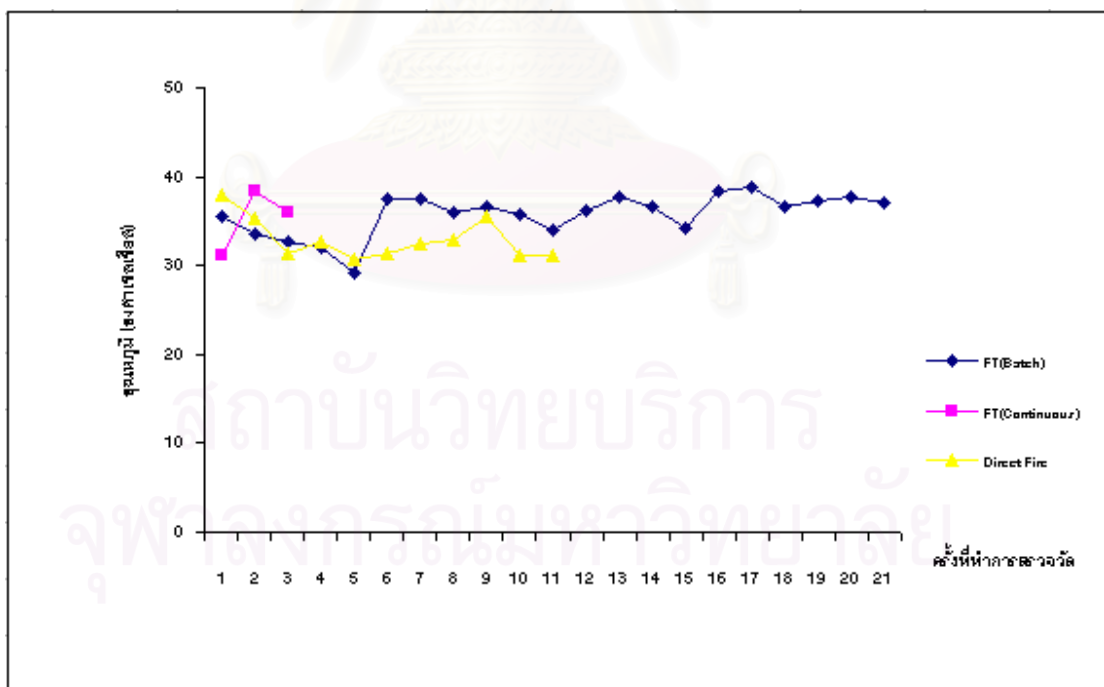
องค์ประกอบของก๊าซ LFG จะทำการตรวจวัดภายในเส้นท่อที่ต่อกับชุดเตาเผาขยะ โดยทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง 2 ประเภท ประเภทแรกใช้เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบก๊าซยี่ห้อ Landtec ซึ่งจะแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ส่วนประเภทที่สองทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซมลพิษใน LFG โดยใช้เครื่องตรวจวัดยี่ห้อ Oldham ซึ่งจะแสดงผลเป็นพีพีเอ็ม คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนตริกออกไซด์ (NO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S)

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.3 พบว่า LFG ที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสน จะมีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ลำดับต่อมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซอื่นๆ ซึ่งตัวเครื่องวัดไม่สามารถจำแนกประเภทของก๊าซได้ และเปอร์เซ็นต์ของก๊าซออกซิเจนมีปริมาณต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์

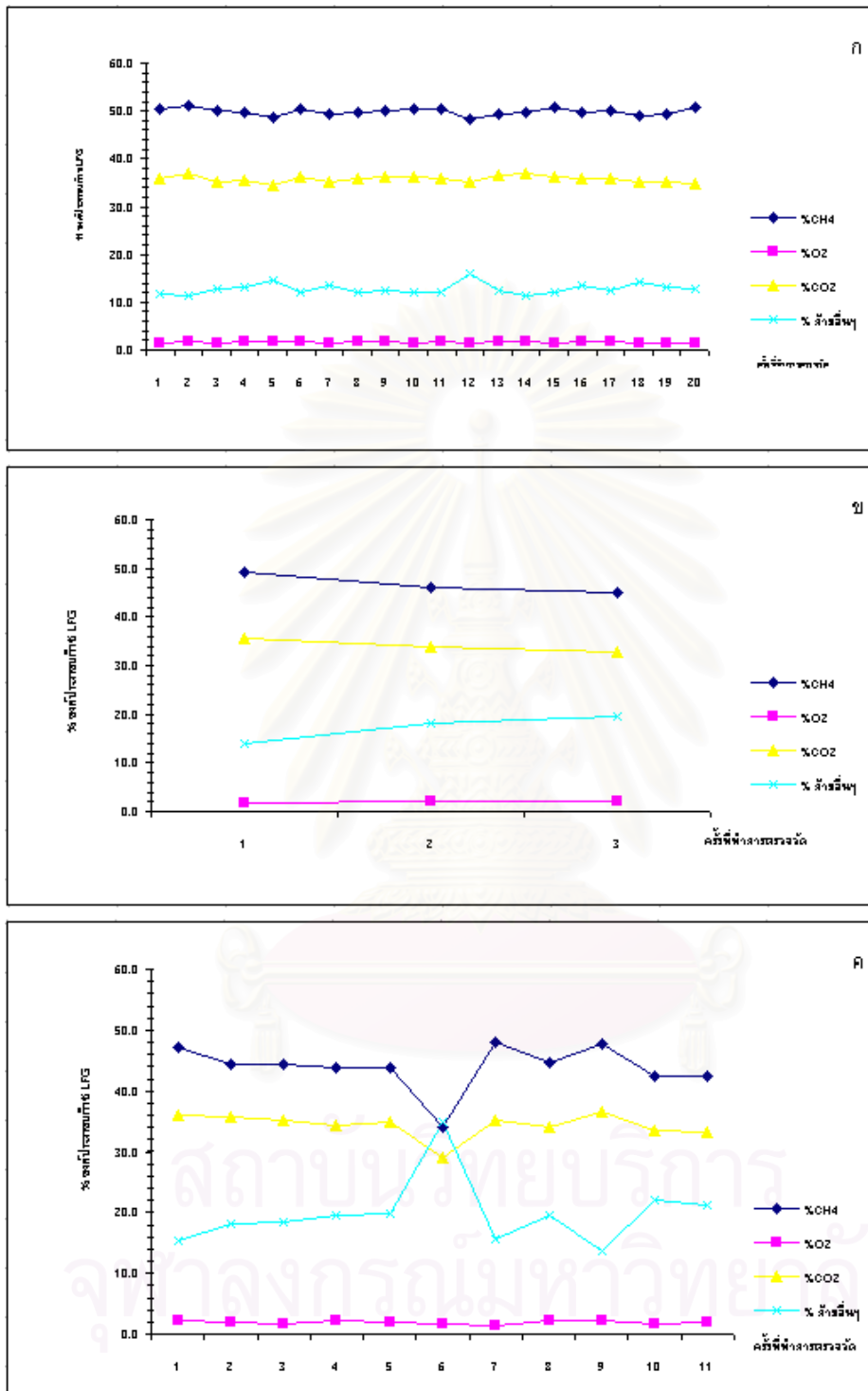
พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.4 และตารางในภาคผนวก ก. พบว่าระดับของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณมากกว่าก๊าซมลพิษตัวอื่น โดยมีค่าตั้งแต่ 0-18 พีพีเอ็ม รองลงมาเป็นไนตริกออกไซด์ ตรวจวัดได้ที่ระดับตั้งแต่ 0-9 พีพีเอ็ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตรวจวัดได้ที่ระดับตั้งแต่ 0-0.6 พีพีเอ็ม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตรวจวัดได้ที่ระดับ 0-1 พีพีเอ็ม



รูปที่ 4.1 ความเร็วก๊าซภายในเส้นท่อที่ต่อกับชุดเตาเผาระเหยแบบต่างๆ

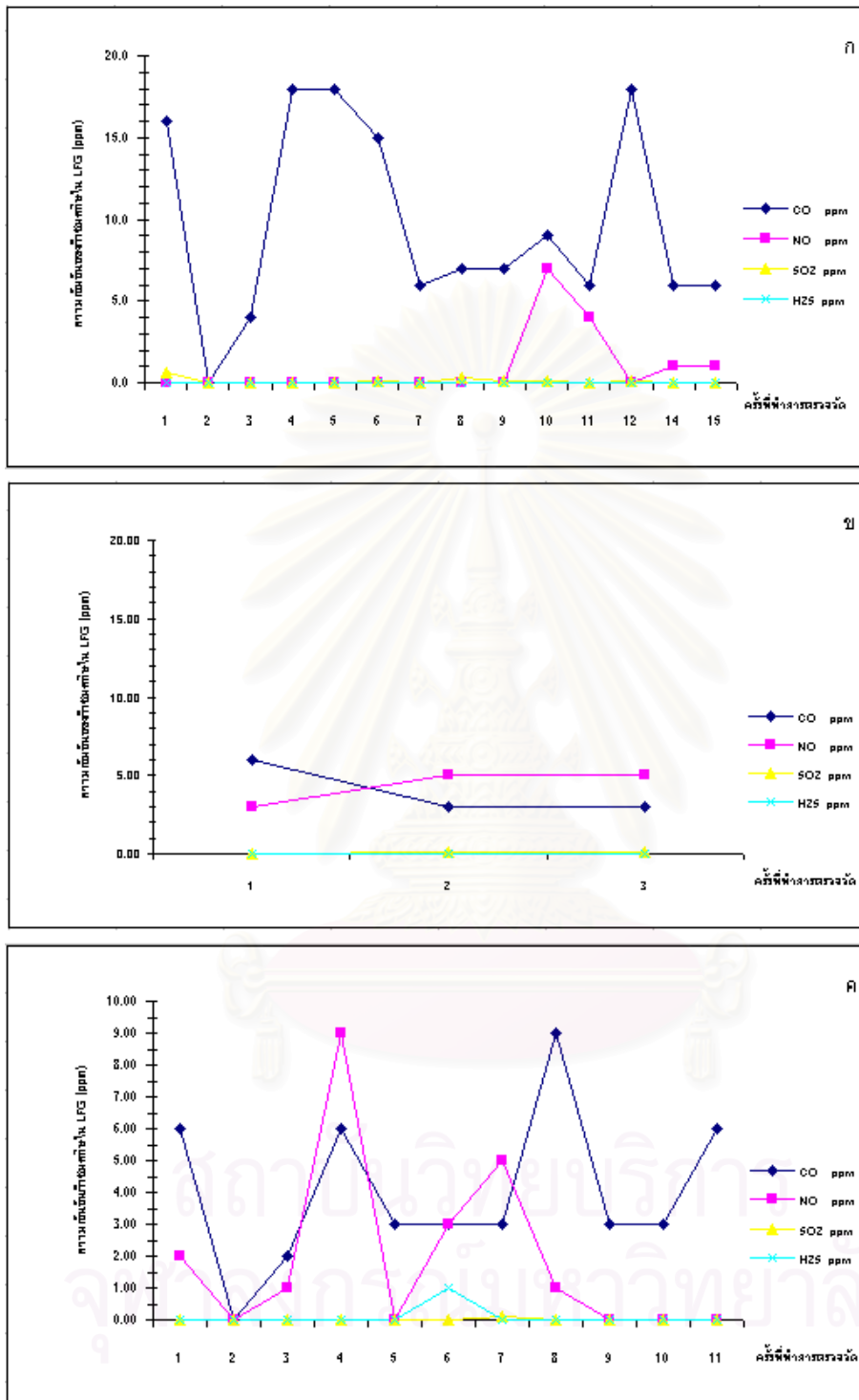


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิก๊าซภายในเส้นท่อที่ต่อกับชุดเตาเผาระเหยแบบต่างๆ



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบก๊าซ LFG ภายในท่อก๊าซที่ต่อเข้ากับตัวเตาเผาขยะ

- ก. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ bench
- ข. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบต่อเนื่อง 5 วัน
- ค. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษใน LFG ภายในท่อก๊าซที่ต่อเข้ากับตัวเตาเผาขยะ

- ก. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ แบบ
- ข. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน
- ค. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของเตาเผาขยะแบบ Fire Tube และแบบ Direct Fire

ได้ทำการออกแบบชุดเตาเผาขยะ 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 เรียกว่า Fire Tube ซึ่งดำเนินการทดลองระบบแบบแบช (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) เป็นเวลา 5 วัน รูปแบบที่ 2 เรียกว่า Direct ซึ่งดำเนินการทดลอง โดยการแปรอัตราป้อนน้ำชะมูลฝอยที่ 0.23, 0.55, 0.80, 1.0 ลิตรต่อนาที

ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube ใช้ระยะเวลาในการปรับระบบ ตำแหน่ง และอุปกรณ์ในการตรวจวัดให้เข้าที่เป็นระยะเวลาประมาณ 2.5 เดือน เนื่องจากผู้วิจัยยังไม่มีประสบการณ์ในการตรวจวัดภาคสนาม และการทดลองในห้องปฏิบัติการก็ยังยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการทดลองบ่อยครั้ง เช่น เกิดปัญหาเกี่ยวกับหัวเผาของชุดเตาเผาขยะในการทดลองช่วงแรก คือ เมื่อดำเนินการทดลองจะเกิดการดับของหัวเผาหลายครั้ง ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการตรวจค้นหาสาเหตุ และปรับปรุงรูปแบบของหัวเผาใหม่ ในการทดลองรูปแบบเตาเผาขยะแบบ Fire Tube ไม่สามารถปรับอัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอยที่เข้าเตาเผาขยะได้เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้คำนึงถึงในระหว่างที่ทำการออกแบบในตอนต้น ดังนั้นในการทดลองแบบ Fire Tube น้ำชะมูลฝอยจะไหลโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกจากถังเตรียมซึ่งมีสเกลบอกระดับน้ำผ่านไปยังถังควบคุม เพื่อควบคุมระดับน้ำที่จะผ่านต่อไปยังตัวเตาเผาขยะ ทั้งนี้ได้นำปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองแบบ Fire Tube ไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาขยะรูปแบบที่ 2 ซึ่งเรียกว่าเตาเผาขยะแบบ Direct Fire

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าก๊าซและอุณหภูมิ

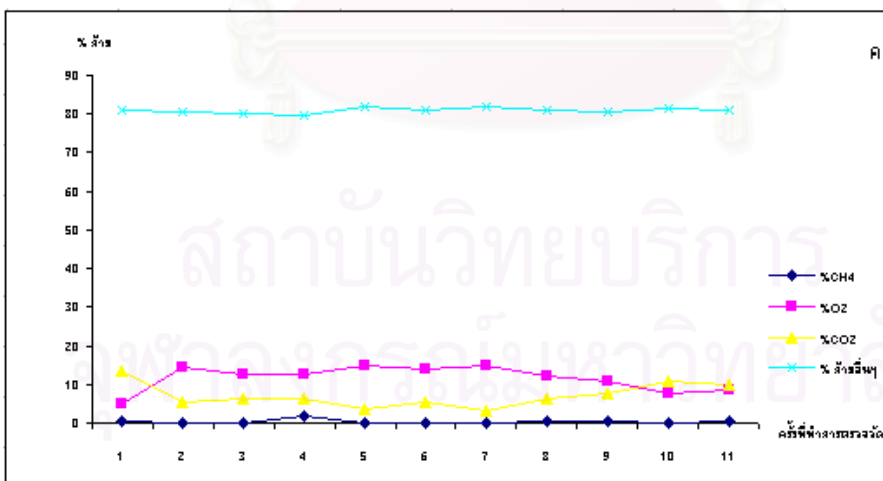
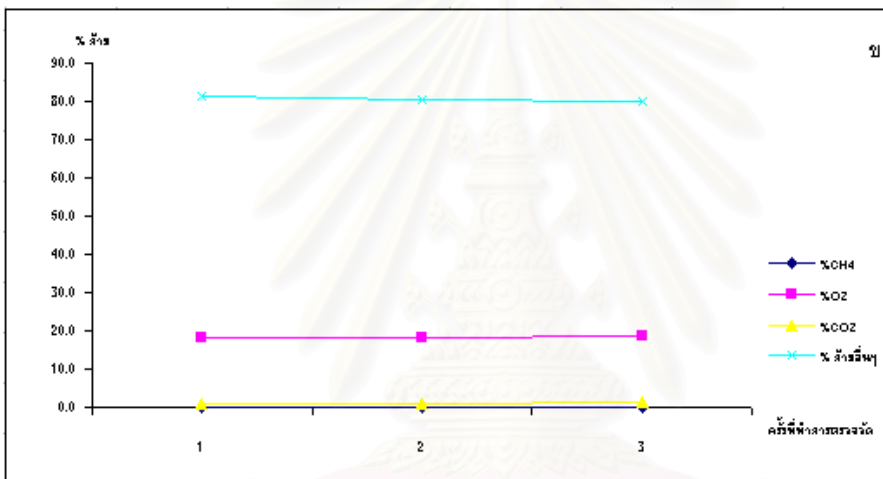
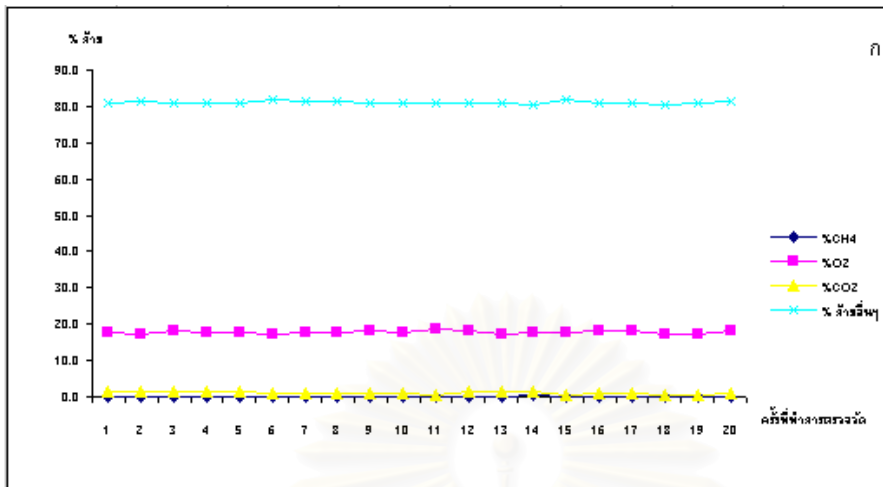
4.3.1.1 เปอร์เซนต์ก๊าซ (% CH₄, %O₂, %CO₂, % ก๊าซอื่น ๆ) และความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO₂, H₂S) หลังการเผาขยะก่อนผ่านไปยังเตาเผาควัน

- ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เปลวไฟจะอยู่ภายในท่อถ่ายเทความร้อนที่ติดตั้งอยู่ในตัวเตาเผาขยะ แล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำชะมูลฝอยที่อยู่ในเตา เมื่อทำการตรวจวัดเปอร์เซนต์ก๊าซหลังการเผาขยะที่ท่อเชื่อมต่อระหว่างตัวเตาเผาขยะกับตัวเผาควัน สำหรับเตาเผาขยะแบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.5 ก) และ ข) ระดับของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์หลังการเผาขยะมีค่าเป็นศูนย์ ระดับก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 16-20 เปอร์เซนต์ ทั้งที่เนื่องมาจากอากาศที่อยู่ภายในตัวเตาเผาขยะเองและอากาศจากภายนอกบางส่วนที่ผ่านเข้าไปภายในตัวเตา ที่เหลือเป็นเปอร์เซนต์ของก๊าซอื่น ๆ ถึง 80 เปอร์เซนต์ และจากการตรวจวัดระดับของก๊าซมลพิษ สำหรับเตาเผาขยะแบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.6 ก) และ ข) พบว่าในการทดลองครั้งแรกและครั้งที่สองสามารถตรวจวัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ได้สูงถึง 50 และ 70 พีพีเอ็ม

ตามลำดับ นอกนั้นวัดได้อยู่ในช่วง 0-1 พีพีเอ็ม ซึ่งมีระดับต่ำมากหรือแทบจะไม่สามารถตรวจพบคาร์บอนมอนอกไซด์เลย ไนตริกออกไซด์ถูกตรวจพบในการทดลองครั้งแรกสูงถึง 22 พีพีเอ็ม หลังจากนั้นตรวจพบในอัตราต่ำมากไม่เกิน 0.2 พีพีเอ็ม ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ตรวจวัดได้ในระดับ 0 พีพีเอ็ม

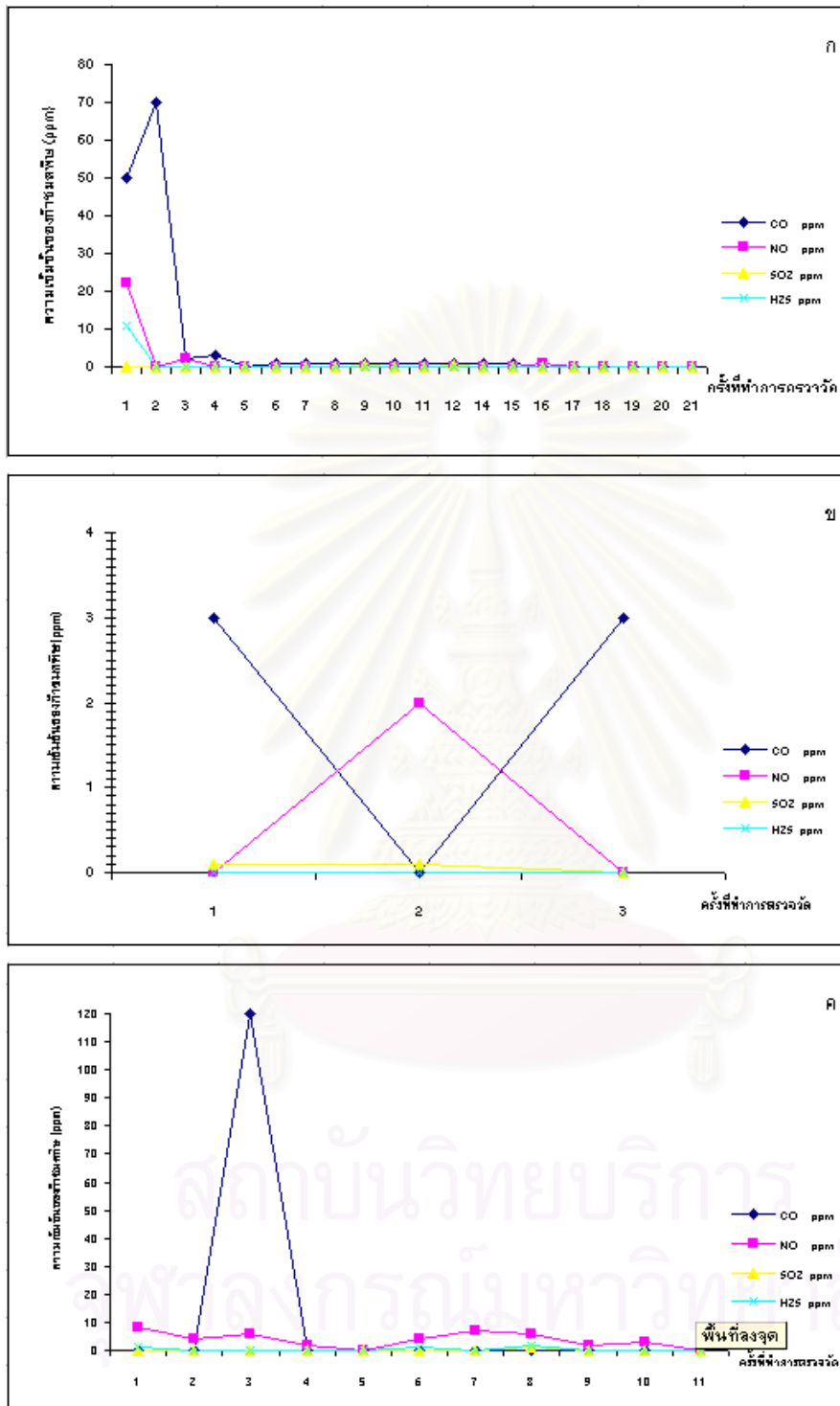
- ในการทดลองเตาเผากระเหยแบบ Direct Fire เปลวไฟจะผ่านไปในห้องเดียวกับที่น้ำชะมูลฝอยไหลอยู่ภายใน แล้วกระจายความร้อนให้กับน้ำชะมูลฝอยที่อยู่ภายในห้องและที่บริเวณผิวหน้าของน้ำชะมูลฝอยที่อยู่ปลายท่อไฟ ไอก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะสะสมอยู่ในตัวเตาเผาแล้วผ่านต่อไปยังท่อเชื่อมต่อระหว่างตัวเตาเผาและตัวเผาควัน ซึ่งเป็นจุดที่ทำการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซดังผลการตรวจวัดซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 ค) สำหรับเตาเผากระเหยแบบ Direct Fire ระดับของก๊าซมีเทนมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากถูกเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงหมด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 3-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ที่อยู่ในเส้นท่อ และมีระดับของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 10-14 เปอร์เซ็นต์ ทั้งที่เนื่องมาจากอากาศที่อยู่ภายในตัวเตาเผาและอากาศจากภายนอกบางส่วนที่ผ่านเข้าไปภายในเตาเผา และที่เหลือเป็นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซอื่นๆ ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และจากการผลการตรวจวัดระดับของก๊าซมลพิษดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.6 ค) สำหรับเตาเผากระเหยแบบ Direct Fire ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตรวจวัดมีเพียงครั้งเดียวที่ตรวจวัดได้สูงถึง 120 พีพีเอ็ม นอกนั้นตรวจวัดได้ในระดับ 0 พีพีเอ็ม ไนตริกออกไซด์ตรวจวัดได้ในระดับไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตรวจวัดสูงสุดไม่เกิน 1.2 พีพีเอ็ม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ตรวจวัดได้สูงสุดไม่เกิน 2 พีพีเอ็ม ซึ่งค่าก๊าซมลพิษที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดมีระดับต่ำกว่าเกณฑ์อันตรายดังแสดงในมาตรฐานมลพิษทางอากาศ ภาคผนวก จ.

- เปรียบเทียบค่าก๊าซต่างๆ ที่ตรวจวัดระหว่างเตาเผากระเหยแบบ Fire Tube และแบบ Direct Fire จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ และไนตริกออกไซด์ในเตาเผากระเหยแบบ Direct Fire มีค่าสูงกว่าแบบ Fire Tube เนื่องจากลักษณะที่แตกต่างกันของการถ่ายเทความร้อนของตัวเตาเผาทั้ง 2 รูปแบบ เตาเผาแบบ Fire Tube ที่บริเวณเหนือท่อถ่ายเทความร้อนจะมีฝาครอบปากท่ออยู่ ไอก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกเป็นเปลวไฟจะมีปริมาณเป็นส่วนน้อยที่สามารถผ่านไปยังตัวเตาเผาได้ในทางตรงข้ามเตาเผากระเหยแบบ Direct Fire เปลวไฟสามารถเดินทางจากต้นท่อจนถึงปลายท่อและถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำชะมูลฝอยที่อยู่บริเวณปลายท่อ ไอก๊าซต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นเปลวไฟจะไหลออกสู่ปลายท่อเคลื่อนที่ต่อไปยังท่อเชื่อมต่อระหว่างตัวเตาเผากระเหยกับตัวเผาควัน และผ่านต่อไปยังตัวเผาควัน เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และช่วยลดระดับของก๊าซมลพิษ



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ก๊าซ LFG หลังการเผาขยะก่อนผ่านเตาเผาควัน

- ก. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ แบบซี
- ข. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน
- ค. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



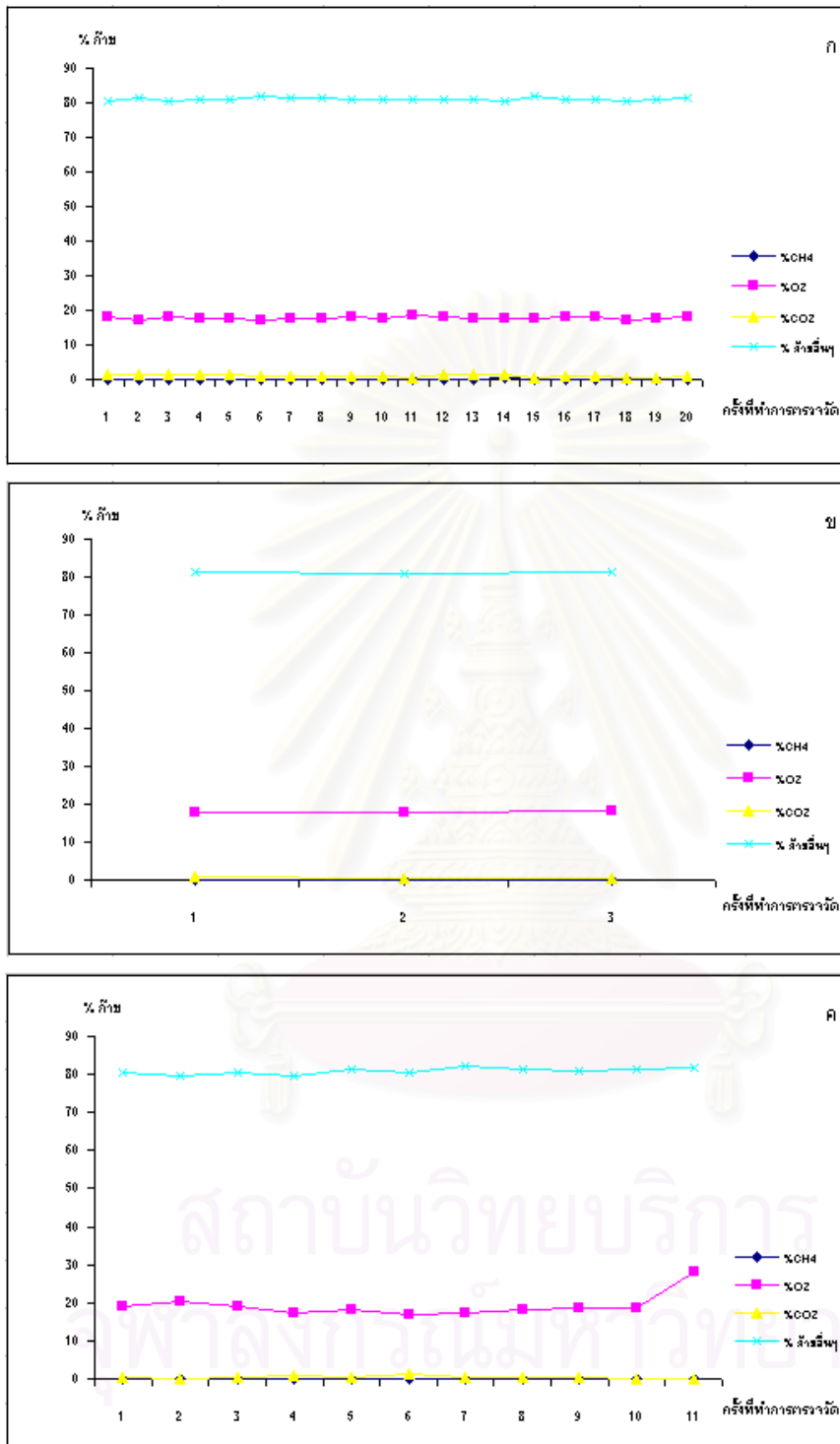
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO₂, H₂S) หลังการเผาขยะก่อนผ่านเตาเผาควัน

- ก. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ แปะช
- ข. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน
- ค. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

4.3.1.2 เปอร์เซนต์ก๊าซ (%CH₄, %O₂, %CO₂ และ % ก๊าซอื่นๆ) และระดับความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO₂, H₂S) หลังผ่านเตาเผาควัน

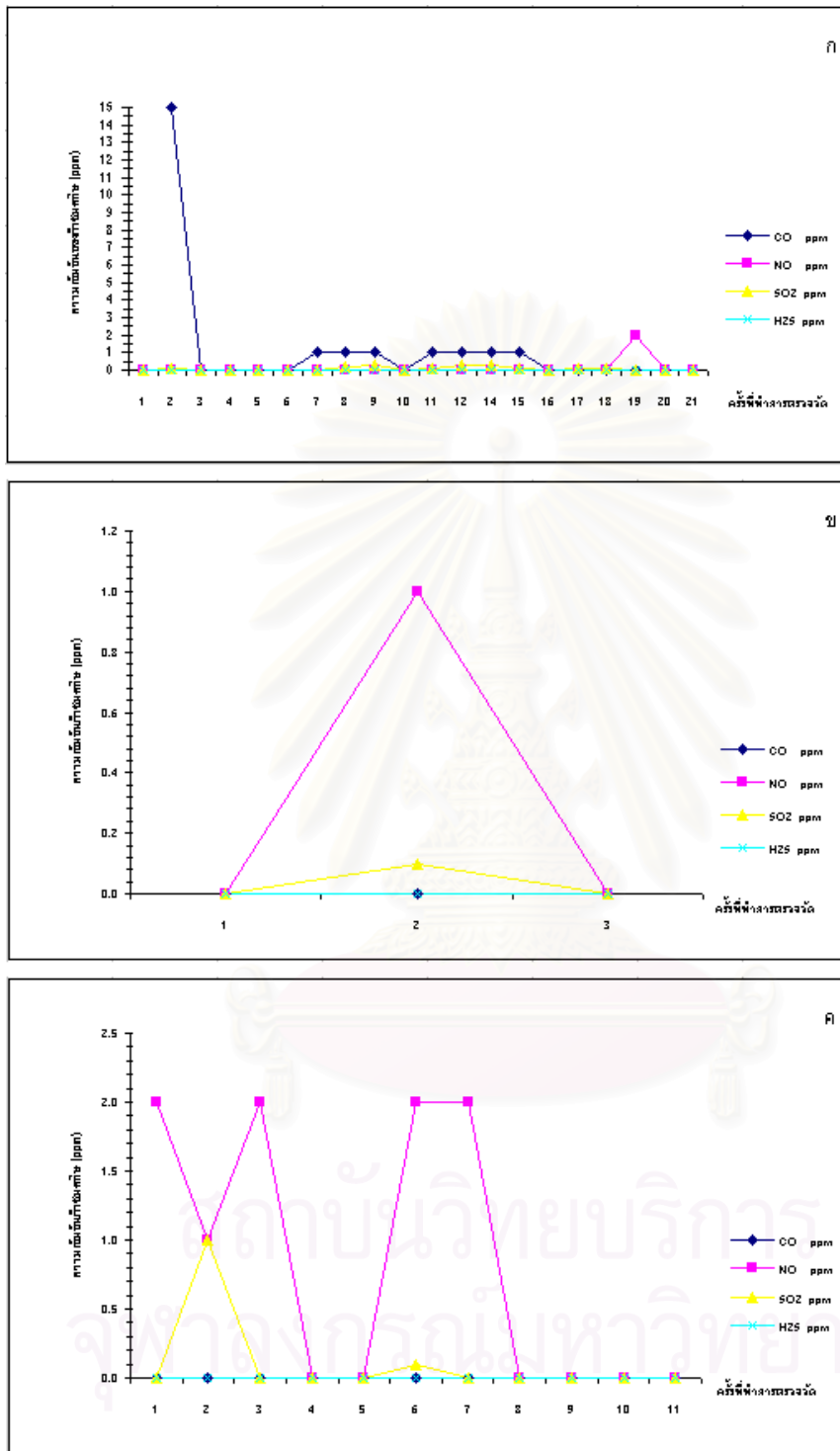
ในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.5 ก) และ ข) เปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.7 ก) และ ข) เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ก่อนและหลังผ่านเตาเผาควันมีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน ในส่วนของก๊าซมลพิษพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.6 ก) และ ข) เปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.8 ก) และ ข) ระดับความเข้มข้นของก๊าซจะลดลงเมื่อผ่านเตาเผาควัน ยกตัวอย่างเช่น จากกราฟรูปที่ 4.6 ก) ในการทดลองครั้งแรกและครั้งที่สองระดับของคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนผ่านเตาเผาควันจะมีค่า 50 และ 70 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ไนตริกออกไซด์ก่อนผ่านเตาเผาควันในการทดลองครั้งแรกตรวจวัดได้ 20 พีพีเอ็ม หลังผ่านเตาเผาควัน คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเหลือ 30 และ 15 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ไนตริกออกไซด์หลังผ่านเตาเผาควันลดลงเหลือ 0 พีพีเอ็ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีระดับต่ำมากก่อนผ่านเตาเผาควัน ดังนั้นเมื่อตรวจวัดหลังผ่านเตาเผาควันจึงลดลงมีค่าเท่ากับศูนย์ ในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.5 ค) เปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.7 ค) พบว่าระดับเปอร์เซนต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลงเป็นศูนย์หลังผ่านเตาเผาควัน เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าเป็นศูนย์ทั้งก่อนผ่านและหลังผ่านเตาเผาควัน เปอร์เซนต์ก๊าซออกซิเจนหลังผ่านมีค่าสูงขึ้นกว่าก่อนผ่านเตาเผาควัน เนื่องจากมีออกซิเจนจากภายนอกไหลเข้ามาภายในเตาเผาควันเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในส่วนของก๊าซมลพิษพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.6 ค) เปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.8 ค) คาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนผ่านเตาเผาควันสามารถตรวจวัดได้ 120 พีพีเอ็ม 1 ครั้งและเมื่อผ่านเตาเผาควันระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเป็นศูนย์ ไนตริกออกไซด์ก่อนผ่านเตาเผาควันมีระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0-8 พีพีเอ็ม เมื่อผ่านไปยังเตาเผาควันความเข้มข้นลดลงจนเป็นศูนย์ ในส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์มีระดับต่ำมากก่อนผ่านเตาเผาควัน ดังนั้นเมื่อตรวจวัดหลังผ่านเตาเผาควัน จึงมีค่าเท่ากับศูนย์

จากผลการตรวจวัดที่ได้จะเห็นว่าเตาเผาควันช่วยลดระดับความเข้มข้นของก๊าซมลพิษเป็นอย่างมาก ก่อนที่ก๊าซมลพิษจะถูกปล่อยออกไปสู่บรรยากาศ



รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ก๊าซหลังผ่านเตาเผาควัน

- ก. การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เดินระบบแบบ แบนซ์ (Batch)
- ข. การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง (Continuous) 5 วัน
- ค. การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ (CO, NO, SO₂, H₂S) หลังผ่านเตาเผาควัน

- ก. การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ แบบซ
- ข. การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน
- ค. การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

4.3.1.3 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเตาเผาระเหย

(พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.9-4.10 และภาคผนวกตารางที่ ก.5-ก.8)

- อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำชะมูลฝอยก่อนทำการทดลอง (T_1)

จะมีค่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศในแต่ละวันที่ทำการทดลองด้วย

- อุณหภูมิที่หัวเผาของตัวเตาเผาระเหย (T_2)

ในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube รูปแบบเตาเผาชนิดนี้ทำการติดตั้งหัวเผาอยู่บริเวณด้านนอกของตัวเตาและมีรูเจาะอยู่ที่ปลายหัวเผา เพื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ และในขณะที่จุดติดหัวเผาจะทำการเปิดเครื่องเป่าอากาศ (Blower) ด้วย ทำให้อุณหภูมิที่ได้มีค่าสูงมากอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส

ในขณะที่เตาเผาระเหยแบบ Direct Fire หัวเผาจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนของตัวเตาและเสียบเข้าไปภายในท่อเหล็ก เพื่อให้เปลวไฟพุ่งเข้าไปภายในท่อ และถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำชะมูลฝอยโดยตรง การติดตั้งหัวเผาในลักษณะนี้จะเป็นระบบปิดมากกว่าแบบ Fire Tube ถึงแม้ว่าจะมีการเปิดเครื่องเป่าอากาศ (Blower) ในระหว่างที่ดำเนินการทดลอง แต่ค่าอุณหภูมิที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 600-900 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิของหัวเผาแบบ Fire Tube

- อุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผาระเหย (T_3)

การทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube สามารถวัดอุณหภูมิของน้ำภายในเตาอยู่ในช่วง 97 ถึง 99 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่น้ำระเหยกลายเป็นไอที่ 100 องศาเซลเซียส

การทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire ไม่สามารถทำการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำภายในเตาได้เนื่องจากเป็นระบบปิดทั้งหมด จึงยากแก่การตรวจวัด

- อุณหภูมิไอระเหยก่อนผ่านไปยังชุดเผาควัน (T_4)

การทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube สามารถวัดอุณหภูมิไอระเหยก่อนผ่านไปยังชุดเผาควันได้อยู่ในช่วง 60 ถึง 100 องศาเซลเซียส และในช่วงเริ่มดำเนินการทดลองสามารถวัดอุณหภูมิไอระเหยภายในเตาได้สูงถึง 290 องศาเซลเซียส

การทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ไม่สามารถทำการตรวจวัดอุณหภูมิระเหยได้ เนื่องจากรูปแบบของตัวเตาเป็นระบบปิดทั้งหมดจึงยากแก่การตรวจวัด

- อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน (T_5)

เนื่องจากใช้ชุดเผาควันชุดเดิมตลอดการทดลอง ทั้งกับตัวเตาเผาขยะแบบ Fire Tube และ Direct Fire อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควันอยู่ในช่วง 450 ถึง 700 องศาเซลเซียส โดยหัวเผาของชุดเผาควันจะไม่มีเครื่องติดตั้งเครื่องเป่าอากาศบริเวณตอนบนของตัวเตาเผาควันมีลักษณะเปิดโล่งอาศัยอากาศโดยรอบที่เข้าไปภายในตัวเตาช่วยในการจุดติดไฟ

- อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน (T_6)

เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับหัวเผาอุณหภูมิจึงค่อนข้างร้อนอยู่ในช่วง 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส

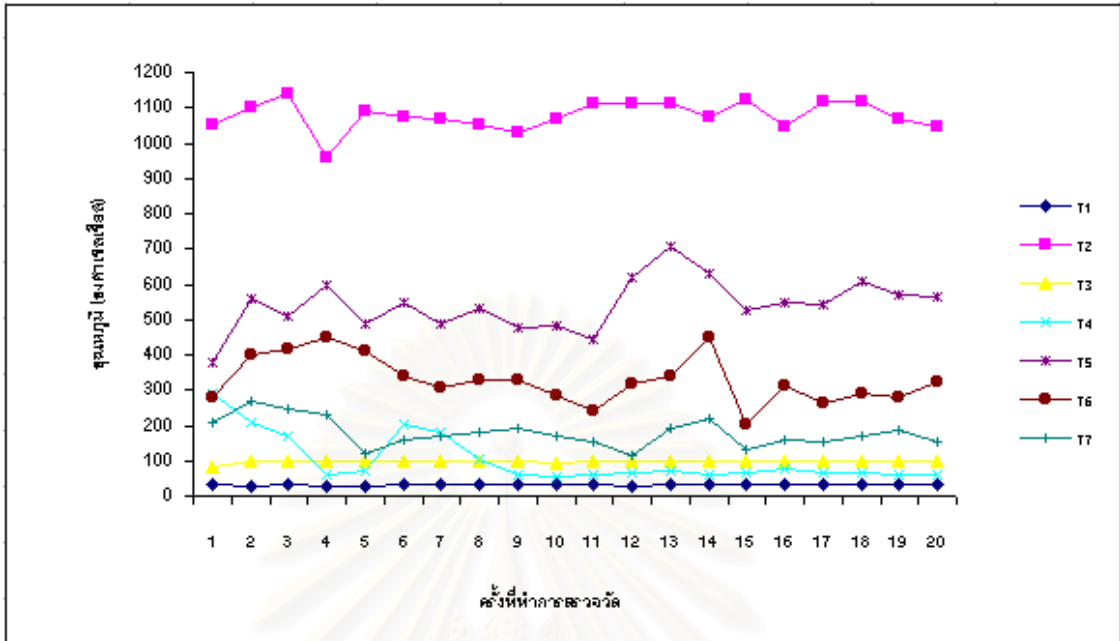
- อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน (T_7)

เป็นตำแหน่งที่อยู่สูงก็ขึ้นไปจากตำแหน่งตรวจวัดแรกประมาณ 0.90 เมตร และใกล้กับปากท่อออกของชุดเผาควัน ก่อนที่ก๊าซต่างๆ จะถูกปล่อยไปสู่บรรยากาศ อุณหภูมิในจุดนี้จึงต่ำกว่าในจุดแรก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส

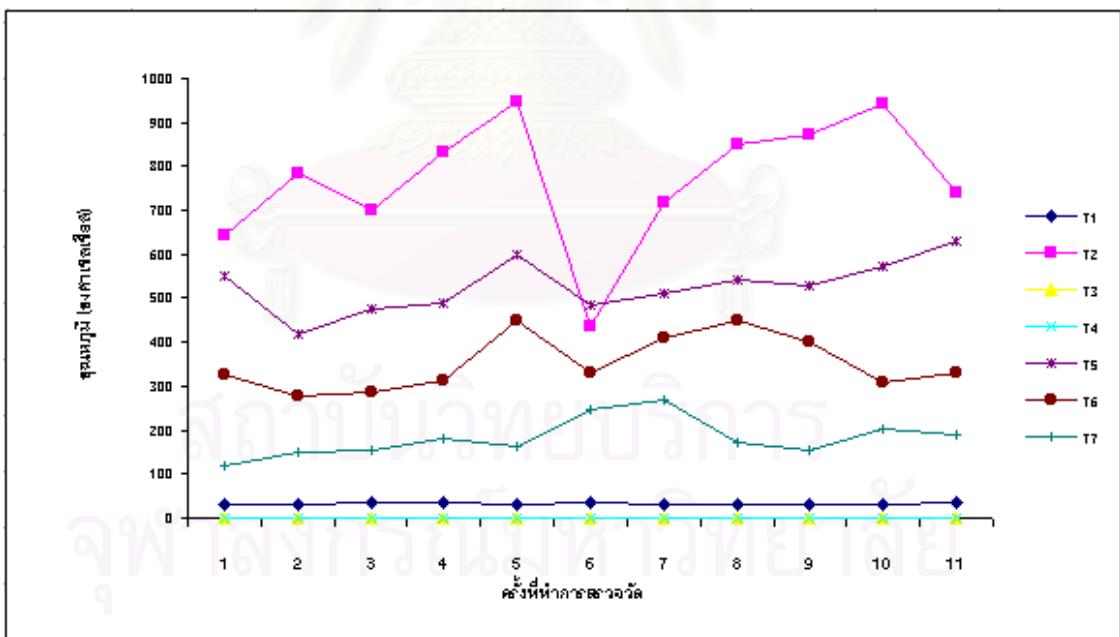
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมีของน้ำชะมูลฝอย

ในการศึกษาผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมีจะทำการนำตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือหลังการเผาขยะ (Concentrate Leachate ; conc) และไอระเหยที่ควบแน่นของน้ำชะมูลฝอย (Distillation Leachate ; dis) มาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น

การวิเคราะห์ค่าทางเคมี จะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ซีไอดี แอมโมเนีย ไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจน ฟิเอช ค่าความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย และสารแขวนลอย โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีในห้องปฏิบัติการวิจัยปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

4.3.2.1 ซีโอดี (COD)

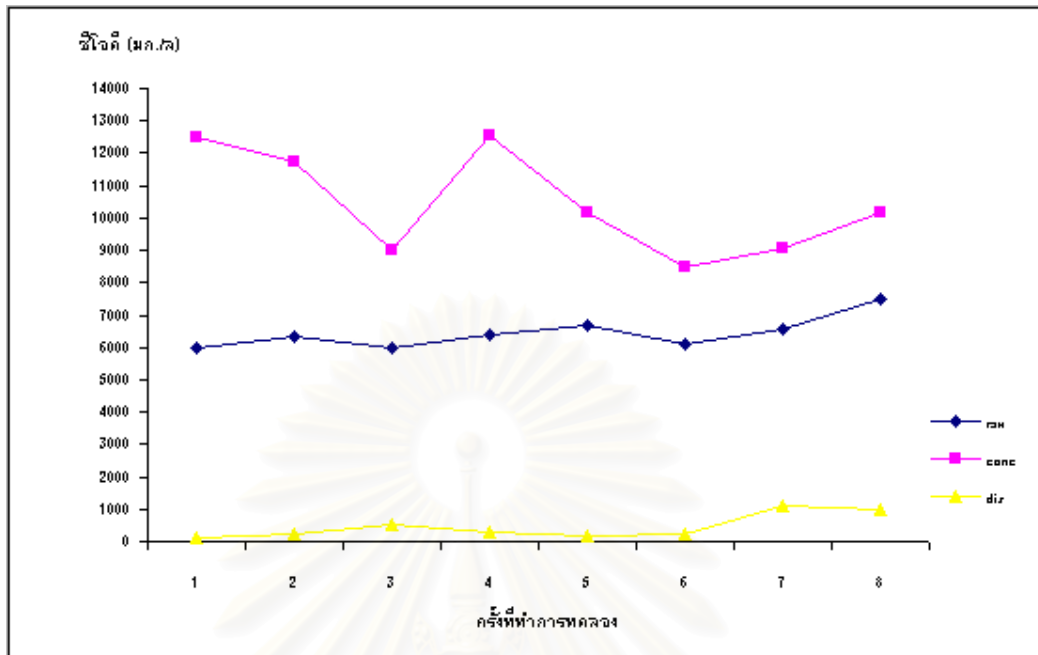
ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube โดยทำการเดินระบบแบบแบช ความร้อนที่น้ำชะมูลฝอยได้รับจากท่อถ่ายเทความร้อน จะทำให้อุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้นแล้วระเหยกลายเป็นไอ เมื่อไอระเหยกระทบกับน้ำหล่อเย็นจะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ นำไอระเหยที่ควบแน่นมาตรวจวัดค่าซีโอดี พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.11 และภาคผนวกตารางที่ ข-1 พบว่าซีโอดีมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 148-1,091 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 612 มก./ลิตร น้ำชะมูลฝอยที่เหลือค้างอยู่ในเตาเผาขยะจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น พบว่ามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วงประมาณ 8,485 – 12,570 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 10,440 มก./ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเผาขยะและปริมาณของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยกลายเป็นไอ จึงได้ทำการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube โดยทำการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous) เป็นเวลา 5 วัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.12 และภาคผนวกตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ซีโอดีพบว่าไอระเหยที่ควบแน่นมีค่าซีโอดีสูงขึ้นไปในช่วง 1,450 – 2,800 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 2,150 มก./ลิตร ทั้งนี้เมื่อดำเนินการเผาขยะอย่างต่อเนื่องจะทำให้สารอินทรีย์ที่ระเหยได้บางส่วนระเหยออกมาเป็นจำนวนมาก จึงมีผลทำให้ค่าซีโอดีในไอระเหยที่ควบแน่นมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเดินระบบแบบแบช ทั้งนี้อาจมีการนำไอระเหยที่ควบแน่นไปทำการบำบัดด้วยวิธีการอื่น หรืออาจทดลองนำไปเผาขยะอีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อลดค่าซีโอดีของไอระเหย ส่วนน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลืออยู่ในเตาเผาซีโอดีสูงมากอยู่ในช่วง 58,200 – 65,500 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 61,900 มก./ลิตร ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ถูกเผาขยะเฉลี่ยต่อวันประมาณ 100-110 ลิตร และที่เหลือค้างอยู่ในเตาเผาขยะประมาณ 65 ลิตร สังเกตว่าค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นมีอัตราสูงขึ้นเป็นปริมาณสะสมค่อนข้างคงที่ ตัวอย่างเช่นค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นเฉลี่ยต่อวัน 10,440 มก./ลิตร เมื่อทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นจะสะสมเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า โดยมีค่าประมาณ 58,200 – 65,500 มก./ลิตร น้ำชะมูลฝอยที่เข้มข้นมากๆ นี้จะต้องมีนำไปเผาขยะในขั้นตอนต่อไปเพื่อลดปริมาตรจนกระทั่งมีลักษณะเป็นตะกอน (Sludge) หลังจากนั้นนำไปตากแห้งในลานตากตะกอน (Sand Drying Bed) หรือผ่านเครื่องรีดอัดตะกอนแล้วนำไปอัดเป็นก้อนแข็งก่อนนำไปฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ดำเนินการทดลองที่อัตราป้อน 0.23, 0.55, 0.80 และ 1.0 ลิตร/นาที น้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาขยะ 50 ลิตรมีปริมาณคงที่ทุกอัตราการป้อน ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองจะต้องมีการเติมน้ำชะมูลฝอยเข้าตัวเตาเผาขยะจนถึงระดับท่อน้ำด้าน และเริ่มดำเนินการทดลองป้อนน้ำชะมูลฝอยขึ้นทางตอนบนตัวเตาเผาขยะ น้ำชะมูลฝอยที่ไม่ระเหยจะไหลลงสู่ตัวเตาแล้วล้นออกทางท่อไหลล้น ทำการเผาขยะน้ำชะมูลฝอย 50 ลิตรจนหมด ผลการวิเคราะห์

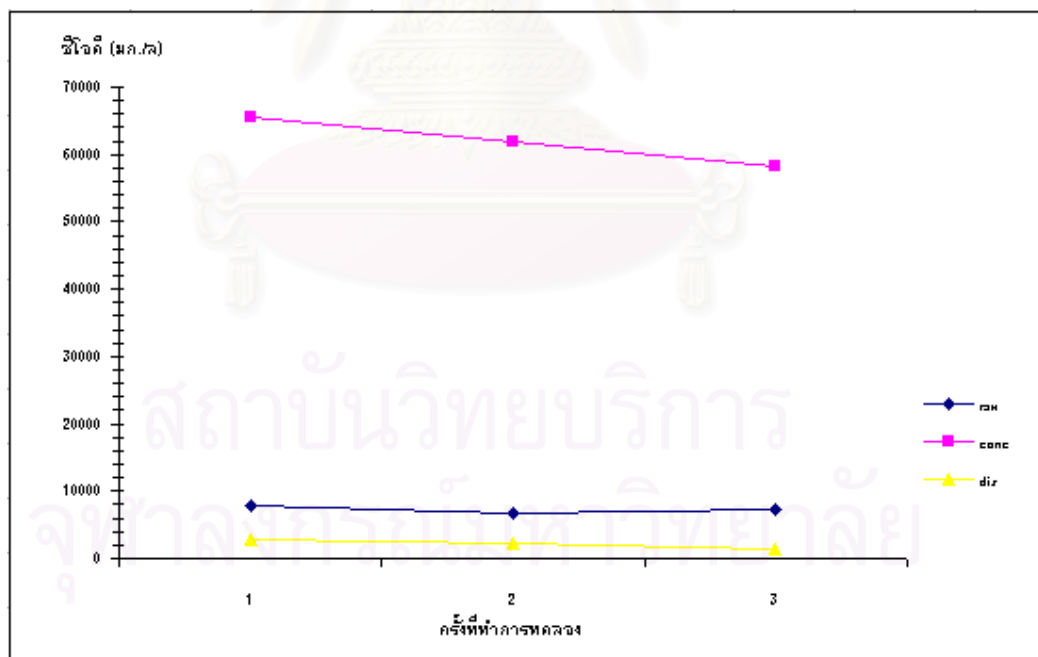
ค่าซีไอดีในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น จากกราฟรูปที่ 4.13 มีค่าอยู่ในช่วง 9,200 ถึง 17,500 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 13,141 มก./ลิตร ในส่วนของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น ค่าซีไอดีมีค่าอยู่ในช่วง 360 – 3,400 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 1,323 มก./ลิตร และที่อัตราป้อน 0.8 ลิตร/นาที่ ค่าซีไอดีในไอรระเหยมีค่าสูงมากอยู่ในช่วง 2,200 ถึง 3,400 มก./ลิตร ซึ่งอาจจะต้องมีการนำไอรระเหยที่ควบแน่นไปทำการบำบัดโดยวิธีอื่น หรือเผาระเหยอีกชั้นต่อนหนึ่ง เพื่อลดค่าซีไอดีของไอรระเหยที่จะปล่อยออกสู่อากาศ

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีของเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube กับ Direct Fire ค่าซีไอดีในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น (conc.) สำหรับเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire มีค่าอยู่ในช่วงที่สูงกว่าแบบ Fire Tube เนื่องจากในช่วงแรกๆที่ดำเนินการทดลองเผาระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube ไม่ได้กำหนดปริมาณที่คงที่ของน้ำชะมูลฝอยที่จะทำการเผาระเหย โดยปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เผาระเหยในแต่ละวันประมาณ 30-50 ลิตร มีค่าซีไอดีอยู่ในช่วงประมาณ 8,485 – 12,570 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 10,440 มก./ลิตร ในขณะที่การทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire ผู้วิจัยเริ่มมีประสบการณ์ในการดำเนินการทดลองมากขึ้นและพบเห็นปัญหาที่เกิดจากการทดลองในเตาเผาแบบแรกจึงได้มีการกำหนดปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่จะทำการเผาระเหยคงที่ 50 ลิตรในทุกๆอัตราป้อน ค่าซีไอดีที่ทำการวิเคราะห์หามีค่าอยู่ในช่วงที่สูงขึ้นจากการทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบแรก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9,200 ถึง 17,500 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 13,141 มก./ลิตร

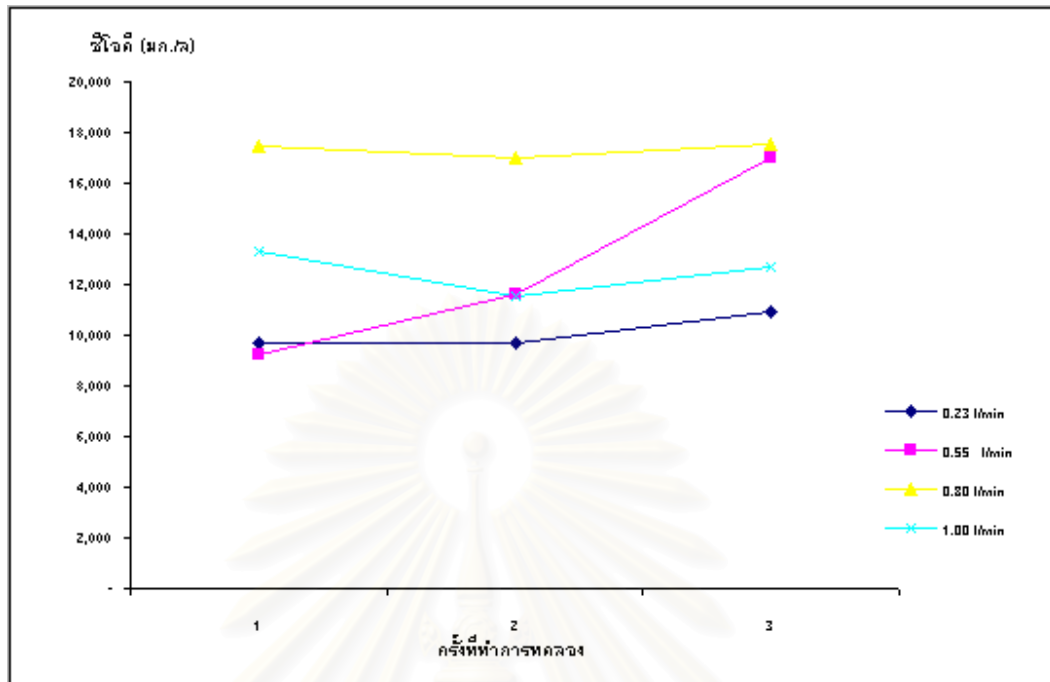
ค่าซีไอดีไอรระเหยที่ควบแน่น สำหรับเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire มีค่าสูงกว่าแบบ Fire Tube 2 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนของตัวเตาเผาทั้งสองแบบแตกต่างกัน ในการทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire เปลวไฟจะอยู่ภายในท่อเดียวกันกับที่น้ำชะมูลฝอยไหลผ่าน องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดการลุกไหม้เป็นเปลวไฟ รวมถึงเขม่า คาร์บอน อาจจะปะปนอยู่กับไอรระเหยของน้ำชะมูลฝอยเมื่อเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ สารต่างๆที่ปะปนอยู่อาจเป็นสาเหตุให้ค่าซีไอดีสูงขึ้น และรูปแบบเตาเผาแบบ Direct Fire ให้ความร้อนโดยตรงแก่น้ำชะมูลฝอย ซึ่งทำให้สารอินทรีย์ที่ระเหยได้บางตัวระเหยออกมาได้ดีขึ้น มีผลให้ค่าซีไอดีสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ในส่วนของการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เปลวไฟจากหัวเผาจะอยู่บริเวณด้านนอกตัวเตา จะมีความร้อนจากเปลวไฟบางส่วนผ่านไปยังท่อถ่ายเทความร้อน เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำชะมูลฝอยที่อยู่ในเตาเผาระเหย ดังนั้นโอกาสที่องค์ประกอบของก๊าซต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ เขม่า คาร์บอน จะปะปนอยู่กับไอรระเหยของน้ำชะมูลฝอยจึงมีน้อยเป็นผลให้ค่าซีไอดีของไอรระเหยที่ควบแน่นในการทดลองเตาเผาแบบ Fire Tube มีค่าต่ำกว่าแบบ Direct Fire



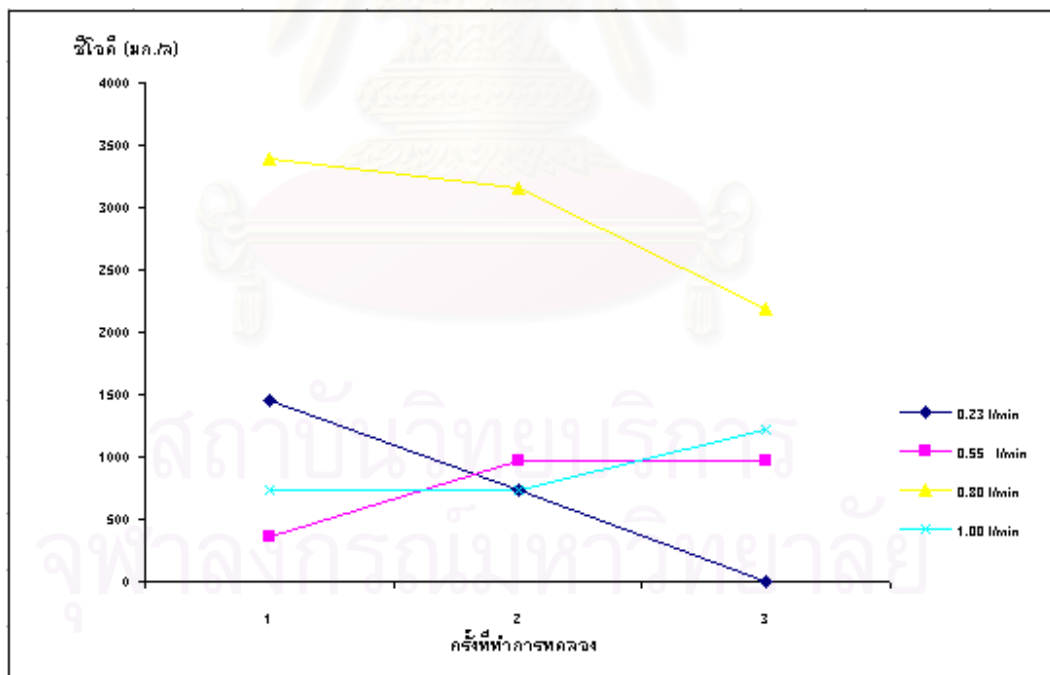
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ซีไอดี การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เติมน้ำมันแบบ แปะ



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ซีไอดี การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เติมน้ำมันแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ฮีโอดีในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น
การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ฮีโอดีในน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควมแน่น
การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

4.3.2.2 แอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N)

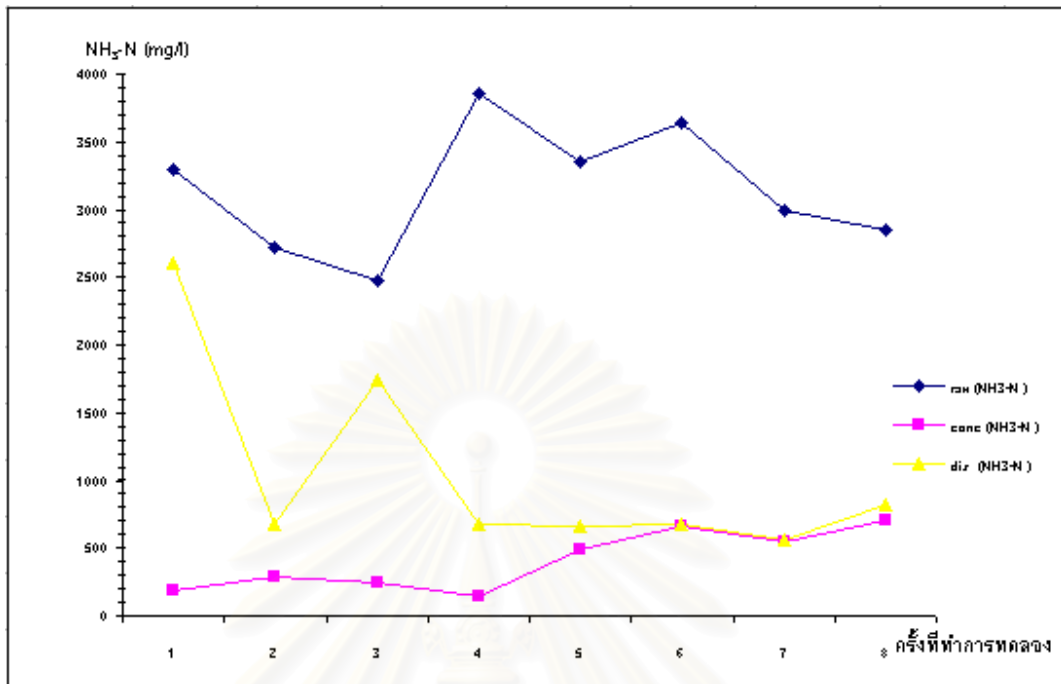
ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.15 นำไอระเหยที่ควบแน่นมาวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 560 – 2,600 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 1,053 มก./ลิตร ในขณะที่สามารถตรวจวัดค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น (conc) ที่เหลืออยู่ภายในเตาเผาขยะในช่วงประมาณ 143 – 710 มก./ลิตร

ในช่วงเริ่มต้นของการทดลองตัวเตาเผามีประสิทธิภาพสูง โดยพิจารณาจากอุณหภูมิไอระเหย (T₄) ซึ่งมีค่ามากในช่วงแรกมีผลให้แอมโมเนียไนโตรเจนเกิดการระเหยตัวเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น

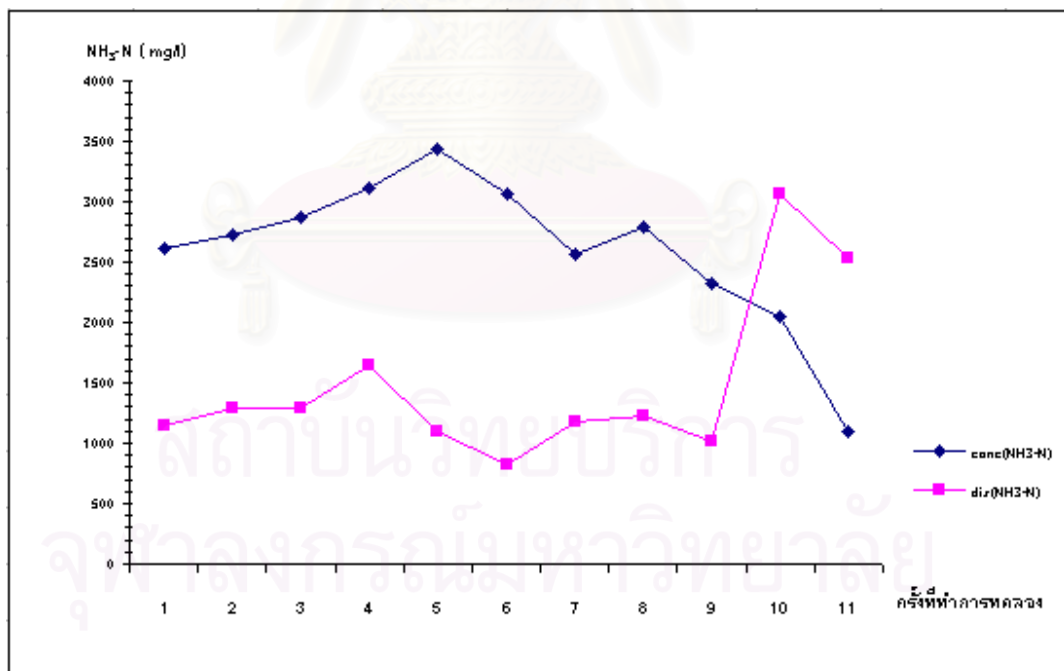
ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.16 ไอระเหยที่ควบแน่น มีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในช่วง 819 – 3,071 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 1,479 มก./ลิตร ซึ่งมากกว่าค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในการทดลองเตาเผาแบบ Fire Tube ทั้งที่เนื่องมาจากรูปแบบการถ่ายเทความร้อนของเตาเผาแบบ Direct Fire ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Fire Tube ในส่วนของค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น (conc.) ที่อยู่ในเตาเผาขยะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1,093 – 3,440 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 2,605 มก./ลิตร เนื่องจากเป็นน้ำชะมูลฝอยซึ่งยังอยู่ในตัวเตาเผา และเป็นคนละส่วนกับน้ำชะมูลฝอยที่ถูกป้อนทางด้านบนของตัวเตา แต่น้ำที่อยู่ในเตาย่อมได้รับความร้อนจากเปลวไฟที่ไหลผ่านท่อลงมาถึงผิวหน้าน้ำที่ซึ่งอยู่ จึงทำให้มีแอมโมเนียไนโตรเจนส่วนหนึ่งระเหยเป็นไอ ดังนั้นแอมโมเนียไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น

4.3.2.3 อินทรีย์ไนโตรเจน (Org-N)

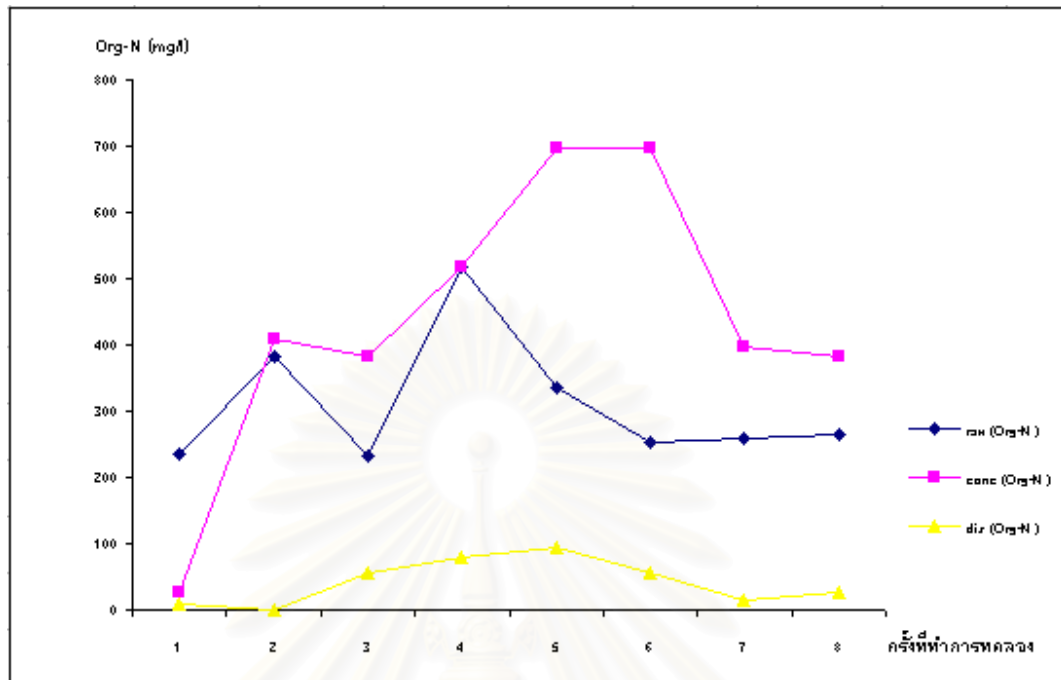
ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.17 นำไอระเหยที่ควบแน่น มาวิเคราะห์ค่าอินทรีย์ไนโตรเจน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 9 -96 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 42 มก./ลิตร และในน้ำชะมูลเข้มข้น ค่าอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 28 - 696 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 439 มก./ลิตร ถ้ามีการเผาขยะน้ำชะมูลฝอยในช่วงระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม แอมโมเนียไนโตรเจนจะระเหยกลายเป็นไอเหลือแต่ส่วนที่เป็นอินทรีย์ไนโตรเจน ทำให้ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนสูงกว่าแอมโมเนียไนโตรเจน แต่ค่าที่ได้จากการทดลองในบางครั้งแอมโมเนียไนโตรเจนกับอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่า



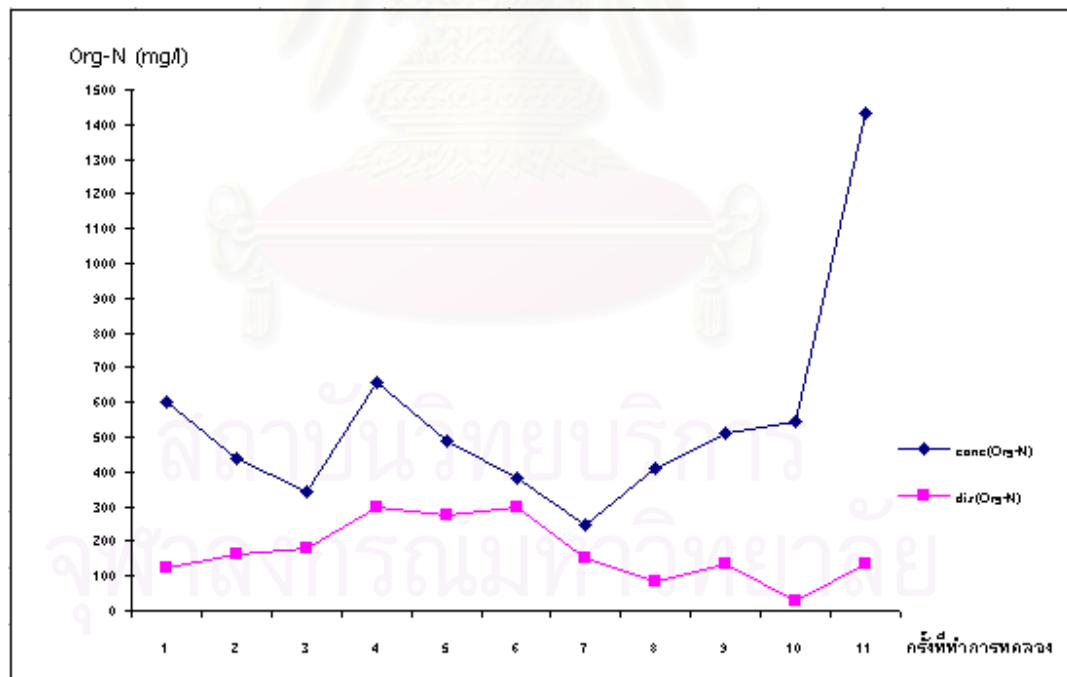
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจน การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube



รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจนการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์หินทรีย์ไนโตรเจน การทดลองเตาเผาแบบ Fire Tube



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์หินทรีย์ไนโตรเจน การทดลองเตาเผาแบบ Direct Fire

เกือบใกล้เคียงกัน หรืออินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นมีค่าต่ำกว่าแอมโมเนียไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการเผาระเหยและอุณหภูมิภายในเตาไม่เหมาะสม

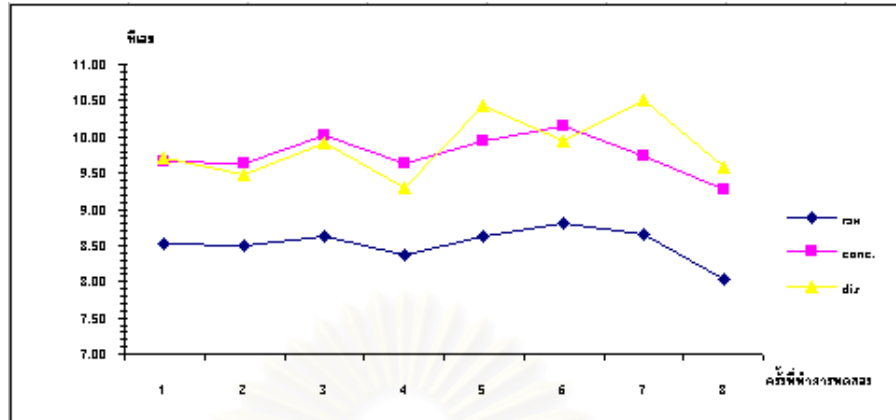
ในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.18 ไอรระเหยที่ควบแน่น มีค่าอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 27-300 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 170 มก./ลิตร และในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นมีค่าอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 246 – 1,433 มก./ลิตร ค่าเฉลี่ย 550 มก./ลิตร ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ทำให้สรุปได้ว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ของน้ำชะมูลฝอยที่นำมาวิเคราะห์อยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่าอินทรีย์ไนโตรเจน

4.3.2.4 พีเอช (pH)

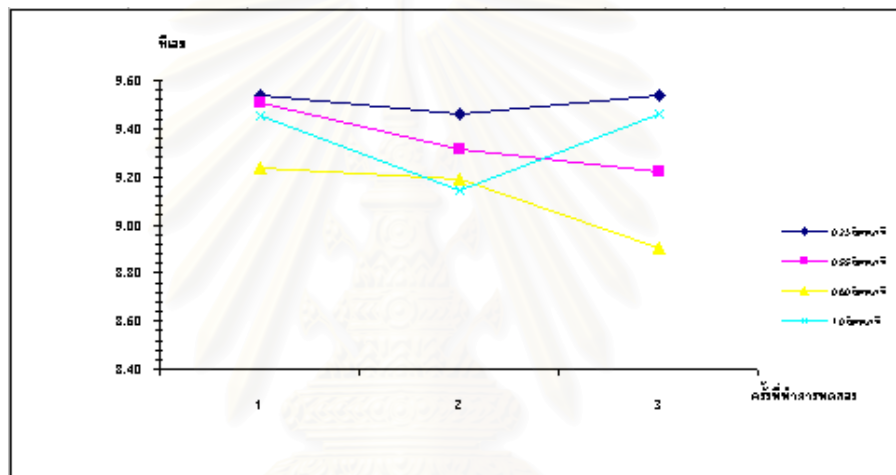
ค่าพีเอชมีผลโดยตรงต่อการระเหยของแอมโมเนียไนโตรเจน โดยแอมโมเนียไนโตรเจนจะระเหยได้ดีที่พีเอชมีค่าสูงกว่า 7 ถึง 9.5 และถ้าพีเอชสูงเกินไปสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนอยู่จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งไม่ใช่ค่าแอมโมเนียที่แท้จริงของระบบ

ในการทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.19 และภาคผนวกตารางที่ ข.7 ประกอบ นำไอรระเหยที่ควบแน่นมาวัดค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 9.3-10.52 ค่าพีเอชที่สูงเป็นผลเนื่องมาจากไอรระเหยของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ปะปนไปกับไอรระเหยน้ำชะมูลฝอย และในส่วนของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลืออยู่ภายในเตาเผาระเหย ค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 9.26 - 10.16 ซึ่งมีค่าสูงชันกว่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในระหว่างดำเนินการทดลองน้ำชะมูลฝอยจะไหลเข้าสู่ตัวเตาเผาระเหยตลอดเวลา โดยมีถังควบคุมเป็นตัวรักษาระดับน้ำภายในตัวเตาเผาให้อยู่ในระดับที่ถ่ายเทความร้อน น้ำส่วนที่ได้รับความร้อนแล้วระเหยกลายเป็นไอรจะทำให้ระดับน้ำในตัวเตาเผาระเหยลดลง ดังนั้นน้ำจากถังควบคุมจะไหลเข้ามาแทนที่จึงทำให้เกิดการสะสมตัวของสภาพต่าง (Alkalinity) ในตัวเตาเผาระเหยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีผลทำให้พีเอชสูงขึ้น

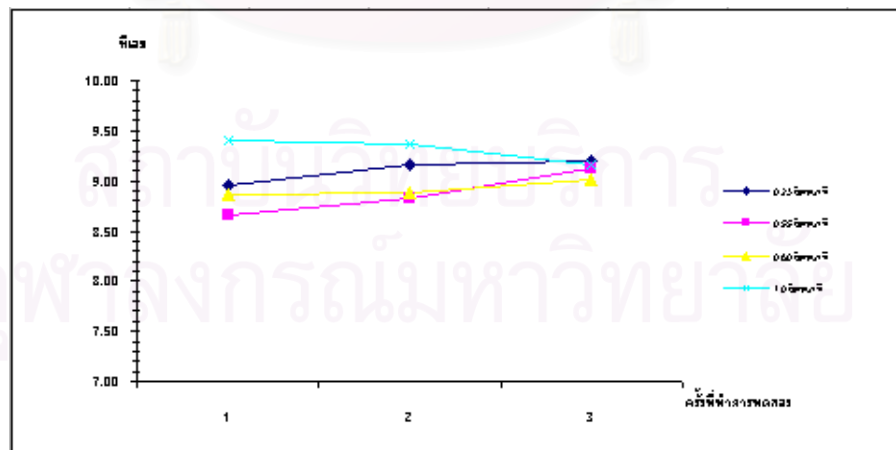
ในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire นำไอรระเหยที่ควบแน่นมาวัดค่าพีเอช พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.20 จะอยู่ในช่วง 8.90-9.54 เนื่องจากวิธีในการดำเนินการทดลองจะต้องมีการป้อนน้ำชะมูลฝอยไว้ในตัวเตาเผาจนถึงระดับปากท่อ น้ำล้นประมาณ 100 ลิตร ส่วนน้ำชะมูลฝอยที่จะทำการเผาระเหยจะถูกป้อนขึ้นทางด้านบนและไหลล้นออกทางท่อน้ำล้นจนกระทั่งถูกเผาระเหยกลายเป็นไอรหมด 50 ลิตร และเมื่อมีการปรับอัตราป้อนน้ำชะมูลฝอยใหม่ น้ำชะมูลฝอยเดิมที่อยู่ในตัวเตาเผาจะถูกถ่ายออกและมี



รูปที่ 4.19 พีเอชของน้ำชะมูลฝอย การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube



รูปที่ 4.20 พีเอชของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.21 พีเอชของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

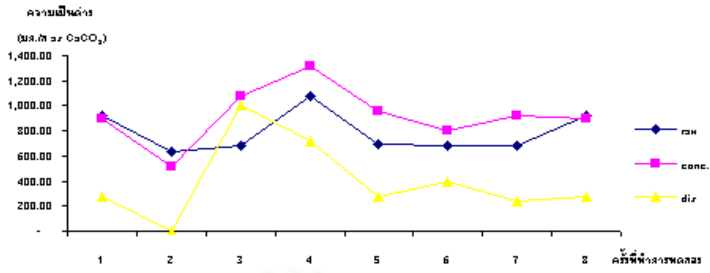
การเติมน้ำชะมูลฝอยใหม่เข้าไปแทนที่ น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลืออยู่ภายในเตาเผาขยะพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.21 ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.66-9.40 ในการทดลองครั้งแรกค่าพีเอชที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น และมีแนวโน้มสูงขึ้นในการทดลองครั้งต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมตัวของสภาพต่าง

4.3.2.5 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น (Raw Leachate; raw) มีค่าอยู่ในช่วง 600-900 มก./ลิตร as CaCO_3

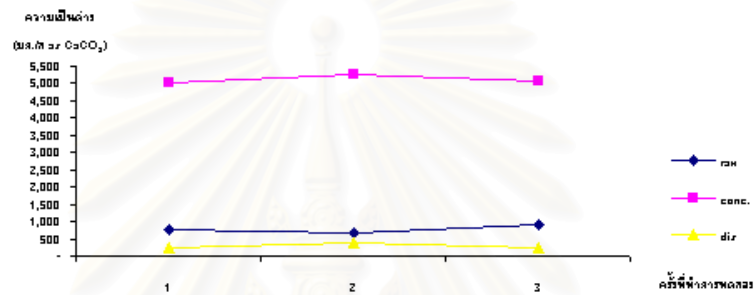
ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube เติมน้ำแบบ แบบ พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.22 และภาคผนวกตารางที่ ข.7 ประกอบ ค่าความเป็นด่างของไอระเหยที่ควบแน่น มีค่าอยู่ในช่วง 240-1,763 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าเฉลี่ย 585 มก./ลิตร as CaCO_3 และค่าความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 520-2,013 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าเฉลี่ย 1,064 มก./ลิตร as CaCO_3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าความเป็นด่างในไอระเหยที่ควบแน่น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทำการเผาขยะน้ำชะมูลฝอย ความเป็นด่างส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น มีเพียงส่วนน้อยที่ระเหยไปพร้อมกับไอระเหยของน้ำชะมูลฝอย และในการเดินระบบแบบ ต่อเนื่อง (Continuous) เป็นเวลา 5 วัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.23 และภาคผนวกตารางที่ ข.8 ประกอบ ค่าความเป็นด่างของไอระเหยที่ควบแน่น มีค่าอยู่ในช่วง 240-400 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าเฉลี่ย 300 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 5,000-5,240 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าเฉลี่ย 5,107 มก./ลิตร as CaCO_3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสะสมตัวเพิ่มขึ้นถึง 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การเดินระบบแบบ แบบ (Batch)

ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน ค่าความเป็นด่างของไอระเหยที่ควบแน่น พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.24 และภาคผนวกตารางที่ ข.9 ประกอบ มีค่าอยู่ในช่วง 180-840 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าเฉลี่ย 342 มก./ลิตร as CaCO_3 และสำหรับน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่อัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอยอัตราเดียวกัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.25 และภาคผนวกตารางที่ ข.9 ประกอบ ค่าความเป็นด่างจะมีค่าสูงขึ้นในการทดลองครั้งต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสะสมตัวของความเป็นด่างในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น เช่น ที่อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที่ ค่าความเป็นด่างมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1,300 เป็น 1,400 และ 1,570 มก./ลิตร as CaCO_3 ในการทดลองครั้งถัดไปเป็นต้น ค่าความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นมีค่าอยู่ในช่วง 620-1,570 มก./ลิตร as CaCO_3 ค่าเฉลี่ย 1,068 มก./ลิตร as CaCO_3



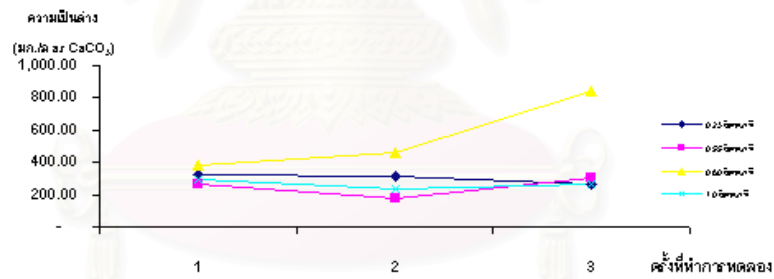
รูปที่ 4.22 ความเป็นต่างของน้ำชะมูลฝอย

การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เติมนระบบแบบ แบบ



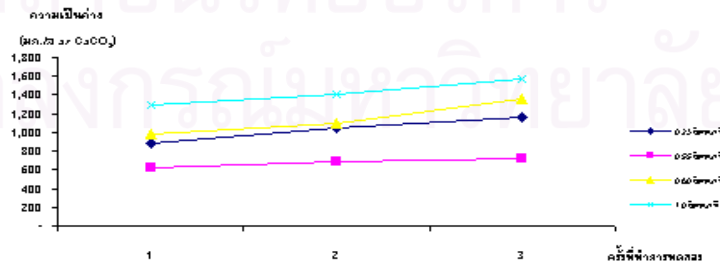
รูปที่ 4.23 ความเป็นต่างของน้ำชะมูลฝอย

การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เติมนระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน



รูปที่ 4.24 ความเป็นต่างของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควบแน่น

การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.25 ความเป็นต่างของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น

การทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

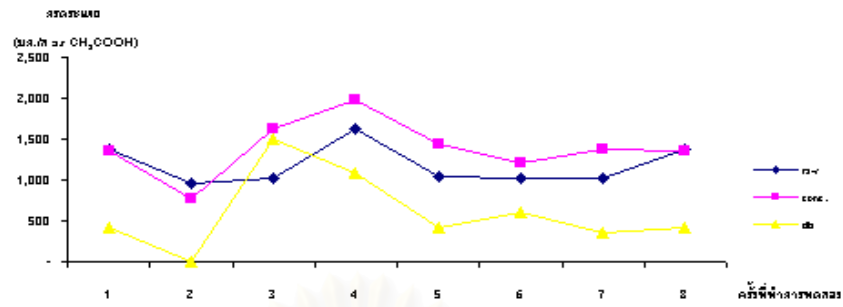
4.3.2.6 กรดไขมันระเหย (VFA)

ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube เติมน้ำมันแบบ แบบช พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.26 และภาคผนวกตารางที่ ข.7 ประกอบ กรดไขมันระเหยของไอระเหยที่ควบแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 360-2,644 มก./ลิตร as CH_3COOH ค่าเฉลี่ย 878 มก./ลิตร as CH_3COOH และค่ากรดไขมันระเหยของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นมีค่าอยู่ในช่วง 780-3,019 มก./ลิตร as CH_3COOH ค่าเฉลี่ย 1,596 มก./ลิตร as CH_3COOH ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรดไขมันระเหยในไอระเหยที่ควบแน่น ทั้งนี้เนื่องจากสภาพต่างที่มีการสะสมตัวในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่ากรดไขมัน และในการเดินระบบแบบต่อเนื่อง เป็นเวลา 5 วัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.27 และภาคผนวกตารางที่ ข.8 ประกอบ กรดไขมันระเหยของไอระเหยที่ควบแน่น มีค่าอยู่ในช่วง 360-600 มก./ลิตร as CH_3COOH ค่าเฉลี่ย 450 มก./ลิตร as CH_3COOH และกรดไขมันระเหยของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 7,500-7,860 มก./ลิตร as CH_3COOH ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสะสมตัวเพิ่มขึ้นถึง 5 เท่า คิดเป็นอัตราสะสมต่อวันเฉลี่ยเท่ากับ 1,500-1,572 มก./ลิตร as CH_3COOH เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเดินระบบแบบ แบบช

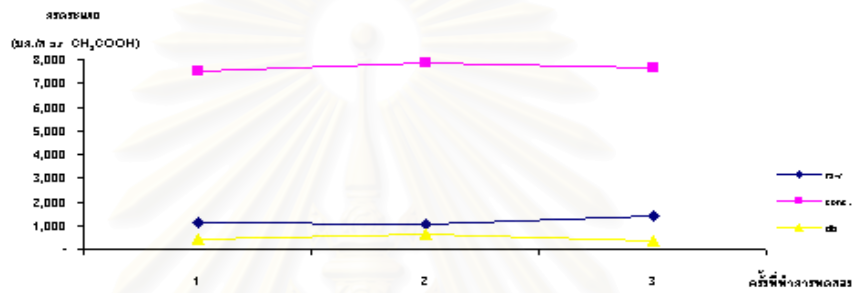
ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน กรดไขมันระเหยของไอระเหยที่ควบแน่น พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.28 และภาคผนวกตารางที่ ข.9 ประกอบ มีค่าอยู่ในช่วง 270-730 มก./ลิตร as CH_3COOH ค่าเฉลี่ย 468 มก./ลิตร as CH_3COOH และสำหรับน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่อัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอยอัตราเดียวกัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.29 กรดไขมันระเหยจะมีค่าสูงขึ้นในการทดลองครั้งต่อไป มีค่าอยู่ในช่วง 930-2,355 มก./ลิตร as CH_3COOH ค่าเฉลี่ย 1,600 มก./ลิตร as CH_3COOH

4.3.2.7 สารแขวนลอยทั้งหมด (SS) สารคงตัว (FS) และสารระเหยได้ (TVS)

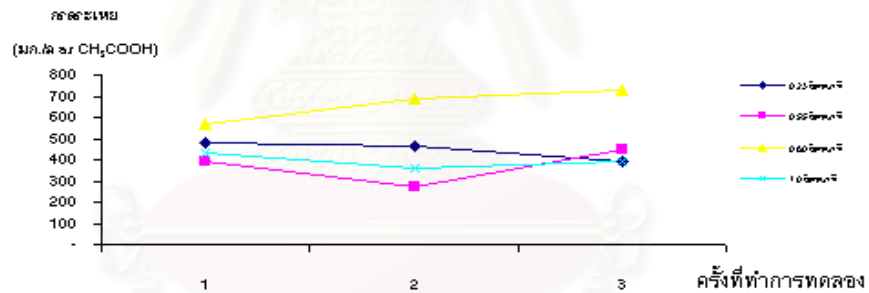
ในการทดลองเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube เติมน้ำมันแบบ แบบช พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.31 ก. และภาคผนวกตารางที่ ข.10 นำน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือภายในเตาเผาขยะมาวิเคราะห์ค่าสารแขวนลอยทั้งหมด ผลการทดลองที่ได้สารแขวนลอยทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 112-660 มก./ลิตร มีค่าเฉลี่ย 303 มก./ลิตร และเมื่อทำการเดินระบบแบบต่อเนื่อง เป็นเวลา 5 วัน พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.31 ข. และภาคผนวกตารางที่ ข.11 นำน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่ทำการทดลองเสร็จในวันที่ 5 มาวิเคราะห์ค่าสารแขวนลอยทั้งหมด ผลการทดลองที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 2,010-2,360 มก./ลิตร มีค่าเฉลี่ย 2,205 มก./



รูปที่ 4.26 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เติบระบบแบบ แบบ

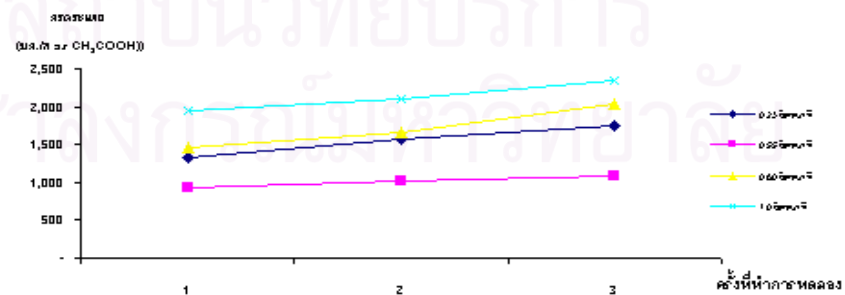


รูปที่ 4.27 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube เติบระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน



รูปที่ 4.28 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วความ

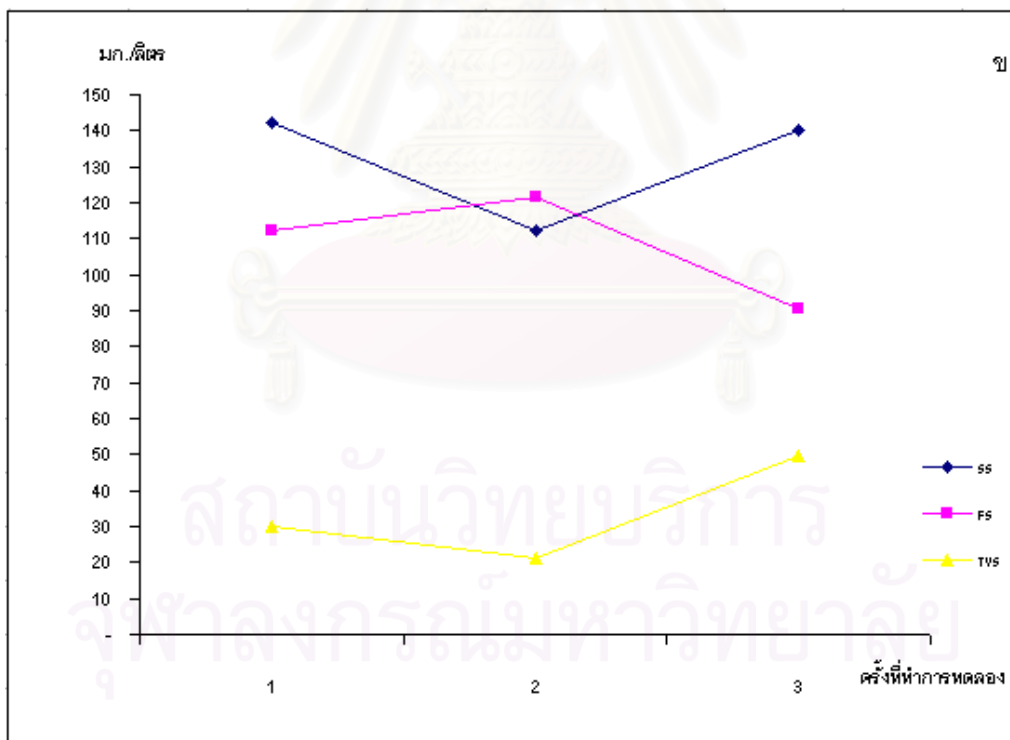
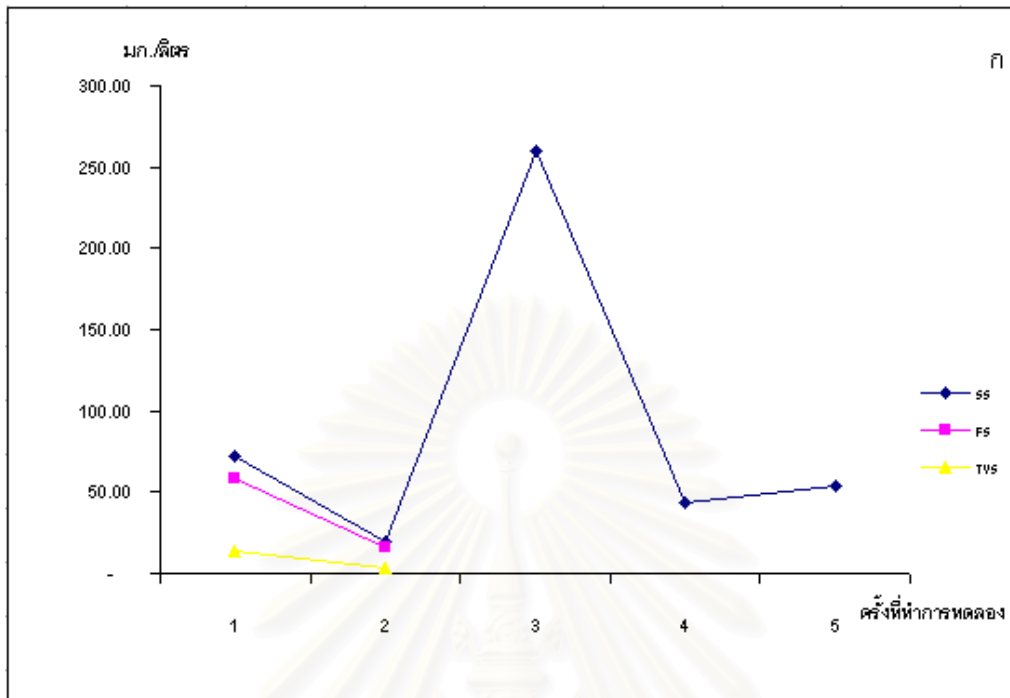
การทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.29 กรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

ลิตร คิดเป็นสารแขวนลอยเฉลี่ยต่อวันประมาณ 441 มก./ลิตร ในการทดลองเตาเผาอะไหล่รูปแบบ Fire Tube ผลการทดลองที่ได้บางครั้งสารคงตัวมีค่ามากกว่าสารระเหยได้ บางครั้งสารคงตัวมีค่าน้อยกว่าสารระเหยได้ ไม่สามารถสรุปได้ว่าสารแขวนลอยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารคงตัวหรือสารระเหยได้มากกว่ากัน เนื่องจากในระหว่างดำเนินการทดลองผู้วิจัยไม่ได้ควบคุมปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาอะไหล่ให้มีอัตราคงที่เท่ากันในทุกการทดลอง ดังนั้นค่าวิเคราะห์สารแขวนลอย สารคงตัว สารระเหยได้ ในการทดลองรูปแบบนี้จึงมีความแตกต่างกันมาก

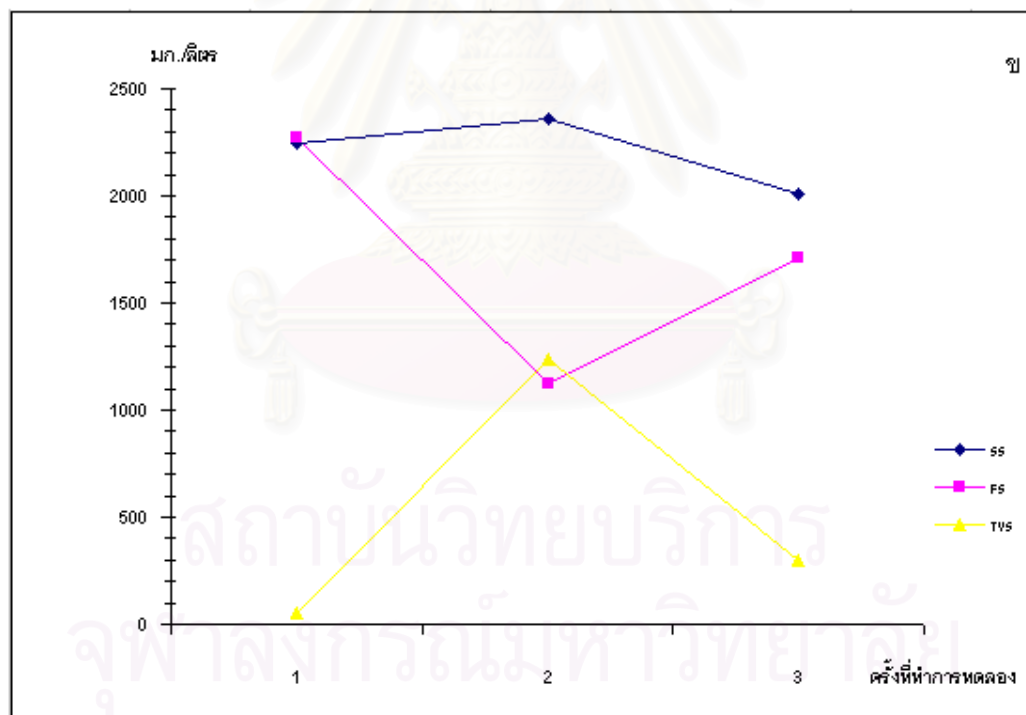
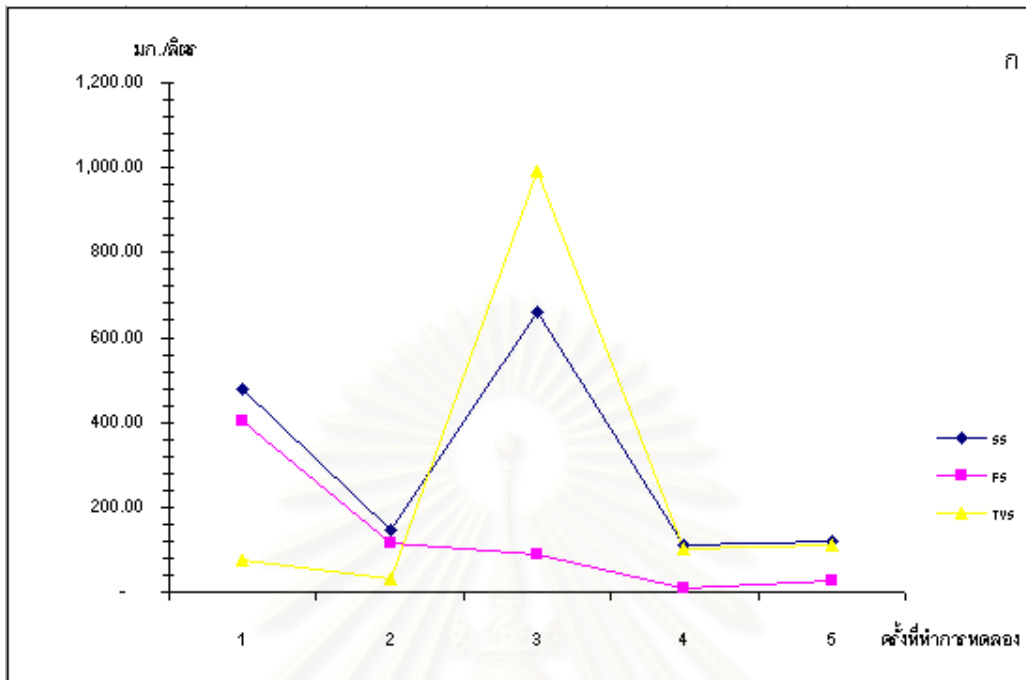
ในการทดลองเตาเผาอะไหล่รูปแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน ในการเผาอะไหล่ น้ำชะมูลฝอย 50 ลิตรจนหมด นำน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลืออยู่ในเตาเผาอะไหล่มาวิเคราะห์ค่าสารแขวนลอย สารคงตัว สารระเหยได้ พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.32-4.34 และภาคผนวกตารางที่ ข.12 ผลการทดลองที่ได้สารแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 90-580 มก./ลิตร มีค่าเฉลี่ย 292 มก./ลิตร สารคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 15-240 มก./ลิตร มีค่าเฉลี่ย 104 มก./ลิตร สารระเหยได้มีค่าอยู่ในช่วง 90-340 มก./ลิตร มีค่าเฉลี่ย 184 มก./ลิตร จากผลการทดลองที่ได้แสดงว่าสารแขวนลอยที่ได้จากน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นในการทดลองเตาเผาอะไหล่แบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารระเหยได้มากกว่าสารคงตัว



รูปที่ 4.30 สารแขวนลอย สารคงตัว และสารระเหยได้ในน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น

ก. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ แบบซ

ข. การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน

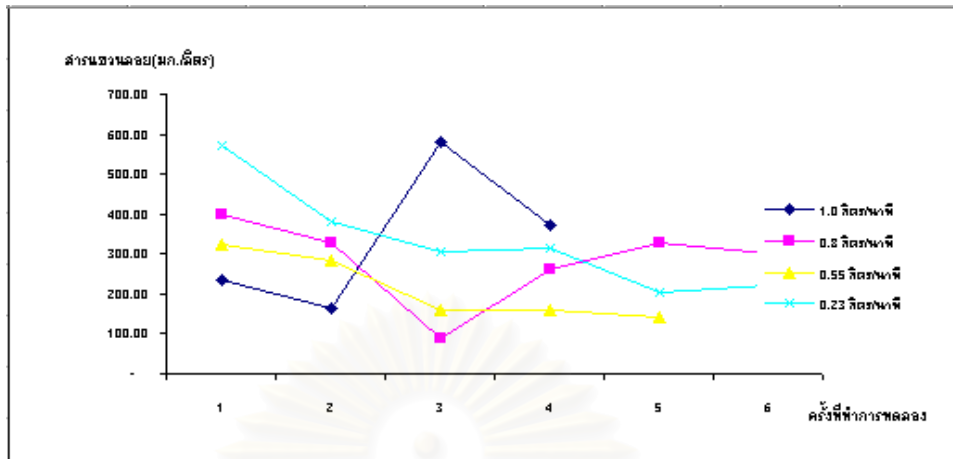


รูปที่ 4.31 สารแขวนลอย สารคงตัว และสารระเหยได้ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นการทดลองเตาเผาขยะ

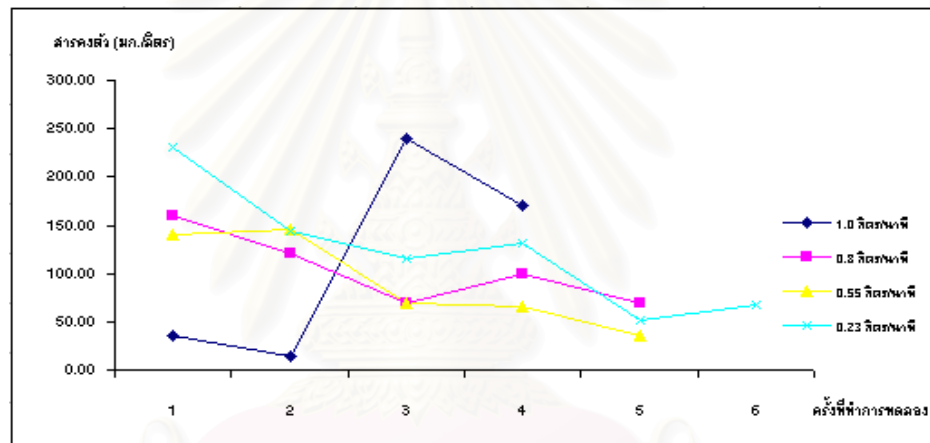
แบบ Fire Tube

ก. เดินระบบแบบ แปะช

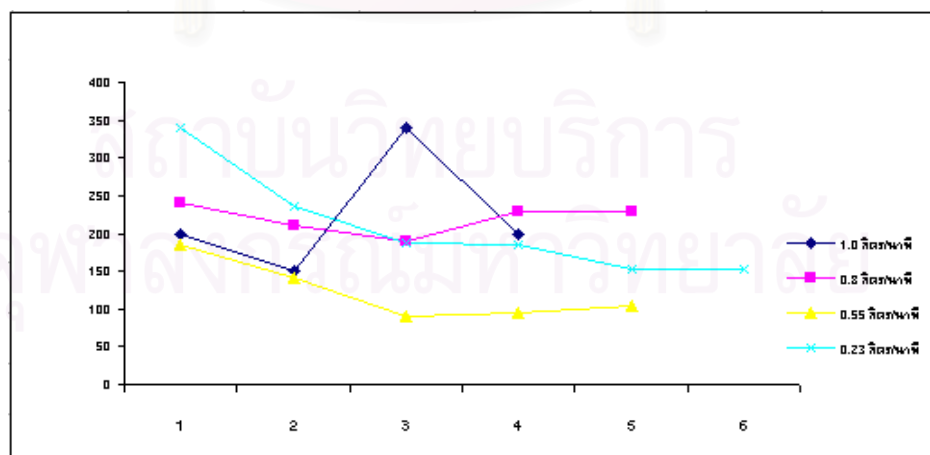
ข. เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน



รูปที่ 4.32 สารแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.33 สารคงตัวในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน



รูปที่ 4.34 สารระเหยได้ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

4.3.3 ผลของอัตราการระเหย

4.3.3.1 ผลของอัตราการเผาไหม้ ในการทดลองเตาเผาแบบ Fire Tube

เตาเผาแบบ Fire Tube จะทำการติดตั้งชุดหัวเผาสำหรับตัวเตาเผาไว้บริเวณด้านนอกทางตอนล่างของตัวเตาเผา และต่อเข้ากับท่อถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ติดตั้งอยู่ภายในตัวเตาเผา ในการทดลองช่วงแรกหัวเผาจะดับในระหว่างการทดลองหลายครั้งเนื่องจากปริมาณอากาศส่วนเกินหลังจากหัวเผาติดไฟไม่เพียงพอ จึงทำการเจาะรูโดยรอบที่บริเวณท่อเชื่อมต่อกันระหว่างหัวเผาและท่อถ่ายเทความร้อนภายในเตาเผาดังแสดงในรูปที่ 4.35 หลังจากทำการดำเนินการแก้ไข ผลปรากฏว่าในระหว่างที่ดำเนินการทดลองหัวเผาติดไฟโดยตลอด คุณสมบัติหัวเผาของชุดเตาเผาอยู่ในช่วง 960 - 1,140 องศาเซลเซียส พบว่าความร้อนเป็นจำนวนมากจากหัวเผาจะสูญเสียออกไปทางรูที่เจาะและความร้อนส่วนที่เหลือจะผ่านต่อไปยังท่อถ่ายเทความร้อนภายในตัวเตาเผา

น้ำชะมูลฝอยจะไหลจากถังเตรียมซึ่งมีสเกลบอกระดับน้ำผ่านไปยังถังควบคุมซึ่งมีลูกกลิ้งติดตั้งอยู่ภายในเพื่อควบคุมระดับน้ำที่ไหลเข้าไปภายในเตาเผาแบบ Fire Tube ให้มีระดับเดียวกันกับระดับน้ำในถังควบคุม จากการทดลองพบว่าต้องป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าเตาเผาแบบ Fire Tube ปริมาณ 65 ลิตร ระดับน้ำจะอยู่ในระดับท่อถ่ายเทความร้อนพอดี ทำให้น้ำชะมูลฝอยที่อยู่โดยรอบท่อได้รับความร้อนและเกิดการระเหยกลายเป็นไอ หลังจากนั้นจึงเริ่มจุดหัวเผา จับเวลา และจดบันทึกระดับน้ำในถังเตรียมที่ลดลง ทุกๆระยะเวลา คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยที่อยู่ในเตาเผาประมาณ 98-99 องศาเซลเซียส และจะมีฟองเกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.36 วัดปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ถูกเผาไหม้โดยพิจารณาจากสเกลวัดระดับน้ำชะมูลฝอยที่ลดลงในถังเตรียม

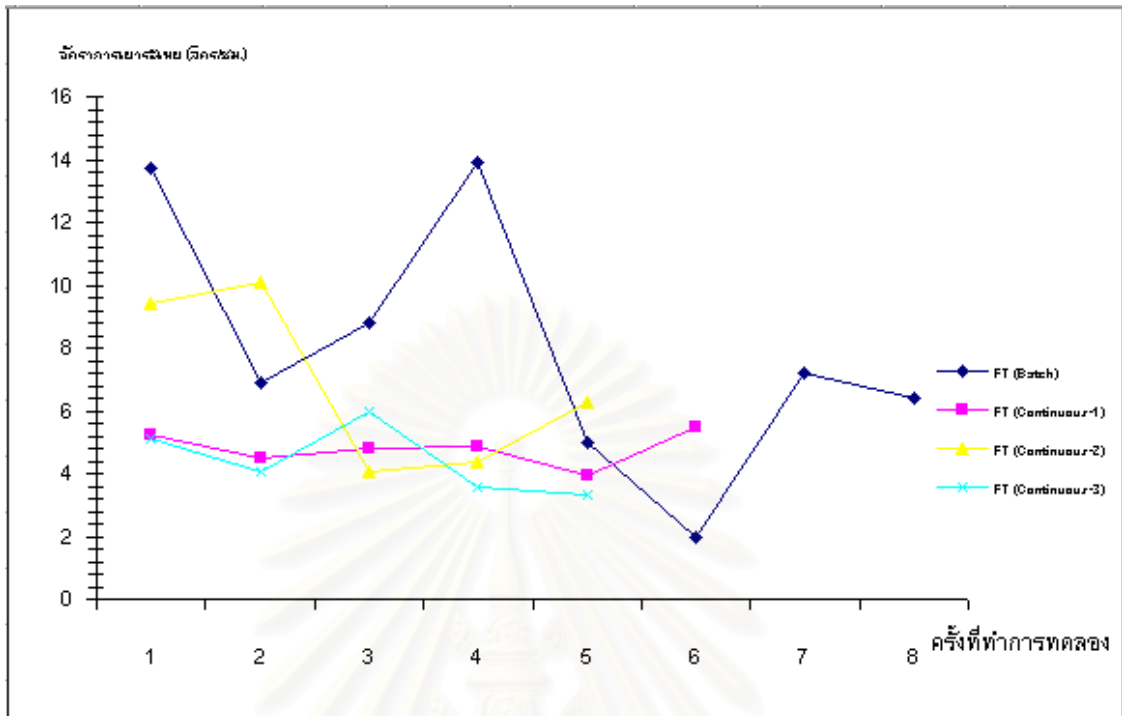
การทดลองเตาเผาแบบ Fire Tube จะทำการเดินระบบ 2 แบบ คือ ในตอนแรกจะดำเนินการเดินระบบแบบเบส ทั้งสิ้นเป็นจำนวน 10 ครั้ง หลังจากนั้นจึงดำเนินการเดินระบบแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน จำนวน 3 ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้พบว่าในช่วงแรกที่ดำเนินการเดินระบบแบบเบส อัตราการเผาไหม้ที่ได้จะมีค่าขึ้นลงแตกต่างกันมากพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.37 และภาคผนวกตารางที่ ก.1 ประกอบ อัตราการเผาไหม้ในช่วง 2.00 – 13.90 ลิตร/ชม. และมีค่าเฉลี่ย 7.99 ลิตร/ชม. และในช่วงที่ดำเนินการเดินระบบแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน อัตราการเผาไหม้ทั้ง 3 ครั้งที่มีการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.0 – 7.0 ลิตร/ชม. ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่กว่าในการเดินระบบแบบเบส แต่ค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ สาเหตุที่ทำให้อัตราการเผาไหม้ในการเดินระบบแบบต่อเนื่องมีค่าต่ำ เนื่องจากเมื่อมีการทดลองหลายๆครั้งเป็นระยะเวลาอันยาวนาน หัวเผาและเส้นท่อที่ถ่ายเทความร้อนจะ



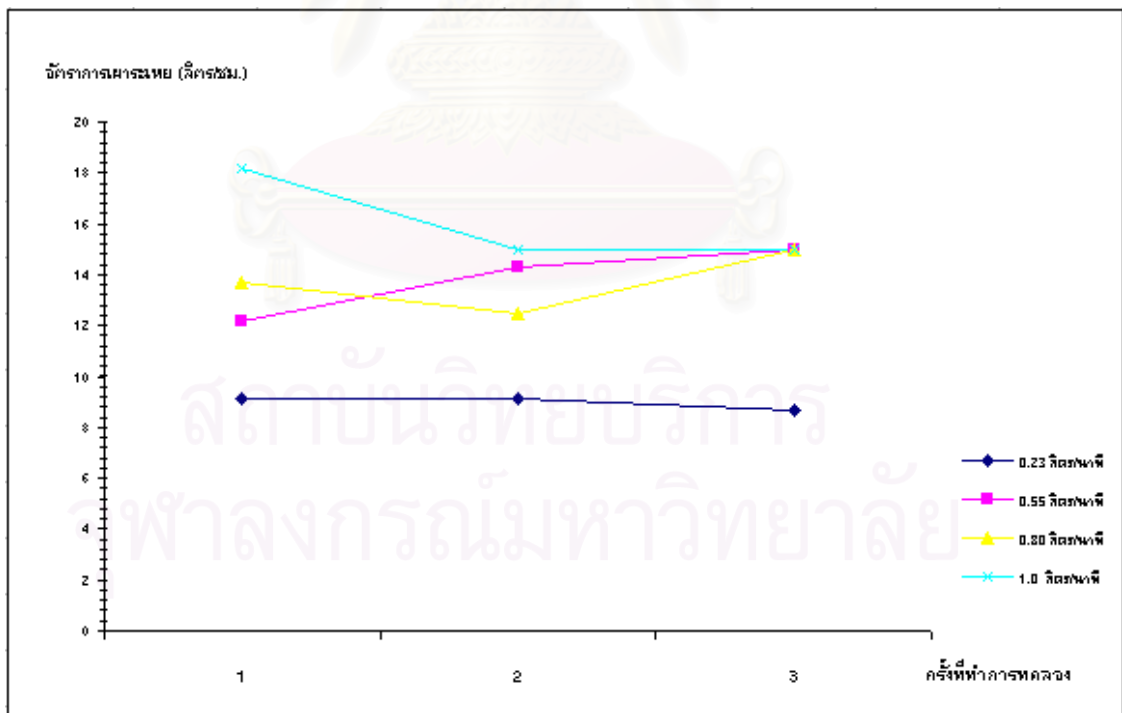
รูปที่ 4.35 แสดงชุดหัวเผาของชุดเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube
ที่มีการเจาะรูเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินหลังจุดติดไฟ



รูปที่ 4.36 แสดงฟองที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube



รูปที่ 4.37 ฉัตรการเผาไหม้ของเตาเผาไหม้แบบ Fire Tube



รูปที่ 4.38 ฉัตรการเผาไหม้ของเตาเผาไหม้แบบ Direct Fire

เกิดการลี้ก่ร้อนและเสื่อมประสิทธิภาพลงเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.39 เนื่องจากต้องสัมผัสกับเปลวไฟซึ่งมีอุณหภูมิสูงมากเป็นระยะเวลาานาน อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของหัวเผาสำหรับเตาเผาระเหยประมาณ 1,091 องศาเซลเซียส และสภาพน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าพีเอชและความเป็นด่างสูงมากซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดตะกอนภายในท่อถ่ายเทความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง

รวมทั้งผลกระทบอันเนื่องมาจากสภาพอากาศโดยรอบบริเวณที่ดำเนินการทดลอง เช่น ความแรงและแนวทิศทางการลม ในวันที่มีลมแรง ลมจะพัดพาความร้อนจากเปลวไฟออกทางรูเจาะของท่อเชื่อมต่อระหว่างหัวเผาและท่อถ่ายเทความร้อนภายในเตาเผาเป็นอย่างมาก ทำให้ความร้อนจากเปลวไฟเดินทางผ่านไปยังท่อถ่ายเทความร้อนได้น้อยประสิทธิภาพในการเผาระเหยจึงต่ำ

4.3.3.2 ผลของอัตราการเผาระเหย ในการทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire

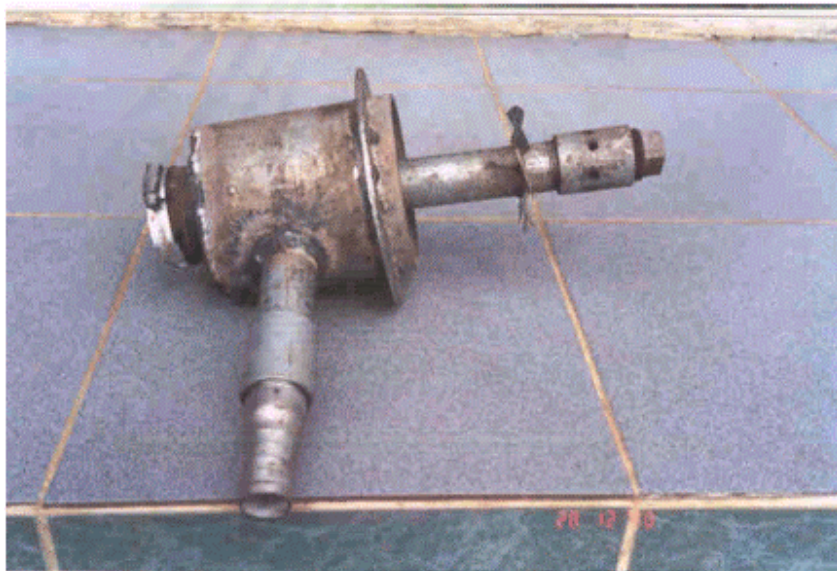
การทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube ทำให้พบปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำชะมูลฝอย อันเนื่องมาจากลักษณะการติดตั้งและรูปแบบของหัวเผา ทางผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาหัวเผาสำหรับเตาเผาแบบ Direct Fire โดยใช้โครงสร้างเดิมของเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube แต่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของหัวเผา วิธีการป้อนน้ำชะมูลฝอย และวิธีการให้น้ำชะมูลฝอยสัมผัสกับความร้อนจากเปลวไฟ โดยได้ทำการต่อตัวเตาเผาแบบ Fire Tube เดิมให้สูงเพิ่มขึ้นอีก 0.9 เมตร โดยใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตร จำนวน 1 ถัง ต่อเข้ากับตัวถังเดิมและออกแบบหัวเผาใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.40 โดยติดตั้งหัวเผาที่ด้านบนของตัวเตาเผาและต่อเข้ากับท่อที่น้ำชะมูลฝอยไหลลงสู่ตัวเตา เตาเผาระเหยแบบ Direct Fire เปลวไฟจะอยู่ภายในท่อที่ป้อนน้ำชะมูลฝอย ทำให้น้ำชะมูลฝอยได้สัมผัสกับความร้อนจากเปลวไฟโดยตรงแล้วระเหยกลายเป็นไอ

เมื่อเริ่มดำเนินการทดลองเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire ในขั้นแรกจะต้องเติมน้ำชะมูลฝอยเข้าภายในเตาเผาจนถึงระดับปากท่อที่น้ำชะมูลฝอยไหลล้น น้ำชะมูลฝอยที่ถูกป้อนจากด้านบนจะปะทะกับเปลวไฟ ส่วนที่ไม่ระเหยกลายเป็นไอจะไหลลงสู่ตัวเตาเผาแล้วไหลล้น (Overflow) ออกทางท่อเหล็กที่อยู่ภายในตัวเตา (ท่อถ่ายเทความร้อนเดิมของเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube) ป้อนน้ำเสีย 50 ลิตร ในอัตราคงที่ทุกครั้งของการทดลอง โดยจะทำการป้อนน้ำชะมูลฝอยที่อัตราการป้อน 0.23, 0.55, 0.80 และ 1.0 ลิตร/นาที



ภาพที่ 4.39 แสดงสภาพสึกกร่อนของหัวเผาในการทดลองเตาเผาระเหยแบบ Fire Tube

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
รูปที่ 4.40 หัวเผาแบบ Direct Fire
จุดพาลงกรณีมหาหยาลัย

ผลของอัตราการเผาไหม้ของเตาเผาแบบ Direct Fire ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.38 พบว่าที่อัตราการป้อน 0.23 ลิตร/นาที่ อัตราการเผาไหม้จะมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงประมาณ 9 ลิตร/ชม ที่อัตราการป้อน 0.55 และ 0.80 ลิตร/นาที่ อัตราการเผาไหม้จะอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันประมาณ 12 – 15 ลิตร/ชม. และที่อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที่ อัตราการเผาไหม้จะมีค่าสูงที่สุดอยู่ในช่วง 15 – 18.18 ลิตร/ชม ผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มอัตราการป้อนให้มีค่ามากกว่า 1.0 ลิตร/นาที่ พบว่าความแรงของน้ำที่ไหลผ่านผ่านเวียร์จะกระเด็นไปถูกเปลวไฟมีผลทำให้หัวเผาดับบ่อยครั้ง ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มอัตราการเผาไหม้ให้สูงขึ้นสำหรับเตาเผาแบบ Direct Fire ขนาดของเวียร์น้ำล้นและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่น้ำชะมูลฝอยไหลผ่านจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดของเตาเผาแบบ Direct Fire ที่ทำการทดลอง อัตราการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อน แต่อัตราการป้อนจะต้องมีค่าไม่เกิน 1 ลิตร/นาที่

4.3.3.3 เปรียบเทียบอัตราการเผาไหม้ ในการทดลองเตาเผาแบบ Fire Tube กับ Direct Fire

อัตราการเผาไหม้แบบ Fire Tube พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.37 ในการเดินระบบช่วงแรกแบบเบส จะมีค่าเฉลี่ย 7.99 ลิตร/ชม. และเมื่อเดินระบบในช่วงหลังเป็นแบบต่อเนื่อง 5 วัน อัตราการเผาไหม้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.0 – 7.0 ลิตร/ชม. ในขณะที่รูปแบบเตาเผาแบบ Direct Fire จะมีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 13 ลิตร/ชม ดังนั้นเตาเผาแบบ Direct Fire จึงมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้น้ำชะมูลฝอยได้ดีกว่าเตาเผาแบบ Fire Tube

4.3.4 ผลของอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่เผาไหม้ (V'_{Loss})

การหาประสิทธิภาพของเตาเผาไหม้นอกจากจะพิจารณาจากอัตราการเผาไหม้แล้ว ยังต้องพิจารณาถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ด้วย โดยงานวิจัยนี้ใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas; LFG) ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเฉลี่ยประมาณ 50% เป็นพลังงานเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากผลต่างของปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ทั้งหมดในการเผาไหม้น้ำชะมูลฝอย (V'_{CH_4}) กับปริมาณก๊าซมีเทนที่ต้องใช้จริงในการเผาไหม้น้ำชะมูลฝอย (V_{CH_4})

ผลต่างนี้จะแสดงถึงค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสีย (V_{LOSS}) ไปในระบบซึ่งสามารถไปคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาไหม้ (V'_{LOSS}) (ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข. และตารางแสดงก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาไหม้แสดงในภาคผนวก ง.) เพื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเตาเผาไหม้

ระบบเตาเผาไหม้ที่มีค่าอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยสูงแสดงว่ามีประสิทธิภาพต่ำเพราะใช้ปริมาณก๊าซมีเทนเกินความต้องการที่แท้จริงมาก ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ ในทางตรงกันข้ามระบบเตาเผาไหม้ที่มีค่าอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยต่ำ แสดงว่ามีประสิทธิภาพสูงสูญเสียพลังงานน้อยซึ่งเป็นผลดีในทางปฏิบัติ

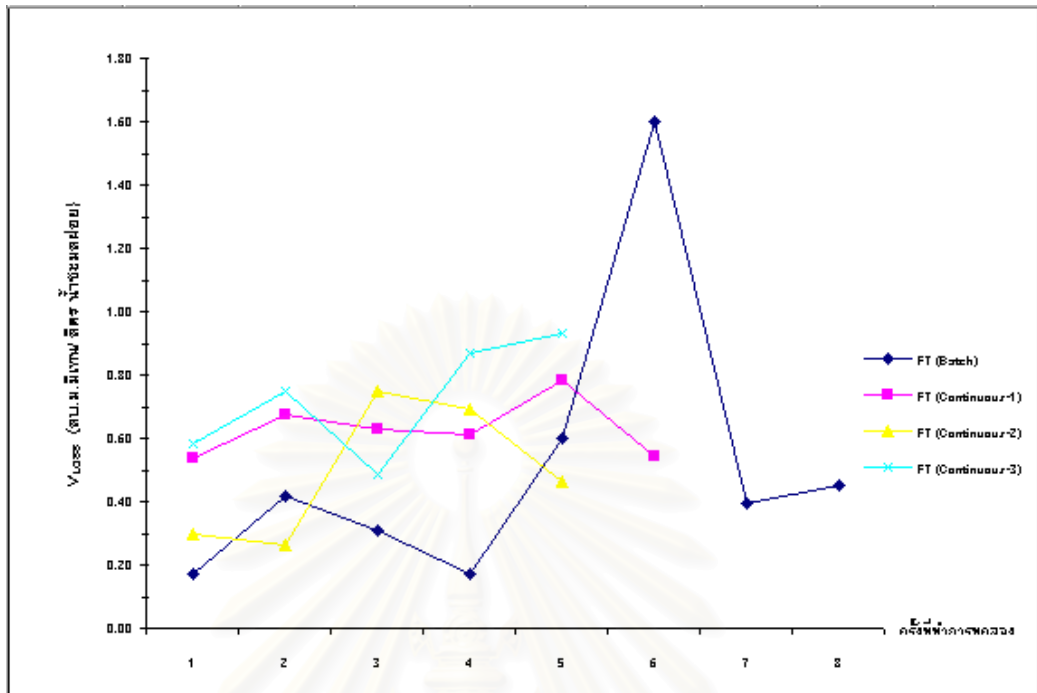
4.3.4.1 ผลของอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่เผาไหม้ (V'_{LOSS}) ในการทดลองเตาเผาไหม้รูปแบบ Fire Tube

ในช่วงแรกที่เดินระบบแบบเบซ พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.41 อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนจะมีค่าเฉลี่ย 0.51 ลบ.ม มีเทน / ลิตรน้ำชะมูลฝอย มีผลการทดลองครั้งเดียวที่ค่าอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนสูงมาก โดยมีค่า 1.6 ลบ.ม. มีเทน / ลิตรน้ำชะมูลฝอย ทั้งนี้เนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น ปริมาณก๊าซ LFG ในวันที่ทำการทดลองอาจมีปริมาณต่ำ และระบบการจุดติดไฟของหัวเผาที่เกิดการดับบ่อยครั้ง

ส่วนในช่วงที่เดินระบบแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.41 อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.49 – 0.72 ลบ.ม มีเทน/ลิตรน้ำชะมูลฝอย ซึ่งมีค่าสูงกว่าการเดินระบบแบบเบซ ทั้งนี้เนื่องมาจากเตาเผาแบบ Fire Tube เมื่อทดลองไปนานๆ ประสิทธิภาพของหัวเผาและท่อถ่ายเทความร้อนจะลดลงทำให้เกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงเป็นปริมาณเพิ่มสูงขึ้นที่อัตราต่อลิตรของน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาไหม้

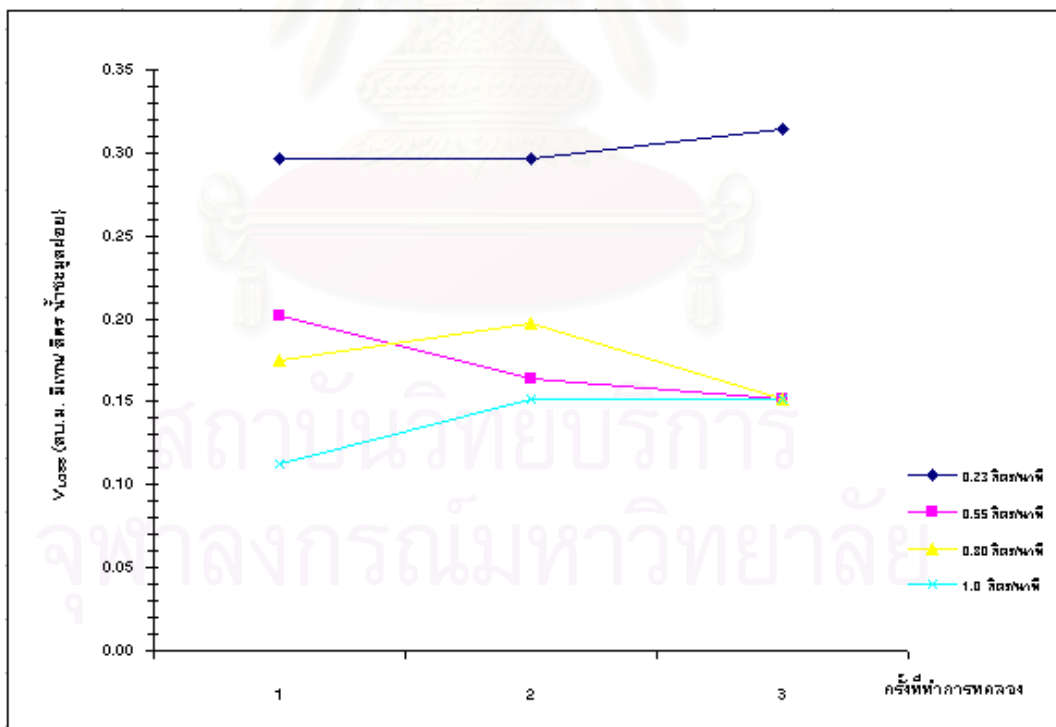
4.3.4.2 ผลของอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่เผาไหม้ (V'_{LOSS}) ในการทดลองเตาเผาไหม้รูปแบบ Direct Fire

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.42 ที่อัตราการป้อน 0.23 ลิตร/นาที่ อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนจะมีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราการป้อนอื่นๆที่ทำการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 ลบ.ม มีเทน/ลิตรน้ำชะมูลฝอย ที่อัตราการป้อน 0.55 และ 0.80 ลิตร/นาที่ อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทน จะมีค่าอยู่ใน



รูปที่ 4.41 อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมฟูฟอยที่เผาระเหยของเตาเผาระเหยแบบ

Fire Tube



รูปที่ 4.42 อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมฟูฟอยที่เผาระเหยของเตาเผาระเหยแบบ

Direct Fire

ช่วงใกล้เคียงกันประมาณ 0.15 – 0.2 ลบ.ม. มีเทน/ลิตรน้ำชะมูลฝอย และที่อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที่ อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนจะมีค่าอยู่ในช่วงต่ำที่สุด 0.1 – 0.15 ลบ.ม. มีเทน/ลิตรน้ำชะมูลฝอย

สรุปได้ว่าในการทดลองเตาเผาแบบ Direct Fire ที่อัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอย 1.0 ลิตร/นาที่ จะมีค่าอัตราการสูญเสียเชื้อเพลิงน้อยที่สุดซึ่งเป็นผลดีแก่ระบบ และเมื่ออัตราการป้อนลดลง อัตราการสูญเสียเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเสียทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานอย่างเปล่าประโยชน์

4.3.4.3 เปรียบเทียบอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่เผาขยะ (V_{Loss}) ในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube กับแบบ Direct Fire

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.41 และภาคผนวก ง. อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube โดยการเดินระบบแบบ แบท จะมีค่าเฉลี่ย 0.51 ลบ.ม. มีเทน / ลิตรน้ำชะมูลฝอย ซึ่งมีค่าสูงกว่าเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทน 0.20 ลบ.ม มีเทน / ลิตรน้ำชะมูลฝอย จากผลการทดลองที่ได้แสดงว่าในการทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube จะมีการสูญเสียก๊าซมีเทนเป็นจำนวน 2.5 เท่าตัวของการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire

ดังนั้นรูปแบบเตาเผาขยะแบบ Direct Fire จึงให้ประสิทธิภาพในทางปฏิบัติที่ดีกว่าเตาเผาขยะแบบ Fire Tube

4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเผาขยะกับอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาขยะ

ความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองเป็นไปในลักษณะแปรผกผันกัน โดยอัตราการเผาขยะที่มีค่าสูงแสดงให้เห็นถึงอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่ำ เนื่องจากมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการเผาขยะน้ำชะมูลฝอยอย่างเหมาะสมมีเพียงพลังงานเชื้อเพลิงบางส่วนที่สูญเสียไป จากผลการทดลองที่ได้พบว่า การดำเนินการทดลองเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ที่อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที่ จะมีค่าอัตราการเผาขยะสูงที่สุดถึง 18.18 ลิตร/ชม. และอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรของน้ำชะมูลฝอยต่ำสุดมีค่า 0.113 ลบ.ม. มีเทน/ลิตรน้ำชะมูลฝอย ในขณะที่การทดลองเตาเผาขยะแบบ Fire Tube จะมีค่าอัตราการเผาขยะแบบต่ำสุดที่ 2.0 ลิตร/ชม. และอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอยสูงถึง 1.6 ลบ.ม. มีเทน / ลิตรน้ำชะมูลฝอย จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงสรุปได้ว่าเตาเผาขยะแบบ Direct Fire ให้ประสิทธิภาพในการเผาขยะน้ำชะมูลฝอยดีกว่าเตาเผาขยะแบบ Fire Tube เป็นอย่างมาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การดำเนินการวิจัยเผาขยะน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะเป็นเชื้อเพลิง ทดลองกับเตาระเหย 2 รูปแบบ โดยศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะดำเนินการทดลองเผาขยะ ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซ LFG และเปรียบเทียบผลการทดลองในการวิเคราะห์ค่าก๊าซและอุณหภูมิ ค่าทางเคมีของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นและไอระเหยของน้ำชะมูลฝอยที่ควบแน่น ประสิทธิภาพในการเผาขยะและอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนของเตาเผาขยะทั้ง 2 รูปแบบสามารถให้ผลสรุปการทดลองได้ดังนี้

1. น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นมีค่า บีโอดี 1800 มก./ล ซีโอดีเฉลี่ย 6450 มก./ล ซึ่งสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด ค่าบีโอดีต้องไม่เกิน 20 มก./ล และค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มก./ล (ภาคผนวก ฉ) นอกจากนี้ยังตรวจพบปริมาณโลหะหนักได้แก่ โครเมียม 1.06 มก./ล ตะกั่ว 0.228 มก./ล และปรอท 0.03 มก./ล โดยเฉพาะอย่างยิ่งปรอทมีค่าเกินมาตรฐานมากและเป็นสารที่เป็นอันตรายอย่างยิ่ง

2. องค์ประกอบ LFG ที่หลุมฝังกลบขยะกำแพงแสนมี มีเทน 45-50% คาร์บอนไดออกไซด์ 35 % ออกซิเจน 1-2 % ที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์มีค่า 0-18 พีพีเอ็ม ไนตริกออกไซด์ 0-9 พีพีเอ็ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0-0.6 พีพีเอ็ม และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0-1 พีพีเอ็ม

3. วิเคราะห์ค่าก๊าซหลังการเผาขยะน้ำชะมูลฝอย ทำการตรวจวัดระดับก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังผ่านเตาเผาควัน สำหรับเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube ระดับก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์หลังการเผาขยะมีค่าเป็นศูนย์ทั้งก่อนและหลังผ่านเตาเผาควัน ตรวจพบคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนผ่านเตาเผาควันที่ระดับ 50 และ 70 พีพีเอ็ม ไนตริกออกไซด์ 22 พีพีเอ็ม และมีค่าลดลงเมื่อผ่านเตาเผาควัน โดยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเหลือ 30 และ 15 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ไนตริกออกไซด์ลดลงเป็นศูนย์ สำหรับเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire หลังการเผาขยะระดับก๊าซมีเทนมีค่าอยู่ในช่วง 0-1.8 เปอร์เซ็นต์ก่อนผ่านเตาเผาควันและลดลงเป็นศูนย์หลังผ่านเตาเผาควัน คาร์บอนไดออกไซด์ก่อนผ่านเตาเผาควันมีค่าอยู่ในช่วง 3.6-13.7 เปอร์เซ็นต์ หลังผ่านเตาเผาควันมีค่าเป็น 0.1-1.2 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตรวจวัดได้ 0 พีพีเอ็ม มีเพียงครั้งเดียวที่ตรวจวัดได้มีค่าสูง 120 พีพีเอ็ม ไนตริกออกไซด์ตรวจวัดได้ 0-8 พีพีเอ็ม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตรวจวัดได้ 0-1.2 พีพีเอ็ม ไฮโดรเจนซัลไฟด์ตรวจวัดได้ 0-2 พีพีเอ็ม เมื่อผ่านเตาเผาควันระดับก๊าซมลพิษทั้งหมดที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลงเกือบเท่ากับศูนย์หรือเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเตาเผาควันจึงมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการช่วยลดระดับความเข้มข้นของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะน้ำชะมูลฝอยก่อนปล่อยออกไปสู่บรรยากาศให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไว้

4. อุณหภูมิของหัวเผาสำหรับเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube มีค่าเฉลี่ย 1,091 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของหัวเผาสำหรับเตาเผาระเหยรูปแบบ Direct Fire มีค่าเฉลี่ย 770 องศาเซลเซียส โดยหัวเผาทั้งสองใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะเป็นเชื้อเพลิงในการจุดติดไฟ จากผลการตรวจวัดที่ได้แสดงให้เห็นว่า **ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะสามารถให้พลังงานความร้อนในระดับอุณหภูมิที่สูงมาก สามารถนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์กับอุตสาหกรรมที่ต้องการเชื้อเพลิงจากพลังงานความร้อนได้**

5. วิเคราะห์ค่าทางเคมีเมื่อทำการเผาขยะอย่างต่อเนื่อง น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลืออยู่ในเตาเผาขยะจะเกิดการสะสมตัวของ ซีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจน ความเป็นด่าง กรดไขมัน ระเหย สารแขวนลอยและโลหะหนักในปริมาณที่สูง ส่วนไอระเหยน้ำชะมูลฝอยที่ควบแน่น ค่าซีโอดี และแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าสูงสำหรับเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire เนื่องจากเขม่า คาร์บอน และก๊าซที่เกิดขึ้นจากการลุกไหม้เป็นเปลวไฟจะลอยตัวปนมากับไอระเหย ซึ่งมีผลทำให้ซีโอดีในไอระเหยที่ควบแน่นมีค่าสูงกว่าแบบ Fire Tube มาก และรูปแบบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าของเตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนระเหยออกเป็นแอมโมเนียในปริมาณสูง มีผลให้พีเอชของไอระเหยที่ควบแน่นมีค่าสูงด้วยเช่นกัน

6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพเตาเผาขยะแบบ Fire Tube และแบบ Direct Fire โดยพิจารณาจากอัตราการเผาขยะ และอัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย

เตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube ทำการติดตั้งหัวเผาที่บริเวณด้านนอกทางตอนล่างของตัวเตาเผาเชื่อมต่อกับท่อถ่ายเทความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเตา ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเตาเผาแบบนี้เมื่อทำทดลองไปได้สักระยะหนึ่ง อัตราการเผาขยะจะลดลง อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนสูงขึ้น ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว

เตาเผาขยะรูปแบบ Direct Fire ทำการติดตั้งหัวเผาและป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าที่บริเวณตอนบนของตัวเตาเผาให้เปลวไฟและน้ำชะมูลฝอยไหลอยู่ในท่อเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าที่อัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอย 1.0 ลิตร/นาที อัตราการเผาขยะมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 15-19 ลิตร/ชม. อัตราการสูญเสียก๊าซมีเทนมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.1-0.15 ลบ.ม.มีเทน/ลิตร น้ำชะมูลฝอย ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาขยะรูปแบบ Fire Tube 73 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

จากผลการดำเนินการวิจัยเผาระเหยน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะเป็นเชื้อเพลิงและทำการออกแบบเตาเผาระเหย 2 รูปแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ทำให้พบเห็นปัญหาและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปดังนี้

- 6.1 ในการออกแบบตัวเตาเผาระเหยให้มีประสิทธิภาพ จะต้องคำนึงถึงรูปแบบตัวเตาเผาระเหย หัวเผา ลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟให้แก่ น้ำชะมูลฝอย รูปแบบการป้อนน้ำชะมูลฝอย จากผลการวิจัยที่ได้พบว่า เตาเผาระเหยแบบ Direct Fire ให้ประสิทธิภาพในการเผาระเหยน้ำชะมูลฝอยได้ดีกว่าเตาเผาระเหยรูปแบบ Fire Tube เนื่องจากเปลวไฟให้ความร้อนแก่น้ำชะมูลฝอยโดยตรง แต่ระยะเวลาในการสัมผัส (Contact Time) ระหว่างเปลวไฟกับน้ำชะมูลฝอยยังสั้นเกินไป โดยเปลวไฟและน้ำชะมูลฝอยจะไหลดิ่งลงสู่ท่อตรงเดียวกัน ดังนั้นจึงควรพัฒนาออกแบบท่อที่ให้เปลวไฟสัมผัสกับน้ำชะมูลฝอยที่จะทำการเผาระเหยให้นานขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาระเหยให้สูงขึ้น
- 6.2 การออกแบบหัวเผา ควรคำนึงถึงปริมาณอากาศส่วนเกิน หลังจากที่หัวเผาติดไฟด้วย เนื่องจากถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินไม่เพียงพอจะมีผลทำให้เปลวไฟที่หัวเผาดับบ่อยครั้ง
- 6.3 เตาเผาระเหยแบบ Direct Fire เปลวไฟกับน้ำชะมูลฝอยจะไหลอยู่ในท่อเส้นเดียวกัน ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมีความสัมพันธ์โดยตรงต่ออัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอย โดยที่อัตราการป้อนสูงจะมีผลทำให้อัตราการระเหยสูงด้วย แต่ถ้าอัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอยสูงเกินไปน้ำชะมูลฝอยจะกระเด็นไปโดนเปลวไฟทำให้เปลวไฟดับ ดังนั้นจะต้องหาอัตราการป้อนที่เหมาะสมที่สัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยไม่ทำให้เปลวไฟดับ และทำให้เกิดอัตราการระเหยสูงสุด เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ในการออกแบบได้ต่อไป
- 6.4 น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลืออยู่ในเตาเผาระเหยมีปริมาณ ซีไอดี อินทรีย์ไนโตรเจน ความเป็นด่าง กรดไขมันระเหย สารแขวนลอย และโลหะหนักในปริมาณสะสมที่สูงมาก ควรนำไปศึกษาหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของตะกอนสลัดจ์ที่ทำการเผาระเหย ก่อนที่จะผ่านต่อไปตากแห้งในลานตากตะกอน (Sand Drying Bed) ตลอดจนศึกษาถึงวิธีที่เหมาะสมในการบำบัดตะกอนต่อไปซึ่งตะกอนดังกล่าวมีปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่ จัดเป็นของเสียอันตรายจึงควรมีการศึกษาถึงการนำไปหลอมผสมซีเมนต์ให้เป็นก้อนแข็งในอัตราส่วนที่เหมาะสม ก่อนนำไปฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

- 6.5 โดยปกติแอมโมเนียไนโตรเจนจะระเหยได้ดีที่พีเอชมีค่าสูงกว่า 7 ถึง 9.5 ไอระเหยน้ำชะมูลฝอยจะมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูง อาจต้องหาแนวทางในการทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนสะสมอยู่ในน้ำชะมูลฝอยเข้มข้น โดยการปรับลดค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาระเหย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษณ์ ถาวรวงศ์, การกำจัดสีของน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการทางเคมี. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, เอกสารประกอบการสัมมนา
เรื่อง “การวิจัยและพัฒนากระบวนการกำจัดน้ำเสียจากมูลฝอยแบบประหยัดพื้นที่และใช้ง่าย” 28
เมษายน 2543
- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, “คู่มือเจ้าหน้าที่สาธารณสุข เล่ม 4 การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ
และเสียง” กุมภาพันธ์ 2535
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดค่า
ปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน
- วรพงษ์ บิลลี, การกำจัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการระเหย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- วรากร เกิดทรัพย์, การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่ 2 สำหรับน้ำชะมูลฝอย
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2542.
- สัญญาวัล อิงคภาคย์, ประสิทธิภาพของการลดซีโอไซด์และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติด
ผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, “คู่มือปฏิบัติการเคมีของน้ำเสีย” รหัสวิชา 167-213 ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2540

ภาษาอังกฤษ

- American Public Health Association, Washington DC, Standard Methods for the examination
of Water and Wastewater., 15th ed, 1980.
- Augenstein, D. and Pacey, J., Methane Generation and Recovery from Landfills (EMCON
Associates 1921 Ring Wood Avenue , San Jose, California, U.S.A) Landfill
Methane Models., 1981.

- Birchler, D.R., Milke, M.W., Marks, A.L., and Luthy, R.G., Landfill Leachate Treatment by Evaporation , Journal Environmental Engineering J.Env.Eng., ASCE, Sep/Oct 1994 : 1109-1131.
- Chain, E.F.K. and Dewalle, F.B., Character of Soluble Organic Matter in leachate, Environmental Science and Technology., Vol.11, No.2,1976 : 158-162.
- Dennis, E.P. Landfill Management " Five Ways To Treat Your Leachate". Waste Age., Vol.30, No.10, Oct 1999 :68-79.
- Kanoksak Eam-o-pas, Thomas Wetherill, Boonma Panpradist, "Landfill Gas Generation and Recovery in Thailand" , 2000.
- Keenan, P.J. , Iza, J., and Switzmendaum, MS. 1993, Inorganic Solid Development in a Pilot Scale Anarobic Reacher Treating Municipal Solid Waste Landfill Leachate., Water Environmental Research., Vol.65, No.2 : 181-188.
- Landtech "Landfill Gas System Engineering Design - A Practical Approach (Base on a decade of experience)" 1994.
- Marks, A.L., Luthy R.G, and Diwekar, U.M.,Semi-Continuous Evaporation Model for Leachate Treatment Process Evaluaton., Environmental Progress., Vol.13, No.4, Nov 1994 : 278-289.
- Steinmetger, H.C., Distillation of Leachate from Hazardous Waste Landfills-One Year Experience, Proc. Int. Cont. on New Frontiers in Hazardous Waste Management., EPA/600/9-87-018 F, U.S.E.P.A, Washington, D.C. 1987.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
ค่าที่ทำการตรวจวัดก๊าซและอุณหภูมิในภาคสนาม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบเตาเผาระเหยที่ทำการทดลอง Fire Tube เติระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

ค่าที่ทำการตรวจวัด	ว/ด/ป ที่ทำการตรวจวัด		
	26/12/43	30/12/43	2/1/44
1) ความเร็วก๊าซภายในเส้นท่อที่ผ่านตัวเตาเผา (m/s)	1.1	1.3	1.1
2) อุณหภูมิก๊าซภายในเส้นท่อที่ผ่านตัวเตาเผา (°C)	31.2	38.3	36.0
3) 3.1 ความเข้มข้นของก๊าซภายในเส้นท่อก่อนเข้าหัวเผาของตัวเตาเผา โดยใช้เครื่อง Landtec			
%CH ₄	49.2	46.0	45.0
%O ₂	1.7	2.0	2.0
%CO ₂	35.5	33.9	32.7
% ก๊าซอื่นๆ	13.9	18.0	19.6
3.2 ความเข้มข้นของก๊าซภายในเส้นท่อก่อนเข้าหัวเผาของตัวเตาเผา โดยใช้เครื่อง Oldham			
CO ppm	6	3	3
NO ppm	3	5	5
SO ₂ ppm	0	0.1	0.1
H ₂ S ppm	0	0	0
4) 4.1 ความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือหลังการเผาระเหยก่อนผ่านเตาเผาคว้น โดยใช้เครื่อง Landtec			
%CH ₄	0	0	0
%O ₂	18.0	18.0	18.6
%CO ₂	0.8	0.7	1.3
% ก๊าซอื่นๆ	81.2	80.5	80.1
4.2 ความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือหลังการเผาระเหยก่อนผ่านเตาเผาคว้น โดยใช้เครื่อง Oldham			
CO ppm	3	0	3
NO ppm	0	2	0
SO ₂ ppm	0.1	0.1	0
H ₂ S ppm	0	0	0

รูปแบบเตาเผาขยะที่ทำการทดลอง Fire Tube เติมน้ำมันแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

ค่าที่ทำการตรวจวัด	ว/ด/ป ที่ทำการตรวจวัด		
	26/12/43	30/12/43	2/1/44
5) ความเร็วก๊าซภายในเส้นท่อของชุดเผาควัน (m/s)	0.7	0.6	0.6
6) อุณหภูมิก๊าซภายในเส้นท่อของชุดเผาควัน (°C)	31.4	38.4	35.5
7) 7.1 ความเข้มข้นของก๊าซภายในเส้นท่อก่อนเข้าหัวเผาของชุดเผาควัน โดยใช้เครื่อง Landtec			
%CH ₄	49	46.0	45.3
%O ₂	1.6	1.8	2.0
%CO ₂	35.4	32.5	33.0
% ก๊าซอื่นๆ	14.6	19.1	20.4
7.2 ความเข้มข้นของก๊าซภายในเส้นท่อก่อนเข้าหัวเผาของชุดเผาควัน โดยใช้เครื่อง Oldham			
CO ppm	3	3	3
NO ppm	2	3	3
SO ₂ ppm	0	0	0
H ₂ S ppm	0	0	0
8) 8.1 ความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือภายในเตาเผาควัน โดยใช้เครื่อง Landtec			
%CH ₄	0	0	0
%O ₂	18	18	18.4
%CO ₂	0.8	0.3	0.5
% ก๊าซอื่นๆ	81.2	81.0	81.1
8.2 ความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือภายในเตาเผาควัน โดยใช้เครื่อง Oldham			
CO ppm	0	0	0
NO ppm	0	1	0
SO ₂ ppm	0	0.1	0
H ₂ S ppm	0	0	0

รูปแบบเตาเผาระเหยที่ทำการทดลอง Direct Fire

ค่าที่ทำการตรวจวัด	อัตราการป้อน 0.23 ลิตร/นาที			อัตราการป้อน 0.55 ลิตร/นาที			อัตราการป้อน 0.8 ลิตร/นาที			อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที	
	20/2/44	21/2/44	23/2/44	27/2/44	28/2/44	28/2/44	9/2/44	12/2/44	13/2/44	1/3/44	2/3/44
1) ความเร็วก๊าซภายในเส้นท่อนที่ผ่านตัวเตาเผา (m/s)	1.2	0.8	1.1	0.6	1.3	1.0	1.0	0.8	1.3	1.3	1.5
2) อุณหภูมิก๊าซภายในเส้นท่อนที่ผ่านตัวเตาเผา (°C)	38.0	35.2	31.3	32.7	30.8	31.3	32.5	32.8	35.6	31.2	31.1
3) 3.1 ความเข้มข้นของก๊าซภายในเส้นท่อนก่อนเข้าหัวเผาของตัวเตาเผา โดยใช้เครื่อง Landtec											
%CH ₄	47.2	44.5	44.3	43.9	43.7	34.1	47.9	44.6	47.6	42.4	42.4
%O ₂	2.1	2.0	1.8	2.2	2.0	1.8	1.5	2.2	2.3	1.8	2.0
%CO ₂	36.0	35.6	35.3	34.3	35.0	29.0	35.1	34.0	36.6	33.4	33.2
% ก๊าซอื่นๆ	15.4	18.1	18.3	19.6	19.8	34.9	15.6	19.4	13.6	22.0	21.3
3.2 ความเข้มข้นของก๊าซภายในเส้นท่อนก่อนเข้าหัวเผาของตัวเตาเผา โดยใช้เครื่อง Oldham											
CO ppm	6	0	2	6	3	3	3	9	3	3	6
NO ppm	2	0	1	9	0	3	5	1	0	0	0
SO ₂ ppm	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
H ₂ S ppm	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4) 4.1 ความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือหลังการเผาระเหยก่อนผ่านเตาเผาควัน โดยใช้เครื่อง Landtec											
%CH ₄	0.4	0.1	0	1.8	0.1	0.1	0.1	0.6	0.5	0	0.3
%O ₂	4.8	14.3	12.6	12.4	14.7	13.8	14.7	12	11.0	7.5	8.4
%CO ₂	13.7	5.2	6.4	6.1	3.6	5.2	3.0	6.3	7.8	10.9	10.1
% ก๊าซอื่นๆ	81.1	80.4	80	79.8	81.7	80.9	82.1	81.2	80.7	81.4	81.0
4.2 ความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือหลังการเผาระเหยก่อนผ่านเตาเผาควัน โดยใช้เครื่อง Oldham											
CO ppm	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ppm	8	4	6	2	0	4	7	6	2	3	0
SO ₂ ppm	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0.1	1.2	0.1	0	0
H ₂ S ppm	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0

รูปแบบเตาเผาระเหยที่ทำการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ แบทช์ (Batch)

ว/ด/ป ที่ทำการตรวจวัด	20/11/43		23/11/43			28/11/43			12/12/43			จำนวนตัวอย่าง (n)	ความแปรปรวน (S.D)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
T1-อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำชะมูลฝอยก่อนทำการทดลอง	34.2	30	30.8	29.3	29.7	35	34.9	35	35.1	35.1	34.6	11	3	33
T2-อุณหภูมิที่หัวเผาของตัวเตาเผาระเหย	1050	1100	1140	960	1089	1074	1070	1050	1028	1071	1113	11	48	1068
T3-อุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผาระเหย	84	98	99	98.6	98.5	98.2	98.1	99	97	93.8	99.3	11	4	97
T4-อุณหภูมิไอระเหยก่อนผ่านไปยังชุดเผาควัน	290	210	171	59	71.5	203	180	102.1	60.3	52.7	59.7	11	82	133
T5-อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน	380	560	511	600	490	550	490	529.6	474.8	483.2	442.4	11	60	501
T6-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 1	280	400	415	450	410.5	338	308	328.4	329.4	282.8	242.5	11	66	344
T7-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 2 ก่อนปล่อย	210	268	247	229	123	160	170	178.4	193.6	171.2	152.7	11	43	191
สูบลมอากาศ														

รูปแบบเตาเผาระเหยที่ทำการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ แบทช์ (Batch)

ว/ด/ป ที่ทำการตรวจวัด	14/12/43			18/12/43			20/12/43			จำนวนตัวอย่าง (n)	ความแปรปรวน (S.D)	ค่าเฉลี่ย (X)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ												
T1-อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำชะมูลฝอยก่อนทำการทดลอง	29.8	30.7	30.3	30.2	31.4	31.8	32	32.3	32.4	9	1	31
T2-อุณหภูมิที่หัวเผาของตัวเตาเผาระเหย	1110.6	1110.5	1075.3	1125	1047	1120	1116.4	1067.4	1046.7	9	32	1091
T3-อุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผาระเหย	99.2	98.6	98.4	97.2	99.9	97.3	98.6	98.8	96.4	9	1	98
T4-อุณหภูมิไอระเหยก่อนผ่านไปยังชุดเผาควัน	68	71.5	59	64.9	74.7	65.8	68.4	62.8	61.6	9	5	66
T5-อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน	617.2	707.5	630.9	528.6	550.2	543.2	609.8	570.2	561.8	9	56	591
T6-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 1	318.5	338.9	450.4	202.4	314.9	262.7	288	278.7	325.6	9	67	309
T7-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 2 ก่อนปล่อย	115.4	193.5	219	131.1	160	151.8	168.1	185.2	150.9	9	32	164
ผู้บรรยายภาค												

รูปแบบเตาเผาระเหยที่ทำการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ	25/12/43	26/12/43	30/12/43	2/1/44	จำนวนตัวอย่าง (n)	ความแปรปรวน (S.D)	ค่าเฉลี่ย (X)
T1-อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำชะมูลฝอยก่อนทำการทดลอง	28	26.4	39	38.3	4	7	33
T2-อุณหภูมิที่หัวเผาของตัวเตาเผาระเหย	1074.7	1021.7	1107	1010	4	46	1053
T3-อุณหภูมิของน้ำชะมูลฝอยภายในเตาเผาระเหย	73.7	84.7	97.2	100	4	12	89
T4-อุณหภูมิไอระเหยก่อนผ่านไปซึ่งชุดเผาควัน	31.7	30.4	68	59	4	19	47
T5-อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน	527.4	530.5	390	600	4	88	512
T6-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 1	340.8	283.6	157	206	4	81	247
T7-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 2 ก่อนปล่อย	175.3	113.6	126	125	4	27	135
สูบลมอากาศ							

ตารางที่ ก-8 แสดงค่าที่ทำการตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม
รูปแบบเตาเผาขยะที่ทำการทดลอง Direct Fire ที่อัตราป้อนต่างกัน

ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ	อัตราการป้อน 0.23 ลิตร/นาที			อัตราการป้อน 0.55 ลิตร/นาที			อัตราการป้อน 0.8 ลิตร/นาที			อัตราการป้อน 1.0 ลิตร/นาที		จำนวนตัวอย่าง (n)	ความแปรปรวน (S.D)	ค่าเฉลี่ย (X)
	20/2/44	21/2/44	23/2/44	27/2/44	28/2/44	28/2/44	9/2/44	12/2/44	13/2/44	1/3/44	2/3/44			
T1-อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำระเหยก่อนทำการทดลอง	29.5	31.5	34.6	36.2	31.3	34.3	32.5	30.4	31.4	32.2	33.4	11	2	32
T2-อุณหภูมิที่หัวเผาของตัวเตาเผาขยะ	645	782	699	832	945	436	720	850	873	943	741	11	147	770
T3-อุณหภูมิของน้ำระเหยภายในเตาเผาขยะ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
T4-อุณหภูมิไอระเหยก่อนผ่านไปยังชุดเผาควัน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
T5-อุณหภูมิที่หัวเผาของชุดเผาควัน	550	420	474.2	490	600	483.2	511	543.2	528.3	570.6	630.4	11	60	527
T6-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 1	325.6	278.5	288	314.9	450.4	329.4	410.5	450	400	308	328.4	11	63	353
T7-อุณหภูมิภายในปล่องเผาควันจุดที่ 2 ก่อนปล่อย	120	150	153.4	180.3	164.3	247	268	171.2	152.7	203	189	11	44	182
สูบลมอากาศ														

ภาคผนวก ข.
คำวิเคราะห์ทางเคมี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

แบช (Batch)

วัน/เดือน/ปี	COD _{raw} (mg/l)				COD _{conc} (mg/l)				COD _{dis} (mg/l)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
17 พ.ย. 43	4,875	6,375	6,750	6,000	12,000	13,500	12,000	12,500	180	195	-	188		
21 พ.ย. 43	6,703	6,350	5,998	6,350	11,642	11,995	11,642	11,760	706	-	-	706		
24 พ.ย. 43	6,375	5,625	6,000	6,000	7,500	8,250	11,250	9,000	-	750	750	750		
29 พ.ย. 43	6,513	6,170	6,513	6,399	12,341	13,026	12,341	12,569	274	288	302	288		
13 ธ.ค. 43	7,273	6,727	6,000	6,667	9,818	11,273	9,455	10,182	153	153	138	148		
15 ธ.ค. 43	5,455	6,545	6,364	6,121	8,364	8,000	9,091	8,485	-	-	727	727		
19 ธ.ค. 43	6,545	6,364	6,727	6,545	9,455	9,455	8,364	9,091	364	1,455	1,455	1,091		
21 ธ.ค. 43	7,455	7,091	8,000	7,515	10,182	10,182	9,455	9,936	364	1,546	1,091	1,000		
จำนวนตัวอย่าง(n)				8	จำนวนตัวอย่าง(n)				8	จำนวนตัวอย่าง(n)				8
ความแปรปรวน(S.D)				495	ความแปรปรวน(S.D)				1,628	ความแปรปรวน(S.D)				363
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})				6,450	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})				10,440	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})				612

หมายเหตุ ซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาขยะ ; COD_{raw}
 ซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาขยะ ; COD_{conc}
 ซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ระเหยแล้วควมแน่น ; COD_{dis}

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วัน/เดือน/ปี	COD _{raw} (mg/l)				COD _{conc} (mg/l)				COD _{dis} (mg/l)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
3 ม.ค. 44	8,000	6,727	8,545	7,760	69,090	69,096	65,454	65,500	2,181	3,636	2,545	2,800		
10 ม.ค. 44	8,000	5,090	7,272	6,800	65,454	61,818	58,181	62,000	2,909	2,182	1,455	2,200		
16 ม.ค. 44	6,545	7,636	7,273	7,150	61,818	58,182	54,545	58,201	727	1,455	2,182	1,450		
จำนวนตัวอย่าง(n)				3	จำนวนตัวอย่าง(n)				3	จำนวนตัวอย่าง(n)				3
ความแปรปรวน(S.D)				486	ความแปรปรวน(S.D)				3,651	ความแปรปรวน(S.D)				676
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})				7,237	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})				61,900	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})				2,150

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาขยะ ;
 น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาขยะ ;
 น้ำชะมูลฝอยที่ระเหยหลังควบแน่น ;

raw

conc

dis

รูปแบบการทดลอง

Direct Fire

อัตราในการ ป้อนของบีม (ลิตร/นาที)	วัน/เดือน/ปี	ซีโอดีน้ำชะมูลฝอย เข้มข้น _{เฉลี่ย} (COD _{conc.ave}) (mg/l)	ซีโอดีน้ำชะมูลฝอย ที่ความดัน _{เฉลี่ย} (COD _{dis.ave}) (mg/l)
0.23	20 ก.พ. 44	9,697	1,455
	21 ก.พ. 44	9,697	727
	22 ก.พ. 44	10,909	-
0.55	27 ก.พ. 44	9,212	364
	28 ก.พ. 44	11,636	970
	1 มี.ค. 44	16,970	970
0.80	12 ก.พ. 44	17,455	3,394
	13 ก.พ. 44	16,970	3,152
	14 ก.พ. 44	17,576	2,182
1.00	1 มี.ค. 44	13,333	727
	2 มี.ค. 44	11,515	727
	3 มี.ค. 44	12,727	1,212
จำนวนตัวอย่าง(n)		12	12
ความแปรปรวน(S.D)		3,259	1,061
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})		13,141	1,323

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

แบช (Batch)

วัน/เดือน/ปี	NH ₃ -N (mg/l)			Organic-N (mg/l)		
	raw	conc.	dis	raw	conc.	dis
17 พ.ย. 43	3,299	194	2,606	236	28	9
21 พ.ย. 43	2,716	287	683	382	410	-
24 พ.ย. 43	2,471	246	1,747	232	382	55
29 พ.ย. 43	3,856	143	676	519	519	79
13 ธ.ค. 43	3,358	491	655	334	696	96
15 ธ.ค. 43	3,645	655	683	253	696	55
19 ธ.ค. 43	2,996	546	560	259	396	14
21 ธ.ค. 43	2,846	710	819	266	382	27
จำนวนตัวอย่าง(n)	8	8	8	8	8	8
ความแปรปรวน(S.D)	474	219	733	99	213	35
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	3,148	409	1,053	310	439	42

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาระเหย ; raw
 น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาระเหย ; conc
 น้ำชะมูลฝอยที่ระเหยหลังควบแน่น ; dis

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วัน/เดือน/ปี	NH ₃ -N (mg/l)			Organic-N (mg/l)		
	raw	conc.	dis	raw	conc.	dis
3 ม.ค. 44	3,870.00	682.50	218.40	163.80	1,911.00	273.00
10 ม.ค. 44	2,429.70	136.50	-	300.30	1,979.25	-
16 ม.ค. 44	-	273.00	-	-	1,911.00	-
จำนวนตัวอย่าง(n)	2	3	1	2	3	1
ความแปรปรวน(S.D)	1,018	284	-	97	39	-
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	2,100	364	73	155	1,934	91

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการ ; raw
 น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจาก ; conc
 น้ำชะมูลฝอยที่ระเหยหลังควบแน่น ; dis

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Direct Fire

อัตราในการ ป้อนของปี้ม (ลิตร/นาที)	วัน/เดือน/ปี	NH ₃ -N		Org-N	
		conc	dis	conc	dis
0.23	20 ก.พ. 44	2,621	1,147	601	123
	21 ก.พ. 44	2,730	1,283	437	164
	22 ก.พ. 44	2,867	1,283	341	177
0.55	27 ก.พ. 44	3,112	1,638	655	300
	28 ก.พ. 44	3,440	1,092	491	273
	1 มี.ค. 44	3,058	819	382	300
0.80	12 ก.พ. 44	2,566	1,174	246	150
	13 ก.พ. 44	2,798	1,229	410	82
	14 ก.พ. 44	2,321	1,010	512	137
1.00	1 มี.ค. 44	2,048	3,071	546	27
	2 มี.ค. 44	1,093	2,525	1,433	137
จำนวนตัวอย่าง(n)		11	11	11	11
ความแปรปรวน(S.D)		629	693	316	88
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})		2,605	1,479	550	170

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

แบช (Batch)

วัน/เดือน/ปี	pH			Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			VFA (mg/l as CH ₃ COOH)		
	raw	conc.	dis	raw	conc.	dis	raw	conc.	dis
17 พ.ย. 43	8.51	9.67	9.70	2,488	2,013	1,763	3,731	3,019	2,644
21 พ.ย. 43	8.50	9.64	9.48	640	520	-	960	780	-
24 พ.ย. 43	8.63	10.03	9.92	680	1,080	1,000	1,020	1,620	1,500
29 พ.ย. 43	8.36	9.64	9.30	1,080	1,320	720	1,620	1,980	1,080
13 ธ.ค. 43	8.62	9.94	10.44	700	960	280	1,050	1,440	420
15 ธ.ค. 43	8.80	10.16	9.93	680	800	400	1,020	1,200	600
19 ธ.ค. 43	8.64	9.74	10.52	680	920	240	1,020	1,380	360
21 ธ.ค. 43	8.04	9.26	9.57	920	900	280	1,380	1,350	420
จำนวนตัวอย่าง(n)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ความแปรปรวน(S.D)	0	0	0	627	446	568	940	668	852
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	8.51	9.76	9.86	983	1,064	585	1,475	1,596	878

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาระเหย (Raw Leachate ; raw)

น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาระเหย (Concentrate Leachate ; conc)

น้ำชะมูลฝอยที่ระเหยหลังควบแน่น (Distillation Leachate ; dis)

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วัน/เดือน/ปี	pH			Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			VFA (mg/l as CH ₃ COOH)		
	raw	conc.	dis	raw	conc.	dis	raw	conc.	dis
3 ม.ค. 44	8.06	9.11	8.83	760	5,000	260	1,140	7,500	390
10 ม.ค. 44	8.04	9.05	9.20	680	5,240	400	1,020	7,860	600
16 ม.ค. 44	8.36	10.03	9.48	920	5,080	240	1,380	7,620	360
จำนวนตัวอย่าง(n)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ความแปรปรวน(S.D)	0	1	0	122	122	87	183	183	131
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	8	9	9	787	5,107	300	1,180	7,660	450

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาระเหย ;
 น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาระเหย ;
 น้ำชะมูลฝอยที่ระเหยหลังควบแน่น ;

raw

conc

dis

อัตราในการ ป้อนของบ่ม (ลิตร/นาทีก)	วัน/เดือน/ปี	pH		Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)		VFA (mg/l as CH ₃ COOH)	
		conc	dis	conc	dis	conc	dis
0.23	20 ก.พ. 44	8.96	9.54	880	320	1,320	480
	21 ก.พ. 44	9.16	9.46	1,040	310	1,560	465
	22 ก.พ. 44	9.20	9.54	1,160	260	1,740	390
0.55	27 ก.พ. 44	8.66	9.51	620	260	930	390
	28 ก.พ. 44	8.82	9.31	680	180	1,020	270
	1 มี.ค. 44	9.12	9.22	720	300	1,080	450
0.80	12 ก.พ. 44	8.87	9.24	980	380	1,470	570
	13 ก.พ. 44	8.89	9.19	1,100	460	1,650	690
	14 ก.พ. 44	9.01	8.90	1,360	840	2,040	730
1.00	1 มี.ค. 44	9.40	9.45	1,300	290	1,950	435
	2 มี.ค. 44	9.36	9.14	1,400	240	2,100	360
	3 มี.ค. 44	9.16	9.46	1,570	260	2,355	390
จำนวนตัวอย่าง(n)		12	12	12	12	12	12
ความแปรปรวน(S.D)		0	0	306	172	458	135
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})		9	9	1,068	342	1,601	468

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

แบช (Batch)

วัน/เดือน/ปี	SS (mg/l)						FS (mg/l)						TVS (mg/l)										
	raw			conc			raw			conc			raw			conc							
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย					
29 พ.ย.43	102	42	72	524	432	478	82	34	58	452	356	404	20	8	14	72	76	74					
13 ธ.ค.43	-	20	20	140	150	145	-	16	16	110	120	115	-	4	4	30	30	30					
15 ธ.ค.43	240	280	260	240	1,080	660	-	-	-	-	90	90	-	-	-	-	990	990					
19 ธ.ค.43	36	52	44	100	124	112	-	-	-	8	12	10	-	-	-	92	112	102					
21 ธ.ค.43	80	28	54	100	140	120	-	-	-	-	26	28	-	-	-	-	112	112					
จำนวนตัวอย่าง(n)			5	จำนวนตัวอย่าง(n)			5	จำนวนตัวอย่าง(n)			2	จำนวนตัวอย่าง(n)			5	จำนวนตัวอย่าง(n)			2	จำนวนตัวอย่าง(n)			5
ความแปรปรวน(S.D)			97	ความแปรปรวน(S.D)			251	ความแปรปรวน(S.D)			30	ความแปรปรวน(S.D)			159	ความแปรปรวน(S.D)			7	ความแปรปรวน(S.D)			408
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			90	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			303	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			15	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			129	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			4	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			262

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาระเหย ;

raw

น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาระเหย ;

conc

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง

Fire Tube

เดินระบบแบบ

ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วัน/เดือน/ปี	SS (mg/l)						FS (mg/l)						TVS (mg/l)								
	raw			conc			raw			conc			raw			conc					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย			
3 ม.ค. 44	145	140	143	1,630	3,460	2,245	115	110	113	980	3,560	2,270	30	30	30	50	160	50			
10 ม.ค. 44	125	160	113	1,840	2,880	2,360	93	150	122	780	1,460	1,120	32	10	21	1,060	1,420	1,240			
16 ม.ค. 44	130	150	140	1,720	2,300	2,010	85	96	91	1,300	2,120	1,710	45	54	50	420	180	300			
จำนวนตัวอย่าง(n)	3			จำนวนตัวอย่าง(n)			3			จำนวนตัวอย่าง(n)			3			จำนวนตัวอย่าง(n)			3		
ความแปรปรวน(S.D)	17			ความแปรปรวน(S.D)			178			ความแปรปรวน(S.D)			16			ความแปรปรวน(S.D)			575		
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	132			ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			2,205			ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			108			ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			1,700		

หมายเหตุ น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นก่อนที่จะทำการเผาขยะ ; raw

น้ำชะมูลฝอยเข้มข้นที่เหลือจากการเผาขยะ ; conc

น้ำชะมูลฝอยที่ระเหยหลังควบแน่น ; dis

รูปแบบการทดลอง

Direct Fire

ประเภทน้ำตัวอย่าง

น้ำเสียเข้มข้นที่เหลือจากการเผาขยะ (Concentrate Leachate)

อัตราในการ ป้อนของปัม (ลิตร/นาท)	วันที่ทำการ เก็บน้ำตัวอย่าง	ตัวอย่าง ที่	SS	FS	TVS
1.00	1 มี.ค. 44	1	235	35	200
		2	165	15	150
	2 มี.ค. 44	1	580	240	340
		2	370	170	200
0.80	12 ก.พ. 44	1	400	160	240
		2	330	120	210
	13 ก.พ. 44	1	90	-	-
		2	260	70	190
	14 ก.พ. 44	1	330	100	230
		2	300	70	230
0.55	27 ก.พ. 44	1	325	140	185
		2	285	145	140
	28 ก.พ. 44	1	160	70	90
		2	160	65	95
	1 มี.ค. 44	1	140	35	105
0.23	20 ก.พ. 44	1	570	230	340
		2	380	144	236
	21 ก.พ. 44	1	304	116	188
		2	316	132	184
	22 ก.พ. 44	1	204	52	152
		2	220	68	152
จำนวนตัวอย่าง(n)			21	20	20
ความแปรปรวน(S.D)			127	62	67
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})			292	104	184

ระยะเวลาและอัตราการเผาผลาญน้ำชะมูลฝอย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ แบบช (Batch)

วันที่ทำการ เก็บน้ำตัวอย่าง	เวลาเริ่ม เดินระบบ (นาฬิกา)	เวลา จุดติดเตา (นาฬิกา)	เวลาหยุด ระบบ (นาฬิกา)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	ปริมาณ น้ำใช้ ทดลอง (ลิตร)	อัตราการ ระเหย (ลิตร/ชม.)
16 พ.ย 43	15.00	16.25	17.00	0.58	8.00	13.70
20 พ.ย 43	10.00	12.00	16.30	4.50	31.00	6.90
23 พ.ย 43	11.00	13.00	17.00	4.00	35.16	8.80
28 พ.ย 43	10.30	12.30	16.30	4.00	55.67	13.90
12 ธ.ค 43	10.00	10.00	16.00	6.00	30.00	5.00
14 ธ.ค 43	11.00	11.00	16.00	5.00	10.00	2.00
18 ธ.ค 43	6.00	8.30	16.00	7.50	54.00	7.20
20 ธ.ค 43	6.00	7.45	15.45	8.00	51.06	6.40
จำนวนตัวอย่าง(n)						8.00
ความแปรปรวน(S.D)						4.09
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})						7.99

หมายเหตุ ในการทดลองวันที่ 16 พฤศจิกายน 2543 เพื่อหาปริมาณน้ำที่บรรจุภายในกรวยเตา จนถึงระดับที่กำหนดให้ความร้อนพบว่าต้องควบคุมระดับปริมาณน้ำให้อยู่ที่ 65 ลิตร ภายในเตาเผาระเหย จึงจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากท่อไปยังผิวน้ำได้ดี

ตารางที่ ค-2 ระยะเวลาและอัตราในการเผาระเหยน้ำชะมูลฝอย

รูปแบบการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วันที่ทำการทดลอง 28 – 31 ธันวาคม 2543, 1 – 2 มกราคม 2544

วัน/เดือน/ปี ที่ระดับน้ำ เริ่มต้น	เวลาเริ่มเดิน ระบบ (นาฬิกา)	ระดับน้ำ เริ่มต้น (ลิตร)	วัน/เดือน/ปี ที่ระดับน้ำ ลดมา	เวลา สุดท้าย (นาฬิกา)	ระดับน้ำ สุดท้าย (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	ปริมาณน้ำ ที่ใช้ทดลอง (ลิตร)	อัตราการ เผาระเหย (ลิตร/ชม.)
28 ธ.ค 43	14.45	150	29 ธ.ค 43	11.45	40	21.00	110	5.238
29 ธ.ค 43	11.45	150	30 ธ.ค 43	12.10	40	24.42	110	4.505
30 ธ.ค 43	12.10	150	31 ธ.ค 43	10.15	45	21.92	105	4.791
31 ธ.ค 43	10.15	150	1 ม.ค 44	7.45	45	21.50	105	4.88
1 ม.ค 44	7.45	150	2 ม.ค 44	11.45	40	28.00	110	3.93
2 ม.ค 44	11.45	150	2 ม.ค 44	17.15	120	5.50	30	5.45
จำนวนตัวอย่าง(ก)								6
ความแปรปรวน(S.D)								1
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})								5

หมายเหตุ วันที่ 4 มกราคม 2544 ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าดับ
ทำให้เครื่องเป่าอากาศ (Blower) สำหรับดูดก๊าซ LFG ไม่สามารถทำงานได้

ตารางที่ ค-3 ระยะเวลาและอัตราในการเผาไหม้ขยะมูลฝอย

รูปแบบการทดลอง Fire Tube
 เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)
 วันที่ทำการทดลอง 3 – 8 มกราคม 2544

วัน/เดือน/ปี ที่ระดับน้ำ เริ่มต้น	เวลาเริ่มเดิน ระบบ (นาฬิกา)	ระดับน้ำ เริ่มต้น (ลิตร)	วัน/เดือน/ปี ที่ระดับน้ำ ลดมา	เวลา สุดท้าย (นาฬิกา)	ระดับน้ำ สุดท้าย (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	ปริมาณน้ำ ที่ใช้ทดลอง (ลิตร)	อัตราการ เผาไหม้ (ลิตร/ชม.)
3 ม.ค 44	2.00	153	3 ม.ค 44	14.30	40	12.50	113	9.41
3 ม.ค 44	14.30	153	4 ม.ค 44	2.30	32	12.00	121	10.08
5 ม.ค 44	15.00	150	6 ม.ค 44	18.00	40	27.00	110	4.07
6 ม.ค 44	18.00	150	7 ม.ค 44	18.00	45	24.00	105	4.38
7 ม.ค 44	18.00	150	8 ม.ค 44	18.00	0	24.00	150	6.25
จำนวนตัวอย่าง(n)								5
ความแปรปรวน(S.D)								3
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})								7

หมายเหตุ วันที่ 4 มกราคม 2544 ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าดับ
 ทำให้เครื่องเป่าอากาศ (Blower) สำหรับดูดก๊าซ LFG ไม่สามารถทำงานได้

ตารางที่ ค-4 ระยะเวลาและอัตราในการเผาระเหยน้ำชะมูลฝอย

รูปแบบการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วันที่ทำการทดลอง 11 – 15 มกราคม 2544

วัน/เดือน/ปี ที่ระดับน้ำ เริ่มต้น	เวลาเริ่มเดิน ระบบ (นาฬิกา)	ระดับน้ำ เริ่มต้น (ลิตร)	วัน/เดือน/ปี ที่ระดับน้ำ ลดมา	เวลา สุดท้าย (นาฬิกา)	ระดับน้ำ สุดท้าย (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	ปริมาณน้ำ ที่ใช้ทดลอง (ลิตร)	อัตราการ เผาระเหย (ลิตร/ชม.)
11 ม.ค 44	8.00	150	12 ม.ค 44	8.00	50	19.50	113	5.13
12 ม.ค 44	8.00	150	13 ม.ค 44	11.00	40	27.00	121	4.07
13 ม.ค 44	11.00	150	14 ม.ค 44	7.00	30	20.00	110	6.00
14 ม.ค 44	7.00	150	15 ม.ค 44	11.00	50	28.00	105	3.57
15 ม.ค 44	11.00	150	16 ม.ค 44	17.00	50	30.00	150	3.33
จำนวนตัวอย่าง(n)								5
ความแปรปรวน(S.D)								1
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})								4

ตารางที่ ค-5 ระยะเวลาและอัตราในการเผาไหม้ของน้ำชะมูลฝอย

รูปแบบการทดลอง Direct Fire

อัตราการ ป้อนของปี้ม (ลิตร/นาที่)	วันที่ทำการ เก็บน้ำตัวอย่าง	เวลา เริ่มเดินระบบ (นาฬิกา)	เวลา หยุดเดินระบบ (นาฬิกา)	ระยะเวลาทั้งหมด ที่ใช้ในการ เดินระบบ	ปริมาณ น้ำใช้ ทดลอง (ลิตร)	อัตราการ ระเหย (ลิตร/ชม.)
0.23	20 ก.พ 44	11.45	17.15	5 ชั่วโมง 30 นาที	50	9.09
	21 ก.พ 44	13.25	19.00	5 ชั่วโมง 30 นาที	50	9.09
	22 ก.พ 44	10.30	16.16	5 ชั่วโมง 45 นาที	50	8.69
0.55	27 ก.พ 44	16.05	20.12	4 ชั่วโมง 7 นาที	50	12.15
	28 ก.พ 44	9.35	13.05	3 ชั่วโมง 30 นาที	50	14.28
	1 มี.ค 44	13.10	16.30	3 ชั่วโมง 20 นาที	50	15.00
0.8	12 ก.พ 44	14.50	18.30	3 ชั่วโมง 40 นาที	50	13.66
	13 ก.พ 44	10.30	14.30	4 ชั่วโมง	50	12.50
	14 ก.พ 44	14.40	18.00	3 ชั่วโมง 20 นาที	50	15.02
1.00	28 ก.พ 44	16.25	19.10	2 ชั่วโมง 45 นาที	50	18.18
	1 มี.ค 44	9.00	11.10	3 ชั่วโมง 20 นาที	50	15.00
	2 มี.ค 44	12.40	16.00	3 ชั่วโมง 20 นาที	50	15.00
จำนวนตัวอย่าง(n)						12
ความแปรปรวน(S.D)						3
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})						13

ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ แบบช (Batch)

ปริมาณ น้ำใช้ ทดลอง (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	H_v (กิโลแคลอรี)	V_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{Loss} (ลบ.ม มีเทน)	V_{Loss} (ลบ.ม มีเทน) <u>(ลิตร น้ำชะมูลฝอย)</u>
8.00	0.583	4,880	1.95	0.57	1.38	0.17
31.00	4.50	18,910	15.07	2.19	12.91	0.42
35.16	4.00	21,448	13.39	2.49	10.90	0.31
55.67	4.00	33,959	13.39	3.95	9.44	0.17
30.00	6.00	18,300	20.09	2.13	17.96	0.60
10.00	5.00	6,100	16.74	0.71	16.03	1.60
54.00	7.50	32,940	25.11	3.83	21.28	0.39
51.06	8.00	31,147	26.78	3.62	23.16	0.45
จำนวนตัวอย่าง(n)						8.00
ความแปรปรวน(S.D)						0.46
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})						0.51

หมายเหตุ ตัวอย่างการคำนวณค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในภาคผนวก ข

รูปแบบการทดลอง Fire Tube

เดินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)

วันที่ทำการทดลอง 28 – 31 ธันวาคม 2543, 1 – 2 มกราคม 2544

ปริมาณ น้ำใช้ ทดลอง (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	H_v (กิโลแคลอรี)	V'_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{LOSS} (ลบ.ม มีเทน)	V'_{LOSS} (ลบ.ม มีเทน) (ลิตร น้ำชะมูลฝอย)
110	21.00	67,100	66.96	7.8	59.16	0.538
110	24.416	67,100	81.745	7.8	73.945	0.672
105	21.916	64,050	73.375	7.45	65.925	0.628
105	21.50	64,050	71.982	7.45	64.532	0.614
110	28.00	67,100	93.744	7.8	85.944	0.781
30	5.50	18,300	18.414	2.13	16.284	0.5428
จำนวนตัวอย่าง(n)						6.00
ความแปรปรวน(S.D)						0.09
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})						0.63

รูปแบบการทดลอง Fire Tube
 เติกระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)
 วันที่ทำการทดลอง 3 – 8 มกราคม 2544

ปริมาณน้ำใช้ทดลอง (ลิตร)	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (ชม.)	H_v (กิโลแคลอรี)	V'_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{LOSS} (ลบ.ม มีเทน)	V'_{LOSS} (ลบ.ม มีเทน) (ลิตร น้ำชะมูลฝอย)
40	12.50	68,930	41.85	8.015	33.835	0.299
32	12.00	73,810	40.176	8.582	31.594	0.261
40	27.00	67,100	90.396	7.802	82.594	0.751
45	24.00	64,050	80.352	7.447	72.905	0.694
0	24.00	91,500	80.352	10.64	69.712	0.465
จำนวนตัวอย่าง(n)						5.00
ความแปรปรวน(S.D)						0.22
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})						0.49

หมายเหตุ ตัวอย่างการคำนวณค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในภาคผนวก ข

รูปแบบการทดลอง Fire Tube
 เตินระบบแบบ ต่อเนื่อง 5 วัน (Continuous)
 วันที่ทำการทดลอง 11 – 15 มกราคม 2544

ปริมาณ น้ำใช้ ทดลอง (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	H_v (กิโลแคลอรี)	V'_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{LOSS} (ลบ.ม มีเทน)	V'_{LOSS} (ลบ.ม มีเทน) (ลิตร น้ำชะมูลฝอย)
100	19.50	61,000	65.286	7.093	58.193	0.582
110	27.00	67,100	90.396	7.8	82.596	0.751
120	20.00	73,200	66.96	8.51	58.45	0.487
100	28.00	61,000	93.744	7.09	86.654	0.866
100	30.00	61,000	100.44	7.09	93.35	0.933
จำนวนตัวอย่าง(n)						5.00
ความแปรปรวน(S.D)						0.19
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})						0.72

หมายเหตุ ตัวอย่างการคำนวณค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในภาคผนวก ข

รูปแบบการทดลอง Direct Fire

อัตราการ ป้อนของบั้ง (ลิตร/นาทีก)	ปริมาณ น้ำใช้ ทดลอง (ลิตร)	ระยะเวลา ที่ใช้ในการ ทดลอง (ชม.)	H_v (กิโลแคลอรี)	V'_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{CH_4} (ลบ.ม มีเทน)	V_{Loss} (ลบ.ม มีเทน)	V'_{Loss} (ลบ.ม มีเทน) (ลิตร น้ำชะมูลฝอย)
0.23	50	5.5	30,500	18.414	3.546	14.868	0.297
	50	5.5	30,500	18.414	3.546	14.868	0.297
	50	5.75	30,500	19.251	3.546	15.705	0.314
0.55	50	4.067	30,500	13.616	3.546	10.07	0.2014
	50	3.5	30,500	11.718	3.546	8.172	0.1634
	50	3.33	30,500	11.15	3.546	7.604	0.152
0.80	50	3.67	30,500	12.287	3.546	8.741	0.175
	50	4.0	30,500	13.392	3.546	9.846	0.197
	50	3.33	30,500	11.15	3.546	7.604	0.152
1.00	50	2.75	30,500	9.207	3.546	5.661	0.113
	50	3.33	30,500	11.15	3.546	7.604	0.152
	50	3.33	30,500	11.15	3.546	7.604	0.152
จำนวนตัวอย่าง(n)							12.00
ความแปรปรวน(S.D)							0.07
ค่าเฉลี่ย (\bar{x})							0.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดก๊าซหรือสาร	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวัด
1.คาร์บอนมอนอกไซด์	เฉลี่ย 1 ชั่วโมงไม่เกิน 30 สนล. (34.2 มก./ม. ³) เฉลี่ย 8 ชั่วโมงไม่เกิน 9 สนล. (10.26 มก./ม. ³)	Non-dispersive Infrared Detection
2.ไนโตรเจนไดออกไซด์	เฉลี่ย 1 ชั่วโมงไม่เกิน 0.17 สนล.(0.32 มก./ม. ³)	Chemiluminescence
3.โอโซน	เฉลี่ย 1 ชั่วโมงไม่เกิน 0.10 สนล.(0.20 มก./ม. ³)	Chemiluminescence
4.ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ *	เฉลี่ย 1 ชั่วโมงไม่เกิน 0.30 สนล.(780 มคก./ม. ³) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.12 สนล.(0.30 มก./ม. ³) เฉลี่ย 1 ปีไม่เกิน 0.04 สนล.(0.10 มก./ม. ³)	UV-Fluorescence Pararosaniline
5.ตะกั่ว	เฉลี่ย 1 เดือนไม่เกิน 1.5 มคก./ม. ³	Atomic Absorption Spectrometer
6.ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.12 สนล. เฉลี่ย 1 ปีไม่เกิน 0.05 มก./ม. ³	Gravimetric
7.ฝุ่นละอองรวม	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.33 สนล. เฉลี่ย 1 ปีไม่เกิน 0.10 มก./ม. ³	Gravimetric

ทั้งนี้ คำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซเทียบกับที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
ค่าเฉลี่ย 1 ปี เป็นค่ามัธยฐานเรขาคณิต (geometric mean)

*เฉพาะพื้นที่ที่กำหนดในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ต้องไม่เกิน 0.50 สนล. (1,300 มคก./ม.³)

ที่มา : ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 และฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2538)

เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน

ข้อ 1 อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารแต่ละชนิดเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้

ลำดับที่	ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
1	ฝุ่นละออง	หม้อไอน้ำที่เชื้อเพลิง ดังนี้ น้ำมันเตา ถ่านหิน เชื้อเพลิงอื่นๆ การถลุง หล่อหลอม รีดตีงและ/หรือ ผลิตเหล็กกล้าอลูมิเนียม การผลิตทั่วไป	300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2	พลวง (Antimony)	การผลิตทั่วไป	20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3	สารหนู (Arsenic)	การผลิตทั่วไป	20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4	ทองแดง (Copper)	การหลอมหรือการถลุง	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
5	ตะกั่ว (Lead)	การผลิตทั่วไป	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
6	คลอรีน (Chlorine)	การผลิตทั่วไป	30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
7	ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride)	การผลิตทั่วไป	200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
8	ปรอท (Mercury)	การผลิตทั่วไป	3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
9	คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)	การผลิตทั่วไป	100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 870 ส่วนในล้านส่วน
10	กรดกำมะถัน (Sulfuric acid)	การผลิตทั่วไป	100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 25 ส่วนในล้านส่วน
11	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide)	การผลิตทั่วไป	140 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 100 ส่วนในล้านส่วน
12	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide)	การผลิตกรดซัลฟูริก การเผาไหม้ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง	1300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 500 ส่วนในล้านส่วน 1,250 ส่วนในล้านส่วน (อากาศส่วนเกินร้อยละ 20)
13	ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen)	หม้อไอน้ำที่เชื้อเพลิง ดังนี้ ถ่านหิน เชื้อเพลิงอื่นๆ	(วัดในรูปไนโตรเจนไดออกไซด์) 940 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 500 ส่วนในล้านส่วน 470 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 250 ส่วนในล้านส่วน

ข้อ 1 อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่าปริมาณของสารแต่ละชนิดเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้ (ต่อ)

ลำดับที่	ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ
14	ไซลีน (Xylene)	การผลิตทั่วไป	870 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 200 ส่วนในล้านส่วน
15	ครีซอล (Cresol)	การผลิตทั่วไป	22 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 5 ส่วนในล้านส่วน

ข้อ 2 การวัดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานให้วัดอากาศที่ระบายออกจากปล่องในขณะที่ประกอบกิจการโรงงาน ในกรณีที่ไม่มีปล่องให้วัดช่องระบายอากาศซึ่งพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าน่าจะมีปริมาณสารเจือปนระบายออกมากที่สุด

ข้อ 3 ระดับค่าปริมาณของสารแต่ละชนิดที่เจือปนในอากาศให้คำนวณเทียบที่ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิองศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5.5-9.0	
2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	มก./ลิตร	ไม่เกิน 3,000 หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มก./ลิตร	น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงาน ลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็มมากกว่า 2,000 มก./ลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มก./ลิตร
3) สารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ลิตร	ไม่เกิน 50 หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มก./ลิตร	
4) โลหะหนัก			
4.1 ปรอท (Mercury)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.005	
4.2 ซีเลเนียม (Selenium)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.02	
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.03	
4.4 ตะกั่ว (Lead)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.2	
4.5 สารหนู (Arsenic)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.25	
4.6 โครเมียม (Chromium)			
Hexavalent Chromium	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.25	
Trivalent Chromium	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.75	
4.7 แบเรียม (Barium)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 1.0	
4.8 นิกเกิล (Nickel)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 1.0	
4.9 ทองแดง (Copper)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 2.0	
4.10 สังกะสี (Zinc)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 5.0	
4.11 แมงกานีส (Manganese)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 5.0	
5) ซัลไฟด์ (Sulphide)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 1.0	คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)

ลักษณะน้ำทิ้ง	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
6) ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 0.2	คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN)
7) ฟอรัลดีไฮด์ (Formuldehyde)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 1.0	
8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 1.0	
9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	มก./ลิตร	ไม่มากกว่า 1.0	
10) สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	มก./ลิตร	ต้องไม่มี	
11) อุณหภูมิ	C	ไม่มากกว่า 40	
12) สี	-	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	
13) กลิ่น	-	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	
14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)	มก./ลิตร	ไม่เกิน 5 หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มก./ลิตร	
15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	มก./ลิตร	ไม่เกิน 20 หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มก./ลิตร	ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเวลา 5 วัน
16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	มก./ลิตร	ไม่เกิน 100 หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มก./ลิตร	
17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	มก./ลิตร	ไม่เกิน 120 หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มก./ลิตร	

ที่มา : ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

การคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรน้ำชะมูลฝอย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หาปริมาณก๊าซที่ไหลในเส้นท่อ

กำหนด

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่หน้าตัดท่อ 2 นิ้ว (A)} &= 0.002 \quad \text{m}^2 \\
 \text{ความเร็วเฉลี่ยของก๊าซ LFG ภายในเส้นท่อ (v)} &= 0.93 \quad \text{m/s} \\
 \text{ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทนใน LFG} &= 50\% \text{ ของปริมาณ LFG} \\
 \text{อัตราก๊าซ LFG ในเส้นท่อ (Q}_{LFG}\text{)} &= v(\text{m/s}) \times A \text{ (m}^2\text{)} \\
 &= 0.93 \times 0.002 \\
 &= 0.00186 \quad \text{m}^3/\text{s} \\
 &= 6.696 \quad \text{m}^3/\text{hr} \\
 \text{อัตราก๊าซมีเทนในเส้นท่อ (Q}_{CH_4}\text{)} &= 0.5 \times Q_{LFG} \\
 &= 0.5 \times 6.696 \\
 &= 3.348 \quad \text{m}^3/\text{hr}
 \end{aligned}$$

หาค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ทั้งหมด ที่ต้องใช้จริงและที่สูญเสียในการเผาขยะน้ำชะมูลฝอย

กำหนด

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีเทน} &= 8.6 \quad \text{kcal/l CH}_4 \\
 \text{(Heating value of methane gas ; H}_{CH_4}\text{)} & \\
 \text{ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำชะมูลฝอย} &= 610 \quad \text{kcal/l} \\
 \text{ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการเผาขยะ} &= \text{v ลิตร} \\
 \text{พลังงานความร้อนที่ต้องการในการเผาขยะน้ำชะมูลฝอย (H}_v\text{)} & \\
 &= 610 \times v \quad \text{kcal} \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ทั้งหมด (V'}_{CH_4}\text{)} &= \frac{Q_{CH_4} \text{ (m}^3\text{CH}_4\text{)} \times t \text{ (hr)}}{\text{hr}} \\
 &= 3.348 \text{ t} \quad \text{m}^3\text{CH}_4 \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้จริงในการเผาขยะ (V}_{CH_4}\text{)} &= \frac{H_v}{(8.6 \times 1000)} \\
 &= \frac{610w}{(8.6 \times 1000)} \quad \text{m}^3\text{CH}_4 \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสีย (V}_{Loss}\text{)} &= V'_{CH_4} - V_{CH_4}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง การคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ทั้งหมด (V'_{CH_4}) และที่สูญเสีย (V_{CH_4})

รูปแบบการทดลอง Fire Tube
 เติระบบแบบ แบบช (Batch)
 วันที่ทำการทดลอง 16 พฤศจิกายน 2543
 17

พลังงานความร้อนที่ต้องการในการเผาไหม้น้ำอะลูมิเนียม (H_v)

$$= 610 \text{ v} \quad \text{kcal}$$

$$= 610 \times 8 \quad \text{kcal}$$

$$= 4,880 \quad \text{kcal}$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ต้องใช้จริงในการเผาไหม้

$$(V_{CH_4}) = \frac{H_v}{8.6 \times 1,000}$$

$$= \frac{4,880}{8.6 \times 1,000}$$

$$= 0.567 \quad \text{m}^3\text{CH}_4$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ทั้งหมด

$$(V'_{CH_4}) = 3.348 \quad \text{t}$$

$$= 3.348 (0.583)$$

$$= 1.95 \quad \text{m}^3\text{CH}_4$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสีย

$$(V_{Loss}) = V'_{CH_4} - V_{CH_4} \quad \text{m}^3\text{CH}_4$$

$$= 1.95 - 0.567 \quad \text{m}^3\text{CH}_4$$

$$= 1.383$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรปริมาณน้ำอะลูมิเนียมที่ทำกรเผาไหม้ (V'_{Loss})

$$= V_{Loss} / V$$

$$= 1.383/8$$

$$= 0.173 \quad \text{m}^3\text{CH}_4 / \text{l leachate}$$

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการทดลอง Direct Fire
 กำหนด อัตราในการป้อนของปี้ม 0.23 ลิตร/นาที
 ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดลอง 50 ลิตร
 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 5.5 ชม.

พลังงานความร้อนที่ต้องการในการเผาไหม้น้ำชะมูลฝอย 50 ลิตร

$$\begin{aligned} (H_v) &= 610 \text{ v} && \text{kcal} \\ &= 610 \times 50 && \text{kcal} \\ &= 30,500 && \text{kcal} \end{aligned}$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ต้องใช้จริงในการเผาไหม้น้ำชะมูลฝอย 50 ลิตร

$$\begin{aligned} (V_{CH_4}) &= \frac{H_v}{8.6 \times 1000} \\ &= \frac{30,500}{8.6 \times 1000} \\ &= 3.546 \text{ m}^3\text{CH}_4 \\ &= (7.09 \text{ m}^3 \text{ LFG}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ทั้งหมด } (V'_{CH_4}) &= 3.348 \text{ t} && \text{m}^3\text{CH}_4 \\ &= 3.348 (5.5) \\ &= 18.414 && \text{m}^3\text{CH}_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสีย } (V_{Loss}) &= V'_{CH_4} - V_{CH_4} \\ &= 18.414 - 3.546 \\ &= 14.868 && \text{m}^3\text{CH}_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่สูญเสียต่อลิตรปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ทำการเผาไหม้ } (V'_{Loss}) &= V_{Loss} / V \\ &= 14.868 / 50 \\ &= 0.297 && \text{m}^3\text{CH}_4 / \text{leachate} \end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ธิดารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล เกิดวันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ.2517 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานครสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย