

การเผาไหม้และมลพิษในเตาเผาขยะที่มีออกซิเจนเสริม
COMBUSTIONS AND EMISSION IN AN OXYGEN-ENRICHED
INCINERATOR

ศรีวิชัย สู้สุข
SRIWICHAI SUSUK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-060-127

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเผาไหม้และมลพิษในเตาเผาขยะที่มีออกซิเจนเสริม

COMBUSTIONS AND EMISSION IN AN OXYGEN-ENRICHED
INCINERATOR



ศรีวิชัย สู้สุข

SRIWICHAI SUSUK

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 77978
วัน,เดือน,ปี 12 ก.พ. 2551

b. 11880028
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-060-127

**COMBUSTIONS AND EMISSION IN AN OXYGEN-ENRICHED
INCINERATOR**

SRIWICHAI SUSUK

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

KMITL-2007-EN-M-060-127


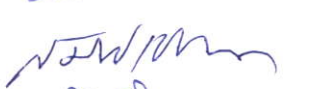
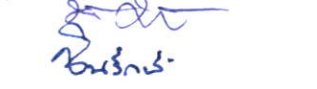


COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเผาไหม้และมลพิษในเตาเผาขยะที่มีออกซิเจนเสริม
Combustion and Emission in an Oxygen-Enriched Incinerator
นักศึกษา นายศรีวิชัย สุธูสุข
รหัสประจำตัว 45060611
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	
ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์	
ผศ.ดร.สมิทธิ เอี่ยมสอาด	
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	
รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 9 ตุลาคม 2550 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๙.....เดือน.....ตุลาคม.....พ.ศ.....๒๕๕๐.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเผาไหม้และมลพิษในเตาเผาขยะที่มีออกซิเจนเสริม
ชื่อนักศึกษา	นายศรีวิชัย สุ่สุข
รหัสนักศึกษา	45060611
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการเผาไหม้และมลพิษที่เกิดขึ้นในเตาเผาขยะที่มีออกซิเจนเสริม โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนด้วยวิธีการฉีดออกซิเจนบริสุทธิ์ผสมกับอากาศ ซึ่งมีออกซิเจน 21% (อากาศ) เป็น 21.86% (1 ลิตรต่อนาที), 22.71% (2 ลิตรต่อนาที), 23.57% (3 ลิตรต่อนาที), 24.42% (4 ลิตรต่อนาที) และ 25.28%(5 ลิตรต่อนาที) ตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเตาเผา มลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม(วัดค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์) ศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้และอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นด้วยอัตราการป้อนเชื้อเพลิง(ก๊าซปริโตเลียมเหลว)คงที่ 0.1777 กิโลกรัมต่อนาที เเผาขยะน้ำหนัก 640 กรัม ใช้เวลาเผาไหม้ 7.5 นาที หลังการเผาไหม้ พบว่าอัตราการเผาไหม้สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากขึ้นต้นทุนการเผาไหม้ต่ำที่สุด อยู่ที่ออกซิเจน 22.71% (2 ลิตรต่อนาที) ในขณะที่ก๊าซไอเสียที่จุดนี้คือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ 73.4 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10.83% ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 89.4 % และอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ปล่อยทางออกเท่ากับ 389 องศาเซลเซียส

Thesis Title	Combustion and Emission in an Oxygen-Enriched Incinerator
Student	Mr.Sriwichai Susuk
Student ID.	45060611
Degreee	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Chinaruk Thianpong

ABSTRACT

This thesis presents combustion and emission in an oxygen enriched incinerator by injecting pure oxygen into the oxidizer stream. The oxygen enrichment can be achieved from 21% up to 21.86% (1liter/min), 22.71% (2 liter/min), 23.57%, (3 liter/min), 24.42% (4liter/min) and 25.28% (5liter/min) respectively. This paper studies the heat energy transfer to waste, emission (CO and CO₂), combustion efficiency and flue gas temperature at a certain fuel (LPG) flow rate 0.1777 kg/min and a certain amount of waste 640 g by incinerator operate 7.5 minutes. The results indicate that the combustion rate increased when the percentage of oxygen were added up. The experiment shows the optimum cost at 22.71%O₂(2 liter/min) with 73.4 ppm CO, 10.83% CO₂, combustion efficiency 89.4% and average flue gas temperature 389 Celsius.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำสั่งสอนให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาและความกรุณาของ รศ.ดร.ชินรักษ์ เขียรพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ แสง เกิดประทุม ที่ให้คำปรึกษาด้านเคมีเทคนิค ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์คนนี้ ขอขอบพระคุณยิ่ง

ขอขอบคุณบิดา มารดาและญาติ ๆ ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ เลี้ยงดูและคอยอบรมสั่งสอนให้ผู้วิจัยก้าวมาถึงวันนี้

ขอขอบคุณพนักงานสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดีตลอดมา ขอขอบคุณรุ่นน้องปริญญาตรีและปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ลงแรงช่วยเหลือในการทดลอง

ขอแสดงความขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ทุน T.A.

ขอแสดงความขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนภายใต้โครงการภาคีบัณฑิต

และท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ พระอาจารย์ชาตรีที่เฝ้าอำนวยการสถานที่พิมพ์วิทยานิพนธ์ที่วัดแสงสามัคคีธรรม คลองห้า คลองหลวง ปทุมธานี

ศรีวิชัย คู่สุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการเผาไหม้.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 พื้นฐานการคำนวณการเผาไหม้ของก๊าซเผาไหม้.....	4
2.2.1 ค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิง (LHV).....	5
2.2.2 ปริมาณของ CO ₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง.....	5
2.2.3 ปริมาณของ N ₂ ในก๊าซไอเสีย.....	6
2.2.4 ปริมาณของอากาศต่อก๊าซเชื้อเพลิง.....	6
2.3 การคำนวณหาค่าเอนทัลปีของก๊าซไอเสีย(Enthalpy calculation of flue gas).....	6
2.3.1 การคำนวณหาค่าเอนทัลปี(Enthalpy).....	6
2.4 การคำนวณสมดุลพลังงานความร้อน(Heat balance calculation).....	8
2.5 การคำนวณสมดุลความร้อนของเตาเผาที่มีการสูญเสียความร้อน (Heat balance calculation with heat loss).....	9
2.5.1 การคำนวณการสูญเสียความร้อนที่ผนัง (Wall loss calculation).....	9
2.5.1.1 การสูญเสียที่ผนังโดยการแผ่รังสี.....	9
2.5.1.2 การสูญเสียที่ผนังโดยการพาความร้อน.....	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 ผลรวมการสูญเสียความร้อนที่ผนัง.....	9
2.5.3 การคำนวณสมดุลความร้อน โดยคิดการสูญเสียความร้อนที่ผนัง (Heat balance calculation including wall loss)	9
2.6 การสูญเสียความร้อนจากรูรั่วของผนังเตา(Heat loss from the opening of furnace wall).....	10
2.6.1 การสูญเสียความร้อนจากการรั่วไหลของก๊าซไอเสีย(Heat loss due to blow out of flue gas from the opening).....	10
2.6.1.1 ก๊าซไอเสียที่รั่วไหลออกจากกรูรั่ว.....	10
2.6.1.2 การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีจากกรูรั่ว.....	11
2.7 การออกแบบระบบการป้อนออกซิเจน(Oxygen-Enrichment guidelines).....	12
2.7.1 มาตรฐานการป้อนออกซิเจนในท่อหลักผสมกับอากาศ.....	12
2.7.2 การออกแบบจำนวนรูป้อนออกซิเจนในท่อหลักผสมกับอากาศ.....	12
2.8 การออกแบบระบบการเผาไหม้ที่ป้อนออกซิเจนเสริม (Oxygen-enrichment combustion).....	13
2.8.1 การเพิ่มออกซิเจนบางส่วนผสมกับอากาศ (Enriched Air).....	13
2.8.2 การเพิ่มออกซิเจนบางส่วนและผสมกับเชื้อเพลิง.....	13
2.8.3 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงโดยตรง ผสมกับอากาศ.....	14
2.8.4 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเปลวไฟโดยตรง (Over Air Enrichment).....	14
2.9 สตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry).....	15
2.9.1 การเผาไหม้สมบูรณ์(Complete Combustion).....	15
2.9.2 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion).....	15
2.10 ต้นทุนการเผาไหม้ (Economics).....	16
2.10.1 ต้นทุนทางตรงการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเสริม.....	16
2.10.2 ต้นทุนทางอ้อมการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเสริม.....	16
2.10.3 ต้นทุนที่ประหยัดได้ทางอ้อมโดยใช้ออกซิเจนเสริม.....	16
2.11 มลพิษทางอากาศ (CO,CO ₂ Emission).....	16
2.11.1 คาร์บอนมอนอกไซด์(CO).....	16
2.11.2 คาร์บอนไดออกไซด์(CO ₂).....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
3.1 บทนำ	18
3.2 งานวิจัยของ Pedro Teixeira Lacava, Joao A. Carvalho Jr. และคณะ.....	18
3.3 งานวิจัยของ P.T. Lacava , A.P. Pimenta และคณะ.....	20
3.4 งานวิจัยของ Masaharu Kira, Tooru Doi และคณะ.....	22
3.5 งานวิจัยของ Bogdan Horbaniuc,Ovidiu Marin และคณะ.....	23
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	25
4.1 บทนำ.....	25
4.2 ชุดทดลอง.....	25
4.2.1 เตาเผาขยะติดเชื้อ.....	25
4.2.2 ปล่องควัน.....	26
4.2.3 ระบบควบคุมเตาเผาขยะ.....	26
4.3 ขั้นตอนการทำงาน	26
4.4 อุปกรณ์วัดการทดลอง.....	26
4.4.1 เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ (Hot wire anemometer).....	26
4.4.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของออกซิเจน (O ₂ Flow Meter).....	27
4.4.3 เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศ(%O ₂ Meter).....	27
4.4.4 เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย (Flue gas analysis).....	28
4.4.5 ใบปรับความเร็วอากาศ	28
4.4.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	29
4.5 วิธีการทดลอง	29
4.5.1 การทดลอง	29
4.5.2 การตรวจวัดคุณภาพของก๊าซไอเสีย.....	30
4.5.3 เล้าหลังการเผาไหม้.....	30
4.5.4 ตรวจสอบน้ำหนักการทดลอง.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	32
5.1 บทนำ.....	32
5.2 ผลการวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสียการเผาไหม้ที่อากาศเกินแตกต่างกัน.....	32
5.3 ผลการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO ₂)ที่อากาศเกินแตกต่างกัน.....	33
5.4 ผลการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ที่อากาศเกินแตกต่างกัน.....	33
5.5 ผลการวัดออกซิเจนผสมกับอากาศเกิน10% (Oxygen Enriched Combustion ; OEC).....	34
5.6 อัตราการป้อนออกซิเจนผสมกับอากาศเกิน10%	34
5.7 อัตราการเผาไหม้ของขยะในรูปของมวลต่อหน่วยเวลา	35
5.8 อัตราการเผาไหม้ขยะในรูปของมวลที่ถูกเผาทำลายต่อหน่วยมวลของเชื้อเพลิง	35
5.9 อัตราการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงต่อปริมาณขยะที่ถูกเผาทำลาย	36
5.10 ปริมาณพลังงานที่เผาไหม้ขยะต่อหน่วยเวลา	36
5.11 อัตราส่วนพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้าต่อพลังงานเผาขยะ	37
5.12 อัตราส่วนพลังงานเผาขยะต่อพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้า	37
5.13 อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเผาไหม้ขยะและอัตราพลังงานสูญเสียจากการ ทดลอง.....	38
5.14 ต้นทุนการเผาไหม้ของการทดลอง	39
5.15 อุณหภูมิที่ปล่องควันจุดตรวจวัดก๊าซ	39
5.16 มลพิษทางอากาศ ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	40
5.17 มลพิษทางอากาศ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	41
5.18 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Effm.)	42
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	43
6.1 บทสรุป.....	43
6.1.1 ผลผลิตของถ่าน.....	43
6.1.2 ลดปริมาณกระแสไฟฟ้า.....	43
6.1.3 รักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน.....	43
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
6.2.1 ข้อจำกัดด้านวัสดุ.....	44
6.2.2 เทคนิคการเพิ่มออกซิเจน.....	44
6.2.3 ข้อจำกัดด้านพื้นที่และอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย.....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก. เตาเผาขยะของงานวิจัย.....	48
ภาคผนวก ข. หัวเผา(Burner) ชนิดใช้ก๊าซ(LPG) เป็นเชื้อเพลิงก่อนและหลัง ประกอบชุดผสมออกซิเจน	49
ภาคผนวก ค. เปลวไฟเกิดจากอากาศเกินเผาไหม้.....	51
ภาคผนวก ง. เปลวไฟจากอากาศเกิน 10% ผสมกับออกซิเจนบริสุทธิ์เผาไหม้และ ถ้าหลังเผาไหม้.....	53
ภาคผนวก จ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	56
ภาคผนวก ฉ. ตารางจุดคุ้มทุนเปลี่ยนแปลงตามราคาออกซิเจนและราคาเชื้อเพลิง.....	62
ประวัติผู้เขียน.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลพื้นฐานเอนทัลปี (Enthalpy) (kcal/kg) ของส่วนประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิด.....	7
2.2 ค่าความจุความร้อน(C_p ; kcal/kg) ของส่วนประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิด.....	7
2.3 Coefficient φ มาตรฐาน JIS G0702-1995.....	12

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงองค์ประกอบของอากาศโดยปริมาตร.....	1
2.1 แสดงแผนภาพการสมดุลพลังงาน	8
2.2 แสดงรูปแบบการรั่วไหลของรูรั่ว	11
2.3 แสดงเปลวไฟที่ทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้กับอากาศและทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ออกซิเจน.....	13
2.4 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับอากาศ(Enriched Air).....	13
2.5 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเปลวไฟโดยตรง.....	14
2.6 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิง	14
2.7 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเปลวไฟ	15
3.1 เตาเผาขยะงานวิจัยของ P.T.Lacava และคณะ	18
3.2 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาไหม้ขยะ.....	19
3.3 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาไหม้ในรูปของพลังงานออกจากเตาเผา.....	19
3.4 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาขยะ	20
3.5 แสดงผลการทดลองค่าCO	20
3.6 แสดงผลการทดลองค่าCO ₂	21
3.7 แสดงผลการทดลองอัตราส่วนCO ₂ /m _{res}	21
3.8 แสดงเตาเผาขยะเพิ่มปริมาณออกซิเจน ของ Masaharu Kira, Tooru Doi และคณะ.....	22
3.9 แสดงอุณหภูมิในเตาเผาขยะที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน.....	22
3.10 แสดงค่า CO และ NO _x ในเตาเผาขยะที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน.....	23
3.11 แสดงค่าการลดพื้นผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	24
3.12 แสดงพื้นผิวของหม้อต้มไอน้ำลดลง.....	24
4.1 เตาเผาขยะติดเชื้อทดลอง	25
4.2 เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ	26
4.3 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของออกซิเจน.....	27
4.4 เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศ.....	27
4.5 เครื่องมือวัดอากาศไอเสีย.....	28
4.6 ใบปรับความเร็วอากาศ.....	28
4.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	29
4.8 แสดงการทดลองเผาขยะในเตาเผา.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงการตรวจวัดก๊าซไอเสีย.....	30
4.10 แสดง เถ้าขยะหลังการเผาไหม้.....	30
4.11 แสดง เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล.....	31
5.1 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย.....	32
5.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อากาศเกินแตกต่างกัน.....	33
5.3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อากาศเกินแตกต่างกัน.....	33
5.4 เปอร์เซ็นออกซิเจนในอากาศ.....	34
5.5 อัตราการป้อนออกซิเจน.....	34
5.6 ปริมาณขยะที่เผาได้ต่อหน่วยเวลา.....	35
5.7 อัตราการเผาไหม้มวลของขยะต่อมวลเชื้อเพลิง	35
5.8 อัตราการเผาไหม้ปริมาณเชื้อเพลิงต่อปริมาณขยะ.....	36
5.9 พลังงานของขยะที่ถูกเผาไหม้	36
5.10 ปริมาณพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าต่อพลังงานของขยะที่ถูกเผาไหม้.....	37
5.11 ปริมาณพลังงานของขยะที่ถูกเผาไหม้ต่อพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้า.....	37
5.12 อัตราการใช้พลังงานเผาและอัตราพลังงานสูญเสีย.....	38
5.13 ต้นทุนการเผาไหม้ของการทดลองเผาขยะ.....	39
5.14 อุณหภูมิที่ปล่อยควันเตาเผาขยะ.....	40
5.15 แสดงค่าคาร์บอนมอนอกไซด์.....	40
5.16 แสดงค่าคาร์บอนไดออกไซด์.....	41
5.17 แสดงอัตราคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณขยะที่เผาไหม้.....	41
5.18 แสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	42

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์/คำย่อ	ชื่อ/ความหมาย
$C_m H_n$	ก๊าซเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน
A_{ac}	ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามความจริง
A_o	ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามทฤษฎี
H_{gl}	ค่าความร้อนต่ำสุดของก๊าซเชื้อเพลิงตามความจริง, kcal/m ³
H_{mn}	ค่าความร้อนต่ำสุดของก๊าซเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน, kcal/m ³
G_k	ปริมาณก๊าซไอเสียที่มีไอน้ำต่อการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G_{ac}	ปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่มีไอน้ำต่อก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G'_{ac}	ปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียแห้งต่อก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G_{O_2}	อัตราการไหลของ O ₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G_{CO_2}	ปริมาณของ CO ₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G_{H_2O}	ปริมาณของ H ₂ O ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G_{N_2}	ปริมาณของ N ₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง, m ³ /m ³ fuel gas
G_{air}	ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้, m ³ /m ³ fuel gas
t	อุณหภูมิของไอเสีย (°C)
C_p	ความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย [kcal/m ³] หรือ [kcal/kg]
h_{gl}	เอนทัลปี(Enthalpy) ของก๊าซไอเสียที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ (°C)
η_{gl}	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ t (°C) สำหรับไอเสียคิดเป็น %
V_w	อัตราการไหลของอากาศก่อนและหลังการเผาไหม้
$H(t)$	เอนทัลปี(Enthalpy) ของก๊าซไอเสียที่อุณหภูมิ t (°C), kcal / m ³ °C
T_w	อุณหภูมิผิวของผนังเตา °K
T_a	อุณหภูมิห้อง °K
ε	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีที่ผิวผนัง
a_i	พื้นที่ผิวของผนัง m ²

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์/คำย่อ	ชื่อ/ความหมาย
$q_{r,i}$	การสูญเสียจากการแผ่รังสีของผนัง $kcal / m^2hr$
$q_{c,i}$	การสูญเสียจากการพาความร้อนของผนัง $kcal / m^2hr$
Q_{openT}	ความร้อนที่สูญเสียรวมจากรูรั่วของผนังเตา $kcal / hr$
Q_{openB}	ความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสียไหลออกจากรูรั่วของผนังเตา $kcal / hr$
Q_{openR}	ความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีผ่านรูรั่วของผนังเตา $kcal / hr$
G_{open}	อัตราการไหลของก๊าซไอเสียออกจากรูรั่วของเตา m^3 / hr
T_g	อุณหภูมิของก๊าซไอเสียในเตา $^{\circ}K$
ΔP	ความดันก๊าซไอเสียตกคร่อม บริเวณจุดที่รั่ว P_a
φ	สัมประสิทธิ์ของรูรั่ว
V_{O_2}	ความเร็วของออกซิเจน ft / s
ϕ	เส้นผ่าศูนย์กลางของรูป้อนออกซิเจน in^2
NC	ต้นทุนการเผาไหม้ที่สภาวะปกติ

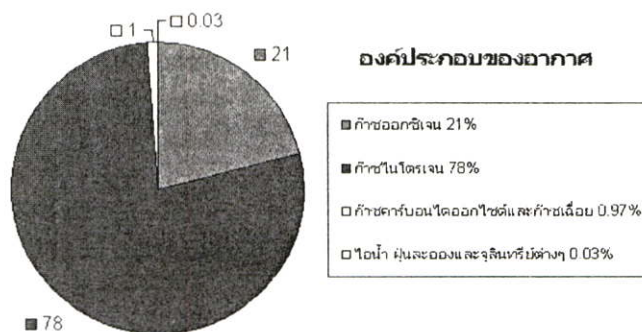
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญที่มา

ปัจจุบันมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมากขึ้น ขณะที่ราคาเชื้อเพลิงมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบางชนิดมีแนวโน้มหมดไปในไม่ช้า การแก้ปัญหาในปัจจุบันคือ หาพลังงานทดแทนจากพลังงานด้านต่างๆ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ตลอดจนพยายามค้นคว้าวิจัยผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว คือ ใช้เชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่า

โดยปกติพลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาเผาส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เพื่อให้เกิดพลังงานความร้อนแล้วนำพลังงานความร้อนไปใช้เผาขยะ ซึ่งกระบวนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงสามารถใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 60-65% ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียและส่วนอื่น เช่น ผนังเตา หัวเผา เป็นต้น การนำพลังงานความร้อนจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การอุ่นเชื้อเพลิงก่อนเผาไหม้ อุ่นอากาศด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ยังไม่เป็นการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด เพราะเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ และก๊าซไอเสียที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ แม้ว่าจะมีพลังงานความร้อนอยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก๊าซไอเสียหลังการเผาไหม้เป็นมลพิษทางอากาศ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต คน พืช สัตว์ เป็นสาเหตุทำให้โลกร้อนจึงไม่คุ้มค่ากับพลังงานส่วนนี้ ดังนั้นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ คือทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงส่งถ่ายพลังงานความร้อนสู่ขยะให้ได้มากที่สุด วิธีการผสมออกซิเจนบริสุทธิ์กับอากาศก่อนเผาไหม้กับเชื้อเพลิง เป็นอีกหนทางหนึ่งที่สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและลดมลพิษทางอากาศอย่างยั่งยืน



รูปที่ 1.1 แสดงองค์ประกอบของอากาศโดยปริมาตร

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของหัวเผาชนิดใช้ก๊าซปริโตรเลียมเหลว(LPG)เป็นเชื้อเพลิง เพื่อออกแบบระบบเพิ่มออกซิเจนบริสุทธิ์เข้าไปผสมกับอากาศ(มีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% และไนโตรเจน 78%)
2. ศึกษาการเผาไหม้ของเปลวไฟในเตาเผาขยะ ที่อากาศเกิน(Excess Air) 7%, 10%, 15%, 20% และหาเปลวไฟที่มีอุณหภูมิ และค่า CO_2 สูงที่สุดในขณะที่ค่า CO ต่ำที่สุดในแต่ละอากาศเกิน เพื่อเป็นข้อมูลใช้ในกรณีศึกษาเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบการเผาไหม้
3. ศึกษาการเผาไหม้ในเตาเผาขยะที่อากาศเกินตามข้อที่ 2 ผสมกับออกซิเจนบริสุทธิ์จาก 21% (อากาศ) เป็น 21.86%(1 ลิตรต่อนาที), 22.71%(2 ลิตรต่อนาที), 23.57%(3 ลิตรต่อนาที), 24.42%(4 ลิตรต่อนาที) และ 25.28%(5 ลิตรต่อนาที) ตามลำดับ
4. ศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในกรณีเผาไหม้แบบปกติและกรณีเผาไหม้แบบเสริมออกซิเจน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองเผาไหม้เปลวไฟด้วยหัวเผา (Burner) ชนิดใช้ก๊าซปริโตรเลียมเหลว (LPG) เชื้อเพลิงในเตาเผาขยะด้วยอากาศเกิน7%,10%, 15%, และ20% ตามลำดับ
2. ทดลองเผาขยะน้ำหนัก 640 กรัม ใช้เวลาเผา 7.5 นาที ในเตาเผาด้วยอากาศผสมกับออกซิเจน บริสุทธิ์จากสถานะปกติที่ 21%(อากาศ) เป็น 21.86%(1 ลิตรต่อนาที), 22.71% (2 ลิตรต่อ นาที), 23.57% (3 ลิตรต่อนาที), 24.42%(4 ลิตรต่อนาที) และ 25.28%(5 ลิตรต่อนาที) ตามลำดับ
3. ตรวจวัดค่า CO , CO_2 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น
4. เปรียบเทียบผลการทดลองเผาขยะกรณีเผาไหม้แบบปกติกับกรณีเผาไหม้แบบเสริมออกซิเจน โดยพิจารณาผลต่างของน้ำหนักขยะก่อนเผาไหม้กับถ้ำขยะที่เหลือในเตาเผา

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

การเผาไหม้ประกอบด้วย เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน แต่ในอากาศมีปริมาณออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ไนโตรเจนประมาณ 78% และอื่นๆอีกประมาณ 1% ตามรูปที่ 1.1 เมื่อใช้อากาศเผาไหม้การเผาไหม้จะประกอบด้วย เชื้อเพลิง ออกซิเจน ไนโตรเจน และความร้อน ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas)ไม่ช่วยในการติดไฟ แต่ดูดกลืนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง ดังนั้นถ้าเพิ่มปริมาณความเข้มข้นออกซิเจนมากกว่า 21% เผาไหม้จะมีสัดส่วนของไนโตรเจนลดลงทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็นไปตามทฤษฎีมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าความร้อนการสูงกว่าการเผาไหม้ด้วยอากาศ และปริมาณของก๊าซไอเสียมีน้อยลงปริมาณฝุ่นควัน คาลลดลงคุณภาพของถ้ำขยะมีถ้ำละเอียดมากขึ้น แต่การเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในระบบการเผาไหม้

ต้องใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายทำให้ต้นทุนโดยรวมการเผาไหม้สูงขึ้นแต่เมื่อพิจารณาปริมาณขยะที่เผาได้ต่อหน่วยของพลังงานที่ใช้ จะมีจุดคุ้มทุนที่ทำให้ต้นทุนโดยรวมต่ำสุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการเผาไหม้ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนมากกว่า 21% ด้วยวิธีการผสมออกซิเจนบริสุทธิ์กับอากาศจาก 21% (อากาศ) เป็น 21.86% (1 ลิตรต่อนาที), 22.71% (2 ลิตรต่อนาที), 23.57% (3 ลิตรต่อนาที), 24.42% (4 ลิตรต่อนาที) และ 25.28% (5 ลิตรต่อนาที) ตามลำดับ โดยการทดลองใช้ก๊าซปริโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง อัตราป้อนคงที่เท่ากับ 0.1777 กิโลกรัมต่อนาที เผาขยะ 7.5 นาที ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ

1. ประหยัดเชื้อเพลิง (ก๊าซปริโตรเลียมเหลว) ต่อหน่วยปริมาณขยะ
2. ลดมลพิษทางอากาศค่า CO และ CO₂ เมื่อคิดต่อหน่วยปริมาณขยะ เช่น ปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อปริมาณขยะที่ถูกเผา
3. อุณหภูมิการเผาไหม้และประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น
4. คุณภาพของเถ้าหลังการเผาไหม้ละเอียดมากขึ้น
5. ต้นทุนโดยรวมของการเผาไหม้ลดลง

บทที่ 2

ทฤษฎีการเผาไหม้

2.1 บทนำ

การเผาไหม้หรือการสันดาปคือ การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนภายใต้อุณหภูมิจุดติดของแต่ละเชื้อเพลิง แล้วเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว ปล่อยพลังงานความร้อนออกมา เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นสารประกอบคาร์บอน (C) กับสารไฮโดรเจน(H) ความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาใช้หัวเผา(Burner) เป็นอุปกรณ์จุดติดไฟ และปลดปล่อยพลังงานความร้อนเข้าสู่เตาเผา ในกระบวนการเผาไหม้ความร้อน ส่วนหนึ่งเป็นความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้ (ถ่ายเทความร้อนสู่ขยะ) และอีกส่วนที่เหลือเป็นความร้อนสูญเสียออกจากระบบ (ไม่ถ่ายเทความร้อนสู่ขยะ) ดังนั้นเพื่อให้ทราบสภาวะการเผาไหม้ว่าใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงได้มากน้อยเท่าใด จึงต้องใช้ทฤษฎีประกอบดังนี้

2.2 พื้นฐานการคำนวณการเผาไหม้ของก๊าซเผาไหม้

เมื่อก๊าซเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (C_mH_n) ถูกเผาไหม้ การคำนวณใช้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} C_mH_n + \alpha \cdot \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot \left(O_2 + \frac{0.79}{0.21} N_2 \right) \\ = mCO_2 + \frac{n}{2}H_2O + \alpha \cdot \frac{0.79}{0.21} \cdot \left(m + \frac{n}{4} \right) N_2 + (\alpha - 1) \cdot \left(m + \frac{n}{4} \right) O_2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่ $\alpha = \frac{A_{ac}}{A_o}$ (2.2)

A_{ac} = ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามความจริง

A_o = ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามทฤษฎี

จากสมการที่ 2.1 สามารถสร้างสมการการเผาไหม้ของคาร์บอน(C) ดังนี้

$$C + O_2 = CO_2 \quad (2.3)$$

$$C + \left(O_2 + \frac{79}{21} N_2 \right) = CO_2 + \frac{79}{21} N_2 \quad (2.4)$$

$$C + \alpha \cdot \left(O_2 + \frac{79}{21} N_2 \right) = CO_2 + (\alpha - 1) \cdot O_2 + \frac{79}{21} \cdot \alpha \cdot N_2 \quad (2.5)$$

$$Cm + \alpha \cdot m \cdot \left(O_2 + \frac{79}{21} N_2 \right) = m \cdot CO_2 + m \cdot (\alpha - 1) \cdot O_2 + \frac{79}{21} \cdot m \cdot \alpha \cdot N_2 \quad (2.6)$$

และจากสมการที่ 2.1 สามารถสร้างสมการการเผาไหม้ของไฮโดรเจน(H) ดังนี้

$$H + \frac{1}{4} \cdot O_2 = \frac{1}{2} \cdot H_2O \quad (2.7)$$

สำหรับก๊าซเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของก๊าซหลายชนิด

$$C_{m1}H_{n1} + C_{m2}H_{n2} + C_{m3}H_{n3} + \dots + C_{mk}H_{nk} = \sum C_{mk}H_{nk} \quad (2.8)$$

โดยที่ $\sum C_{mk}H_{nk}$ เป็นส่วนประกอบของก๊าซแต่ละชนิด

$$\sum C_m H_n = 1 \text{ unit } (1m^3) \quad (2.9)$$

2.2.1 ค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิง (LHV)

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิง (LHV) มีสมการดังต่อไปนี้

$$H_{gl} = \sum (H_{mn} \cdot C_m H_n) \quad (2.10)$$

โดยที่ $H_{gl} =$ LHV ของก๊าซเชื้อเพลิงตามความจริง (kcal/m³)

$$H_{mn} = \text{LHV ของ } C_m H_n \quad (\text{kcal/m}^3)$$

2.2.2 ปริมาณของ CO₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง

ปริมาณของ CO₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$G_{CO_2} = \sum (m \cdot C_m \cdot H_n) \quad (2.11)$$

โดยที่ $G_{CO_2} =$ ปริมาณของ CO₂ ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง [m³/m³ fuel gas]

2.2.3 ปริมาณของ N_2 ในก๊าซไอเสีย

จากสมการที่ 2.1 ปริมาณของ N_2 ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} G_{N_2} &= \sum \left\{ \alpha \cdot \frac{0.79}{0.21} \cdot \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n \right\} \\ &= \sum \{ 3.762 \alpha \cdot (m + 0.25n) \cdot C_m H_n \} \end{aligned} \quad (2.12)$$

โดยที่ G_{N_2} = ปริมาณของ N_2 ในก๊าซไอเสียต่อก๊าซเชื้อเพลิง [m^3/m^3 fuel gas]

2.2.4 ปริมาณของอากาศต่อก๊าซเชื้อเพลิง

จากสมการที่ 2.1 ปริมาณของอากาศที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ในก๊าซไอเสียสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} G_{air} &= \sum \left\{ \alpha \cdot \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot \left(1 + \frac{0.79}{0.21} \right) \cdot C_m H_n \right\} \\ &= \sum \left\{ 4.7619 \alpha \cdot \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n \right\} \end{aligned} \quad (2.13)$$

โดยที่ G_{air} = ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ [m^3/m^3 fuel gas]

2.3 การคำนวณหาค่าเอนทัลปีของก๊าซไอเสีย (Enthalpy calculation of flue gas)

การทำสมดุลพลังงานความร้อนของเตาเผาจะใช้ค่าความจุความร้อน (C_p) คำนวณหาปริมาณความร้อนของก๊าซไอเสีย ซึ่งค่าความจุความร้อนเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของไอเสียเป็นค่าที่ขึ้นกับสถานะ ดังนั้น ค่าเอนทัลปีจะมีค่าเดียวสำหรับสถานะนั้นๆ ของก๊าซไอเสีย

2.3.1 การคำนวณหาค่าเอนทัลปี(Enthalpy)

ค่าเอนทัลปี (Enthalpy) คือผลรวมของค่าความจุความร้อนในช่วงอุณหภูมิใดๆ

$$h = \int C_p dt \quad [\text{kcal/m}^3] \text{ หรือ } [\text{kcal/kg}] \quad (2.14)$$

โดยที่ t = อุณหภูมิของไอเสีย ($^{\circ}C$)

C_p = ความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย [kcal/m^3] หรือ [kcal/kg]

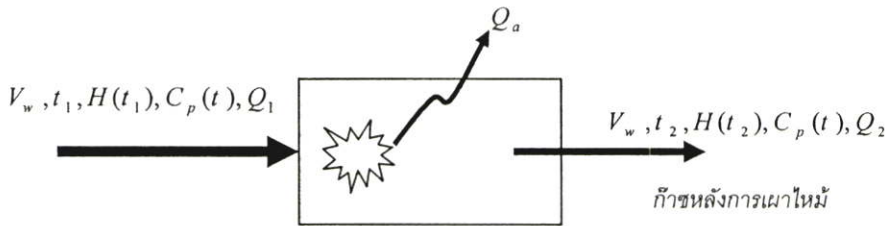
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลพื้นฐานเอนทัลปี (Enthalpy) (kcal/kg) ส่วนประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิด

เอนทัลปี(Enthalpy) (kcal/kg)ของส่วนประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิด							
อุณหภูมิ °C	N ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	CO	Air
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	18.57	16.47	31.95	15.26	11.40	18.69	18.02
200	43.41	38.71	74.99	36.75	27.30	43.69	42.12
300	68.33	61.30	118.52	59.20	43.83	68.81	66.37
400	93.42	84.23	162.60	82.53	60.88	94.14	90.86
500	118.70	107.48	207.33	106.61	78.39	119.70	115.58
600	144.18	131.04	252.92	131.39	96.31	145.54	140.53
700	169.94	154.92	299.20	156.77	114.59	171.69	165.75
800	195.98	179.09	346.22	182.72	133.17	198.14	191.24
900	222.26	203.53	293.99	209.15	152.01	224.82	216.96
1000	248.78	228.22	442.50	236	171.08	251.74	269.15

ตารางที่ 2.2 ค่าความจุความร้อน(C_p; kcal/kg) ของส่วนประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิด

ค่าความจุความร้อน (C _p ; kcal/kg) ของส่วนประกอบก๊าซไอเสียแต่ละชนิด							
อุณหภูมิ °C	N ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	CO	Air
25	0.2471	0.2185	0.4240	0.1971	0.1483	0.2488	0.2399
100	0.2481	0.2207	0.4279	0.2098	0.1557	0.2496	0.2406
200	0.2488	0.2242	0.4329	0.2199	0.1623	0.2504	0.2414
300	0.2496	0.2275	0.4377	0.2292	0.1628	0.2521	0.2438
400	0.2521	0.2310	0.4439	0.2373	0.1728	0.2544	0.2460
500	0.2536	0.2339	0.4517	0.2444	0.1773	0.2569	0.2484
600	0.2561	0.2374	0.4591	0.2511	0.1812	0.2599	0.2506
700	0.2591	0.2403	0.4665	0.2567	0.1844	0.2632	0.2537
800	0.2616	0.2431	0.4739	0.2623	0.1872	0.2657	0.2561
900	0.2639	0.2458	0.4814	0.2663	0.1896	0.2680	0.2584
1000	0.2664	0.2479	0.4888	0.2709	0.1917	0.2704	0.2615

2.4 การคำนวณสมดุลพลังงานความร้อน(Heat balance calculation)



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการสมดุลพลังงาน

จากรูปที่ 2.1 Q_a คือความร้อนที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Q_a &= V_w \cdot \int_{t_2}^{t_1} [C_p(t)] dt \\
 &= V_w \cdot [H(t_1) - H(t_2)] \\
 &= Q_1 - Q_2
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

โดยที่ V_w = อัตราการไหลของอากาศก่อนและหลังการเผาไหม้ m^3 / min

t_1 = อุณหภูมิทางเข้าของก๊าซไอเสีย $^{\circ}\text{C}$

t_2 = อุณหภูมิทางออกของก๊าซไอเสีย $^{\circ}\text{C}$

$C_p(t)$ = ความจุความร้อนของก๊าซไอเสีย $\text{kcal} / m^3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ที่ $t(^{\circ}\text{C})$

$H(t)$ = เอนทัลปี(Enthalpy) ของก๊าซไอเสียที่อุณหภูมิ ที่ $t(^{\circ}\text{C})$, $\text{kcal} / m^3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

Q_1 = การไหลของความร้อนทางเข้า kcal / min

Q_2 = การไหลของความร้อนทางเข้า kcal / min

2.5 การคำนวณสมดุลความร้อนของเตาเผาที่มีการสูญเสียความร้อน(Heat balance calculation with heat loss)

2.5.1 การคำนวณการสูญเสียความร้อนที่ผนัง (Wall loss calculation)

การสูญเสียความร้อนจากผนังเตา ประกอบด้วย การสูญเสีย 2 ประเภท

2.5.1.1 การสูญเสียที่ผนังโดยการแผ่รังสี

$$q_r = 4.8791 \varepsilon \cdot \left\{ \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right\} \quad ; \quad (\text{kcal} / \text{m}^2 \text{hr}) \quad (2.16)$$

2.5.1.2 การสูญเสียที่ผนังโดยการพาความร้อน

$$\text{ผนังเตาด้านบน: } q_c = 2.7995 \cdot (T_w - T_a)^{1.25} \quad ; \quad (\text{kcal} / \text{m}^2 \text{hr}) \quad (2.17)$$

$$\text{ผนังเตาด้านข้าง: } q_c = 2.1995 \cdot (T_w - T_a)^{1.25} \quad ; \quad (\text{kcal} / \text{m}^2 \text{hr}) \quad (2.18)$$

$$\text{ผนังเตาด้านล่าง: } q_c = 1.4997 \cdot (T_w - T_a)^{1.25} \quad ; \quad (\text{kcal} / \text{m}^2 \text{hr}) \quad (2.19)$$

2.5.2 ผลรวมการสูญเสียความร้อนที่ผนัง

$$Q_l = \sum a_i (q_{ri} + q_{ci}) \quad ; \quad (\text{kcal} / \text{hr}) \quad (2.20)$$

โดยที่ T_w = อุณหภูมิผิวของผนังเตา °K

T_a = อุณหภูมิห้อง °K

ε = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีที่ผิวผนัง (0.8 ผนังเป็นสนิมและ 0.4 - 0.7 ผนังทาสี)

a_i = พื้นที่ผิวของผนัง m^2

q_{ri} = การสูญเสียจากการแผ่รังสีของผนัง $\text{kcal} / \text{m}^2 \text{hr}$

q_{ci} = การสูญเสียจากการพาความร้อนของผนัง $\text{kcal} / \text{m}^2 \text{hr}$

2.5.3 การคำนวณสมดุลความร้อนโดยคิดการสูญเสียความร้อนที่ผนัง (Heat balance calculation including wall loss)

$$\begin{aligned} &= Q_1(t_1) - Q_2(t_2) \\ Q_a + Q_T &= V_w \cdot \int_{t_2}^{t_1} [C_p(t)] dt \\ Q_a &= Q_1(t_1) - Q_2(t_2) - Q_T \end{aligned} \quad (2.21)$$

2.6 การสูญเสียความร้อนจากรูรั่วของผนังเตา (Heat loss from the opening of furnace wall)

เมื่อมีรูรั่วที่ผนังเตาความร้อนจะไหลออกจากผนังเตาทำให้ความดันภายในเตามีค่าเป็นบวก (สูงกว่าความดันภายนอกเตา) ซึ่งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อน และการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแผ่รังสีของเตาการสูญเสียพลังงานความร้อนทั้งสองส่วน สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$Q_{openT} = Q_{openB} + Q_{openR} \quad (2.22)$$

โดยที่ Q_{openT} = ความร้อนที่สูญเสียรวมจากรูรั่วของผนังเตา $kcal / hr$

Q_{openB} = ความร้อนที่สูญเสียจากก๊าซไอเสียไหลออกจากรูรั่วของผนังเตา $kcal / hr$

Q_{openR} = ความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีผ่านรูรั่วของผนังเตา $kcal / hr$

2.6.1 การสูญเสียความร้อนจากการรั่วไหลของก๊าซไอเสีย (Heat loss due to blow out of flue gas from the opening)

$$Q_{openB} = G_{open} \times h_{flue} \quad (2.23)$$

โดยที่ G_{open} = อัตราการไหลของก๊าซไอเสียออกจากรูรั่วของเตา m^3 / hr

h_{flue} = เอนทัลปี(Enthalpy)ของก๊าซไอเสียที่รั่วออกมา $kcal / m^3$

2.6.1.1 ก๊าซไอเสียที่รั่วไหลออกจากรูรั่ว

$$G_{open} = \lambda \times 4.467 \times 10^3 \times \sqrt{\frac{273.15}{T_g}} \times \sqrt{\Delta P} \times A \quad (2.24)$$

โดยที่ λ = สัมประสิทธิ์ความดันของก๊าซไอเสียขึ้นอยู่กับลักษณะของรูรั่ว

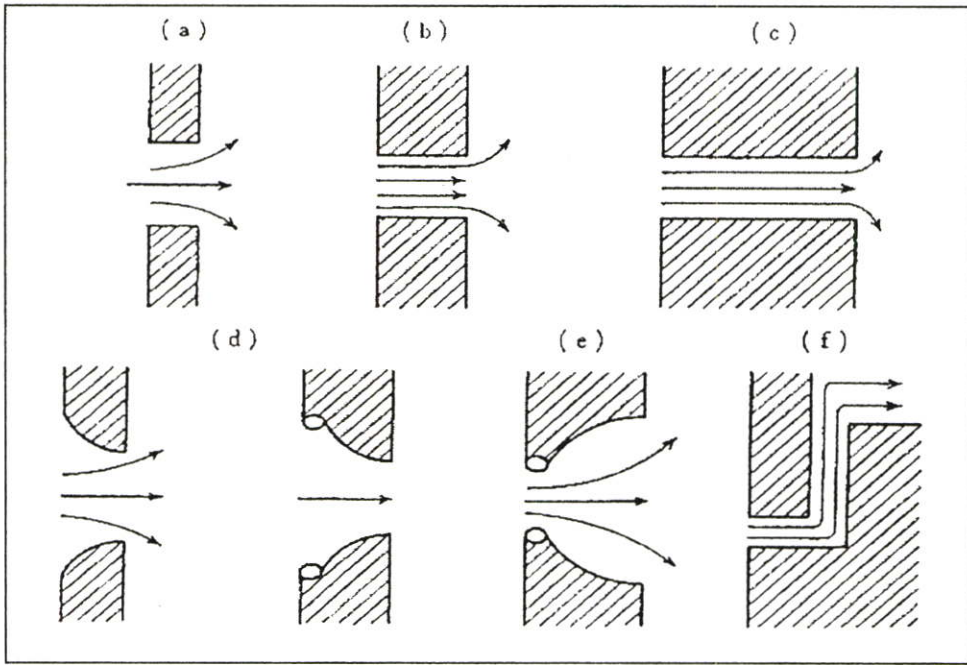
เมื่อ f คือตัวประกอบแรงเสียดทาน λ จะถูกกำหนดโดยสมการ

$$\lambda = \frac{1}{1 + f} \quad (2.25)$$

T_g = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียในเตา $^{\circ}K$

ΔP = ความดันก๊าซไอเสียตกคร่อมบริเวณจุดที่รั่ว P_a

A = ขนาดพื้นที่ของรูรั่วที่ผนังเตา m^2



รูปที่ 2.2 รูปแบบการรั่วไหลของรูรั้ว

1) เมื่อความหนาของผนังน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั้ว เส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั้วจะมีขนาดตามที่วัดได้จริงในกรณีเป็นลักษณะรูกลมหากมีรูปร่างเป็นอย่างอื่นใช้วิธีประเมินเส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่า

2) เมื่อความหนาของผนังอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 3.0 ของรูรั้ว $\lambda = 0.67$ หรือ $f = 0.5$ เมื่อความหนาของผนังอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2.5 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั้วใช้ค่าเฉลี่ยข้อที่ 1 และข้อที่ 2

3) เมื่อความหนาของผนังมากกว่ารูรั้ว 3 เท่าใช้ค่า $f = 0.5$

4) เมื่อความหนาของผนังกว้างมากรูป d ค่า λ อยู่ระหว่าง 0.9 และ 0.95 (ค่า f อยู่ระหว่าง 0.1 และ 0.05) แต่ถ้ารูรั้วมีลักษณะเหมือนภาพขวา ค่า λ จะเท่ากับ 0.9 ($f = 0.1$)

5) ในกรณีรูป e ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อ 4

6) กรณีรูป f จะเป็นช่องว่างระหว่างบานประตูให้ใช้ค่าของกรณีข้อที่ 2 หรือข้อที่ 3 รวมกับค่าสูญเสียเนื่องจากการงอ (Bent Loss)

2.6.1.2 การสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีจากรูรั้ว

$$Q_{openR} = A \times \varphi \times 20.428 \times \left\{ \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right\}; \quad kcal / hr \quad (2.26)$$

โดยที่ $A =$ พื้นที่รูรั้วของผนังเตา m^2

$\varphi =$ สัมประสิทธิ์ของรูรั้ว (ตารางที่ 2.3)

$$T_g = \text{อุณหภูมิก๊าซไอเสีย } ^\circ K$$

$$T_a = \text{อุณหภูมิห้อง } ^\circ K$$

ตารางที่ 2.3 Coefficient ϕ มาตรฐาน JIS G0702-1995

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูรั่ว / ความหนาของผนังเตา								
รูปร่างของรูรั่ว	0.01	0.1	0.2	0.5	1	2	4	6
วงกลม	0.02	0.1	0.18	0.35	0.54	0.67	0.8	0.86
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	0.02	0.11	0.2	0.36	0.53	0.69	0.82	0.87
สี่เหลี่ยมผืนผ้า(2:1)	0.03	0.13	0.24	0.43	0.6	0.75	0.86	0.9
รอยคดเป็นทางยาว	0.05	0.22	0.34	0.54	0.68	0.81	0.89	0.92

2.7 การออกแบบระบบการป้อนออกซิเจน(Oxygen-Enrichment Guidelines)

แนวทางการออกแบบใช้ออกซิเจนเข้าไปในระบบเผาไหม้ อุณหภูมิของออกซิเจนระหว่าง 30 ถึง 90 หรือ มีส่วนผสมกับก๊าซอื่นๆ ซึ่งความดันต่ำกว่า 250 psig การป้อนออกซิเจนเข้าสู่ท่อหลักเพื่อผสมกับอากาศมีความเข้มข้นไม่เกิน 40% โดยปริมาตร มีการออกแบบจำนวนรูเจาะดังนี้

2.7.1 มาตรฐานการป้อนออกซิเจนในท่อหลัก ผสมกับอากาศ

- มาตรฐาน CGA G-4.1 และ 4.4
- มาตรฐาน NFPA 86 (sect.4-4.3) และ NFPA 86(sect.4-4.5.2)
- มาตรฐาน ASTM ; G88-84 , G93-88 และ G94-88

2.7.2 การออกแบบจำนวนรูป้อนออกซิเจนในท่อหลักผสมกับอากาศ

ตามมาตรฐาน NFPA 86(sect.4-4.5.2) ออกแบบการป้อนออกซิเจนในท่อหลักผสมกับอากาศ สามารถคำนวณหาจำนวนรูป้อนออกซิเจนในท่อหลักได้ดังนี้

$$No .holes = \frac{4 \cdot [Q (acfh) \cdot \{1(h) / 3600 (s)\}]}{\pi \cdot V_{O_2} (ft / s) \cdot [\phi (in)]^2 \cdot ((ft)^2 / 144 (in)^2)} \quad (2.27)$$

โดยที่

$No .holes$ = จำนวนรูป้อนออกซิเจน

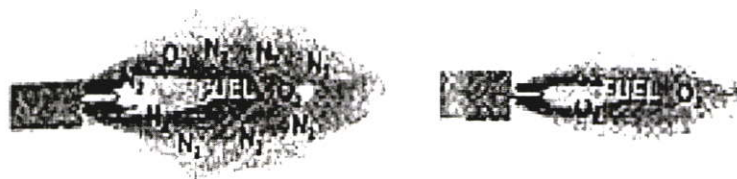
Q = ปริมาณอัตราการไหลของออกซิเจนโดยปริมาตร $ft^3 / hr(acfh)$

V_{O_2} = ความเร็วของออกซิเจน ft / s (maximum)

ϕ = เส้นผ่านศูนย์กลางของรูป้อนออกซิเจน in^2

2.8 การออกแบบระบบการเผาไหม้ที่ป้อนออกซิเจนเสริม (Oxygen Enriched Combustion)

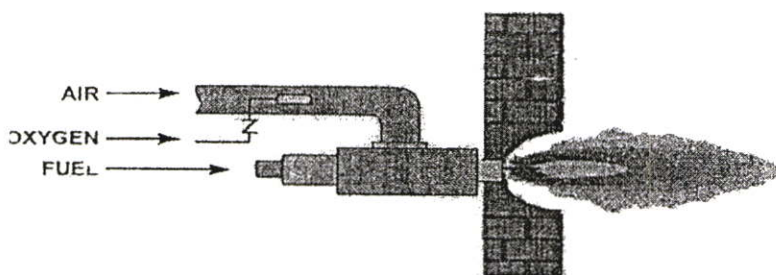
การใช้อากาศทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Oxidizer) กับเชื้อเพลิง โดยที่ในอากาศมีออกซิเจน (O_2) อยู่ประมาณ 21% มีไนโตรเจน (N_2) อยู่ประมาณ 78% โดยปริมาตร แต่กระบวนการเผาไหม้ใช้เพียงออกซิเจนทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ ส่วนไนโตรเจนไม่ช่วยในการเผาไหม้เนื่องจากเป็นก๊าซเฉื่อย จะหน่วงความร้อนทำให้ระบบการเผาไหม้มีความร้อนไม่สูงเท่ากับการใช้ออกซิเจนเผาไหม้ เมื่อมีไนโตรเจนเข้าสู่ระบบการเผาไหม้ จะทำให้เปลวไฟกระจาย ส่งผลให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงไม่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงเปลวไฟที่ทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับอากาศและทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับออกซิเจน

2.8.1 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับอากาศ(Enriched Air)

การออกแบบโดยใช้ออกซิเจนผสมกับอากาศทำให้อากาศมีความเข้มข้นของออกซิเจนมากกว่า 21% (แสดงในรูปที่ 2.4) รวมกับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ 21% ออกซิเจนที่เพิ่มเข้าไปใช้ออกซิเจน 100% เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าไปทำให้ A/F ratio เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของออกซิเจนวิธีนี้ปลอดภัยและติดตั้งได้ง่ายกว่าวิธีอื่น

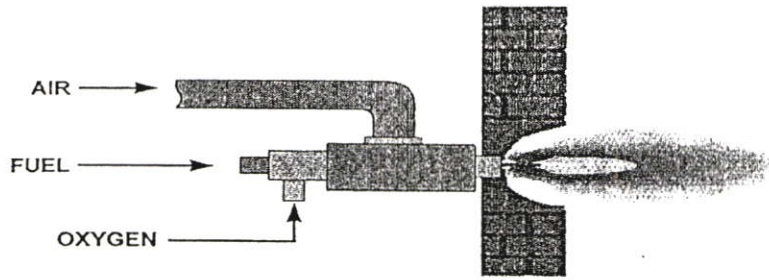


รูปที่ 2.4 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับอากาศ

2.8.2 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงและผสมกับอากาศ

การออกแบบโดยใช้ออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงโดยตรงทำให้ A/F Ratio เป็นไปตามทฤษฎีมากกว่าแบบแรกและทำให้อุณหภูมิสูงกว่าเพราะออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงได้ 100% (แสดงในรูปที่ 2.5) เชื้อเพลิงบางส่วนที่ไม่ผสมกับออกซิเจน สามารถเข้าไปผสมกับอากาศที่มีออกซิเจนอยู่ 21%

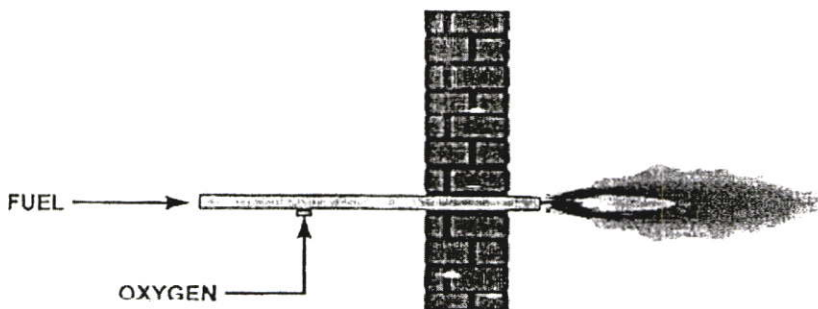
ในระบบ วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับผสมออกซิเจนจำนวนมาก เพราะมีข้อจำกัดด้านความร้อนบริเวณส่วนผสม



รูปที่ 2.5 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงโดยตรง

2.8.3 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงโดยตรง

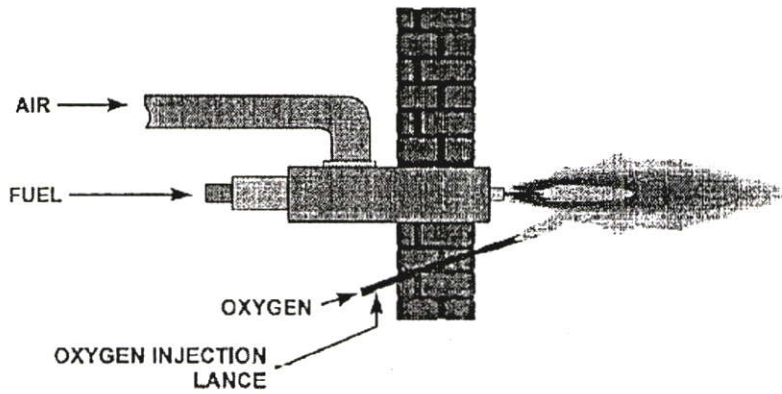
การออกแบบโดยใช้ออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิงโดยไม่ใช้อากาศทำให้ได้เปลวไฟไม่กระจาย (แสดงในรูปที่ 2.6) อุณหภูมิเปลวไฟสูงมากกว่าแบบอื่น ส่วนมากใช้กับอุตสาหกรรมหนัก เช่น เตาหลอมแก้ว เตาหลอมเหล็ก เตาหลอมอลูมิเนียม เป็นต้น การเพิ่มออกซิเจนผสมกับอากาศโดยตรงนี้แม้ว่าจะให้อุณหภูมิสูงมากกว่าแบบอื่น แต่ต้นทุนการเผาไหม้ก็มากกว่าแบบอื่นเช่นกัน วิธีนี้จึงเหมาะกับงานเผาไหม้ในอุตสาหกรรมหนัก



รูปที่ 2.6 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเชื้อเพลิง

2.8.4 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเปลวไฟโดยตรง(Over Air Enrichment)

การออกแบบโดยใช้ออกซิเจนฉีดเข้าไปผสมกับเปลวโดยตรง(แสดงในรูปที่ 2.7) วิธีนี้ใช้แก้ปัญหาระบบการเผาไหม้ที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ และลดปัญหาด้านมลพิษสูงเกินมาตรฐาน เทคนิคนี้อาจมีค่าใช้จ่ายด้านออกซิเจนมากกว่าวิธีอื่น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการเผาไหม้ที่ราคาออกซิเจนถูกกว่าราคาเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.7 การเพิ่มออกซิเจนผสมกับเปลวไฟ

2.9 สตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้(Combustion Stoichiometry)

สตอยคิโอเมตรี หรือเคมีการเผาไหม้เป็นเรื่องเกี่ยวกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ โดยมีคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ เมื่อเผาไหม้สมบูรณ์คาร์บอนเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั้งหมดเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบ เมื่อเผาไหม้สมบูรณ์ไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นน้ำ (H_2O) ทั้งหมด และเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์(S)เป็นองค์ประกอบเมื่อเผาไหม้สมบูรณ์ ซัลเฟอร์จะเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทั้งหมด สตอยคิโอเมตรีบอกให้ทราบว่าเชื้อเพลิงต้องการปริมาณออกซิเจน จำนวนเท่าใด อากาศเกินหรืออากาศไม่เพียงพอ

2.9.1 การเผาไหม้สมบูรณ์ (Complete Combustion)

การเผาไหม้สมบูรณ์คือ การผสมและการลุกไหม้ที่คีของเชื้อเพลิงผสมกับออกซิเจนโดยไม่มีสิ่งตกค้าง หรือการเผาไหม้เป็นไปตามทฤษฎีการเผาไหม้ เช่นเชื้อเพลิง C ผสมกับออกซิเจน O_2 ได้ CO_2 และเชื้อเพลิง H ผสมกับออกซิเจน O_2 ได้ H_2O เป็นต้น

2.9.2 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion)

การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ส่วนมากออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้ก๊าซส่วนที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปล่อยออกสู่บรรยากาศเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) หรือเขม่า(C) ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และเกิดมลพิษ

2.10 ต้นทุนการเผาไหม้(Economics)

2.10.1 ต้นทุนทางตรงการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเสริม

ต้นทุนทางตรงประกอบด้วยต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและต้นทุนค่าออกซิเจน แต่การใช้ออกซิเจนเสริมช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้นมีพลังงานความร้อนสูงขึ้นมากกว่าการใช้อากาศเผาไหม้ระหว่างข้อดีด้านพลังงานความร้อนที่สูงขึ้นกับข้อเสียด้านต้นทุนที่เพิ่มขึ้น จึงต้องหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการเผาไหม้ สามารถหาได้จากสมการที่2.28

$$\text{Normal Cost(NC)} = (1 - \% \text{product increase}) \times [(\text{cost O}_2 / \text{cost fuel}) \times (\text{flow O}_2 / \text{flow fuel}) + 1] \quad (2.28)$$

โดยที่ NC = ต้นทุนการเผาไหม้ที่สภาวะปกติ ($21\% \text{O}_2 + 79\% \text{N}_2$)

NC = 1 ; ต้นทุนการเผาไหม้เท่ากับการเผาไหม้ที่สภาวะปกติ

NC > 1 ; ต้นทุนการเผาไหม้มากกว่าการเผาไหม้ที่สภาวะปกติ

NC < 1 ; ต้นทุนการเผาไหม้น้อยกว่าการเผาไหม้ที่สภาวะปกติ

2.10.2 ต้นทุนทางอ้อมการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเสริม

ต้นทุนทางอ้อมการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเสริมต้นประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์ของการจัดเก็บ ออกซิเจน เช่น ถังบรรจุออกซิเจน อุปกรณ์ด้านความปลอดภัย เช่น วาล์วควบคุมความดัน ชุดวัดอัตราการไหลของออกซิเจน เป็นต้น

2.10.3 ต้นทุนที่ประหยัดได้ทางอ้อมโดยใช้ออกซิเจนเสริม

การใช้ออกซิเจนเสริมสามารถลดต้นทุนทางอ้อมดังนี้คือ ลดขนาดอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้า ลดพื้นที่ฝั่งกลบเถ้าขยะ ลดเวลาการเผาไหม้ ลดอุปกรณ์การกำจัดมลพิษ เป็นต้น

2.11 มลพิษทางอากาศ (CO, CO₂ Emission)

2.11.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เกิดขึ้นได้จากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มีความเป็นพิษสูง เป็นอันตรายต่อสารในเม็ดเลือดแดง (Hemoglobin) การแก้ไขทำได้โดยเพิ่มปริมาณอากาศหรือออกซิเจนเข้าไปในระบบเผาไหม้ให้เพียงพอกับเชื้อเพลิงที่ใช้

2.11.2 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเฉื่อย(Inert Gas) ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพบโดยธรรมชาติมีประมาณ 0.03% หรือ 300 PPM

ประมาณ 3% ถึง 6% รับเข้าสู่ร่างกายทำให้ปวดศีรษะหายใจลำบากทำให้เกิดโรคทางปอดหอบหืด แต่ถ้ารับเข้าสู่ร่างกายมากกว่า 10% อาจทำให้เสียชีวิต นอกจากนี้ CO₂ ยังสร้างสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse) การกำจัดที่ได้ผลดี คือปล่อยลงในน้ำทะเล หรือบ่อน้ำลึก

บทที่ 3

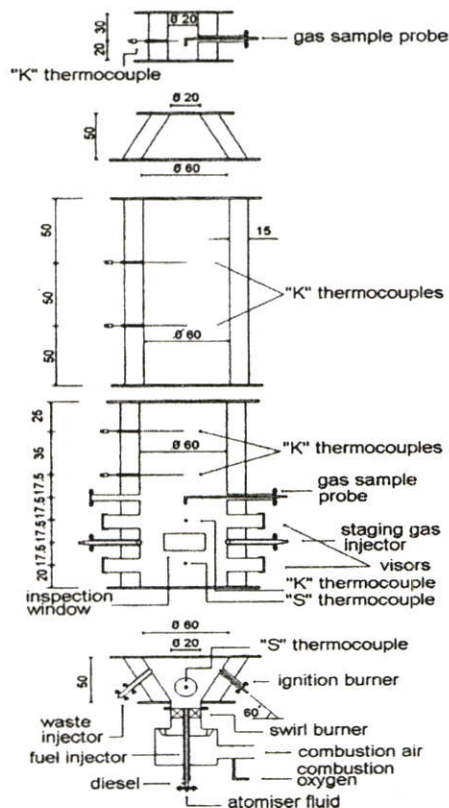
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ก่อนที่จะทำการทดลองเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศที่มีออกซิเจนเสริมนั้นจำเป็นต้องทำการศึกษา งานวิจัยที่มีผู้ทำมาก่อน เพื่อให้ทราบถึงเทคนิคการทดลอง ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็น ข้อมูลในการทดลองอย่างถูกวิธีและปลอดภัย

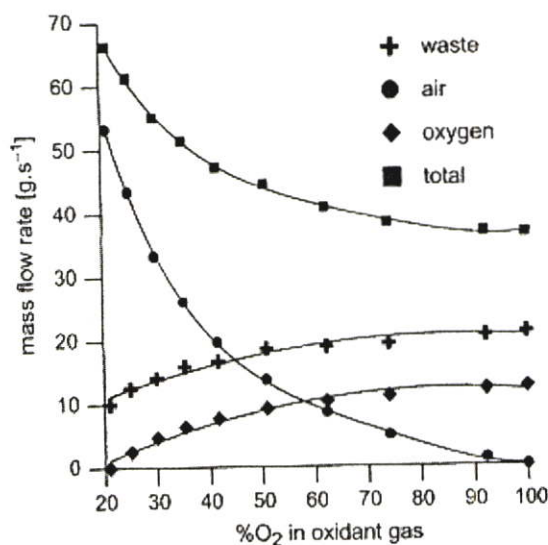
3.2 งานวิจัยของ Pedro Teixeira Lacava, Joao A. Carvalho Jr. และคณะ

งานวิจัยของ P.T. Lacava, J.A. Carvalho Jr, A.P. Pimenta and M.A. Ferreira[1] ผู้วิจัยได้ ทำการศึกษาเผาไหม้ในเตาเผาขั้วรูปที่ 3.1 ที่เปลี่ยนแปลงออกซิเจนจาก 21% ถึง 100% ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงดีเซล(Diesel fuel) ด้วยอัตราการป้อนคงที่ 3.11 g/s การทดลองใช้น้ำเป็นตัวแทนของ ขยะโดยที่กำหนดให้อุณหภูมิภายในเตาเผาคงที่ 1030 K เมื่อทำการเผาไหม้ในเตาเผา แล้วอุณหภูมิ สูงเกินกว่าที่กำหนด ระบบจะเพิ่มอัตราฉีดน้ำสูงขึ้น เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในเตาให้คงที่ตลอด การทดลอง

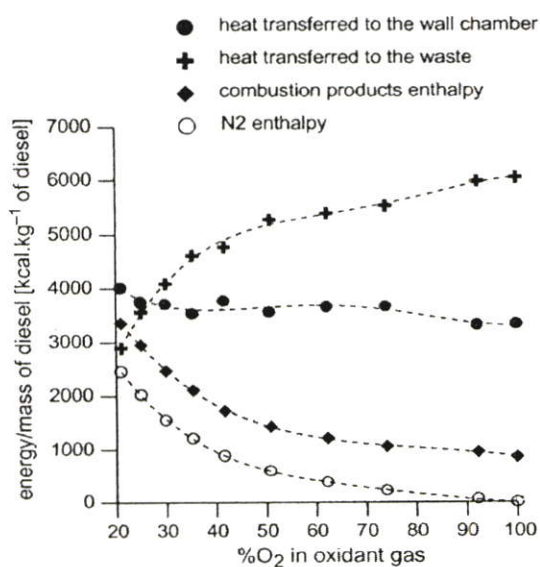


รูปที่ 3.1 เตาเผาขั้วงานวิจัยของ P.T.Lacava และคณะ

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนสูงขึ้นทำให้อัตราการฉีดน้ำ(ขยะ) เข้าไปในเตาเผาเพิ่มขึ้น ปริมาณอากาศที่ใช้ลดลง ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 3.2 นอกจากนี้งานวิจัยยังได้วิเคราะห์ผล การทดลองด้านพลังงานที่เกิดขึ้นคือ พลังงานที่สูญเสียไปกับไนโตรเจนลดลง พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย (Flue Gas) ลดลง พลังงานความร้อนถ่ายเทสู่น้ำ(ขยะ) ได้มากขึ้นพลังงานที่สูญเสียไปกับผนังเตาอยู่ในระดับคงที่ผลการทดลองด้านพลังงานแสดงในรูปที่ 3.3



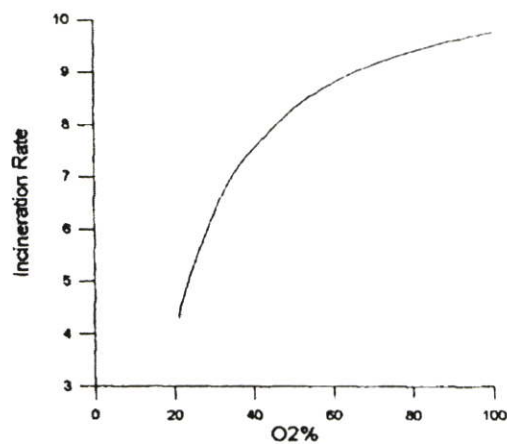
รูปที่ 3.2 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาไหม้ขยะ



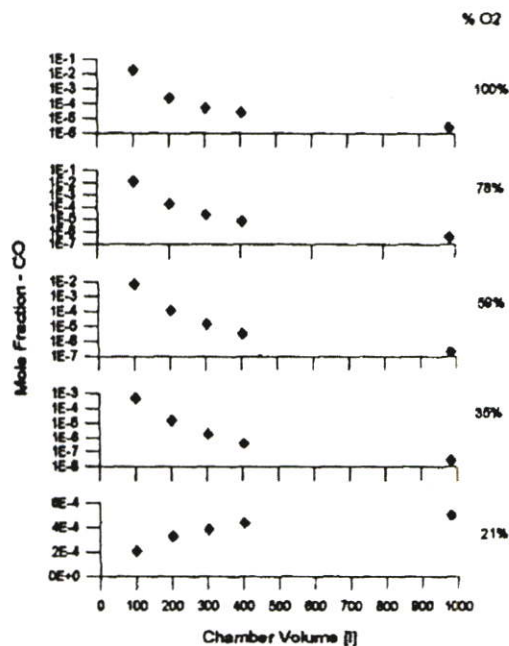
รูปที่ 3.3 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาไหม้ในรูปของพลังงานออกจากเตาเผา

3.3 งานวิจัยของ P.T.Lacava , A.P. Pimenta และคณะ

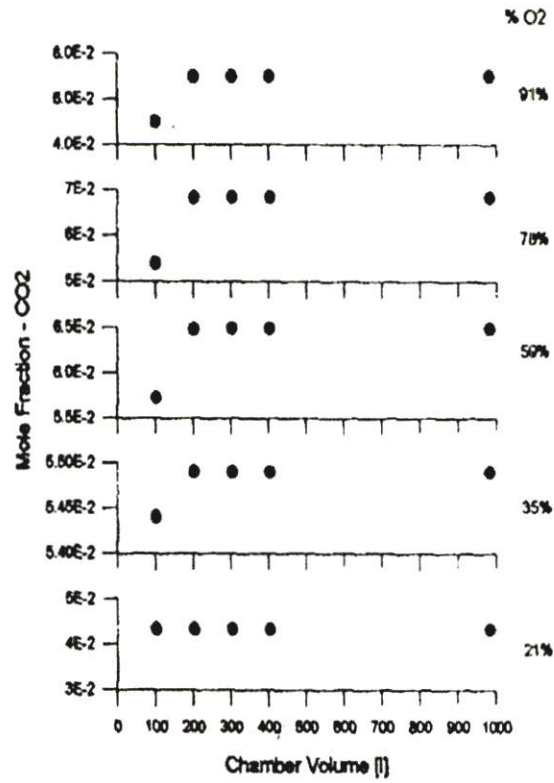
งานวิจัยของ P.T. Lacava, A.P. Pimenta, C.A. Gurgel Veras and J.A. Carvalho Jr[2] คณะผู้วิจัยชุดเดียวกันกับหัวข้อที่ 3.2 ทำการศึกษาต่อเนื่องโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลการทดลอง ดังนี้ คือเชื้อเพลิงใช้ก๊าซมีเทน(Methane)อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ 3.4 g/s กำหนดให้อุณหภูมิในเตาเผาคงที่เท่ากับ 1000 K ข้อมูลการทดลองอื่นๆไม่เปลี่ยนแปลง จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนสูงขึ้นทำให้อัตราการฉีดน้ำต่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 3.4 และจากการวัดก๊าซ CO เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนสูงขึ้นพบว่าก๊าซ CO ลดลงแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาขยะ

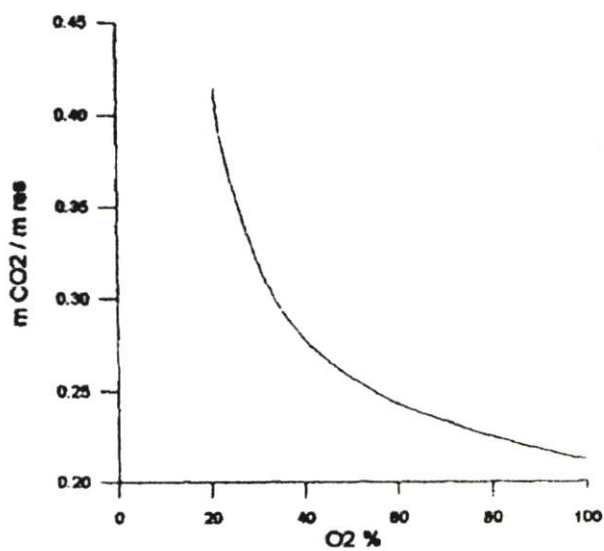


รูปที่ 3.5 แสดงผลการทดลองค่า CO



รูปที่ 3.6 แสดงผลการทดลองค่า CO_2

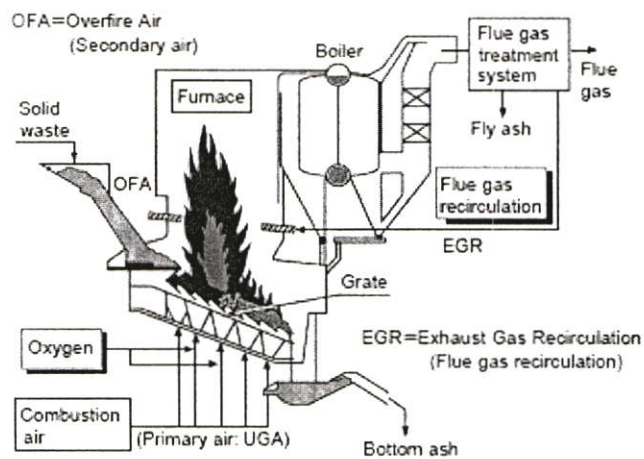
ส่วนก๊าซ CO_2 ที่วัดได้เพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 3.6 แต่เมื่อพิจารณาต่อหน่วยปริมาณน้ำ (ขยะ) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ก๊าซ CO_2 ลดลงแสดงในรูปที่ 3.7



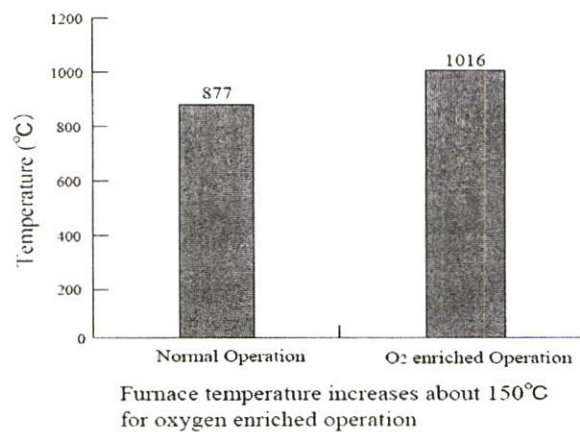
รูปที่ 3.7 แสดงผลการทดลองอัตราส่วนปริมาณ CO_2 ต่อปริมาณของขยะ

3.4 งานวิจัยของ Masaharu Kira, Tooru Doi และคณะ

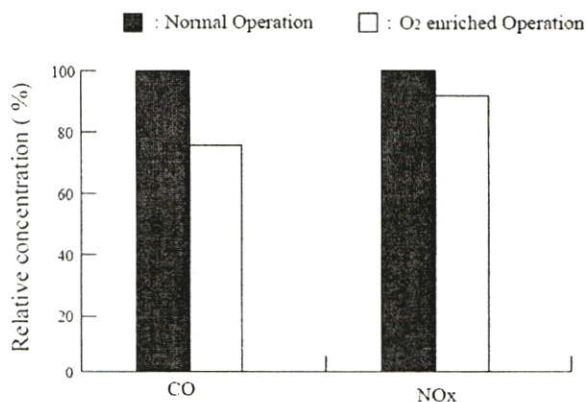
งานวิจัยของ Masaharu Kira, Tooru Doi, Shinya Tsuneizumi, Masao Takuma and Takehiro Kitta[4] ได้ทำการศึกษาเพิ่มปริมาณออกซิเจนในเตาเผาขยะรูปที่ 3.8 โดยเตาเผาขยะดังกล่าว นำความร้อนที่ได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้าจากการทดลองเพิ่มออกซิเจน 21% เป็น 27% เข้าไปในบริเวณ ตรงกลางด้านล่างของเตาเผา พบว่าอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 877 องศาเซลเซียส เป็น 1016 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นในขณะที่อัตราการป้อนขยะคงที่ นอกจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นแล้วยัง สามารถทำลายขยะให้ละเอียดมากขึ้น และปริมาณก๊าซไอเสีย. (Flue Gas), CO และ NO_x ลดลงแสดง ในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 แสดงเตาเผาขยะงานวิจัยของ Masaharu Kira, Tooru Doi และคณะ



รูปที่ 3.9 แสดงอุณหภูมิในเตาเผาขยะที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน



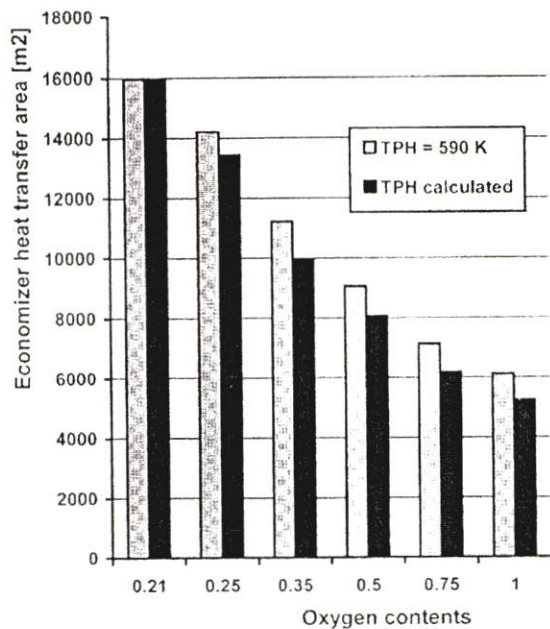
More than 20% reduction of CO while 10% reduction of NOx

รูปที่ 3.10 แสดงค่า CO และ NO_x ในเตาเผาขยะที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน

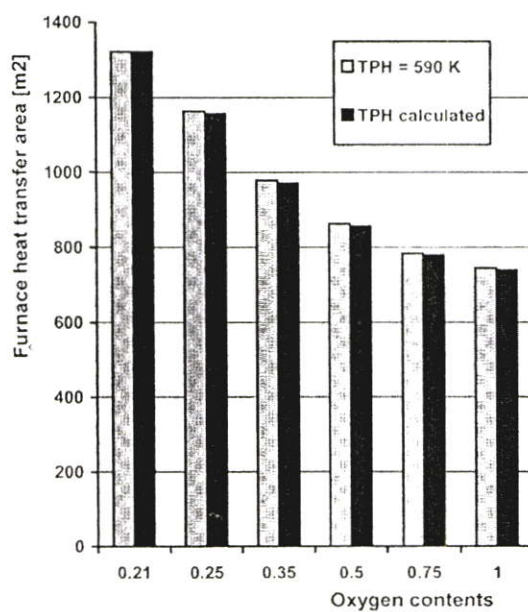
3.5 งานวิจัยของ Bogdan Horbaniuc, Ovidiu Marin และคณะ

งานวิจัยของ Bogden Horbaniuc, Ovidiu Marin, Gheorghe Dumitrascu and Olivier Charon[5] ได้ทำการศึกษาใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลแบบจลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยทำนายผลการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อต้มไอน้ำ(Boiler) เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ ในการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในการเผาไหม้ของหม้อต้มไอน้ำ และเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานการออกแบบผลิตหม้อต้มไอน้ำรุ่นต่อไปโดยพิจารณาถึงความร้อนที่เกิดขึ้น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนการผลิต จากผลการทดลองพบว่าสามารถลดพื้นที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรูปที่ 3.11 ลดขนาดของท่อภายในหม้อต้มไอน้ำ(พื้นที่ผิวลดลง ทำให้ได้ขนาดของท่อเล็กลง) รูปที่ 3.12 จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ พิจารณาจากพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง
2. สามารถเพิ่มความร้อนของเปลวไฟ ส่งผลให้ถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น
3. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำได้ 5 %
4. สามารถลดปริมาณก๊าซเสีย



รูปที่ 3.11 แสดงพื้นที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง



รูปที่ 3.12 แสดงพื้นที่ผิวของหม้อต้มไอน้ำลดลง

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

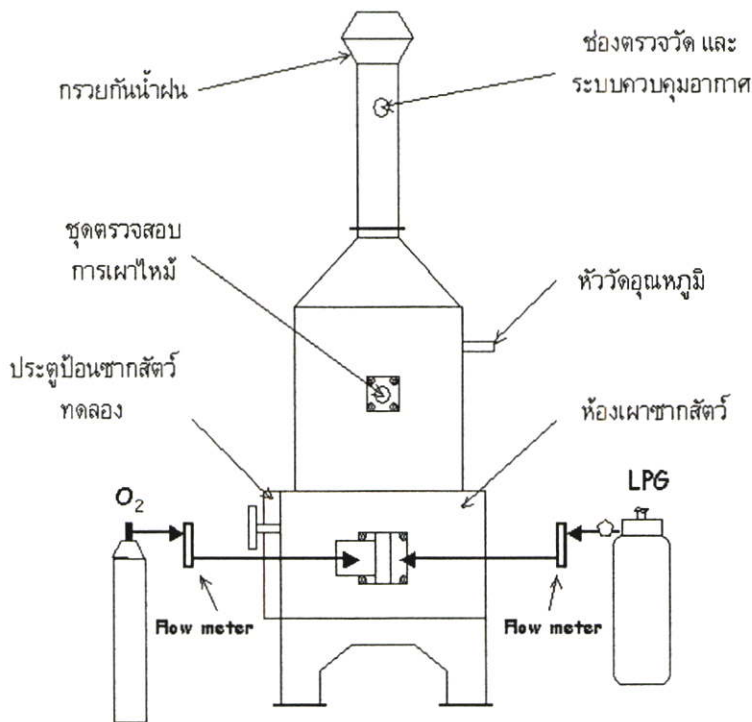
ในบทนี้กล่าวถึง การทดลองเผาไหม้ของกระบวนการผสมออกซิเจนบริสุทธิ์กับอากาศ (Oxygen Enriched Combustion; OEC) อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการวัดก๊าซไอเสีย เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการเผาไหม้ จำเป็นต้องใช้ชุดทดลองและอุปกรณ์ดังนี้

4.2 ชุดทดลอง

ชุดทดลองเตาเผาขยะ ได้ออกแบบชุดท่อหลัก เพื่อให้อากาศไหลผ่านและผสมกับออกซิเจน โดยการเจาะรูจำนวน 4 รู เพื่อต่อสายออกซิเจนเข้าไปในท่อหลัก ภายในท่อมมีแผ่นประทะเพื่อทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศกับออกซิเจนอย่างทั่วถึงก่อนการเผาไหม้

4.2.1 เตาเผาขยะติดเชื้อ

มีส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้คือ ห้องเผาไหม้ (Chamber) หัวเผาเชื้อเพลิง (Burner) ปล่องไอเสีย อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เตาเผาขยะติดเชื้อทดลอง

4.2.2 ปล่องควัน

ทำจากเหล็กกล้า (Stainless Steel) ขนาด 2x255x6000 มิลลิเมตร มีที่กั้นน้ำฝนพร้อมติดตั้งสายล่อฟ้าและสลิงยึด

4.2.3 ระบบควบคุมเตาเผาขยะ

เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ ติดตั้งที่ตู้ควบคุมมีสวิทช์เปิดปิดหัวเผาและไฟสัญญาณแสดงลักษณะการทำงานของเตาเผาขยะมีสัญญาณบอกเมื่อมีเหตุขัดข้อง

4.3 ขั้นตอนการทำงาน

1. เปิดแก๊ส เปิดสวิทซ์ไฟฟ้าที่ตู้ควบคุม
2. เปิดอุปกรณ์ควบคุมหัวเผา(Burner)
3. ระบบจะทำงานด้วย
 - 3.1 มอเตอร์ไฟฟ้า(0.37kW)
 - 3.2 ระบบหม้อแปลงแรงดันไฟสูงทำให้เกิดประกายไฟที่เขี้ยวหัวเทียน
 - 3.3 โซลินอยด์วาล์ว(SV₁, SV₂)จ่ายก๊าซแรงดันต่ำเข้ากับหัวฉีด
 - 3.4 ตรวจสอบเปลวไฟ โซลินอยด์วาล์ว ที่จ่ายก๊าซแรงดันสูง (SV₃) จะเปิดหรือปิดตามสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ

4.4 อุปกรณ์วัดการทดลอง

4.4.1 เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ (Hot wire anemometer)

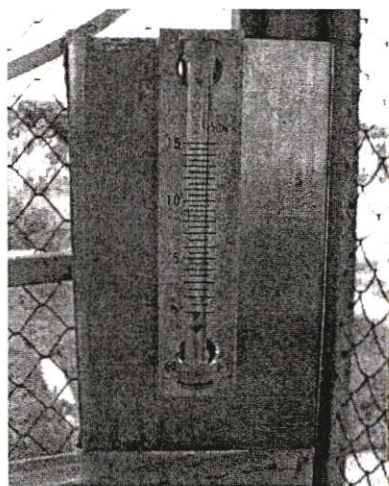
เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศสามารถวัดในท่อกลมและท่อเหลี่ยมด้วยความเร็วไม่สูงมาก



รูปที่ 4.2 เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ

4.4.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของออกซิเจน (O_2 Flow Meter)

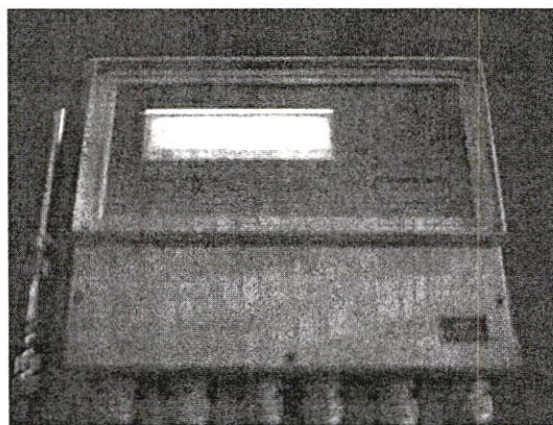
ในกระบวนการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ผสมกับอากาศเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจน จาก 1-5 ลิตรต่อนาที ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของออกซิเจนเพื่อให้ทราบค่าอัตราการไหลของออกซิเจน ตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของออกซิเจน

4.4.3 เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศ (% O_2 Meter)

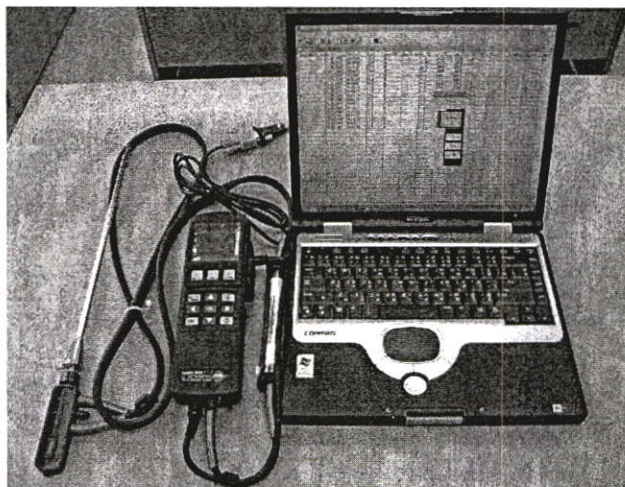
ในกระบวนการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ผสมกับอากาศเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนจาก สภาวะอากาศทั่วไปที่มี 21% เป็น 21.86%, 22.71%, 23.57%, 24.42% และ 25.28% ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้ทราบค่าความเข้มข้นของออกซิเจนจึงต้องใช้เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจน ตามรูปที่ 4.4 โดยเครื่องจะคำนวณค่าความแตกต่างระหว่าง 21% O_2 กับ 100% O_2 และแสดงผลต่างที่วัด ได้ที่หน้าจอ



รูปที่ 4.4 เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศ

4.4.4 เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย (Flue gas analysis)

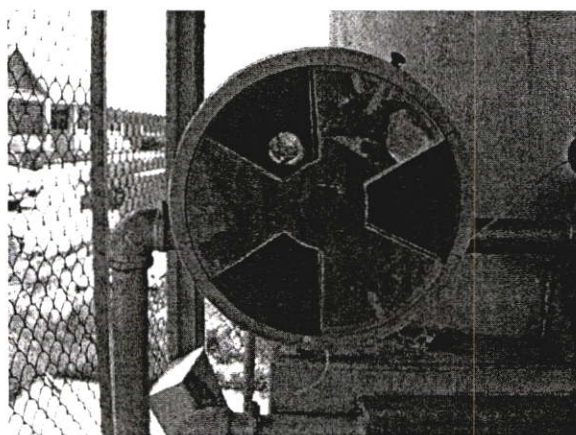
เมื่อทำการทดลองเผาไหม้ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนจาก 21% เป็น 21.86%, 22.71%, 23.57%, 24.42% และ 25.28% เพื่อให้ทราบผลหลังการเผาไหม้จึงต้องใช้เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย วัดค่าก๊าซ CO และ CO₂ รวมทั้งประสิทธิภาพการเผาไหม้ตลอดระยะเวลาการเผาไหม้ 7.5 นาที



รูปที่ 4.5 เครื่องมือวัดอากาศไอเสีย

4.4.5 ใบปรับความเร็วอากาศ

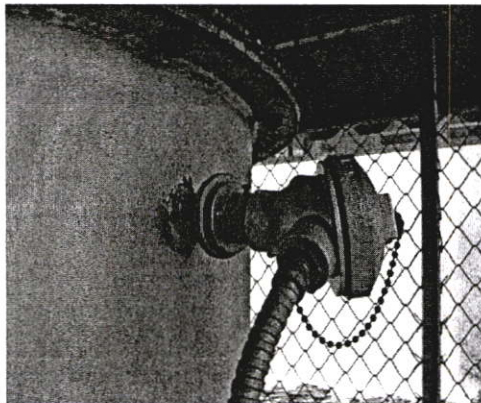
ใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนปริมาณอากาศให้เหมาะสมตามค่าอากาศเกินที่ออกแบบไว้ ใบปรับความเร็วอากาศสามารถปรับได้หลายระดับ แต่ไม่สามารถแสดงเป็นตัวเลขได้ จึงต้องใช้คู่กับเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.6 ใบปรับความเร็วอากาศ

4.4.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิลชนิดKทำด้วยเหล็กกล้า (Stainless Steel) ปลอกหุ้มด้วยเซรามิก (Ceramic) ข้อต่อแบบหน้าแปลน (Flange) ใช้วัดอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส

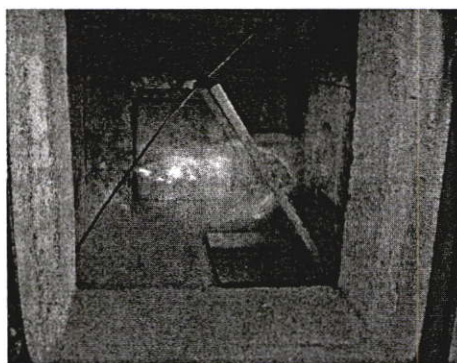


รูปที่ 4.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

4.5 วิธีการทดลอง

4.5.1 การทดลอง

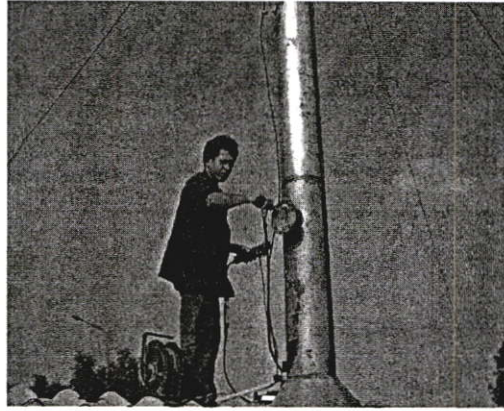
วิธีการทดลองแบ่งออกเป็นสองชุดการทดลอง คือชุดการทดลองแรกเผาไหม้ด้วยอากาศที่อากาศเกิน (Excess Air) 7%, 10%, 15%, และ 20% ตามลำดับ เพื่อศึกษารูปร่างของเปลวไฟ อุณหภูมิการเผาไหม้ ค่า CO , CO_2 , ประสิทธิภาพและเวลาการเผาไหม้ ของแต่ละอากาศเกิน เพื่อหาค่าการเผาไหม้ดีที่สุดของอากาศเกิน การทดลองชุดที่สอง นำผลการทดลองชุดแรก (ที่เผาไหม้ดีที่สุดของอากาศเกิน) มาทดลองเผาขยะ 0.640 kg ระยะเวลาการเผา 7.5 นาที อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ 0.1777 kg/min และผสมกับออกซิเจนด้วยอัตราการป้อน 1-5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.8 แสดงการทดลองเผาขยะในเตาเผา

4.5.2 การตรวจวัดคุณภาพของก๊าซไอเสีย

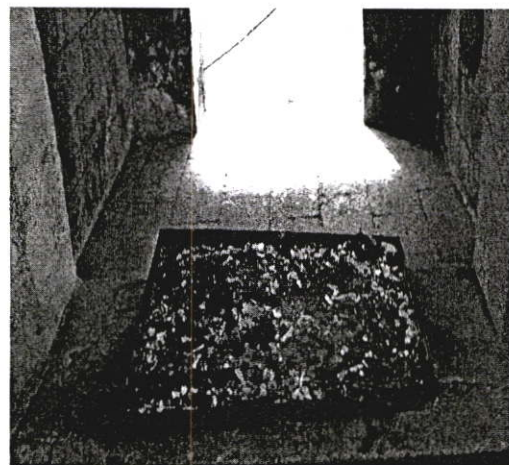
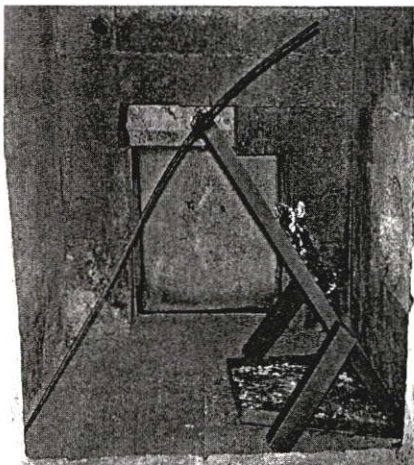
การตรวจวัด จะวัดที่ช่องสำหรับตรวจคุณภาพอากาศและระบบควบคุมอากาศ ตามรูปที่ 4.1 ด้วยอุปกรณ์วัดไอเสียอากาศ ตามรูปที่ 4.5 ทำการวัดบริเวณดังกล่าวเป็นเวลา 7.5 นาที



รูปที่ 4.9 แสดงการตรวจวัดก๊าซไอเสีย

4.5.3 เถ้าหลังการเผาไหม้

เมื่อเสร็จสิ้นการเผาขยะจะได้เถ้าหลังการเผาไหม้ตามรูปที่ 4.10 มีบางส่วนติดกับตะแกรง และบางส่วนตกลงสู่ภาชนะรองรับ นำเถ้าขยะทั้งสองส่วนซึ่งน้ำหนักเปรียบเทียบหาความแตกต่างของแต่ละการทดลองเผาจาก 21%O₂(อากาศ), 21.86%, 22.71%, 23.57%, 24.42% และ 25.28%



รูปที่ 4.10 แสดง เถ้าขยะหลังการเผาไหม้

4.5.4 ตรวจสอบน้ำหนักการทดลอง

การทดลองของงานวิจัยนี้ ชั่งน้ำหนักขยะก่อนและหลังการเผาไหม้ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลรูปที่ 4.11 ชั่งน้ำหนักก่อนเผาไหม้เพื่อให้ได้น้ำหนักขยะที่เท่ากัน ส่วนการชั่งเก็บหลังเผาไหม้เพื่อหาความแตกต่างของน้ำหนักเถ้าขยะในแต่ละการทดลอง และบันทึกค่าจากเครื่องชั่ง



รูปที่ 4.11 แสดง เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

บทที่ 5

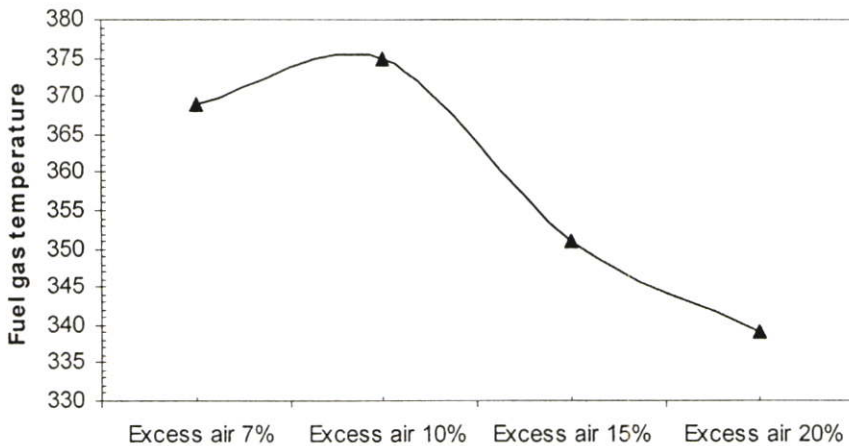
ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นผลการทดลองเผาไหม้ที่อากาศเกินและอากาศผสมกับออกซิเจน (Oxygen Enriched Combustion ;OEC)ผ่านหัวเผา(Burner) ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อหลักคือ

1. การเผาไหม้ที่อากาศเกิน(Excess air) 7%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ
2. ปริมาณมวล(Mass)ของขยะที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้
3. พลังงาน (Energy) เผาไหม้ขยะและพลังงานที่สูญเสีย
4. เศรษฐศาสตร์(Economics) พิจารณาค่าต้นทุนการเผาไหม้ของการทดลอง
5. สิ่งแวดล้อม (Environment) พิจารณาค่ามลพิษของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบด้วย CO, CO₂ และอนุหภูมิ เพื่อเปรียบเทียบกับเผาไหม้ที่สภาวะปกติ (อากาศเผาไหม้) โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

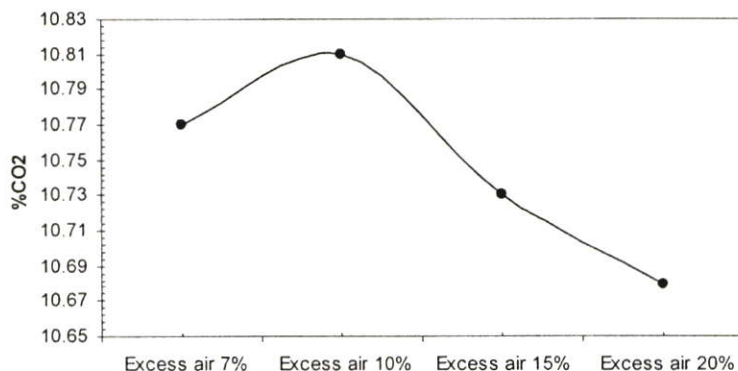
5.2 ผลการวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสียการเผาไหม้ที่อากาศเกินแตกต่างกัน



รูปที่ 5.1 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

จากการวัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ใช้อากาศเกินแตกต่างกันเผาไหม้แสดงในรูปที่ 5.1 พบว่าที่อากาศเกิน10%ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด ดังนั้นจึงใช้อากาศเกิน10% เป็นข้อมูลพื้นฐานการทดลองเพิ่มออกซิเจนผสมกับอากาศก่อนเผาไหม้

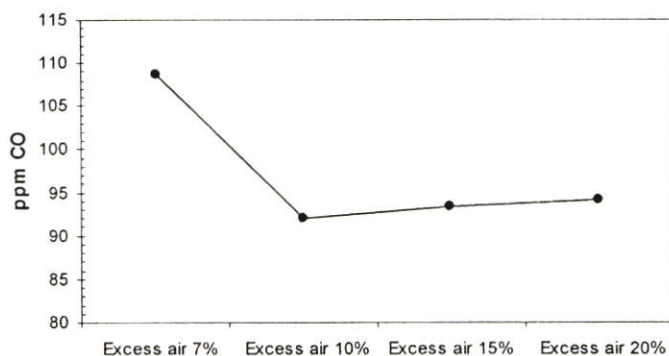
5.3 ผลการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)ที่อากาศเกินแตกต่างกัน



รูปที่ 5.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อากาศเกินแตกต่างกัน

จากการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)ที่ใช้อากาศเกินแตกต่างกันรูปที่ 5.2 พบว่าที่อากาศเกิน 10% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่สูง

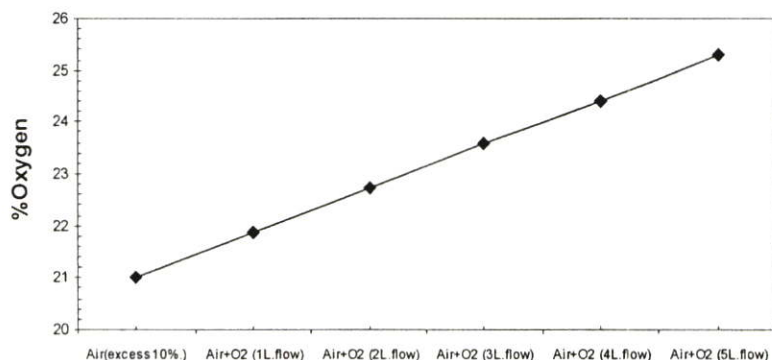
5.4 ผลการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ที่อากาศเกินแตกต่างกัน



รูปที่ 5.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อากาศเกินแตกต่างกัน

รูปที่ 5.3 จากการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ที่อากาศเกินแตกต่างกัน พบว่าที่อากาศเกิน 10% ได้ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงใช้อากาศเกิน 10% เป็นข้อมูลพื้นฐานทดลองเพิ่มออกซิเจนผสมกับอากาศก่อนเผาไหม้

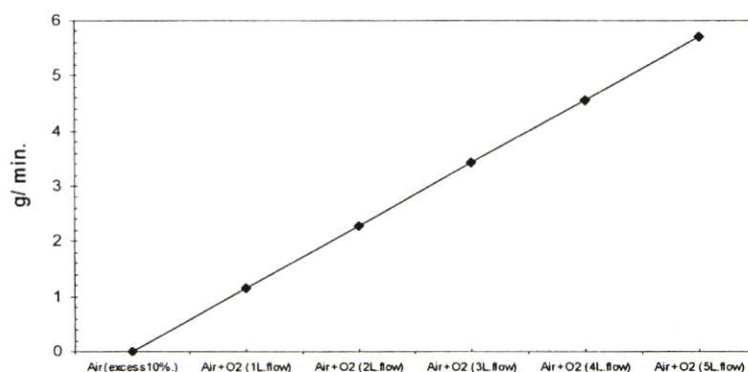
5.5 ผลการวัดออกซิเจนผสมกับอากาศเกิน10%(Oxygen Enriched Combustion ; OEC)



รูปที่ 5.4 เปอร์เซ็นออกซิเจนในอากาศ

จากรูปที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นออกซิเจนในอากาศผสมกับออกซิเจนบริสุทธิ์ก่อนการเผาไหม้ เริ่มจาก 1 ลิตรต่อนาที ถึง 5 ลิตรต่อนาที ใช้เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นออกซิเจนในอากาศตามรูปที่ 4.4 ได้เปอร์เซ็นออกซิเจน 21%, 21.86%, 22.71%, 23.57%, 24.42% และ 25.28% ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.1

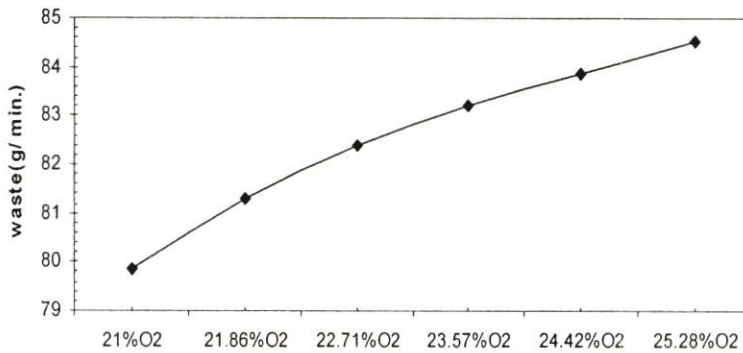
5.6 อัตราการป้อนออกซิเจนผสมกับอากาศเกิน10%



รูปที่ 5.5 อัตราการป้อนปริมาณออกซิเจน

จากรูปที่ 5.5 แสดงปริมาณออกซิเจนที่ป้อนผสมกับอากาศจาก 1 ลิตรต่อนาที ถึง 5 ลิตรต่อ นาที ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) รูปที่ 4.3 ได้ปริมาณออกซิเจนดังนี้คือ 1.14 g/min, 2.28 g/min, 3.42 g/min, 4.56 g/min และ 5.70 g/min ตามลำดับ

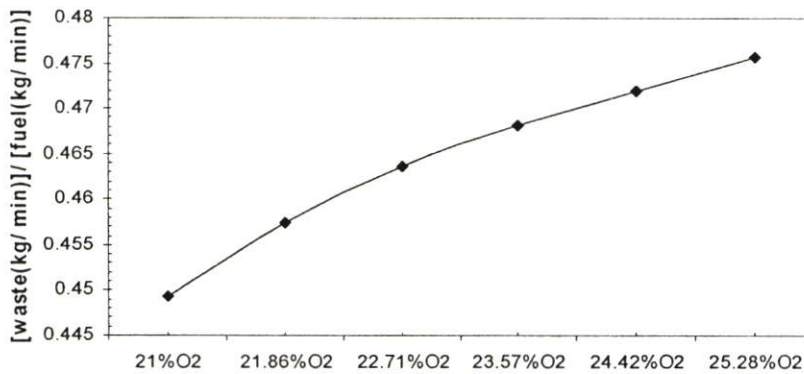
5.7 อัตราการเผาไหม้ของขยะในรูปของมวลต่อหน่วยเวลา



รูปที่ 5.6 ปริมาณขยะที่เผาได้ต่อหน่วยเวลา

จากผลการทดลอง ปริมาณของขยะที่ถูกเผาทำลายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในระบบ แสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนที่เข้าไปในกระบวนการเผาไหม้สามารถเพิ่มพลังงานความร้อนทำลายขยะได้มากขึ้นจากแนวโน้มของกราฟ พบว่าปริมาณขยะสามารถถูกเผาทำลายได้สูงเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากขึ้น ดังรูปที่ 5.6

5.8 อัตราการเผาไหม้ขยะในรูปของมวลที่ถูกเผาทำลายต่อหน่วยมวลของเชื้อเพลิง

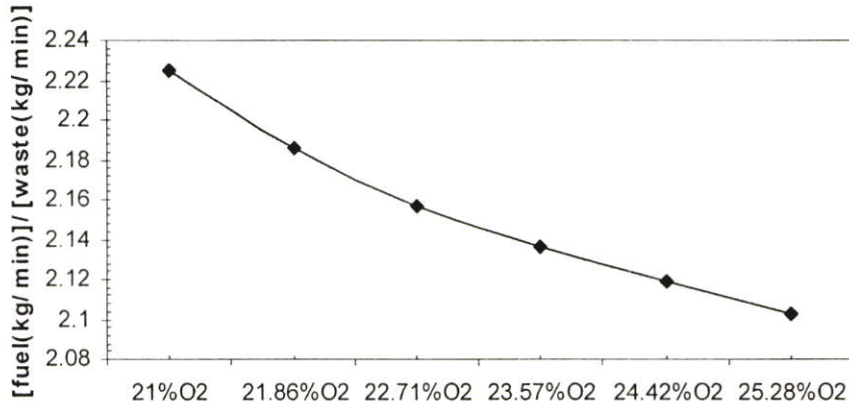


รูปที่ 5.7 อัตราการเผาไหม้มวลของขยะต่อมวลเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 5.7 แสดงถึง มวลของขยะที่ถูกเผาไหม้ต่อมวลของเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการเผาไหม้ โดยที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ แสดงให้เห็นถึงการใช้ออกซิเจนผสมกับอากาศในกระบวนการเผาไหม้สามารถเพิ่มปริมาณการเผาขยะได้มากขึ้น

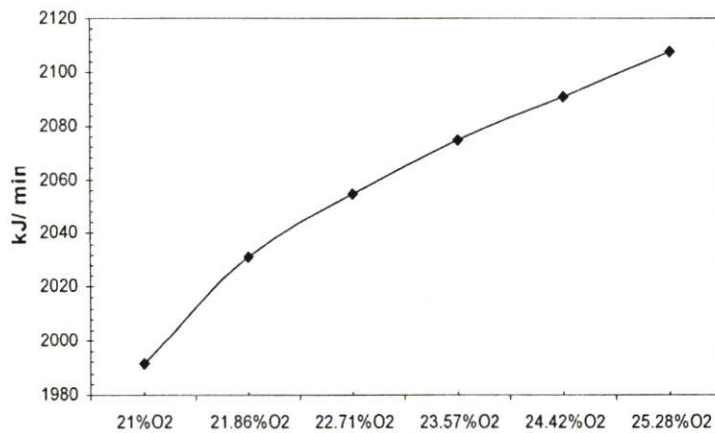
5.9 อัตราการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงต่อปริมาณขยะที่ถูกเผาทำลาย

จากรูปที่ 5.8 แสดงถึงปริมาณของเชื้อเพลิงต่อปริมาณขยะที่ถูกเผาไหม้โดยที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่แต่ปริมาณขยะที่ถูกเพิ่มมากขึ้นเมื่อนำมาหาอัตราส่วนการเผาไหม้ พบว่าปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยการเผาไหม้ขยะลดลง



รูปที่ 5.8 อัตราการเผาไหม้ ปริมาณเชื้อเพลิงต่อปริมาณขยะ

5.10 ปริมาณพลังงานที่เผาขยะต่อหน่วยเวลา

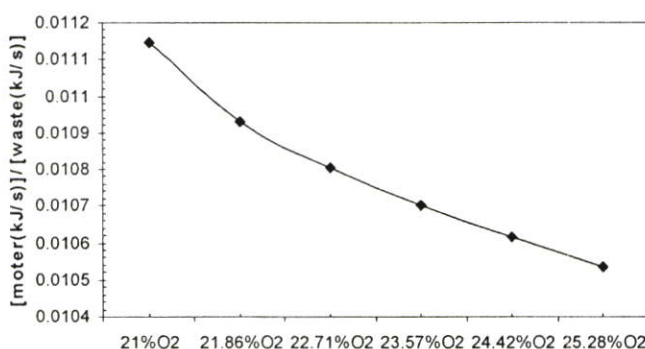


รูปที่ 5.9 พลังงานของขยะที่ถูกเผาไหม้

จากรูปที่ 5.9 แสดงถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่เผาขยะได้ขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าโดยที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ออกซิเจนผสมกับอากาศในกระบวนการเผาไหม้สามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงสู่พลังงานการเผาขยะได้มากขึ้น ทำให้ขยะคายพลังงานความร้อนออกมากขึ้น

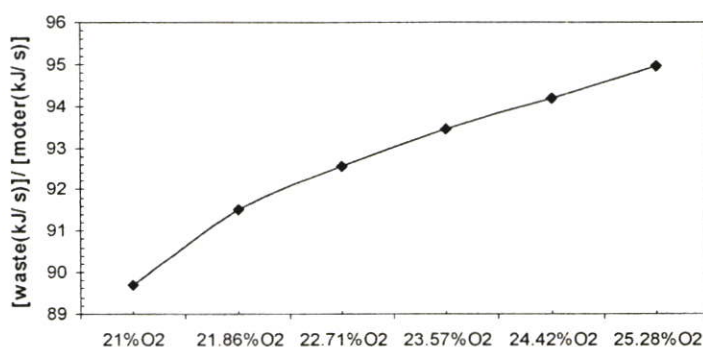
5.11 อัตราส่วนพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้าต่อพลังงานเผาขยะ

ในกระบวนการเผาทำลายขยะด้วยเตาเผาชนิดใช้หัวเผา (Burner) พ่นไฟเข้าสู่เตาเผา นอกจากจะใช้พลังงานเชื้อเพลิงเผาไหม้แล้วยังใช้พลังงานไฟฟ้าขั้มอเตอร์เพื่อดูดอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับเชื้อเพลิง ดังนั้น จึงมีพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าต่อพลังงานเผาขยะ จะได้สัดส่วนการใช้พลังงานลดลง เพราะอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าขั้มอเตอร์คงที่ (0.37kW) แต่อัตราการเผาทำลายขยะเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อัตราส่วนพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้าต่อพลังงานเผาขยะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ปริมาณพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าต่อพลังงานเผาขยะ

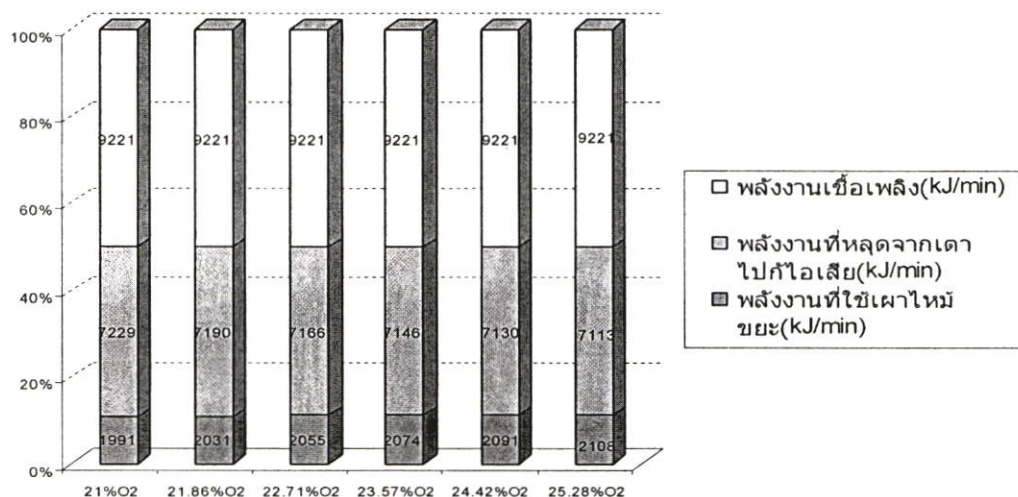
5.12 อัตราส่วนพลังงานเผาขยะต่อพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 5.11 ปริมาณพลังงานของขยะที่ถูกเผาไหม้ต่อพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.11 แสดงถึงพลังงานการเผาขยะต่อหน่วยพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานคงที่เท่ากับ 0.37 kW เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของดังกล่าว พบว่าสัดส่วนของพลังงานเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบการเผาไหม้ และจากแนวโน้มของกราฟสามารถลดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กลง

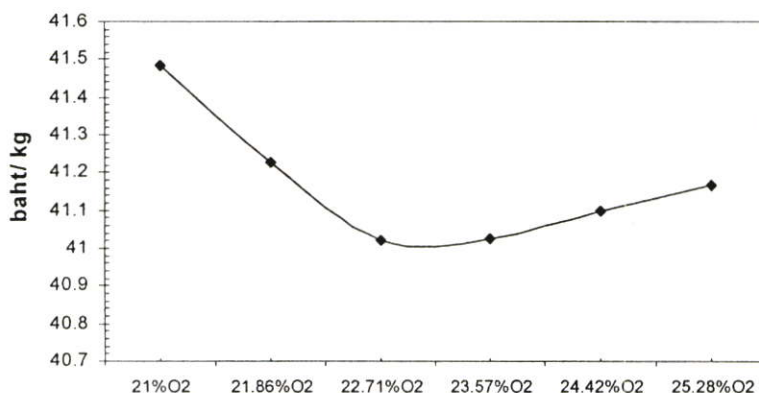
5.13 อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเผาไหม้ขยะและอัตราพลังงานสูญเสียจากการทดลอง



รูปที่ 5.12 อัตราการใช้พลังงานเผาไหม้และอัตราพลังงานสูญเสีย

จากรูปที่ 5.12 แสดงถึงปริมาณพลังงานความของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปในระบบเผาไหม้ มีค่าคงที่เท่ากับ 9221 kJ/min เมื่อทำการเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง คือพลังงานที่หลุดไปกับก๊าซไอเสีย (Flue Gas) และพลังงานความร้อนที่ใช้เผาขยะ (Waste) เมื่อทำการทดลองเผาไหม้ขยะด้วยอากาศ จะได้พลังงานเท่ากับ 1991 kJ/min และได้พลังงานที่หลุดไปกับก๊าซไอเสียรวมกับความร้อนสูญเสียอื่นๆ (กล่าวในบทที่2) เท่ากับ 7230 kJ/min พลังงานทั้งสองส่วนรวมกันจะเท่ากับพลังงานของเชื้อเพลิงที่เข้าสู่ระบบ ในการทดลองนี้ไม่ได้วัดค่าพลังงานที่สูญเสีย (Heat Loss) ไปกับผนังเตาและส่วนอื่นๆ เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบ พบว่าพลังงานการเผาไหม้ขยะเพิ่มขึ้น เช่นเมื่อเพิ่มออกซิเจนจาก 21% เป็น 21.86% ได้พลังงานในการเผาไหม้ขยะเท่ากับ 2031 kJ/min ในขณะที่พลังงานของก๊าซไอเสียลดลงเท่ากับ 7190 kJ/min จากกราฟเป็นค่าสัดส่วนของพลังงานอ้างอิงจากกฎการอนุรักษ์พลังงานและพบว่าสอดคล้องกับผลการทดลองคือ เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบมากขึ้นสามารถเผาปริมาณขยะได้มากขึ้น

5.14 ต้นทุนการเผาไหม้ของการทดลอง

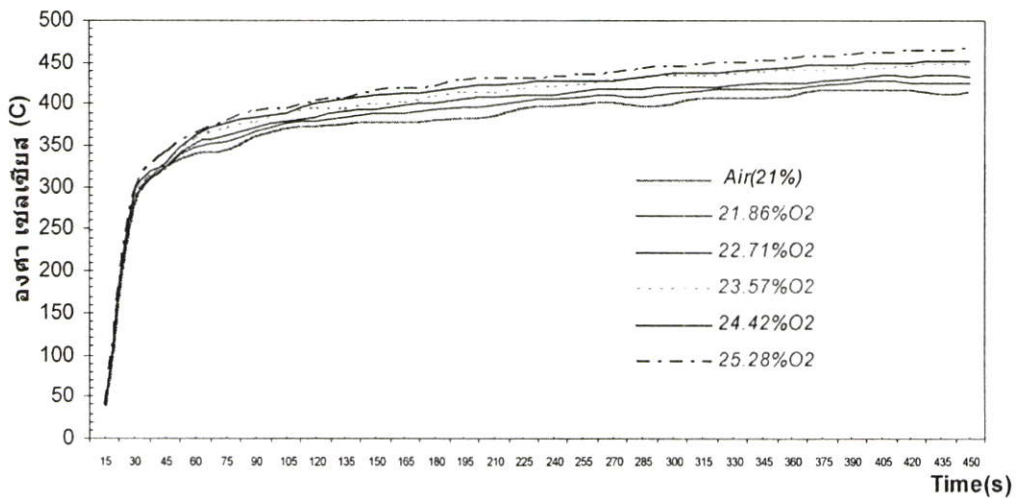


รูปที่ 5.13 ต้นทุนการเผาไหม้ของการทดลองเผาขยะ

ต้นทุนการเผาไหม้ขยะของชุดการทดลองนี้ซึ่งใช้ออกซิเจนผสมกับอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับเชื้อเพลิง ถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณออกซิเจนผสมกับอากาศ ทำให้สามารถเพิ่มพลังงานความร้อนเผาขยะได้มากขึ้นก็ตาม แต่ออกซิเจนที่เพิ่มเข้าไปเป็นออกซิเจนบริสุทธิ์ ซึ่งมีต้นทุนเกิดขึ้น จึงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายส่วนนี้ นอกเหนือจากต้นทุนเชื้อเพลิง(ราคาออกซิเจน 29.24 baht/kg ราคาเชื้อเพลิง 18.24 baht/kg ปี 2550) อย่างไรก็ตาม ระหว่างข้อดี (เพิ่มปริมาณการเผาขยะ) กับข้อเสีย (เพิ่มต้นทุนการเผาไหม้) สามารถหาความเหมาะสมได้ด้วยการทดลองเผาขยะ ผลการทดลองตามรูปที่ 5.13 โดยที่อัตราส่วนของต้นทุนการเผาขยะประกอบด้วยราคาเชื้อเพลิงรวมกับราคาออกซิเจนต่อปริมาณขยะที่เผาได้ จากกราฟเมื่อพิจารณาต้นทุนการเผาไหม้แล้ว พบว่าไม่สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนเกิน 27% เพราะจะทำให้ต้นทุนการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้ที่สภาวะปกติ 21%ออกซิเจน และจากการทดลองพบว่าจุดต่ำที่สุดของต้นทุนการเผาไหม้อยู่ที่ 22.71%(2 ลิตรต่อนาที) หากราคาของออกซิเจนและก๊าซ LPG เปลี่ยนแปลง จุดคุ้มทุนจะสามารถดูได้จากตารางในภาคผนวก ฉ.

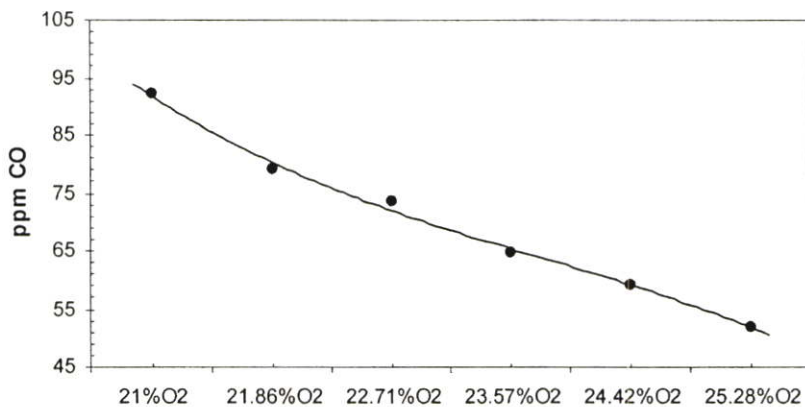
5.15 อุณหภูมิที่ปล่อยควันจุดตรวจวัดก๊าซ

จากรูปที่ 5.14 แสดงถึงอุณหภูมิที่สูง เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนผสมกับอากาศเผาไหม้ในเตาเผาขยะ อุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดพลังงานความร้อนในเตาเผาขยะสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการเผาขยะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงคงที่อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูง เมื่อนำก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นอากาศ สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าการเผาไหม้ด้วยอากาศที่สภาวะปกติ



รูปที่ 5.14 อุณหภูมิที่ปล่องควันเตาเผาขยะ

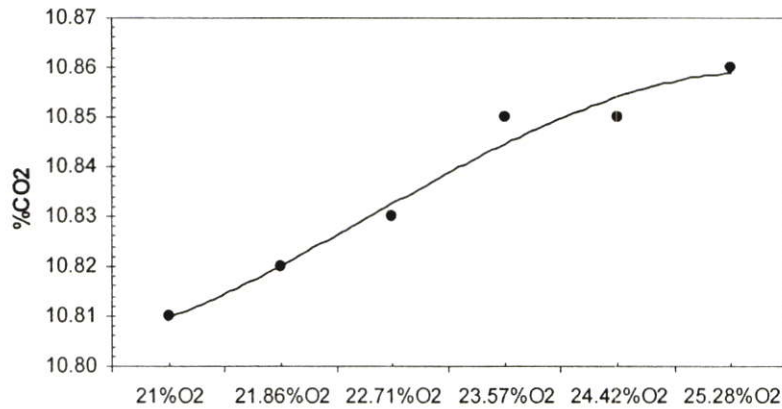
5.16 มลพิษทางอากาศคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)



รูปที่ 5.15 แสดงค่าคาร์บอนมอนอกไซด์

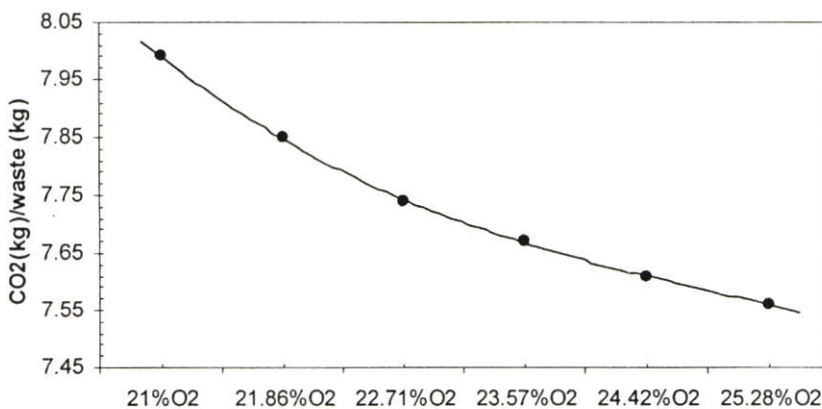
จากรูปที่ 5.15 แสดงถึง ค่าของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากการเผาไหม้ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์นี้เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากขึ้นทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ จากกราฟแนวโน้มของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากขึ้น

5.17 มลพิษทางอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์(CO₂)



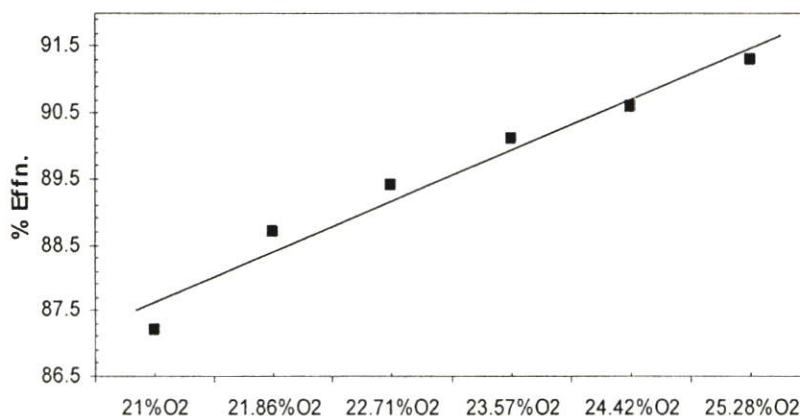
รูปที่ 5.16 แสดงค่าคาร์บอนไดออกไซด์

จากรูปที่ 5.16 แสดงถึง เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เกิดจากการเผาไหม้ เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบเผาไหม้พบว่า CO₂ มีปริมาณสูงขึ้น แสดงว่าการเผาไหม้ สมบูรณ์มากขึ้น จากกราฟคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มปริมาณ ออกซิเจนมากขึ้น แม้ว่าก๊าซ CO₂ หลีกหนีไม่ได้ในการเผาไหม้ แต่หากนำมาเปรียบเทียบกับหน่วย ปริมาณขยะที่ถูกเผาทำลาย พบว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แสดงอัตราคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂)ต่อปริมาณขยะที่เผาไหม้

5.18 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Effn.)



รูปที่ 5.18 แสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้

จากรูปที่ 5.18 แสดงถึง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของออกซิเจนผสมกับอากาศเผาไหม้กับก๊าซเชื้อเพลิง(LPG) จากการทดลองวัดค่าก๊าซไอเสีย(Flue Gas) ด้วยเครื่องวัดรูปที่ 4.5 ที่บริเวณช่องตรวจวัดและควบคุมมลพิษรูปที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้มีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้นตามปริมาณเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจน และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนมากขึ้น

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ผลการทดลองงานวิจัยใช้เทคนิคการผสมออกซิเจนกับอากาศเข้าไปเผาไหม้ขยะในเตาเผา สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ ลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงต่อหน่วยขยะที่เผาไหม้ เพิ่มพลังงานความร้อนในเตาเผา และลดมลพิษทางอากาศ(ตรวจวัดค่า CO และ CO₂) เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ อุณหภูมิในเตาสูงขึ้น และมีข้อดีอื่นๆ อีกดังต่อไปนี้

6.1.1 ผลผลิตของถ่าน

จากการทดลองเผาขยะในเตาเผาพบว่าถ่านที่ได้มีปริมาณลดลง และมีขนาดของถ่านละเอียดขึ้นตามความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผสมกับอากาศ ทำให้ประหยัดพื้นที่จัดเก็บ และทำให้ย่อยสลายได้เร็วขึ้นเมื่อนำไปฝังกลบ

6.1.2 ลดปริมาณกระแสไฟฟ้า

การทำงานของหัวเผาในเตาเผาขยะใช้มอเตอร์หมุนขับเคลื่อนใบพัด (Blower) เพื่อดูดอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง การใช้เทคนิคนี้สามารถลดปริมาณการใช้อากาศลงตามความเข้มข้นของออกซิเจนส่งผลให้กำลังขับเคลื่อนใบพัดลดลง จากเหตุผลดังกล่าวสามารถลดขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า หรือติดตั้งชุดปรับความเร็วรอบ (Inverter) เพื่อปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับแต่ละการเผาไหม้

6.1.3 รักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

นอกเหนือจากการประหยัดเชื้อเพลิงแล้ว ค่ามลพิษหลังการเผาไหม้ของก๊าซไอเสียประกอบไปด้วยค่า CO, CO₂ ลดลง (CO₂ ต่อหน่วยขยะลดรูปที่ 5.17) เมื่อเทียบกับการเผาไหม้ด้วยอากาศ 21%O₂ ดังนั้นการนำกระบวนการเผาไหม้ด้วยวิธีนี้มาใช้กับหัวเผา จะช่วยรักษาและยืดอายุสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน ซึ่งไม่สามารถคิดเป็นมูลค่าได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

กระบวนการผสมออกซิเจนกับอากาศใช้ในระบบเผาไหม้สามารถให้ผลผลิตต่อ หน่วยสูงขึ้น และรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนไปพร้อมๆ กันได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวมีข้อจำกัดอยู่บ้างดังหัวข้อต่อไปนี้คือ

6.2.1 ข้อจำกัดด้านวัสดุ

กระบวนการผสมออกซิเจนกับอากาศมาใช้ในการเผาไหม้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงมาก ตามความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผสมเข้าไปเพราะฉะนั้น ต้องเน้นว่าวัสดุที่ใช้ในเตาเผาทนความร้อนได้ เช่น วัสดุ บริเวณหัวเผา อิฐทนความร้อน เป็นต้น

6.2.2 เทคนิคการเพิ่มออกซิเจน

การเพิ่มออกซิเจนช่วยในการเผาไหม้ต้องพิจารณาความปลอดภัยตามมาตรฐานในบทที่ 2 และอัตราการป้อนออกซิเจนควรพิจารณาให้เหมาะสมกับแต่ละการเผาไหม้ ถ้าเป็นหัวเผาที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อเพิ่มออกซิเจน การปฏิบัติต้องหาปริมาณอากาศเกินที่เผาไหม้ดีที่สุด ก่อนนำอากาศเกินดังกล่าวผสมกับออกซิเจน เพราะออกซิเจนเพิ่มต้นทุนการเผาไหม้และมีราคาสูง

6.2.3 ข้อจำกัดด้านพื้นที่และอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย

ข้อจำกัดด้านพื้นที่ของกระบวนการเผาไหม้นี้ จำเป็นต้องมีพื้นที่จัดเก็บออกซิเจนเพิ่มขึ้นอีกนอกเหนือจากพื้นที่จัดเก็บเชื้อเพลิง เพราะฉะนั้น จึงต้องจัดหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดเก็บ สะดวกในการใช้งานพร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยเพิ่มเติม

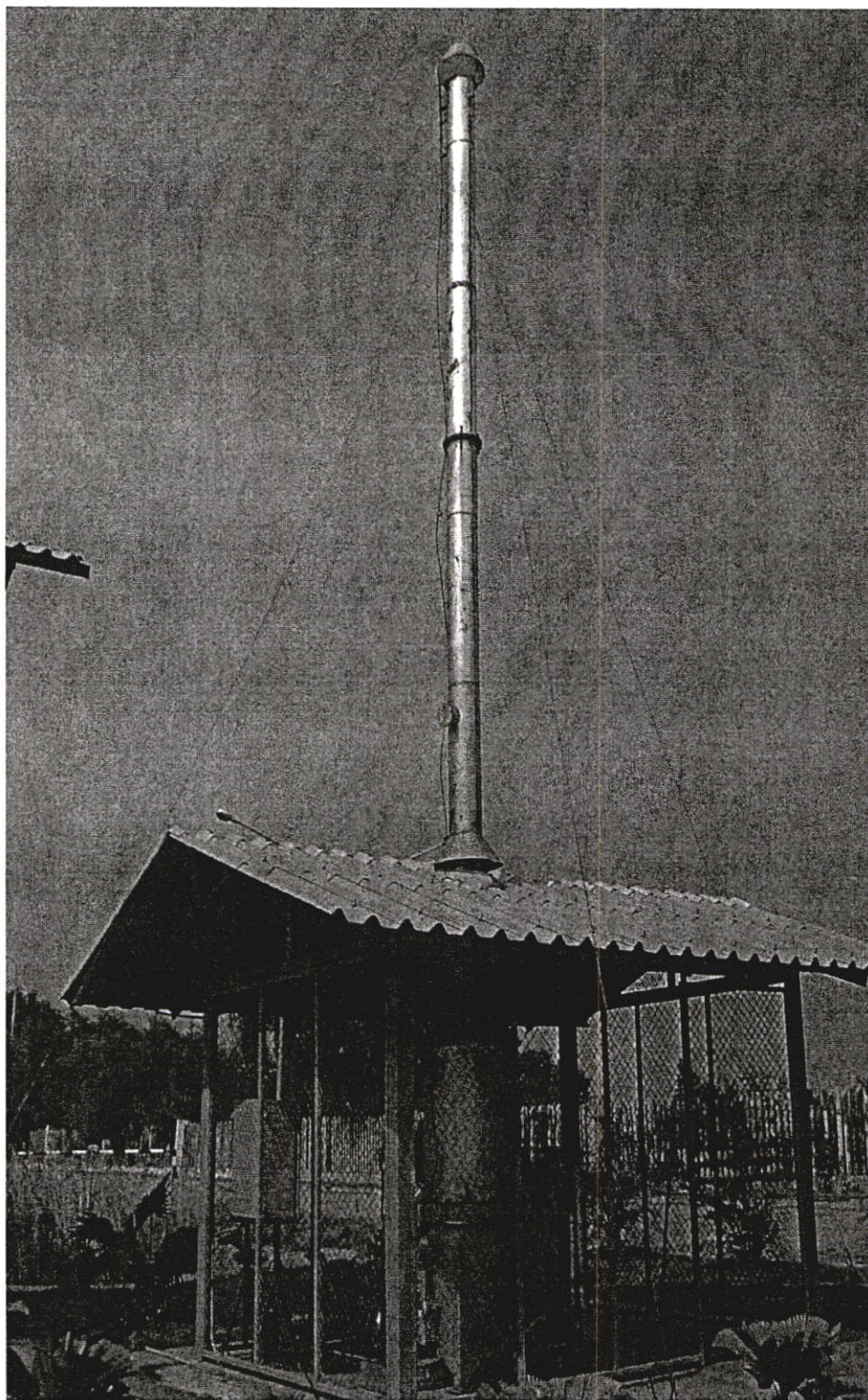
เอกสารอ้างอิง

- [1] P.T. Lacava, A.P. Pimenta, C.A. Gurgel Veras, J.A. Carvalho Jr. “Theoretical Analysis of Aqueous Residues Incineration with Oxygen Enriched Flames.” **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, Vol. 26, No.7, pp.1029-1040. 1999.
- [2] P.T. Lacava, J.A. Carvalho Jr, A.P. Pimenta, M.A. Ferreira. “Thermal Analysis of an Enriched Flame Incinerator for Aqueous Residues.” **Energy**, Energy xx (2005) 1-18, 2005.
- [3] G.F. Melo, P.T. Lacava, J.A. Carvalho Jr. “A Case Study of Air Enrichment in Rotary Kiln Incineration.” **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, Vol. 25, No.5, pp.681-692. 1998.
- [4] Masaharu Kira, Tooru Doi, Shinya Tsuneizumi, Masao Takuma, Takehiro Kitta. “Development of New Stocker Incinerator for Municipal Solid Wastes Using Oxygen Enrichment.” **Technical Review**, Vol. 38, No.2, pp.78-81. 2001.
- [5] Bogden Horbaniuc, Ovidiu Marin, Gheorghe Dumitrascu, Olivier Charon. “Oxygen-enriched combustion in supercritical steam boiler.” **Energy**, Energy 29 (2004) 427-448, 2005.
- [6] Simon Lille, Wlodzimierz Blasiak, Marcin Jewartowski. “Experimental study of the fuel jet combustion in high temperature and low oxygen content exhaust gases.” **Energy**, Energy 30 (2005) 373- 384, 2005.
- [7] Charles E. Baukal, Jr., Ph.D. “**Oxygen-Enhanced Combustion.**” CRC Press Boca Raton Boston London New York Washington D.C. 1998.
- [8] Stephan R.Turns. **An Introduction to Combustion.** McGraw-Hill, 2001.
- [9] Calvin R. Brunner, P.E., D.E.E. **Handbook of Incineration systems.** McGraw-Hill, 1991.
- [10] Wallter R. Niessen. **Combustion and Incineration Processes Applications in Environmental Engineering.** Marcel Dekker, 1994.
- [11] Charles E. Baukal,Jr. **The John Zink Combustion Handbook.** CRC Press Boca Raton Boston London New York. 2001.
- [12] William Bartok. **Fossil Fuel Combustion a Source Book.** John Wiley & Sons,Inc 1989.
- [13] Stephan R.Turns. **An Introduction to Combustion.** McGraw-Hill,Inc 2000.
- [14] Stewart Jepson. **Oxygen-Enriched Combustion Provides Advantages in Al-Melting Furnaces.** IndustrialHeating.com-June. 2005.

- [15] กระทรวงพลังงาน. 2549. “คู่มือฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านความร้อน.” ปทุมธานี.
- [16] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2545. “คู่มือการใช้งานและบำรุงรักษาเตาเผาขยะติดเชื้อ.” ปทุมธานี.
- [17] สำเร้ง จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] กัญจนา บุญยเกียรติ. 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก

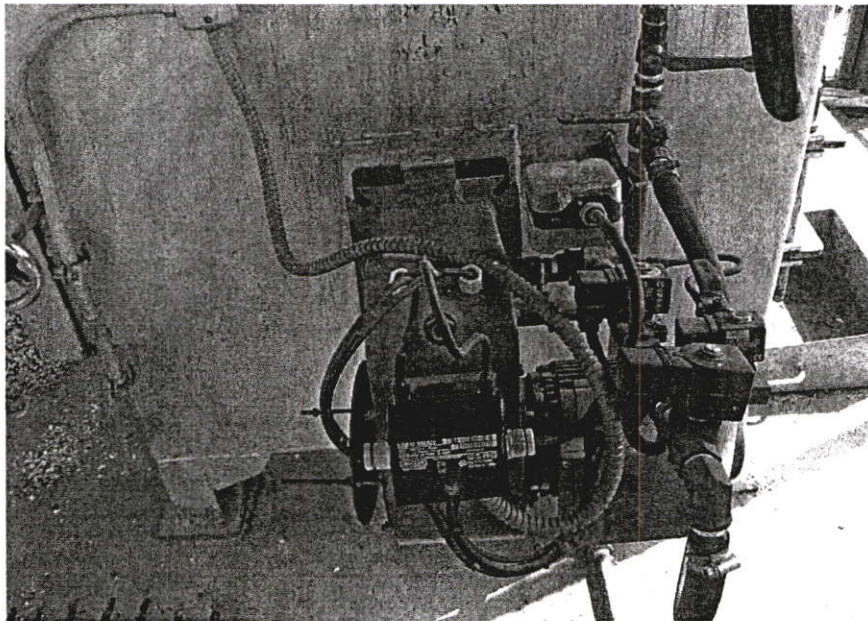
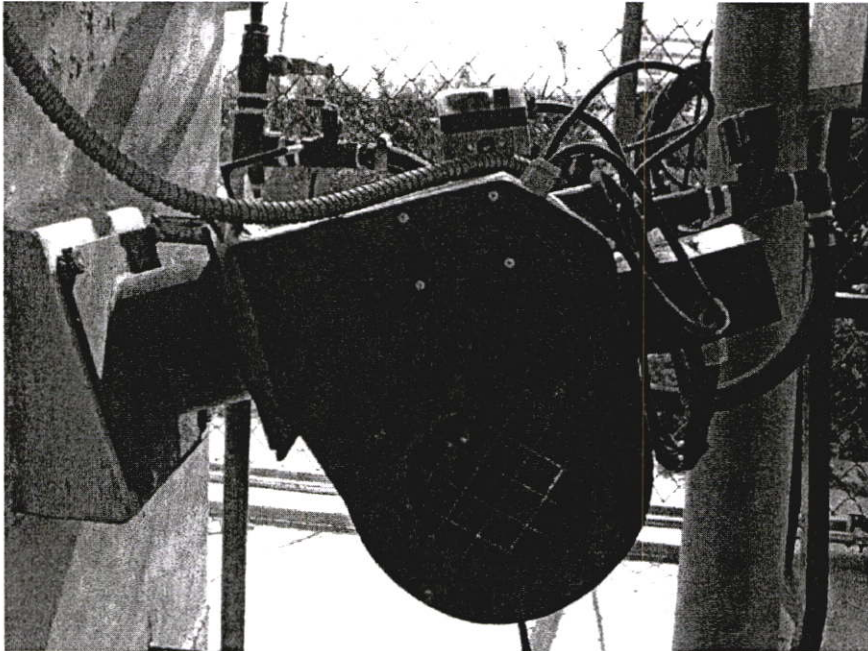
ภาคผนวก ก.
เตาเผาขยะของงานวิจัย



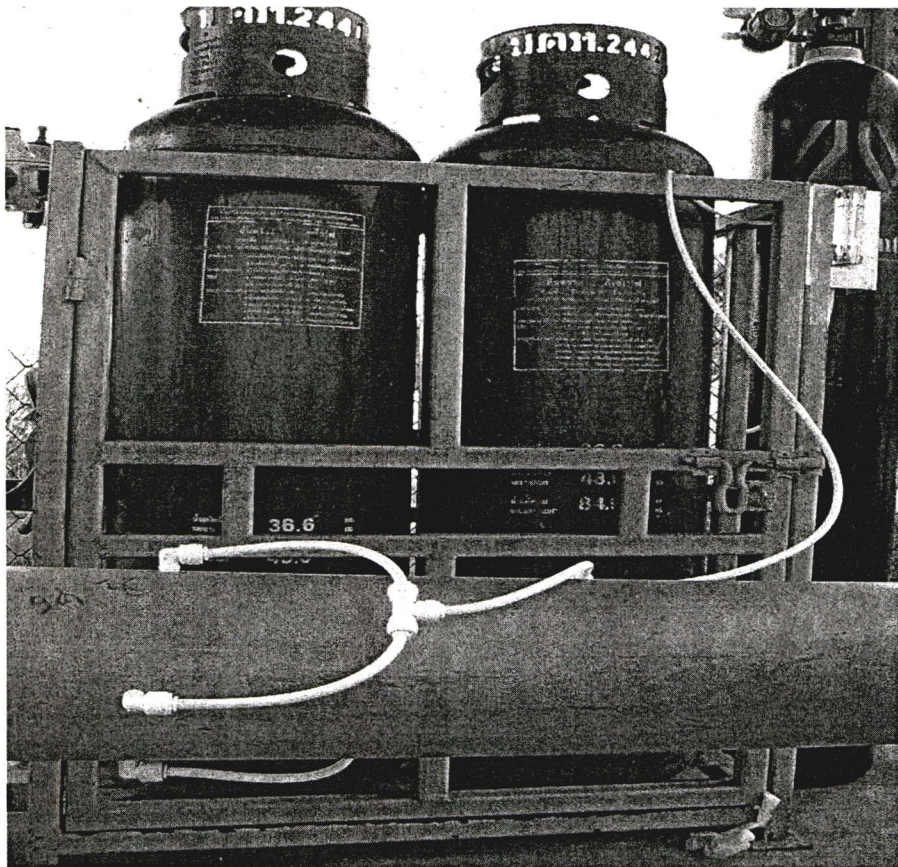
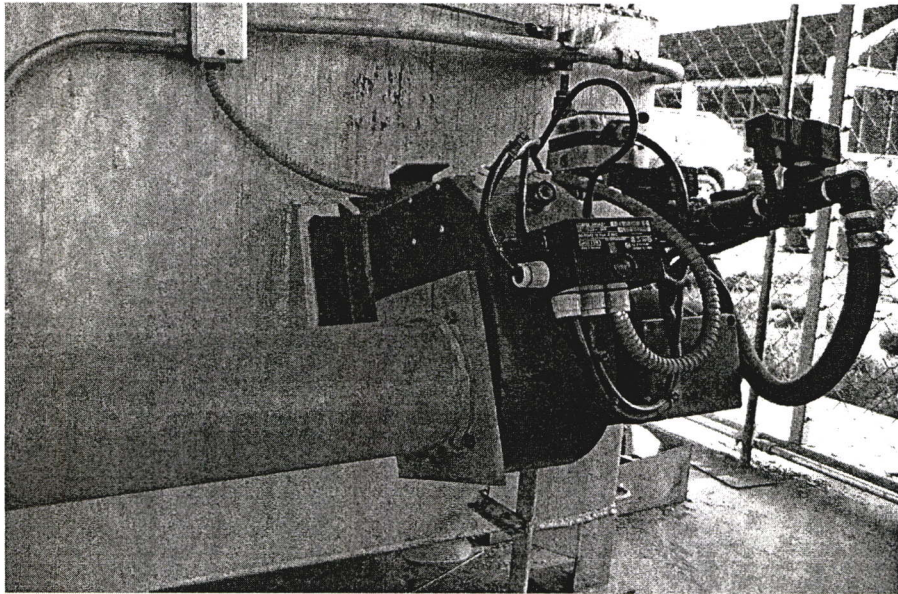
รูปที่ ก.1 โครงสร้างเตาเผาขยะ

ภาคผนวก ข.

หัวเผา (Burner) ชนิดใช้ก๊าซ(LPG) เป็นเชื้อเพลิงก่อนและหลัง
ประกอบชุดผสมออกซิเจน



รูปที่ ข.1 หัวเผา(Burner) ชนิดใช้ก๊าซ(LPG) เป็นเชื้อเพลิงก่อนประกอบชุดผสมออกซิเจน



รูปที่ ข.2 หัวเผา(Burner) ชนิดใช้ก๊าซ(LPG) เป็นเชื้อเพลิงหลังประกอบชุดผสมออกซิเจน

ภาคผนวก ค.

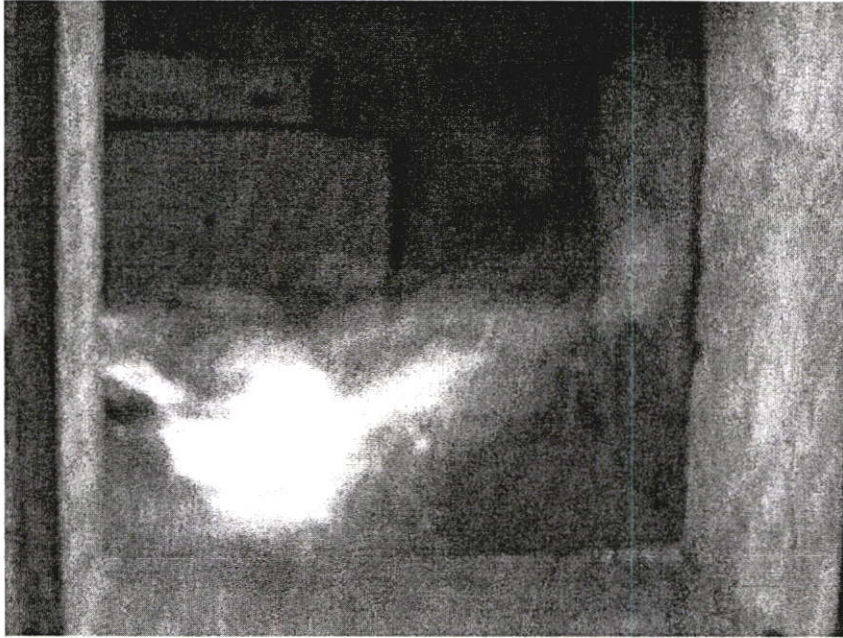
เปลวไฟเกิดจากอากาศเกินเผาไหม้



รูปที่ ค.1 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน7%



รูปที่ ค.2 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน10%



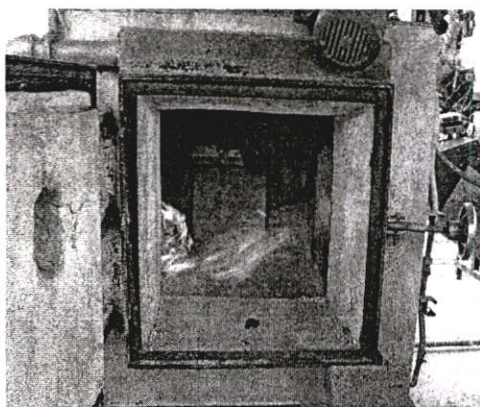
รูปที่ ค.3 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน15%



รูปที่ ค.4 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน20%

ภาคผนวก ง.

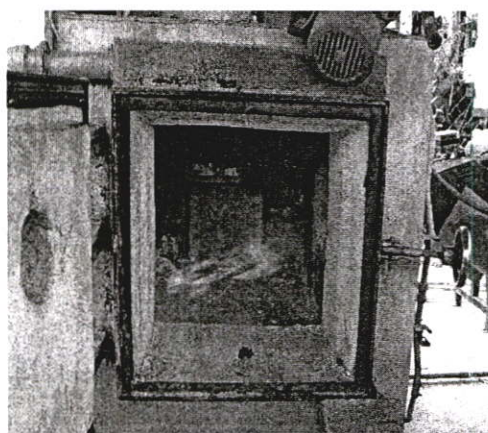
เปลวไฟจากอากาศเกิน 10% ผสมกับออกซิเจนบริสุทธิ์เผาไหม้ และเถ้าหลังเผาไหม้



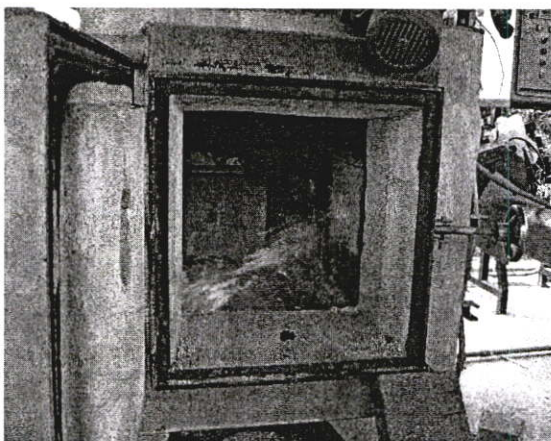
รูปที่ ง.1 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน 10% ผสมกับออกซิเจน 1 ลิตรต่อนาที



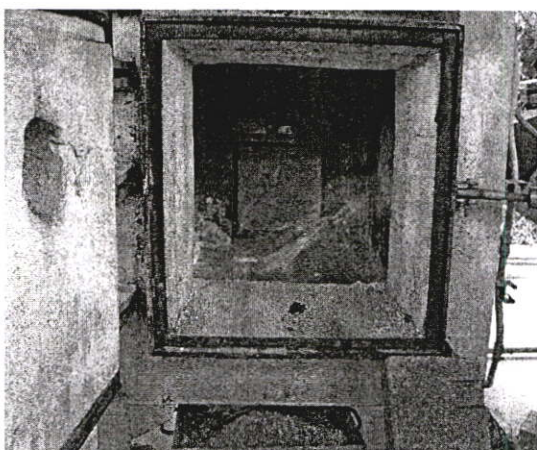
รูปที่ ง.2 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน 10% ผสมกับออกซิเจน 2 ลิตรต่อนาที



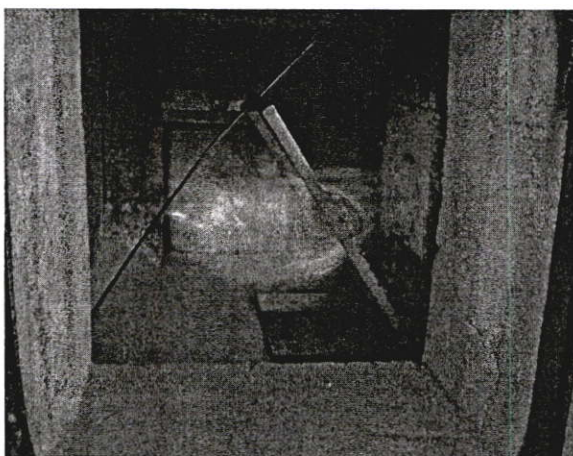
รูปที่ ง.3 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน 10% ผสมกับออกซิเจน 3 ลิตรต่อนาที



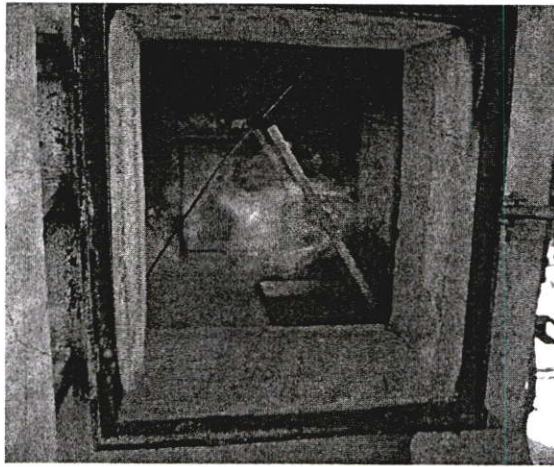
รูปที่ ง.4 เพลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน10% ผสมกับออกซิเจน 4 ลิตรต่อนาที



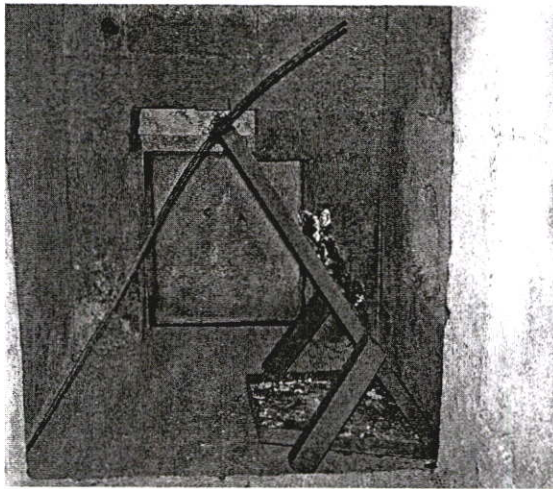
รูปที่ ง.5 เพลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน10% ผสมกับออกซิเจน 5 ลิตรต่อนาที



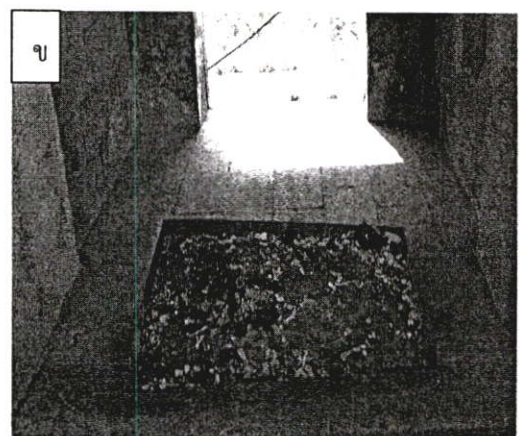
รูปที่ ง.6 เพลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน10% เผาขยะทดลอง



รูปที่ ๗.7 เปลวไฟเผาไหม้ด้วยอากาศเกิน 10% ผสมกับออกซิเจน 2 ลิตรต่อนาที เผาขยะทดลอง



รูปที่ ๗.8 ถ้ำขยะหลังการเผาไหม้ในเตาเผาทดลอง



รูปที่ ๗.๙ ถ้ำขยะหลังการเผาไหม้ที่อากาศเกิน10%(ก) และอากาศเกิน10%ผสมออกซิเจนบริสุทธิ์ 2 ลิตรต่อนาที (ข)

ภาคผนวก จ.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2549
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

งานวิจัยเพื่อเพิ่มศักยภาพ
สินค้าเกษตรไทยในตลาดโลก

วันที่ 22-24 มกราคม 2549
ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ส.ชามเชียงใหม่ อ.เมือง จ.น่าน

การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
วันที่ 23-24 มกราคม พ.ศ.2549 จังหวัดมหาสารคาม

การพัฒนาเตาเผาแบบเสริมออกซิเจน

A development of Incinerator by Oxygen Enrichment

ศรีวิชัย สุสุข¹ ชินรักษ์ เขียวพงษ์¹ และ แสง เกิดประทุม²

Sriwichai Susuk¹, Chinaruk Thianpong¹ and Sawaeng Gerdpratum²

Abstract

This paper describes a series of experiments conducted with LPG gas in air and in mixtures of oxygen, termed %O₂ combustion. The objective is to enrich the combustion in incinerator, Detailed measurements of time, flue gas (CO,CO₂) and efficiency of the incinerator. The results of this work indicate that flue LPG gas, and flue gas abatement. Other benefits of the OEC (oxygen enrichment combustion) technology include considerable reduction total cost, improved incinerator efficiency due to lower both flue gas volume and emission effect.

Key words: Oxygen enrichment combustion (OEC), Incinerator

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงการเผาไหม้ของก๊าซหุงต้ม (LPG) ในอากาศและการผสมออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการเผาไหม้ ในระดับต่างๆของปริมาณออกซิเจน. เป้าหมายคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเตาเผา โดยทำการวัดค่าดังต่อไปนี้ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ เชื้อเพลิงและออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้และประสิทธิภาพการเผาไหม้ ผลของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เวลาที่ใช้ในการทดสอบน้อยกว่าสภาวะการทำงานปกติ ส่งผลทำให้ ปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณมลพิษทางลดลง

ความสำคัญ : ออกซิเจนเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ , เตาเผาขยะ

คำนำ

ปัจจุบันมีการใช้เชื้อเพลิงในรูปต่างๆมากขึ้น กอปรกับราคาเชื้อเพลิงมีอัตราค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเชื้อเพลิงบางอย่างอาจหมดไปในระยะเวลาอีกไม่นาน ทุกวันนี้เราต้องหาพลังงานทดแทนจากพลังงานด้านต่างเพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดได้ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ โดยเร่งพัฒนาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ในประเทศ และพยายามค้นคว้าวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพแอลกอฮอล์ และ ไบโอดีเซล อีกหนทางหนึ่งที่ช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าวคือ การใช้เชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการพัฒนากระบวนการเผาไหม้ประสิทธิภาพสูง กล่าวคือการนำเอา ออกซิเจนเข้าไปทำให้เกิดออกซิไดซ์ให้มากที่สุด กระบวนการดังกล่าวนอกจากลดพลังงานเชื้อเพลิงการเผาไหม้ได้แล้ว ยังสามารถลดมลพิษทางอากาศ และลดปริมาณความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสภาวะการทำงานปกติ

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,Bangkok 10520

²ฝ่ายวิศวกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ปทุมธานี 12120

²Faculty of Engineering,Thailand Institute of Scientific and Technological Research ,Patumthani 12120

อุปกรณ์และวิธีการ

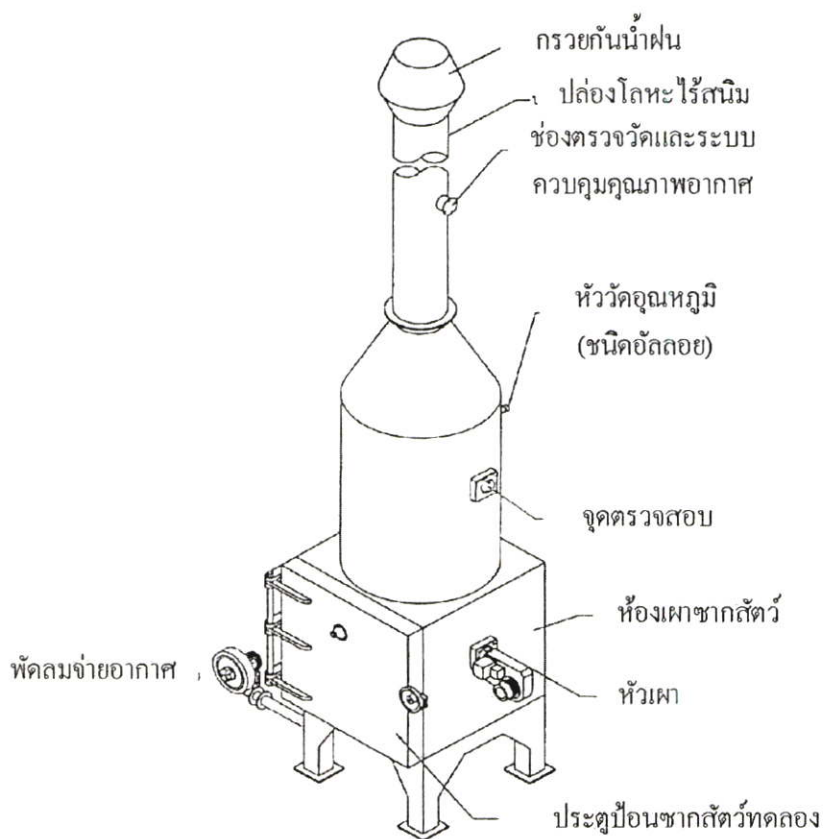


Figure1 Show photograph of Incinerator

1. อุปกรณ์

- 1.1 เตาเผาขยะและหัวเผา
- 1.2 เครื่องมือวัดไอเสีย
- 1.3 เชื้อเพลิง LPG และอ็อกซิเจน

2. วิธีการทดสอบ

- 2.1 เปิดสวิตช์เมน ซึ่งจะมีผลทำให้ กระแสไฟฟ้าทำงานและไฟแสดงสภาวะการทำงานของ อุณหภูมิ
- 2.2 เปิดสวิตช์หัวเผาและมอเตอร์จ่ายลม
- 2.3 วัดปริมาณอ็อกซิเจน 21-34 %O₂
- 2.4 รอให้อุณหภูมิถึง 500 c จากนั้นทำการวัดไอเสียที่ 500-700 c
- 2.5 บันทึกผลการทดลองแต่ละ %O₂,

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาการลุกไหม้ของเปลวในสภาวะที่มี % O_2 แตกต่างกันจาก 10-21 % ผลการศึกษาพบว่าในสภาวะที่มี % O_2 ต่ำกว่าสภาวะปกติ ทำให้เปลวไฟดูโปร่งไม่สมบูรณ์ ดังแสดงให้เห็นตามรูปที่ 2 อนึ่งในการทดลอง นำกระบวนการ OEC มาใช้ในเตาเผา พบว่าอุณหภูมิความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่ม O_2 เข้าไป ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง ประสิทธิภาพเผาไหม้ดีขึ้น ด้านมลพิษพบว่าปริมาณความร้อน, CO, CO_2 และ NO_x น้อยกว่าสภาวะการเผาไหม้ปกติ สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 32-34 % O_2 อย่างไรก็ตามการนำเอากระบวนการ OEC มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเผาไหม้ ในแต่ละงานมีจุดที่เหมาะสมไม่เท่ากัน เพราะฉะนั้นควรเพิ่ม % O_2 ที่ละน้อยจนกว่าจะได้จุดที่เหมาะสมของงานนั้นๆ กระบวนการ OEC มีข้อควรระวัง คือ ข้อจำกัดทางด้านวัสดุ เพราะกระบวนการดังกล่าวทำงานภายใต้อุณหภูมิความร้อนสูงกว่าสภาวะปกติ

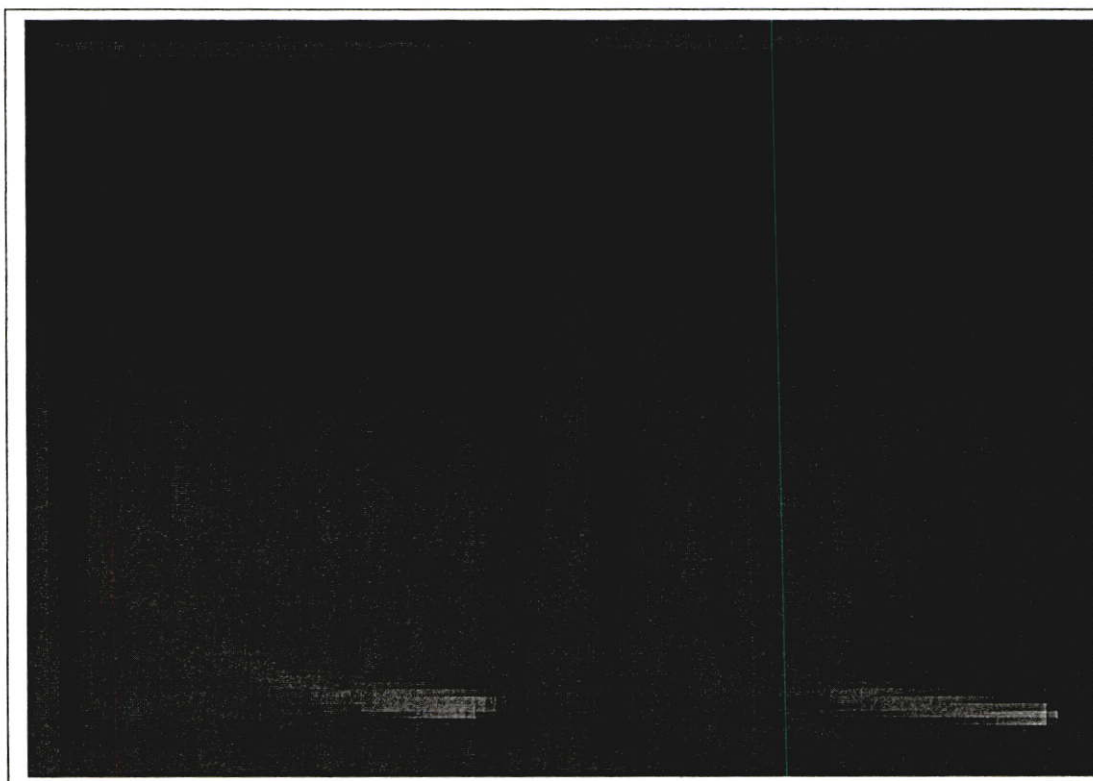
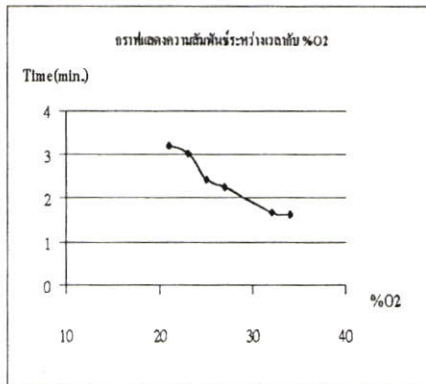
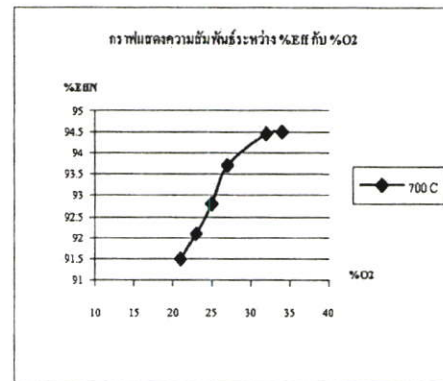
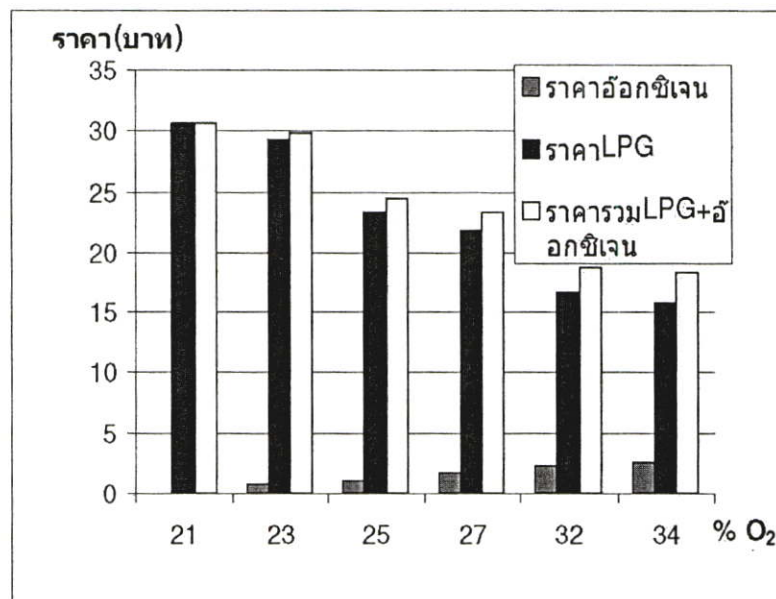


Figure2 Show photographs of oxygen content in oxidizer 10% O_2 and 21% O_2

Figure 6 Relationship between Time and %O₂Figure 7 Relationship between Eff. and %O₂Figure 8 Relationship between Cost and %O₂

สรุป

จากการศึกษากระบวนการใช้ ออกซิเจน(O₂) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเตาเผา พบว่า สามารถลดต้นทุนของพลังงานเชื้อเพลิงโดยพิจารณาจากรูปที่ 6 จากกราฟแสดงถึงระยะเวลาการทำงานน้อยกว่า สภาวะการทำงานปกติ 21% O₂ ที่สภาวะทดสอบเดียวกัน และรูปที่ 8 แสดงถึงค่าใช้จ่ายรวมของการทดสอบ ประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิงและ ค่าออกซิเจน ลดลง เมื่อทำการทดสอบแล้วเสร็จค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดอยู่ที่ 34% O₂ นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายที่ลดลง ยังมีข้อดีอีกสองอย่างคือ ประการแรกสามารถลดมลพิษทางอากาศเพราะลด

ปริมาณของอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ให้มีจำนวนลดลงตามรูปที่ 4 ปริมาณของค่า CO ลดลงในขณะที่เพิ่ม %O₂ สูงขึ้น ประการที่สองสามารถลดการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศ ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นดังพิจารณาได้จากรูปที่ 7 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นตามลำดับจาก 23-34%O₂ เมื่อเทียบกับสภาวะการทำงานปกติ 21%O₂ กระบวนการ OEC สามารถใช้กับอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น เตาหลอมโลหะ เตาหลอมแก้ว เตาเผาทุกชนิด และหม้อต้มไอน้ำ เป็นต้น ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม การเพิ่มปริมาณ %O₂ จำนวนมากนอกจากค่าใช้จ่ายของ O₂ ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้เกิดปริมาณความร้อนสูงมากเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ อาจทำให้อุปกรณ์บริเวณหัวเผาเสียหายได้ เพราะฉะนั้น การนำเทคนิคนี้ไปใช้ต้องพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุและราคาของ O₂ ประกอบโดยที่วัสดุพิจารณาที่ค่าคุณสมบัติด้านทนความร้อนและอีกขีเงินพิจารณาที่จุดคุ้มทุนของแต่ละกระบวนการเผาไหม้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ทุนและอุปกรณ์สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bogdan Horbaniuc^a, Ovidiu Marin^b, Gheorghe Dumitrascu^a, Olivier Charon^b "oxygen-enriched combustion supercritical steam boilers" Department of Engineering thermodynamics. Technical University of Iasi Romania Energy 29(2004)427-448
- [2] Simon Lille, Włodzimierz Blasiak, Marcin Jewartowski "Experimental study of the fuel jet combustion in high temperature and low oxygen content exhaust gases" Royal Institute of Technology (KTH), Sweden Energy 30 (2005) 373-384
- [3] G.F.Melo Universidade de Mogi das Cruzes, P.T.Lacava Instituto Tecnológico de Aeronautica, J.A.Carvalho Jr. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais "Case Study of Air Enrichment in Rotary Kiln Incineration" Brazil PII S0735-1933(98)00055-4
- [4] "P.T.Lacava, A.P.Pimenta Instituto Tecnológico de Aeronautica (ITA), C.A.Gurgel Veras Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), J.A.Carvalho Jr. Universidade Estadual Paulista-Campus de Guaratingueta Theoretical Analysis of Aqueous Residues Incineration With Oxygen Enriched Flames" Brazil PII S0735-1933(99)00092-5

ภาคผนวก ฉ.

ตารางจุดคุ้มทุนเปลี่ยนแปลงตามราคาออกซิเจนและราคาเชื้อเพลิง

ราคาต้นทุน(บาท/กก.)		อัตราการใช้ออกซิเจน(ลิตร/นาฬิกา)					
ออกซิเจน (O ₂)	ก๊าซ LPG	0	1	2	3	4	5
20	5	11.12	11.19	11.19	11.50	11.68	11.88
	6	13.35	13.37	13.49	13.64	13.80	13.98
	7	15.57	15.55	15.55	15.77	15.92	16.09
	8	17.80	17.73	17.81	17.91	18.04	18.19
	9	20.02	19.91	19.96	20.04	20.16	20.30
	10	22.25	22.09	22.12	22.18	22.28	22.41
	11	24.47	24.27	24.28	24.32	24.39	24.51
	12	26.70	26.45	26.43	26.45	26.51	26.62
	13	28.92	28.64	28.59	28.59	28.63	28.72
	14	31.15	30.82	30.75	30.72	30.75	30.83
	15	33.37	33.00	32.90	32.86	32.87	32.93
	16	35.60	35.18	35.06	35.00	34.99	35.04
	17	37.82	37.36	37.21	37.13	37.11	37.14
	18	40.05	39.54	39.37	39.27	39.23	39.25
	19	42.27	41.72	41.53	41.40	41.35	41.35
	20	44.50	43.91	43.68	43.54	43.46	43.46
21	46.72	46.09	45.84	45.67	45.58	45.57	
22	48.95	48.27	48.00	47.81	47.70	47.67	
23	51.17	50.45	50.15	49.95	49.82	49.78	
24	53.40	52.63	52.31	52.08	51.94	51.88	
25	55.62	54.81	54.47	54.22	54.06	53.99	
26	57.85	56.99	56.62	56.35	56.18	56.09	
25	5	11.12	11.26	11.26	11.71	11.95	12.22
	6	13.35	13.44	13.63	13.84	14.07	14.32
	7	15.57	15.62	15.62	15.98	16.19	16.43
	8	17.80	17.80	17.94	18.11	18.31	18.53
	9	20.02	19.98	20.10	20.25	20.43	20.64
	10	22.25	22.16	22.26	22.39	22.55	22.74
	11	24.47	24.34	24.41	24.52	24.67	24.85
	12	26.70	26.52	26.57	26.66	26.79	26.95
	13	28.92	28.71	28.73	28.79	28.90	29.06
	14	31.15	30.89	30.88	30.93	31.02	31.16
	15	33.37	33.07	33.04	33.06	33.14	33.27
	16	35.60	35.25	35.20	35.20	35.26	35.38
	17	37.82	37.43	37.35	37.34	37.38	37.48
	18	40.05	39.61	39.51	39.47	39.50	39.59
	19	42.27	41.79	41.67	41.61	41.62	41.69
	20	44.50	43.98	43.82	43.74	43.74	43.80
21	46.72	46.16	45.98	45.88	45.85	45.90	
22	48.95	48.34	48.14	48.02	47.97	48.01	
23	51.17	50.52	50.29	50.15	50.09	50.11	
24	53.40	52.70	52.45	52.29	52.21	52.22	
25	55.62	54.88	54.61	54.42	54.33	54.32	
26	57.85	57.06	56.76	56.56	56.45	56.43	

ราคาค้นทุน (บาท/กก.)		อัตราการใช้ออกซิเจน (ลิตร/นาที)						
ออกซิเจน (O ₂)	ก๊าซ LPG	0	1	2	3	4	5	
30	5	11.12	11.33	11.33	11.91	12.23	12.55	
	6	13.35	13.51	13.77	14.05	14.34	14.66	
	7	15.57	15.69	15.69	16.18	16.46	16.76	
	8	17.80	17.87	18.08	18.32	18.58	18.87	
	9	20.02	20.05	20.24	20.46	20.70	20.98	
	10	22.25	22.23	22.40	22.59	22.82	23.08	
	11	24.47	24.41	24.55	24.73	24.94	25.19	
	12	26.70	26.59	26.71	26.86	27.06	27.29	
	13	28.92	28.78	28.87	29.00	29.18	29.40	
	14	31.15	30.96	31.02	31.13	31.29	31.50	
	15	33.37	33.14	33.18	33.27	33.41	33.61	
	16	35.60	35.32	35.33	35.41	35.53	35.71	
	17	37.82	37.50	37.49	37.54	37.65	37.82	
	18	40.05	39.68	39.65	39.68	39.77	39.92	
	19	42.27	41.86	41.80	41.81	41.89	42.03	
	20	44.50	44.05	43.96	43.95	44.01	44.14	
	21	46.72	46.23	46.12	46.09	46.13	46.24	
	22	48.95	48.41	48.27	48.22	48.25	48.35	
	23	51.17	50.59	50.43	50.36	50.36	50.45	
	24	53.40	52.77	52.59	52.49	52.48	52.56	
	25	55.62	54.95	54.74	54.63	54.60	54.66	
	26	57.85	57.13	56.90	56.76	56.72	56.77	
	27	60.07	59.31	59.06	58.90	58.84	58.87	
	28	62.30	61.50	61.21	61.04	60.96	60.98	
	29	64.52	63.68	63.37	63.17	63.08	63.08	
	30	66.75	65.86	65.53	65.31	65.20	65.19	
	35	5	11.12	11.40	11.40	12.12	12.50	12.89
		6	13.35	13.58	13.91	14.25	14.62	15.00
		7	15.57	15.76	15.76	16.39	16.73	17.10
		8	17.80	17.94	18.22	18.53	18.85	19.21
9		20.02	20.12	20.38	20.66	20.97	21.31	
10		22.25	22.30	22.53	22.80	23.09	23.42	
11		24.47	24.48	24.69	24.93	25.21	25.52	
12		26.70	26.66	26.85	27.07	27.33	27.63	
13		28.92	28.85	29.00	29.20	29.45	29.73	
14		31.15	31.03	31.16	31.34	31.57	31.84	
15		33.37	33.21	33.32	33.48	33.69	33.95	
16		35.60	35.39	35.47	35.61	35.80	36.05	
17		37.82	37.57	37.63	37.75	37.92	38.16	
18		40.05	39.75	39.79	39.88	40.04	40.26	
19		42.27	41.93	41.94	42.02	42.16	42.37	
20		44.50	44.11	44.10	44.16	44.28	44.47	
21		46.72	46.30	46.26	46.29	46.40	46.58	
22	48.95	48.48	48.41	48.43	48.52	48.68		

ราคาต้นทุน (บาท/กก.)		อัตราการใช้ออกซิเจน (ลิตร/นาท)					
ออกซิเจน (O ₂)	ก๊าซ LPG	0	1	2	3	4	5
35	23	51.17	50.66	50.57	50.56	50.64	50.79
	24	53.40	52.84	52.73	52.70	52.76	52.89
	25	55.62	55.02	54.88	54.83	54.87	55.00
	26	57.85	57.20	57.04	56.97	56.99	57.11
	27	60.07	59.38	59.20	59.11	59.11	59.21
	28	62.30	61.57	61.35	61.24	61.23	61.32
	29	64.52	63.75	63.51	63.38	63.35	63.42
	30	66.75	65.93	65.67	65.51	65.47	65.53
	31	68.97	68.11	67.82	67.65	67.59	67.63
	32	71.20	70.29	69.98	69.78	69.71	69.74
	33	73.42	72.47	72.13	71.92	71.82	71.84
	34	75.65	74.65	74.29	74.06	73.94	73.95
	35	77.87	76.83	76.45	76.19	76.06	76.06
	36	80.10	79.02	78.60	78.33	78.18	78.16

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายศรีวิชัย สุธุข
วัน เดือน ปีเกิด	13 ธันวาคม พ.ศ. 2516 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	12/4 หมู่ 6 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	2539 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (คลองหก) 2536 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกช่างเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น(ไทย-เยอรมัน)
ประวัติการทำงาน	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.) 35 หมู่ 3 เทคโนโลยีธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	พ.ศ.2549 “การพัฒนาเตาเผาแบบเสริมออกซิเจน” การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย