

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน

Study of Thermal Efficiencies and Emissions from Cooking Stoves



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

b.....
i.....

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 49929

วัน,เดือน,ปี 2 ๗.๕. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน

Study of Thermal Efficiencies and Emissions from Cooking Stoves

โดย

นายเฉลิมพล เทพประพันธ์

นายศรุต กิตติลาภานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.เกรียงศักดิ์ สุวรรณโพธิ์ศรี

วัชระ เพิ่มชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ประจำปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน

(Study of Thermal Efficiencies and Emissions from Cooking Stoves)

ผู้จัดทำ

1. นายเฉลิมพล เทพประพันธ์
2. นายศรุต กิตติลาภานนท์



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. เกรียงศักดิ์ สุวรรณโพธิ์ศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.วัชระ เพิ่มชาติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน

นายเฉลิมพล	เทพประพันธ์	
นายสรุต	กิตติลาภานนท์	
รศ.เกรียงศักดิ์	สุวรรณโพธิ์ศรี	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วัชระ	เพิ่มชาติ	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน โดยอ้างอิงโดยมาตรฐานการวัด DIN EN 203-2 และ DIN EN 203-1 ของประเทศเยอรมัน เตาหุงต้มที่นำมาเป็นตัวอย่งทดสอบ ได้แก่ เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอก เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแฉก และ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง โดยใช้ถ่านไม้และไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง และเตาหุงต้ม LPG ชนิดหัวเดี่ยว ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่เมื่อใช้ไม้ฟืนและถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง มีค่าเฉลี่ย 12.2% - 26.7% และ 15.2% - 19.3% และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้อันได้แก่ CO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเพิ่มขึ้น

ส่วนเตาหุงต้ม LPG จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่อัตราการไหลของก๊าซ LPG 1.571 ลิตรต่ออนาที เป็น 49.6% ส่วนมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่ามีค่าต่ำกว่าของเตาอั้งโล่ทั้งสามแบบ

สำหรับค่าความเข้มข้นของมลพิษที่สะสมอยู่ในห้องครัวโดยที่ยังไม่ทำให้เกิดอันตรายกับผู้ใช้งานเตาหุงต้ม โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของประเทศสหรัฐอเมริกา จากสมมุติฐานที่ว่าห้องครัวมีขนาด $3 \times 4 \times 2.5 \text{ m}^3$ และไม่มีการระบายอากาศออกจากห้องครัว พบว่าเตาหุงต้ม LPG สามารถใช้งานได้นานที่สุดประมาณ 15 นาที ส่วนเตาอั้งโล่ทั้งสามแบบที่ใช้ในการทดสอบสามารถใช้งาน โดยเฉลี่ยได้ไม่เกิน 2 นาที

STUDY OF THERMAL EFFICIENCY AND EMISSIONS FROM COOKING STOVE

Mr. Chalurmpol	Thepprapan	
Mr. Saroot	Kittilapanon	
Assoc.Prof. Kriengsak	Suwunposri	Advisor
Mr. Watchara	Permchart	Advisor
Year 2002		

ABSTRACT

This project presents a study of testing methods of thermal efficiencies and emissions of household cooking stoves, which are referred to German standard : DIN EN 203 – 2 and 203 – 1 respectively. Three types of charcoal and fuel wood cooking stoves were selected for testing such as cylindrical stoves, conical stoves and high efficiency stove. The testing results were compared to those of a single burner LPG cooking stove. It was found that thermal efficiencies of all fuel wood and charcoal stoves were in the ranges of 12.2% -26.7% and 15.2% - 19.3% respectively. Meanwhile, the CO emission was increased in an increasing of their thermal efficiencies.

In the experimental tests of LPG cooking stove, it was found that the maximum thermal efficiency was about 49.6% at LPG flow rate of 1.571 l/min whereas its emission (CO emission) was found to be much lower than those of fuel wood and charcoal stoves.

Compared to USA air quality standard and assuming of 3×4×2.5 m³ of kitchen as well as no ventilation, the testing results showed that the longest time periods of using LPG stove as well as three types of fuel wood and charcoal stoves without danger to human, were not over 15 minutes and 2 minutes respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบาญ	ค
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ช
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ศักยภาพของเชื้อเพลิงไม้ในประเทศไทย	4
2.2 การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงไม้	5
2.2.1 การนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้โดยตรง	6
2.2.2 การนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการ Pyrolysis	7
2.2.3 การนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้ประโยชน์โดยผ่านกระบวนการ Gasification	10
2.3 คุณสมบัติของก๊าซหุงต้ม LPG และการใช้ประโยชน์	16
2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality Standard)	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.5.1 งานวิจัยในประเทศ	18
2.5.2 งานวิจัยต่างประเทศ	21
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การศึกษามาตรฐานการทดสอบและเลือกมาตรฐานการทดสอบ	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 German Standards and Technical Rules; DIN	24
3.1.3 Japanese Industrial Standards; JIS	25
3.1.4 The Australian Gas Association and Australian Liquefied Petroleum Gas Association; AGA	26
3.2 การจัดเตรียมและการสร้างอุปกรณ์การทดสอบ	27
3.2.1 การจัดเตรียมการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน	27
3.2.2 การจัดเตรียมการทดสอบค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้	29
3.3 วิธีการทดสอบ	29
3.3.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน	29
3.3.2 วิธีการทดสอบค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้	30
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน	33
4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ และ ไม้พิน	33
4.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	33
4.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง	35
4.1.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส LPG	36
4.2 ผลการวัดค่ามลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้ม	37
4.2.1 ผลการวัดค่ามลพิษเมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้พิน	38
4.2.2 ผลการวัดค่ามลพิษเมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้	38
4.2.3 ผลการวัดค่ามลพิษ ของเตาแก๊ส LPG	39
4.3 ความปลอดภัยในการใช้เตาหุงต้ม	40
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปการศึกษา	48
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ก. การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม	50
ข. ข้อมูลการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม	52
ค. การคำนวณค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาหุงต้ม	57
ง. ข้อมูลการวัดค่ามลพิษ	68
จ. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ โครงการวิศวกรรมเกษตร ครั้งที่ 9	72
กิตติกรรมประกาศ	78
เอกสารอ้างอิง	79



รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของถ่านที่ผลิตได้ในช่วงอุณหภูมิต่างๆของปฏิกิริยา Pyrolysis	8
2.2	คุณสมบัติเฉพาะตัวของก๊าซ LPG เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว	17
2.3	แหล่งกำเนิดของมลพิษชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นภายในห้อง	17
2.4	อันตรายของก๊าซชนิดต่างๆที่มีต่อร่างกาย	18
2.5	ปริมาณสูงสุดของก๊าซมลพิษชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ	18
2.6	ก๊าซมลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้มเทียบกับค่ามลพิษที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ	18
2.7	ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง	23
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงถ่านและเชื้อเพลิง ไม้ฟืน	33
4.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	34
4.3	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเมื่อใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	34
4.4	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	34
4.5	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิง	35
4.6	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเมื่อใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิง	35
4.7	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิง	35
4.8	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาก๊าซ LPG ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน	36
4.9	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	38
4.10	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเมื่อใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	38
4.11	มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	38
4.12	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิง	39
4.13	มลพิษของเตาเตาอั้ง โล่ทรงกระบอกเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง	39
4.14	มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิง	39
4.15	มลพิษของเตาก๊าซ LPG	39
จ.1	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 ที่ใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	53
จ.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 ที่ใช้ ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	53

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.3	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 1 ที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	53
ข.4	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 2 ที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	54
ข.6	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 3 ที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	54
ข.5	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูงที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	54
ข.7	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 ที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	55
ข.8	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 ที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง	55
ข.9	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 2 ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง	55
ข.10	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 3 ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง	56
ข.11	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 1 ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง	56
ข.12	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูงที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง	56
ง.1	มลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงถ่าน	69
ง.2	มลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงไม้พิน	70

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	การใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัยในปี 2543	1
2.1	ลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้	5
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนองค์ประกอบในถ่านและอุณหภูมิของปฏิกิริยา Pyrolysis	8
2.3	เตาเผาแบบ Earth Mound Kiln และ เตาเผาแบบ Pit Kiln	10
2.4	ลักษณะของเตาแบบ Updraft Gasifier	13
2.5	ลักษณะของเตาแบบ Downdraft Gasifier	14
2.6	ลักษณะของเตาแบบ Crossdraft Gasifier	14
2.7	ลักษณะของเตาแบบ Fluidized Bed Gasifier	15
2.8	ลักษณะของเตาแบบ Suspended Gasifier	16
2.9	เตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศไทย	19
2.10	เตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศฟิลิปปินส์	19
2.11	เตา Priyagni ของประเทศอินเดีย	20
2.12	เตา RFD-2 ของประเทศไทย	20
2.13	เตา QB ของประเทศฟิลิปปินส์	21
2.14	เตา IRRI ของประเทศฟิลิปปินส์	21
2.15	เตาพื้นบ้านบังกลาเทศ	22
2.16	ลักษณะของภาชนะปรุงอาหาร	22
2.17	ประสิทธิภาพของเตาแก๊ซหุงต้มที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่างกัน	22
3.1	ลักษณะของภาชนะทดสอบ	27
3.2	การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน	28
3.3	การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่	28
3.4	การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG	29
3.5	การวัดค่ามลพิษ	30
3.6	ลักษณะของ Hood ทดสอบ	31
3.7	การวัดค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาแก๊ซ LPG	31
3.8	การวัดค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาอั้งโล่	32
3.9	เครื่องวิเคราะห์หีไอเสีย TESTO-350	32

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน	37
4.2	มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่าน	40
4.3	มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน	40
4.4	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง	41
4.5	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	41
4.6	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง	42
4.7	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	42
4.8	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง	43
4.9	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 เมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	43
4.10	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง	44
4.11	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 เมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	44
4.12	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 3 เมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง	45
4.13	มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 3 เมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	45
4.14	มลพิษของเตาแก๊ซ LPG ที่อัตราการไหล 1.571 ลิตรต่อนาที	46
4.15	มลพิษของเตาแก๊ซ LPG ที่อัตราการไหล 2.163 ลิตรต่อนาที	46

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

รายการสัญลักษณ์

co	=	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดได้จากเครื่องวัดมลพิษ, ppm
co2	=	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากเครื่องวัดมลพิษ, %
m _{fuel}	=	น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ, kg
nox	=	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้จากเครื่องวัดมลพิษ, ppm
o2	=	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของออกซิเจนที่วัดได้จากเครื่องวัดมลพิษ, %
toe	=	Ton of Oil Equivalent
v	=	จำนวน โมเลกุลของไฮโดรเจน
w	=	จำนวน โมเลกุลของออกซิเจน
x1	=	จำนวน โมเลกุลของไนโตรเจน
A	=	เส้นผ่านศูนย์กลางปากหม้อ
C	=	ความหนาแน่นหม้อ
C _{fuel}	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ, kJ/kg
C _{LPG}	=	ค่าความร้อนของก๊าซ LPG, kJ/kg
C _{P,H2O}	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg °C
C _i	=	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในการระบายอากาศของก๊าซแต่ละชนิด, mg/m ³ หรือ ppm
CO	=	ความเข้มข้นก๊าซ CO, mg/m ³
CO1	=	อัตราการเกิดก๊าซ CO, g/MJ
CO2	=	ความเข้มข้นก๊าซ CO ₂ , mg/m ³
CO22	=	อัตราการเกิดก๊าซ CO ₂ , g/MJ
CO _{2,Cal}	=	คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการคำนวณ, %
CO _{2,max}	=	คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากสมการการเผาไหม้สมบูรณ์, %
D	=	ความหนาผนังด้านข้างของหม้อ
E	=	รัศมีความโค้งก้นหม้อ
H	=	ความสูงของหม้อวัดจากด้านในของหม้อ
K	=	ค่าปรับแก้เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของธาตุต่างๆในเชื้อเพลิงโดยไม่รวมซีเถ้า
M _{ถ่าน1}	=	น้ำหนักของถ่านไม้ที่ใช้ทำการทดสอบ, kg
M _{ถ่าน2}	=	น้ำหนักของถ่านไม้ที่เหลือจากการทดสอบ, kg
M _{ถ่านใช้}	=	น้ำหนักของถ่านไม้สุทธิที่ใช้ทำการทดสอบ, kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

รายการสัญลักษณ์

$M_{น้ำ}$	=	น้ำหนักของน้ำที่ใช้ทำการทดสอบ, kg
$M_{พื้น1}$	=	น้ำหนักของไม้พื้นที่ใช้ทำการทดสอบ, kg
$M_{พื้น2}$	=	น้ำหนักของไม้พื้นที่เหลือจากการทดสอบ, kg
$M_{พื้นใช้}$	=	น้ำหนักของไม้พื้นสุทธิที่ใช้ทำการทดสอบ, kg
M_f	=	มวลโมเลกุลเชื้อเพลิง, g
M_n	=	มวลเชื้อเพลิงที่ใช้, kg
NO_{22}	=	อัตราการเกิดก๊าซ NO_2 , g/MJ
$O_{2,measure}$	=	ออกซิเจนส่วนที่เหลือที่ได้จากการตรวจวัด, %
PE_l	=	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศของก๊าซมลพิษแต่ละ, ppm
PE_{L_i}	=	ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษแต่ละชนิด, mg/m^3 หรือ ppm
$PE_{L_{mix}}$	=	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศของก๊าซผสม, mg/m^3 หรือ ppm
Q_{input}	=	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้, kJ
T_1	=	อุณหภูมิเริ่มต้น, °C
T_2	=	อุณหภูมิสิ้นสุดท้าย, °C
ρ_{LPG}	=	ความหนาแน่นของก๊าซ LPG, kg/m^3
η_{th}	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม, %

รายการคำย่อ

AGA	=	The Australian Gas Association and Australian Liquefied Petroleum Gas Association
BSI	=	British Standards Institution
JIS	=	Japanese Industrial Standards
LPG	=	Liquefied Petroleum Gas
OSHA	=	The United States Occupational Safety and Health Administration
PEL	=	Permissible Exposure Level, ppm

บทที่ 1

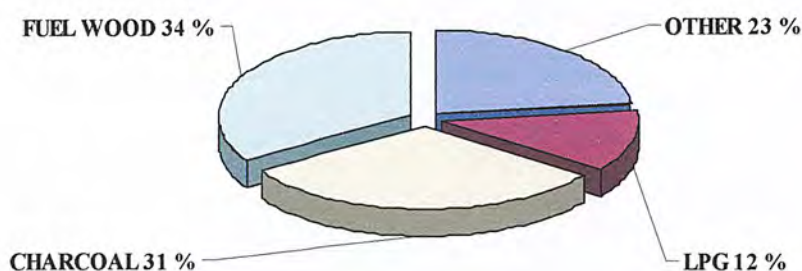
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ การใช้พลังงานในชีวิตประจำวันของมนุษย์นั้นส่วนหนึ่งต้องนำมาใช้ในการประกอบอาหาร (Cooking) โดยเชื้อเพลิงที่นำมาใช้นั้นมีหลายชนิด เช่น ก๊าซ LPG ไม้ฟืน ถ่านไม้ เป็นต้น ส่วนเตาหุงต้มที่นำมาใช้นั้นก็มีให้เลือกใช้หลายชนิดหลายขนาด เช่น เตาก๊าซ LPG เตาอั้งโล่ทรงกระบอก เตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบ เป็นต้น

ปัจจุบันพบว่าในภาคที่อยู่อาศัย (Residential Sector) [1] มีการใช้ไม้ฟืนเป็นจำนวน 2,554 ktoe หรือคิดเป็น 78.39 % ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนทั้งหมดในประเทศ มีการใช้ถ่านไม้จำนวน 2,277 ktoe หรือคิดเป็น 100 % ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ทั้งหมดในประเทศ คิดรวมเป็นการใช้เชื้อเพลิงจากไม้ทั้งสิ้นเป็นจำนวน 4,831 ktoe หรือคิดเป็น 87.28 % ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ทั้งหมดของประเทศ และมีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จำนวน 892 ktoe หรือคิดเป็น 41.16 % ของการปริมาณใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG ทั้งหมดในประเทศ

ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ในภาคที่อยู่อาศัยนั้น (Residential Sector) มีการใช้เชื้อเพลิง ไม้และถ่าน ไม้ (Fuel Wood and Charcoal) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะเห็นว่าเชื้อเพลิง ไม้และถ่านถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารจริงๆถึง 4,531 ktoe (ใช้ในการทำกิจกรรมอื่นในที่อยู่อาศัยอีก 300 ktoe) หรือคิดเป็น 65 % ของการใช้พลังงานทั้งหมดในภาคที่อยู่อาศัย ก๊าซ LPG มีปริมาณการใช้ 892 ktoe หรือคิดเป็น 12 % และเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันก๊าดมีปริมาณเท่ากับ 1,710 ktoe หรือคิดเป็น และ 23 %



รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัยในปี 2543 [1]

อาจกล่าวได้ว่าเกือบทั้งหมดของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้และเชื้อเพลิงถ่านไม้ เป็นการใช้ในการเป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารในครัวเรือน แต่การในใช้เชื้อเพลิงไม้และเชื้อเพลิงถ่านไม้ นั้น ประชาชนส่วนใหญ่ยังขาดข้อมูลและความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานเตาหุงต้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนอันตรายที่เกิดจากสูดดมก๊าซมลพิษต่างๆที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้เตาประกอบอาหาร

ดังนั้นโครงการนี้ จึงมุ่งที่จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มชนิดต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ในครัวเรือนทั้งในตัวเมืองและในชนบท ได้แก่ เตาหุงต้ม LPG ชนิดหัวเดียวที่นิยมใช้กัน เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกและเตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแคบที่ใช้ได้ทั้งกับไม้ฟืนและถ่านไม้ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นเตาที่ได้รับการพัฒนามาแล้วโดยการทำปากเตาที่ใช้ตั้งภาชนะให้มีลักษณะเป็น Slope เพื่อให้สามารถใช้ได้กับภาชนะหลายๆขนาดและลดการสูญเสียความร้อนที่จะเกิดขึ้น ทำให้รังสีความร้อนเพิ่มมากขึ้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงและมีรูที่เล็กลงแต่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น รวมถึงมีการหุ้มฉนวนรอบๆเตาด้วย [2]

โดยการศึกษาจะอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการวัดค่ามลพิษตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [3] และ DIN EN 203-1 [4] ของประเทศเยอรมนี ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการการใช้งานเตาหุงต้มในการประกอบอาหารได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน ได้แก่ เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกและเตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแคบที่ใช้ได้ทั้งกับไม้ฟืนและถ่านไม้ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง และเตาหุงต้ม LPG ชนิดหัวเดียว

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- ศึกษาและคัดเลือกมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมาตรฐานการทดสอบมลพิษของเตาหุงต้ม
- ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและวัดค่ามลพิษที่เกิดขึ้นจากเตาหุงต้ม 4 แบบ ได้แก่ เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกและเตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแคบที่ใช้ได้ทั้งกับไม้ฟืนและถ่าน เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง และเตาหุงต้ม LPG ตามมาตรฐานการทดสอบที่เลือกไว้
- มลพิษที่ทำการวัด ได้แก่ ก๊าซ คาร์บอนมอนนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ และสำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ และสำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผู้ทำโครงการคาดหวังว่า โครงการนี้จะทำให้ทราบข้อมูลประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่แท้จริงของเตาหุงต้มชนิดต่างๆที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีมาตรฐานการทดสอบที่อ้างอิงได้ และทราบถึงอันตรายจากมลพิษที่เตาหุงต้มแต่ละชนิดปล่อยออกมา เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการจัดการการใช้เตาหุงต้มได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย ทั้งยังใช้ข้อมูลที่ได้มาประกอบเพื่อหาแนวทางในการวางแผนการจัดการใช้ทรัพยากรไม่ได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลมาใช้พัฒนาปรับปรุงเตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหุงต้มให้สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ โดยและก่อให้เกิดมลพิษน้อยที่สุด



2.1 สักยภาพของเชื้อเพลิงไม้ในประเทศไทย

โดยภาพรวมของทั้งประเทศแล้วเชื้อเพลิงก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณการใช้ที่ค่อนข้างสูง [5] เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ง่าย สะดวก และสะอาด แต่ก๊าซ LPG จัดเป็นเชื้อเพลิงประเภทที่ใช้แล้วหมดไป (Conventional Fuels) เชื้อเพลิงไม้หรือเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นเป็นเชื้อเพลิงที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์นำมาใช้ทำอาหารและในปัจจุบันนั้นยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ใน โดยเฉพาะในเขตชนบทของประเทศ เพราะเชื้อเพลิงไม้เป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายและมีอยู่ทั่วไป เชื้อเพลิงไม้จึงเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นก๊าซ LPG ได้

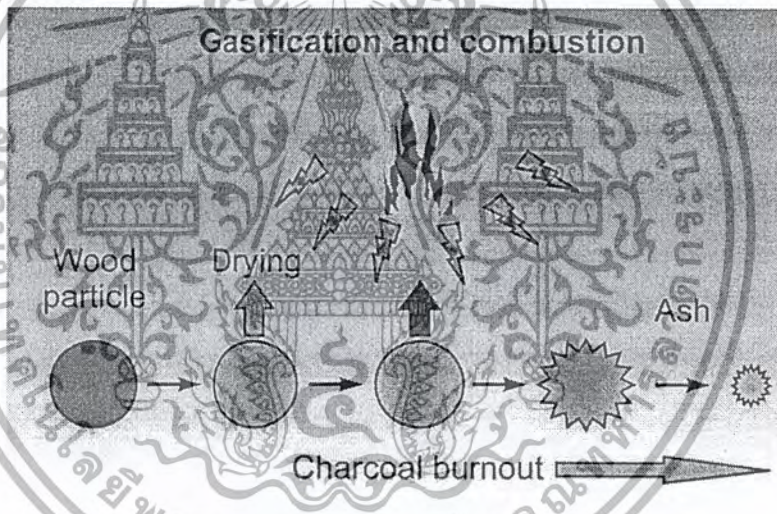
นอกจากที่กล่าวไปแล้วนั้นเชื้อเพลิงที่ได้จากฟอสซิลยังเป็นเชื้อเพลิงที่ภายในประเทศนั้นมีอยู่น้อย ก๊าซ LPG ที่ใช้อยู่ทุกวันนี้ในวันก็จะยังมีราคาแพงขึ้นและส่วนใหญ่ประเทศจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศในปีหนึ่ง ๆ นับเป็นมูลค่ามหาศาล แต่ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วไม่หมดไปเนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถปลูกหมุนเวียน (Renewable Energy) เพื่อมาทดแทนที่ใช้ไปแล้วได้ ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นก็จะถูกดูดซับไปในช่วงวัฏจักรการเติบโตของชีวมวลทำให้ช่วยลดผลกระทบจากสถานะเรือนกระจกของโลก (Green House Effect) ได้ นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลยังเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาทำให้ช่วยลดฝนกรดลงได้

ประเทศไทยนับได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมและเป็นประเทศที่มีพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชอยู่มากพอสมควร ผลผลิตทางการเกษตรและสิ่งที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่าง ๆ ล้วนแต่เป็นสิ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการนำมาใช้โดยการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) หรือการนำมาใช้หลังจากการนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมาแล้วก็ดี แต่ในการนำมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงวิธีการที่จะนำมาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดปลอดภัยต่อตัวผู้ใช้งานและผู้ที่อยู่รอบข้างทั้งยังรวมถึงสภาพแวดล้อมอีกด้วย เนื่องจากในปัจจุบันการนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้งานกันนั้นบางส่วนจะนำมาเผาใช้โดยตรงโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น อาจเป็นเพราะว่าผู้ที่นำมาใช้ขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง ทำให้ใช้งานได้อย่างไม่คุ้มค่า ในการใช้ทรัพยากรไม้ถ้าใช้อย่างฟุ่มเฟือยก็จะส่งผลให้ทรัพยากรไม้ถูกทำลายไปในไม่ช้าก็จะหมด ดังนั้นต้องมีการวางแผนปลูกพืชพลังงานที่จะใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อให้ทรัพยากรไม้คงอยู่ตลอดไป และเพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงและเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการศึกษาค้นคว้าวิจัยในด้านวิชาการเท่านั้น ไม่ควรตีความหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงไม้

เชื้อเพลิงไม้และเชื้อเพลิงถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่เป็นและเชื้อเพลิงแข็ง โดยการเผาไหม้จะมีลักษณะเป็นแบบ Diffusion Flame คือ ขณะที่เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้เปลวไฟจะค่อยๆ ตามเข้าไปภายในก้อนเชื้อเพลิงเพื่อทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านใน ส่วนที่ผิวด้านนอกของก้อนเชื้อเพลิงนั้นหลังจากที่เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้แล้วก็จะกลายเป็นขี้เถ้าซึ่งห่อหุ้มอยู่รอบก้อนเชื้อเพลิงซึ่งขี้เถ้านี้เองจะเป็นตัวที่ขวางกั้นเปลวไฟทำให้เปลวไฟเข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านในได้ยากขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้และเชื้อเพลิงถ่าน ไม่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของเหลวหรือเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซ เช่น ก๊าซ LPG ซึ่งการเผาไหม้ด้วยเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์เบดจะสามารถช่วยลดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วได้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้

การนำไม้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อนนั้นนิยมทำกันอยู่หลายรูปแบบตัวอย่าง แบบแรกคือการใช้โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) แบบที่สองคือการนำไม้พินมาผ่านกระบวนการการเผาไหม้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือกระบวนการ Pyrolysis ก่อนเพื่อให้ไม้กลายเป็นถ่านไม้ (Charcoal) แล้วจึงค่อยนำไปใช้โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้โดยตรงซึ่งสองวิธีแรกนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อการประกอบอาหาร และแบบที่สามคือการนำไม้พินมาผ่านกระบวนการ Gasification โดยเตาผลิตก๊าซหรือ Gasifier เพื่อนำก๊าซที่ได้จากกระบวนการนี้ (Producer Gas) ไปใช้ผลิตความร้อนอีกทีหนึ่ง ซึ่งกรรมวิธีทั้งสามแบบนี้ จะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะ

ได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.2.1 การนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้โดยตรง

กระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เป็นกระบวนการทางความร้อนที่สามารถผลิตพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงได้ง่ายที่สุด เช่น การเผากิ่งไม้ เป็นต้น กระบวนการเผาไหม้โดยตรงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในที่ที่มีอากาศเพียงพอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วพร้อมกับเกิดการลุกไหม้และคายความร้อน สารอินทรีย์ของชีวมวลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำ

เตาที่นำมาใช้ในการเผาไหม้นั้นจะให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้แตกต่างกัน เนื่องจากการสูญเสียความร้อนของเตาที่ใช้ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้แตกต่างกัน ขั้นตอนของกระบวนการการเผาไหม้โดยตรงแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

- ก๊าซออกซิเจนสัมผัสผิวเชื้อเพลิง
- เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
- มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาที่ผิว
- ทำปฏิกิริยากันระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจนเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ขบวนการเผาไหม้ที่ดีควรมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณออกซิเจน ปริมาณของอากาศตามทฤษฎี (Theoretical Air) คือปริมาณของอากาศที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติอากาศที่ต้องการในทางทฤษฎีนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถสังเกตได้ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนในของไอเสียที่ออกมา จึงต้องแก้ปัญหาโดยการ ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เกินพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Excess Air, \%} = 21 * 100 / (21\text{O}_2 + 0.5\text{CO})$$

นอกจากจะนำมาใช้เพื่อการหุงต้มในครัวเรือนแล้ว กระบวนการนี้ยังสามารถนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ ซึ่งส่วนใหญ่ก็จะนำมาใช้ในการผลิตไอน้ำ (Steam) หรือกระแสไฟฟ้าใช้ในกระบวนการต่างๆ โรงงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เศษไม้เพื่อผลิตไอน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัดกระดาษและเยื่อกระดาษ ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีของการใช้ไม้ในการผลิตไอน้ำจะเป็นที่รู้จักกันดีอยู่แล้ว แต่การพัฒนาทางด้านนี้ยังมีความจำเป็น โดยเฉพาะการป้อนไม้เข้าสู่หม้อไอน้ำตลอดจนการควบคุมการ

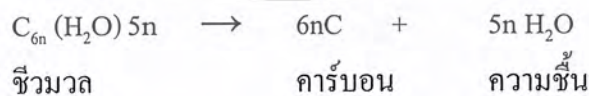
ทำงานของหม้อไอน้ำ (Boiler)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้โดยผ่านกระบวนการ Pyrolysis

กระบวนการ Pyrolysis หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Carbonization เป็นกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เป็นกระบวนการทางความร้อนที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ Pyrolysis มี 3 ชนิดคือ ถ่านไม้ ของเหลวจำพวกน้ำมัน สารระเหยหรือกรด และก๊าซต่างๆ

ปัญหาหลักของวิธี Pyrolysis คือ ไม่สามารถสร้างเตาเผาให้มีขนาดใหญ่ได้ และ ก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยานี้มีพลังงานต่ำไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ โดยที่อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลและสภาวะของการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการ Pyrolysis นี้ประกอบไปด้วย ขั้นตอน 4 ขั้นตอนดังนี้

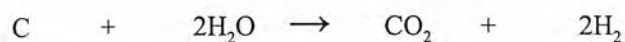
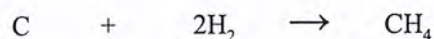
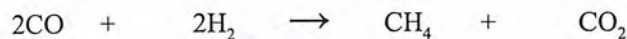
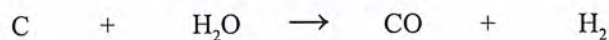
- ขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาชนิดดูดความร้อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากมวลในขั้นตอนแรกจะใช้อุณหภูมิจนถึง 200 °C
- ขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการเตรียมการเกิดปฏิกิริยา Pyrolysis ขั้นตอนนี้ก็เป็นปฏิกิริยาชนิดประเภทดูดความร้อน ในขั้นตอนนี้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 170-300 °C กระบวนการนี้ส่วนใหญ่จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- ขั้นตอนที่สามเป็นปฏิกิริยาประเภทคายความร้อน โดยเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 250-300 °C ขั้นตอนนี้จะก่อให้เกิดสารจำพวกน้ำมันดินและกรด Pyrolygneous ที่เกิดในปฏิกิริยาขั้นที่สอง และขั้นที่สี่จะเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 °C ช่วงนี้องค์ประกอบพวกสารที่ระเหยได้ที่ยังอยู่ในกระบวนการจะถูกขับออกไปซึ่งจะทำให้ปริมาณคาร์บอนของถ่านเพิ่มขึ้นและทำให้สามารถนำถ่านไปใช้ได้อย่างปลอดภัยเนื่องจากได้ระเหย Volatile ซึ่งเป็นก๊าซมลพิษออกไปแล้ว ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องในกระบวนการมีดังนี้



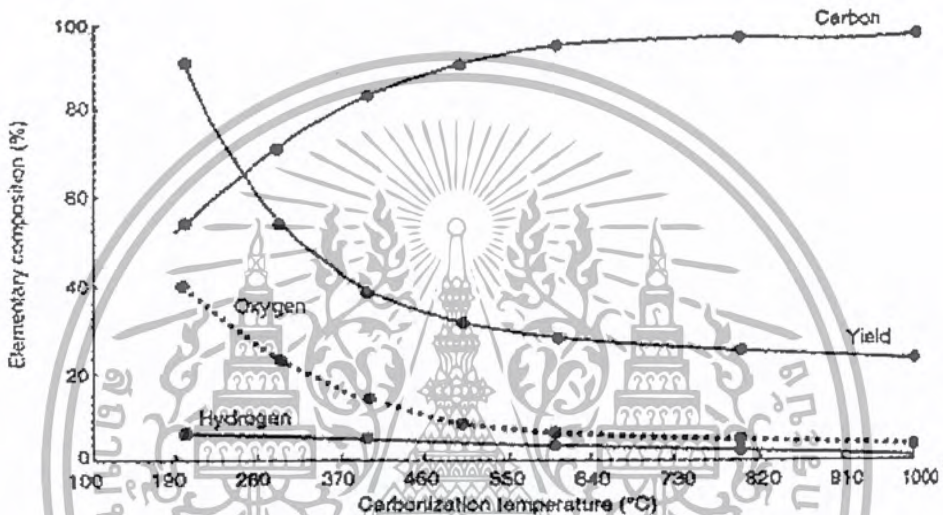
ชีวมวล

คาร์บอน

ความชื้น



ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณถ่านที่ผลิตได้คือปริมาณความชื้น ชีวมวลที่ป้อน ชนิดของชีวมวลที่ป้อนและองค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้คุณสมบัติของถ่านที่ได้ยังขึ้นกับอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาอีกด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในถ่านและอุณหภูมิของปฏิกิริยา Pyrolysis แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำนั้นปริมาณถ่านที่ได้จากกระบวนการจะมีปริมาณสูงแต่ปริมาณคาร์บอนในถ่านจะมีค่าต่ำและในช่วงอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำนั้นปริมาณออกซิเจนและไฮโดรเจนจะมีค่าสูงและจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนองค์ประกอบในถ่านและอุณหภูมิของปฏิกิริยา Pyrolysis [6]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของถ่านที่ผลิตได้ในช่วงอุณหภูมิต่างๆของปฏิกิริยา Pyrolysis [6]

อุณหภูมิ (°C)	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ออกซิเจน (%)	น้ำเต้าน้ำ (%)	ความชื้น (%)	ความจุความร้อนจำเพาะ (MJ/kg)	สัดส่วนของปริมาณถ่านที่ได้เทียบกับชีวมวลที่ป้อน
300	30.2	8.67	63.73	0.4	1.9	22.40	56.27
400	71.5	3.93	22.17	2.4	2.8	29.88	28.03
500	87.0	3.10	8.50	1.4	2.8	32.14	22.645
600	87.5	2.67	6.93	2.9	1.0	33.20	21.63
700	92.4	1.71	3.89	2.0	1.8	33.40	20.22
800	93.4	1.03	3.57	2.0	2.2	33.90	19.54

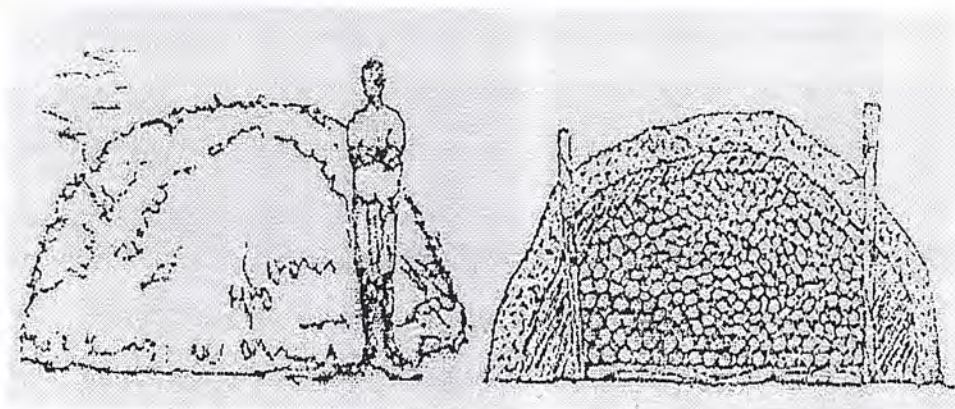
ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนในถ่านจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาเป็นผลให้ค่าความจุความร้อนของถ่านเพิ่มขึ้นและพบว่ามีอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ช่วงอุณหภูมิต่ำที่สุดของการเกิดปฏิกิริยาจะมีปริมาณของไฮโดรเจนและออกซิเจนมีอยู่สูงและมีปริมาณของคาร์บอนค่อนข้างต่ำจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 °C และ 400 °C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 100 °C ในปฏิกิริยา Pyrolysis ปริมาณคาร์บอนจะเพิ่มขึ้น 2 เท่าและปริมาณของไฮโดรเจน และออกซิเจนก็จะลดลงครึ่งหนึ่ง แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของปริมาณองค์ประกอบต่างๆจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า

ถ่านที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีสารระเหยได้ (Volatile Matter) ต่ำ ติดไฟได้ง่ายและเมื่อนำถ่านมาเผาไหม้จะเป็นการเผาไหม้ที่สะอาด โดยจะใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 400-500 °C เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น สัดส่วนของการเกิดทาร์และก๊าซที่สามารถระเหยจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นก็จะมีผลให้ถ่านที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นและมีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 70% อย่างไรก็ตามถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูงมากจะมีคุณสมบัติที่เปราะสามารถที่จะแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยได้โดยง่าย ส่วนถ่านที่มีความบริสุทธิ์ต่ำนั้นคือถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยเป็นถ่านที่เกิดจากกระบวนการผลิตถ่านที่อยู่ในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ (Soft-Burned Charcoal) ถ่านที่เกิดจากกระบวนการนี้จะเป็นถ่านที่มีปริมาณสารระเหยสูงเวลาเผาจะทำให้เกิดควันมาก เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่นำถ่านชนิดนี้มาใช้งาน

คุณภาพถ่านที่ทั่วไปยอมรับคือต้องมีปริมาณคาร์บอนตั้งแต่ 70% ขึ้นไป สารระเหยได้ต้องน้อยกว่า 25% เถ้าประมาณ 5% ความหนาแน่นประมาณ 250-300 kg/m³ ถ่านที่ได้จะมีคุณสมบัติเปราะปานกลาง ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Thermal Content หรือ Net Calorific Value) ของถ่านจะมีค่าประมาณ 25 MJ/kg เทียบกับค่าความจุความร้อนจำเพาะของ ไม้อบแห้ง (Air dry wood) ที่มีค่าเท่ากับ 15 MJ/kg ปริมาณถ่านเทียบเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาณ ไม้ที่นำมาผลิตเป็นถ่าน

สำหรับวิธีการเผาถ่านที่นิยมกันนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกคือการทำเตาเผาโดยใช้ฟางคลุมลงไปบนกองไม้ที่กองอยู่บนพื้น จากนั้นให้นำดินมาคลุมทับลงไปบนกองฟางอีกที วิธีเผาแบบนี้เรียกว่า เตาเผาแบบกองดิน (Earth Mound Kiln) เป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย อีกแบบหนึ่งที่นิยมคือการใช้ดินให้เป็นหลุมลงไปแล้วนำเอาไม้ที่ต้องการเผาให้เป็นถ่านมาวางลงกองไว้ในหลุม จากนั้นจึงดินมาคลุมทับอีกทีหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า เตาเผาแบบ Pit Kiln การเผาจะเริ่มจากการจุดไฟที่บริเวณหัวเตาหรือจุดไฟที่บริเวณก้นเตา และก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้จะเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ไม้ในส่วนอื่นๆของเตาต่อไป โดยจะมีอากาศส่วนหนึ่งที่สามารถเล็ดลอดเข้ามาทางรูในส่วนที่เป็นทางออกของควัน วิธีการเผา

เอกสารนี้เก็บถ่านทั้ง 2 แบบแสดงดังรูปที่ 2.3 ใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เตาเผาแบบ Earth Mound Kiln และ เตาเผาแบบ Pit Kiln [6]

2.2.3 การนำเชื้อเพลิงไม้มาใช้โดยผ่านกระบวนการ Gasification [7]

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญอย่างหนึ่งทางความร้อน ก๊าซที่ได้จากเตาผลิตก๊าซหรือ Gasifier เรียกว่า Producer Gas ซึ่งมีก๊าซที่สำคัญคือ คาร์บอนมอนนอกไซด์, ไฮโดรเจนและมีเทน สามารถนำไปใช้ในการเผาไหม้ในกระบวนการให้ความร้อนโดยตรงหรือสามารถใช้โดยทางอ้อมโดยนำไปขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในได้อีกด้วย

Gasification เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเตา (Gasifier) การเกิดกระบวนการ Gasification นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ Heterogeneous และ Homogeneous คือเป็นปฏิกิริยาระหว่างสสารที่มี 2 สถานะมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน หรืออาจจะอยู่ในสถานะเดียวกันด้วยก็ได้ โดยทั่วไปในการเกิดกระบวนการ Gasification นั้นจะใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศไปทำปฏิกิริยาในการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงให้ความร้อนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาอื่นต่อไปการออกแบบสร้างเตาเผาเพื่อผลิตก๊าซชีวมวลจะต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิ อัตราเร็วในการเผาไหม้ ปริมาณอากาศในเตาเผา เป็นต้น กระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลอาจแบ่งออกได้ดังนี้

1. Air - Blown Gasification ใช้อากาศธรรมดาเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในขั้นการเผาไหม้ก่อน หลังจากนั้นความร้อนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากขั้นการเผาไหม้จะถูกใช้เพื่อผลิต Producer Gas โดยกระบวนการ Gasification ก๊าซทั้งหมดที่ได้เป็น Low - BTU - Gas โดยมีก๊าซ N_2 ที่อยู่ในอากาศเป็นส่วนประกอบหลักโดยจะมีอยู่ราว 60 - 70 %

2. Oxidative Gasification เป็นการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศซึ่งจะมีผลให้ประสิทธิภาพซึ่งความร้อนของ Producer Gas สูงขึ้นเพราะไม่มีก๊าซไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของอากาศปะปนมา การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะทำได้ดีกว่า ในทางปฏิบัตินั้นต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นสำคัญเพราะราคาของก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์มีราคาแพงเมื่อเทียบกับอากาศธรรมดา และควรใช้กับวัตถุดิบที่เป็นถ่านหินเท่านั้น

3. Steam Gasification หมายถึง Gasification ที่ใช้ ไอน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในเตาซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณ Producer Gas โดยเฉพาะก๊าซไฮโดรเจนแต่อุณหภูมิในเตาต้องสูงพอหรือไม่ต่ำกว่า 800°C

4. Hydrogasification หมายถึง Gasification ที่ใช้ไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงไม่มีการใช้ก๊าซออกซิเจนหรืออากาศ โดยปกติจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 700°C และต้องใช้ความดันเข้าช่วย ซึ่งความดันในเตาปฏิกรณ์บางชนิดอาจสูงถึง 20 MPa ก๊าซที่ได้เป็นมีเทน ส่วนมากจะถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel) ต่อไป

ในกระบวนการเกิดก๊าซชีววมวลภายในเตาเผา เราสามารถแบ่งโซนการเกิดก๊าซตามปฏิกิริยาทางเคมีและความแตกต่างของอุณหภูมิ ได้เป็น 4 โซนดังนี้

- Reduction Zone
- Combustion หรือ Oxidation Zone
- Pyrolysis หรือ Distillation Zone
- Drying Zone

Combustion Zone ในบริเวณนี้ คาร์บอนไหม้กับก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณที่จำกัด (Partial Combustion) โดยมีปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนอุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง $900 - 1200^{\circ}\text{C}$ ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลายผลผลิตหลักที่ได้ในชั้นการเผาไหม้คือความร้อนและเถ้าถ่าน

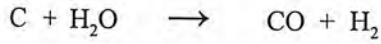
Reduction Zone คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้ก็ไหลสู่ชั้นรีดักชัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในชั้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังสมการ



ปฏิกิริยาในสมการนี้เรียกว่า Boudouard (Reduction) Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถทำได้

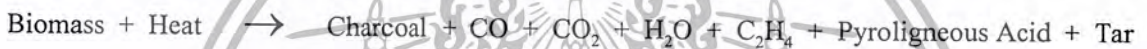
โดยการ ฉีดไอน้ำร้อนเข้าไป ซึ่งไอน้ำจะไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาแต่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ได้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนซึ่งจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 800°C อนึ่งภายใต้ความดันสูงไฮโดรเจนอาจจะไปรวมตัวกับ คาร์บอนและผลิตมีเทนออกมาได้ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction โดยจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงๆ และอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

Pyrolysis Zone ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิง ทำให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่าง ๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วย เมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน ก๊าซที่เผาไหม้ได้และเผาไหม้ไม่ได้ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ที่ประมาณ $135 - 600^{\circ}\text{C}$ ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือ คาร์บอนในรูปถ่าน (Fixed Carbon) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาคังสมการ



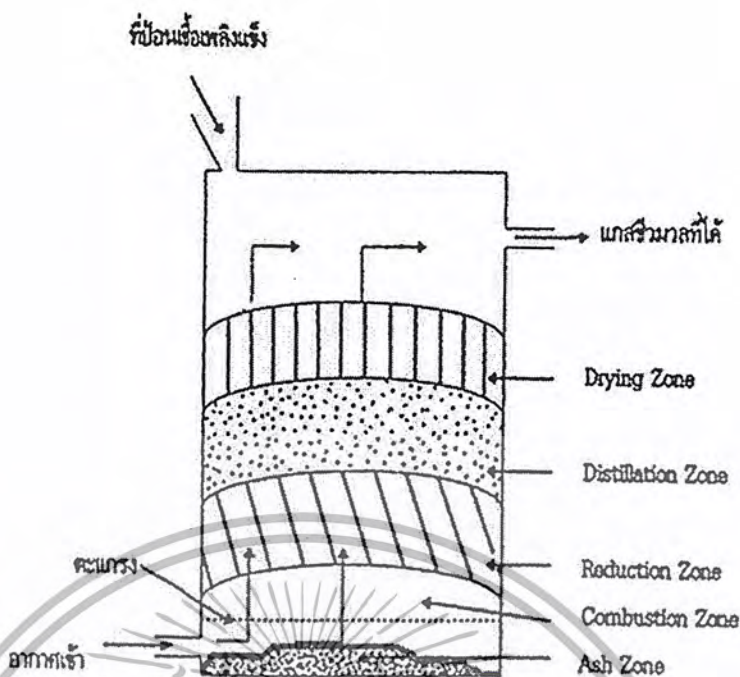
Drying Zone ในชั้นนี้อุณหภูมิต่ำพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่าง ๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้น Pyrolysis จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ที่ประมาณ $100 - 135^{\circ}\text{C}$

เราสามารถแบ่งชนิดของเตาเผาชีวมวล (Type of Gasifier) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 แบบใหญ่ ๆ ตามชนิดการไหลของ Producer Gas และการจัดเรียงตัวของชั้นต่าง ๆ ภายในเตาผลิตก๊าซ คือ

- Updraft Gasifier หรือเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น เตาเผาชีวมวลแบบ Updraft นี้เป็นแบบง่ายที่สุด โดยชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นเผาไหม้ ชั้นรีดักชัน ชั้นกลั่นสลาย และชั้นลดความชื้น เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเตาและอากาศถูกส่งเข้ามาทางด้านล่างของเตา การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นที่จุดแรกของการสัมผัสกับอากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นเผาไหม้จะผ่านขึ้นไปยังชั้นรีดักชัน ซึ่งมีคาร์บอนที่ร้อนอยู่มากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จุดเด่นของเตาเผาแบบ Updraft นี้คือ สามารถเพิ่มปริมาณ Producer Gas ได้โดยการใช้ไอน้ำเข้าช่วย นอกจากนั้นยังสามารถใช้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูงได้ อาจจะสูงได้ถึง 50 % อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกจากเตาค่อนข้างจะต่ำ คือประมาณ $120 - 150^{\circ}\text{C}$

แต่ปัญหาที่สำคัญคือสารระเหยที่ออกมาพร้อมกับ Producer Gas จะเป็นอุปสรรคที่สำคัญมากในการนำไปใช้เดินเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพราะอาจจะเกิดการอุดตันและทำความเสียหายให้แก่เครื่องยนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

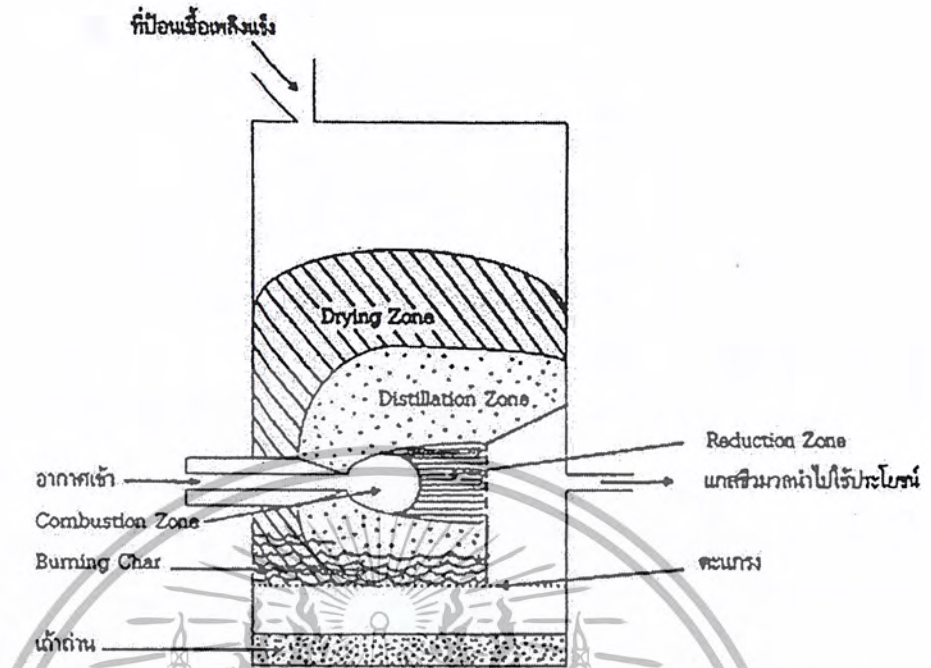


รูปที่ 2.4 ลักษณะของเตาแบบ Updraft Gasifier [8]

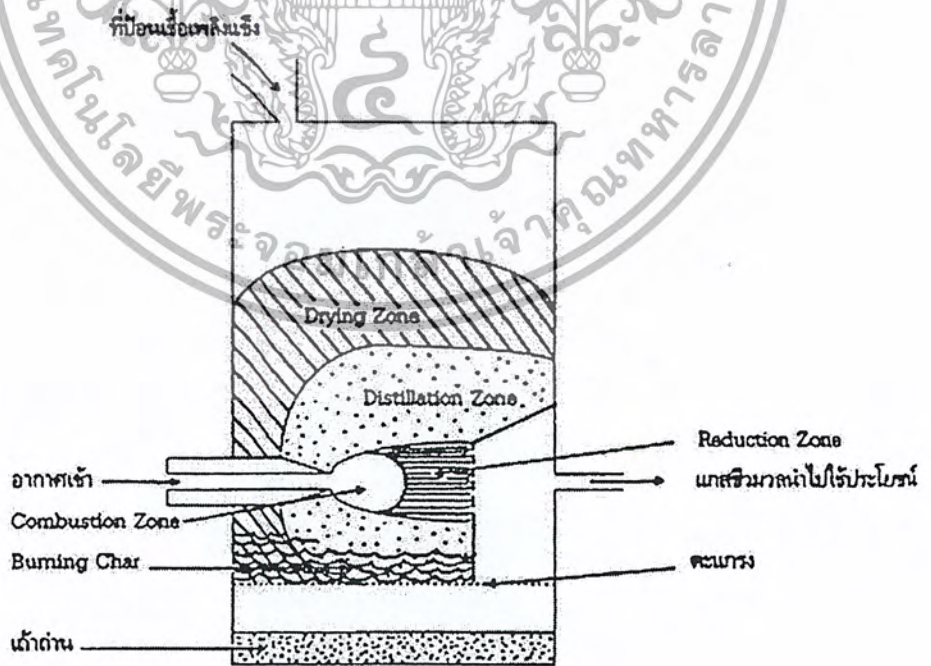
- Downdraft Gasifier หรือเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง เตาจะเป็นแบบที่ใช้ทำการวิจัยและใช้งานจริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไปมากที่สุด ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นรีดักชัน ชั้นเผาไหม้ ชั้นกลั่นสลาย และชั้นลดความชื้น อากาศจะถูกส่งให้ไหลสู่ชั้นเผาไหม้ และไหลลงไปสู่ชั้นรีดักชันซึ่งอยู่ด้านล่าง สารระเหยจากชั้นกลั่นสลายที่อยู่เหนือชั้นเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 900 – 1,200 °C สารระเหยต่าง ๆ จะถูกเผาไปทำให้ Producer Gas ที่ผลิตออกมาได้นั้นปราศจากสารระเหยจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ข้อเสียเปรียบของเตาชนิดนี้ คือ จะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงในชั้นเผาไหม้ จึงต้องใช้วัสดุที่ทนความร้อนสูง อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกมาจากเตาจะค่อนข้างสูงมากคือประมาณ 450 – 550 °C ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่มาช่วยในการระบายความร้อนออกไปบ้าง

- Crossdraft Gasifier หรือเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลตามขวาง เตาแบบ Crossdraft นี้จะเป็นแบบที่เล็กที่สุดและเบาที่สุดใน 3 แบบ ทิศทางการไหลของอากาศจะตั้งฉากกับแนวแกนของเตา อากาศจะถูกส่งตรงไปยังชั้นเผาไหม้ และต่อไปยังชั้นรีดักชัน ซึ่งทั้ง 2 ชั้นนี้ จะเป็นชั้นเล็ก ๆ วางเรียงกันตามแนวนอน อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกมาจากเตาแบบ Crossdraft นี้ จะไม่สูงมากเหมือนเตาแบบ Downdraft ชีวมวลจะถูกป้อนจากทางด้านบนของเตาเช่นเดียวกันกับเตาทั้ง 2 แบบที่กล่าวมา ข้อดีของเตาแบบนี้คือ สามารถผลิต Producer Gas ได้เร็วกว่าเตาอีก 2 แบบ และอุณหภูมิในเตาจะไม่สูงมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเตาแบบ Downdraft Gasifier [8]

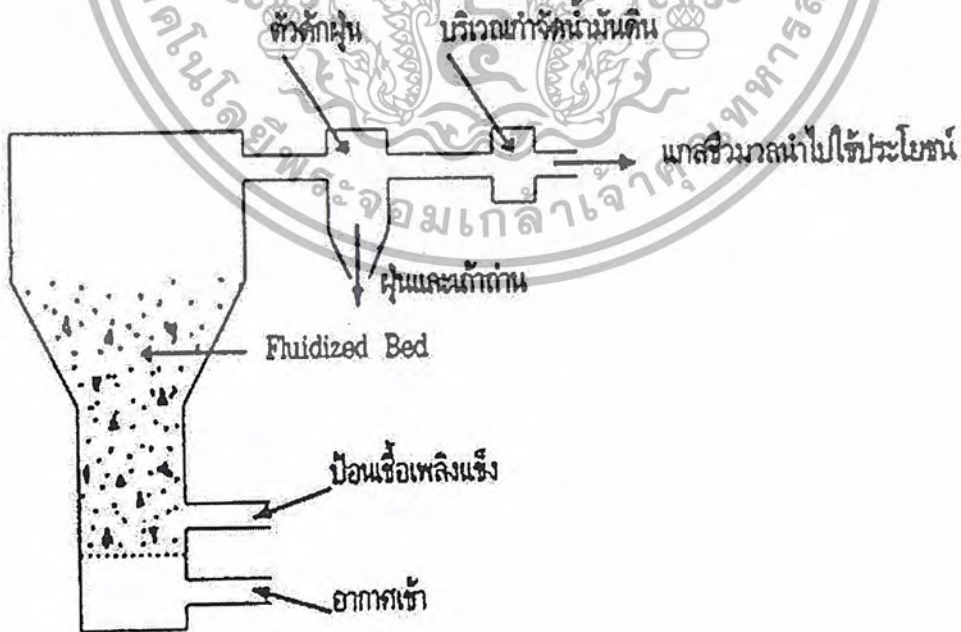


รูปที่ 2.6 ลักษณะของเตาแบบ Crossdraft Gasifier [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fluidized Bed Gasifier หรือเตาเผาผลิตก๊าซชีววมวลแบบฟลูอิด ไคซ์เบดก๊าซซิไฟเออร์ จากเตาเผาที่กล่าวมาแล้วทั้ง 3 แบบข้างต้น การทำงานของกระบวนการในระบบจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีและสภาพทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิง โดยที่จะเกิดปัญหาทางด้าน Slag ที่เกิดขึ้นมากเกินไป จึงก่อให้เกิดการอุดตันในเตาเผาบ่อยครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำเตาเผาแบบ Fluidized Bed มาใช้เตาเผาแบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อเราเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านสูงจนกระทั่งทำให้เชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้น มีลักษณะคล้ายกับของไหล ในขณะที่เริ่มติดไฟนั้น Bed จะเริ่มร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจึงจะถูกป้อนเข้าไปภายในเตาอย่างสม่ำเสมอ

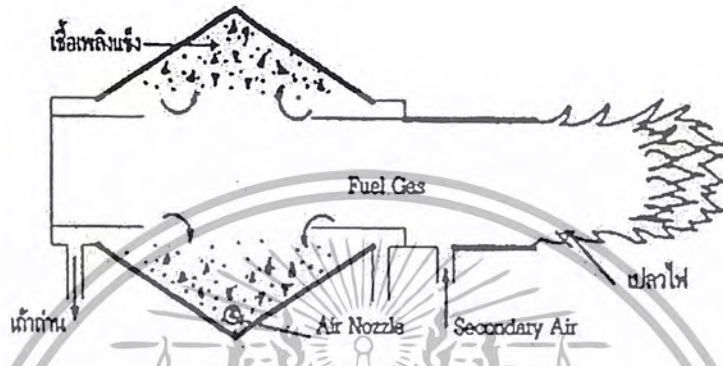
ภายในเตาเผาจะถูกใส่วัสดุเคลือบ ได้แก่ทราย หรือวัสดุเร่งปฏิกิริยาได้แก่ หินปูน ซึ่งจะช่วยในการเผาถ่ายเทความร้อน และช่วยในการทำมาสะอาดก๊าซที่ได้ใน Bed เตาเผาแบบนี้จะมีข้อดีคือ การควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาจะกระทำได้ง่าย จึงสามารถรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้ ทำให้ไม่เกิดการจับตัวของ Slag ที่เกิดขึ้น จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีขี้เถ้ามากได้ โดยที่ถ้าเป็นเตาเผาแบบอื่นจะเกิดปัญหา ข้อเสียของเตาเผาแบบนี้คือ ก๊าซชีววมวลที่ออกจากเตาเผาจะมีปริมาณเถ้าและขี้เถ้าปนออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเตามีค่าสูงจึงต้องมีการนำ Cyclone หรือ Bag House มาใช้กับระบบด้วย



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเตาแบบ Fluidized Bed Gasifier [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Suspended Gasifier การเผาไหม้ในเตาเผาแบบนี้จะมีลักษณะแขวนลอย โดยจะใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซ ภายในเตาเผาจะใช้ลักษณะการหมุนวนของอากาศในลักษณะแขวนลอย เพื่อที่จะให้ก๊าซและเชื้อเพลิงแข็งมีโอกาสสัมผัสกันมากที่สุด เพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาแบบนี้ได้



รูปที่ 2.8 ลักษณะของเตาแบบ Suspended Gasifier [8]

2.3 คุณสมบัติของก๊าซหุงต้ม LPG และการให้ประโยชน์

ก๊าซ LPG เป็นสิ่งที่ได้มาจากถารกลั่นน้ำมันดิบ และ การคัดแยกก๊าซธรรมชาติ โดยองค์ประกอบทางเคมี ของก๊าซ LPG ในหนึ่งโมเลกุลมีจำนวนคาร์บอนจับกันอยู่ 3 ตัว (C₃) และ 4 ตัว (C₄) ก๊าซ LPG เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และมีจุดเดือดที่ต่ำ ดังนั้นในสภาวะปกติทั่วไปจึงอยู่ในรูป ของก๊าซ เมื่อกระจายตัวอยู่ในอากาศทั่วไปจะลอยตัวต่ำ คุณสมบัติเฉพาะตัว ตัวก๊าซ LPG จะติดไฟได้ง่าย สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้เมื่อมีอุณหภูมิไม่สูงมากนักที่อุณหภูมิอากาศปกติ สารไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ ประกอบด้วย

โพรเพน	Propane	C ₃ H ₈
โพรพีรีน	Propylene	C ₃ H ₆
บิวเทน	Butane	C ₄ H ₁₀
บิวไทลีน	Butylene	C ₄ H ₈

นอกจากนี้ไฮโดรคาร์บอนยังประกอบไปด้วย สารพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักเบาที่

และพวกที่มีน้ำหนักมากกว่าเล็กน้อย ไฮโดรคาร์บอน C₃ และ C₄ ที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LPG ที่มีอยู่ในธรรมชาติอาจแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่คือ พวก Saturated และ Unsaturated ซึ่งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันตรงที่ลักษณะการจับตัวของ คาร์บอนอะตอม กลุ่ม Saturated hydrocarbon ได้แก่ Propane, N – Butane, iso - Butylene กลุ่ม Unsaturated hydrocarbon ได้แก่ Propylene, n – Butylene, iso – Butylene Saturated hydrocarbon มักจะได้ออกจากการแยกก๊าซธรรมชาติโดยการแยกส่วนประกอบ ส่วน Unsaturated hydrocarbon ส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการกลั่น โดยเฉพาะขบวนการที่ทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่แตกตัวออกมาเป็น โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง (Cracking Process)

ก๊าซ LPG ได้มีการเติมกลิ่นเข้าไปด้วยเพื่อที่จะได้รู้เมื่อมีการรั่วไหล สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้ก๊าซ LPG มีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวก เมอร์แคปแทน (Mercaptane)

2.4 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality Standard)

เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์มีผลต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย [9] สำหรับค่าสูงสุดที่ของก๊าซมลพิษชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้มีในบรรยากาศได้ แสดงดังตารางที่ 2.5 ปริมาณสูงสุดของก๊าซมลพิษชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ [10]

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติเฉพาะตัวของก๊าซ LPG เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว

	โพรเพน	นอร์มัลบิวเทน	ไอโซบิวเทน
น้ำหนักโมเลกุล	44.97	58.124	58.124
จุดเดือด, °C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ	-42.045	-0.50	-11.72
อุณหภูมิวิกฤต, °C	96.67	152.03	134.99
ความดันวิกฤต, บรรยากาศ	41.94	37.47	36.00

ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดของมลพิษชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นภายในห้อง [9]

Sources	Major contaminants
Gas – fuel cooking stoves	NO ₂ , CO,
Gas – or kerosene space heaters	NO ₂ , CO, nitrous acid, SO ₂
Fireplaces and wood – and coal – burning stoves	CO, particulate matter, organic compounds
Vented gas – fueled appliances (e.g., furnaces, water heaters, and clothes dryers)	NO ₂ , CO
Tobacco smoke	CO, particles, organic, compounds
Motor vehicles	NO ₂ , CO

ตารางที่ 2.4 อันตรายของก๊าซชนิดต่างๆที่มีต่อร่างกาย [9]

Group	Air pollutant
Persons with asthma	NO ₂ , acid aerosols
Persons with ischemic heart disease	CO
Persons with chronic obstructive pulmonary disease (COPD)	CO, particles, acid, aerosols
Pregnant women and fetuses	CO
Children	NO ₂

ตารางที่ 2.5 ปริมาณสูงสุดของก๊าซมลพิษชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ [10]

	OSHA Permissible Exposure Level (PEL)	
	ppm	Mg/m ³ , 25 °C
Carbon dioxide	5000	9000
Carbon monoxide	35	38
Nitric oxide	25	30
Nitrogen dioxide	3	6
Sulfur dioxide	2	5

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยในประเทศ

- สมพร ธเนศวรณิษฐ์ และ วัชรระ พิเศษชาติ [11] ทำการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนขนาดได้แก่อั้ง โลที่ใช้ไม้ฟืนและถ่านเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเตาก๊าซ LPG ผลทดสอบพบว่าเตาอั้ง โลไม้ฟืนประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 11-13 % และเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงประสิทธิภาพจะสูงขึ้นเป็น 15-18 % ในขณะที่ เตาก๊าซ LPG หัวเดียวมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 40-50 % และพบว่ามลพิษที่เกิดจากเตาก๊าซ LPG มีปริมาณน้อยที่สุด โดยเฉพาะปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ รองลงมาคือเตาถ่าน ไม้และเตาไม้ฟืน

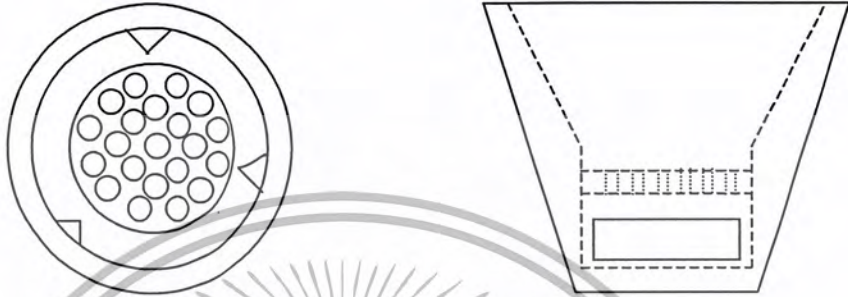
ตารางที่ 2.6 ก๊าซมลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้มเทียบกับค่ามลพิษที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ [11]

ค่ามลพิษ	เตาถ่าน	เตาไม้ฟืน	เตาหุงต้ม LPG	OSHA PEL
CO (ppm)	5,532	14,814	2.4	35
CO ₂ (% vol.)	9.9	7.4	-	-
NO (ppm)	65.7	66.4	4.9	25

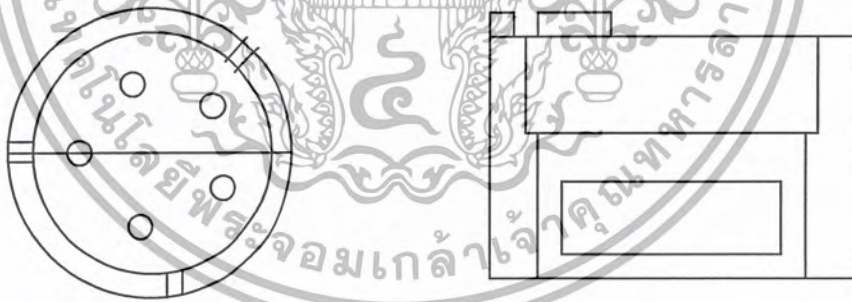
- T. M. Khoa [12] รายงานผลการศึกษเกี่ยวกับผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

ศึกษภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะนำมาใช้ของประเทศเวียดนาม และยังทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้ม 2 ชนิดได้แก่เตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศไทย, เตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศฟิลิปปินส์ ตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีอยู่ในช่วง 1917-2506, 73-484 และ 0.02-0.47 g/kg ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 เตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศไทย [12]



รูปที่ 2.10 เตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศฟิลิปปินส์ [12]

- Arjun Bahadur K. C. [13] ทำการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยวิเคราะห์จากการต้มน้ำและได้ทำการศึกษามลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศแถบเอเชีย เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทำการทดสอบมี 4 ชนิดได้แก่ ไม้ฟืน, จี๊บกบ, ถ่านไม้, และแกลบ ทำการหาปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์, มีเทน, ไนโตรเจนไดออกไซด์และไนโตรเจนมอนออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อัตราการป้อนอากาศต่างๆ กับเตา Priyagni ของประเทศอินเดีย เตา RFD-2 ของประเทศไทยและเตา QB ของประเทศฟิลิปปินส์จะใช้ทดสอบกับจี๊บกบ เตา IRRI ที่ได้รับการพัฒนาจากประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่ขออนุญาตศึกษานำไปเผยแพร่โดยไม่เป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิลิปปินส์จะใช้ทดสอบมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงแกลบและขี้กบ เต่า La Trau ของประเทศเวียดนามจะ
ใช้ทดสอบมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงแกลบ

ผลการทดสอบที่ได้คือปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์, มีเทน
ไนโตรเจนไดออกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์ มีค่าอยู่ในช่วง 936.916-1612.265, 37.007-
222.384, 3.49-38.55 และ 7.650-91.979 g/kg ตามลำดับ ถ่านไม้จะมีค่าอยู่ในช่วง 2267.473- 2325.059,
155-183.173 และ 0.210-0.324 g/kg สำหรับก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์และ
ไนโตรเจนมอนอกไซด์ตามลำดับ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบมลพิษที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 934.800-
1105 สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์, 27.246-51.953 สำหรับคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ 0.992-3.075
g/kg สำหรับมีเทน ตามลำดับ

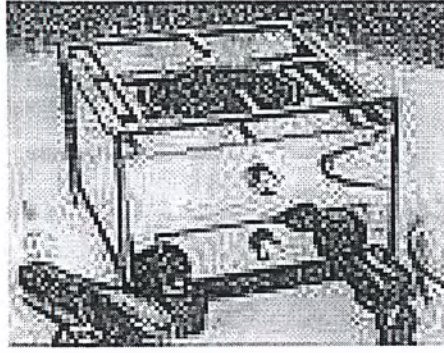


รูปที่ 2.11 เต่า Priyagni ของประเทศอินเดีย [13]



รูปที่ 2.12 เต่า RFD-2 ของประเทศไทย[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เตา QB ของประเทศฟิลิปปินส์ [13]

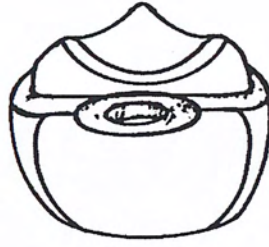


รูปที่ 2.14 เตา IRRI ของประเทศฟิลิปปินส์ [13]

2.5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

- R. A. Lucky and I. Hossain (2000) [14] ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเตาหุงต้มต่างๆ ไปเปรียบเทียบกับเตาก๊าซธรรมชาติ โดยจะนำเอาเตาที่ผ่านการปรับปรุงประสิทธิภาพแล้วจากสถาบันวิจัยของบังกลาเทศมาเปรียบเทียบกับเพิ่มอีกสองแบบ ชนิดของภาชนะที่ใช้ทดสอบ และอัตราการไหลของก๊าซ เป็นสองพารามิเตอร์สำหรับเตาก๊าซ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภาชนะแบบ Flat-bottomed pan ให้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับทุกชนิดของเตาที่นำมาทดสอบ เมื่อพิจารณาถึงพลังงานที่ให้ จะพบว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นในตอนแรกและจะลดลงเมื่อมีการปรับเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเมื่อ ได้วิเคราะห์ถึงการออกแบบและสมรรถนะของเตาก๊าซที่มีอยู่แล้วจึง ได้ทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการหุ้มฉนวนรอบ ๆ เเตาก๊าซและบางส่วนของภาชนะที่ใช้ทดสอบเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการนำพลังงานความร้อนมาใช้ได้สูงขึ้น

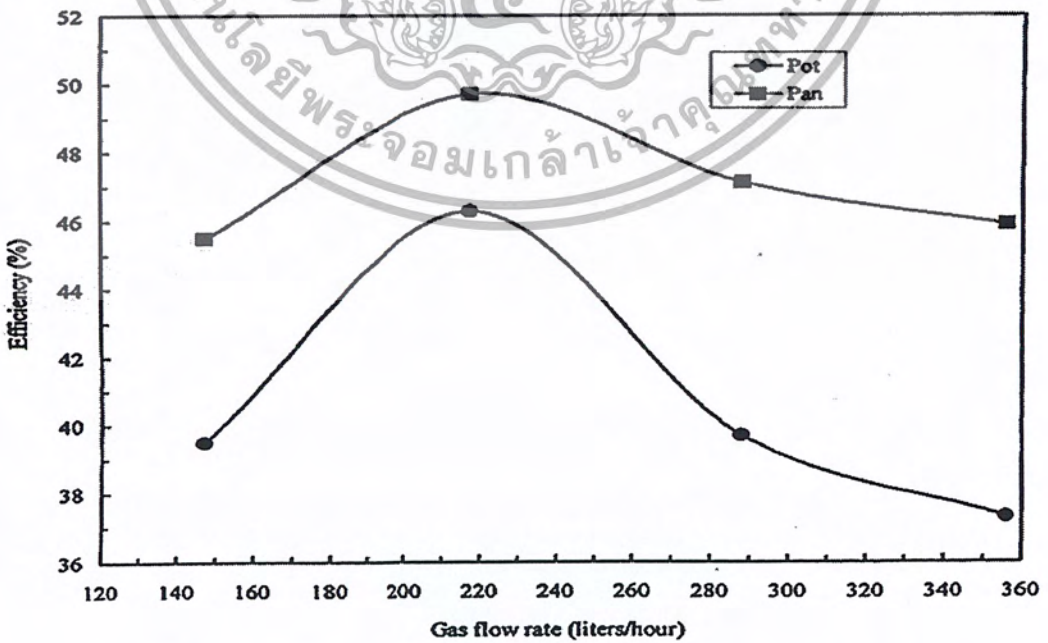
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 เตาพื้นบ้านบึงคลาเทศ [14]



รูปที่ 2.16 ลักษณะของภาชนะปรุงอาหาร [14]



รูปที่ 2.17 ประสิทธิภาพของเตาแก๊ซหุงต้มที่อัตราการไหลแตกต่างกัน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-V.V.N. Kishore and P.V. Ramana [15] ในปี ค.ศ. 1985 รัฐบาลของประเทศอินเดียได้ประสบความสำเร็จในสองวัตถุประสงค์ของการสนทนา อันประกอบไปด้วยเรื่องของเชื้อเพลิงไม้และการลดปริมาณเขม่าควันที่เกิดขึ้นในห้องครัวอันเกิดจากการใช้เตาหุงต้มประกอบอาหารในครัวเรือน ซึ่ง NPIC ได้ทำการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาหุงต้มไปแล้วเป็นจำนวนมากกว่า 28 ล้านราย อันเป็นผลโดยตรงให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานในประเทศไปได้ประมาณ 20 tons ของปริมาณเชื้อเพลิงไม้ต่อปี

ตารางที่ 2.7 ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง [15]

Year	No. of stove installed (million)	Cumulative (million)	Fuel wood savings (million tones/year)	Monetary savings (Rs million/year); at 1997 prices
1983 – 1984	0.300	0.300	0.210	84
1984 – 1985	0.512	0.812	0.568	227
1985 – 1986	1.122	1.934	1.354	542
1986 - 1987	0.905	2.839	1.987	759
1987 – 1988	1.518	4.357	3.050	1220
1988 – 1989	1.833	6.190	4.333	1733
1989 – 1990	1.988	10.377	7.264	2906
1990 – 1991	2.154	12.513	8.772	3509
1991 – 1992	1.947	14.505	10.153	4061
1992 – 1993	2.426	16.931	11.851	4740
1993 – 1994	2.675	19.605	13.724	5490
1994 – 1995	3.141	22.747	15.930	6372
1995 – 1996	3.141	22.747	15.930	6372
1996 – 1997	2.960	25.707	17.995	7198
1997 - 1998	2.591	28.298	19.809	7923
Total	28.298	28.298	122.872	491149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การศึกษามาตรฐานการทดสอบและเลือกมาตรฐานการทดสอบ

มาตรฐานการทดสอบเพื่อใช้หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้ม มีมาตรฐานของหลายประเทศที่นำมาพิจารณา โดยมีรายละเอียดของวัสดุและอุปกรณ์ตลอดจนวิธีการทดสอบ ดังแสดงที่นำมาเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

3.1.1 British Standards Institution; BS

- Specification for Gas burning appliances; part 3 Domestic cooking appliance burning gas ; BS 5386 : Part 3:1980 [16]

- ใช้ Stainless steel หรือ Copper เป็นวัสดุที่ใช้ทำภาชนะทดสอบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในภาชนะ 19.05 cm ความสูงจากก้นภาชนะถึงปากภาชนะ 12.7 cm น้ำหนักภาชนะรวมฝาและที่กวนหนัก 1.2485 kg วัสดุที่ใช้ทำ Hood ทำจากวัสดุ Stainless steel โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hood ที่ 50.8 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Steam vent 1.5 cm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง 12.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Sampling tube 0.8 cm เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ORSAT ปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 2.27 kg โดยมีตำแหน่งของ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่กึ่งกลางของปริมาตรน้ำ

- วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ใส่น้ำลงในภาชนะทดสอบปริมาณ 2.27 kg ทำการบันทึกอุณหภูมิและปริมาณเชื้อเพลิงเริ่มต้น แล้วนำภาชนะทดสอบมาตั้งบนเตาจุดไฟพร้อมทั้งเริ่มจับเวลา เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 190 °F ให้เริ่มควนอย่างต่อเนื่องจนน้ำมีอุณหภูมิสูงถึง 200 °F ยกภาชนะลงจากเตา บันทึกปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และเวลาที่ใช้ควนน้ำต่อไปจนได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดแล้วทำการบันทึกค่า

- วิธีการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ นำน้ำใส่ลงในภาชนะทดสอบแล้วตั้งบนเตาเปิดไฟ นำ Hood มาครอบบนภาชนะทดสอบ รอจนครบ ประมาณ 20 นาที ใช้เครื่องมือ ORSAT วัดปริมาณ CO และ CO₂

3.1.2 German Standards and Technical Rules; DIN

- การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนอ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 Gas-heated catering equipment [3] และการทดสอบหามลพิษอ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN 203-1 General safety requirement [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้วัสดุ Aluminium เป็นวัสดุที่ใช้ทำภาชนะทดสอบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในภาชนะ 22-50 cm ความสูงจากก้นภาชนะถึงปากภาชนะ 14-28 cm น้ำหนักภาชนะรวมฝาหนัก 0.829-6.26 kg วัสดุที่ใช้ทำ Hood ทำจากวัสดุ Steel sheet โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hood ที่ 48, 67 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Steam vent 2.2 cm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง 12 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Sampling tube 0.8 cm ปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 3.7-41.2 kg โดยมีตำแหน่งของ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่กึ่งกลางของปริมาตรน้ำ

- วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ตั้งภาชนะที่ใส่น้ำบนเตาแล้วจุดไฟเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้น 70 K ให้ เปลี่ยนภาชนะเป็นภาชนะที่ใช้ในการทดสอบที่ใส่น้ำตามกำหนด บันทึกปริมาณเชื้อเพลิงเริ่มต้นแล้วนำภาชนะทดสอบมาตั้งบนเตาจุดไฟ และเริ่มจับเวลา บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้น 70 K ยกภาชนะทดสอบลงจากเตาพร้อมทั้งบันทึกปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และเวลาที่ใช้พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิสูงสุด

- วิธีการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ตั้งภาชนะใส่น้ำที่กึ่งกลางเตาครอบภาชนะด้วย Hood เก็บตัวอย่างก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้หลังเปิดเตาไปแล้ว 15 นาทีเพื่อวิเคราะห์ก๊าซ CO และ CO₂ จะทำการติดตั้งแผ่นกั้นที่ส่วนบนไว้ถ้าความเข้มข้น CO₂ น้อยกว่า 2 %

3.1.3 Japanese Industrial Standards; JIS

- การทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ใช้มาตรฐาน JIS S 2103-1991 Gas burning cooking appliances for domestic use [17] และการทดสอบหามลพิษ ใช้มาตรฐาน JIS S 2093-1991 Test method of gas burning appliances for domestic use [18]

- ใช้วัสดุ Aluminum เป็นวัสดุที่ใช้ทำภาชนะทดสอบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในภาชนะ 14-30 cm ความสูงจากก้นภาชนะถึงปากภาชนะ 6.4-13.7 cm น้ำหนักภาชนะไม่รวมฝาและที่กวนหนัก 0.13-0.72 kg ไม่มี hood เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ Infrared gas analyzer, Indicating oxygen densitometer ปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 0.65-6.9 kg โดยมีตำแหน่งของ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่กึ่งกลางของปริมาตรน้ำ

- วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ตั้งภาชนะทดสอบที่ใส่น้ำตามกำหนดไว้บนเตา บันทึกปริมาณเชื้อเพลิงเริ่มต้น บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น จุดไฟและเริ่มจับเวลา เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้น 45 K ให้เริ่มกวนน้ำในภาชนะทดสอบ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้น 50 K ยกภาชนะทดสอบออกจากเตาและยังกวนน้ำต่อไป พร้อมทั้งบันทึกปริมาณเชื้อเพลิงสุดท้าย, เวลา และ อุณหภูมิสูงสุด

- วิธีการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ตั้งภาชนะที่ใส่น้ำไว้บนเตาพร้อมทั้ง จุดไฟทิ้งไว้ 15 นาที เก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์ CO, CO₂, O₂ โดยเก็บก๊าซตัวอย่างที่ตำแหน่งด้านข้างภาชนะทดสอบโดยมีระยะที่ต่ำลงมาจากปากภาชนะทดสอบที่ 1/3 ของความสูงภาชนะทดสอบ

3.1.4 The Australian Gas Association and Australian Liquefied Petroleum Gas Association; AGA

- การทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและ การทดสอบหามลพิษใช้มาตรฐาน AG 101-1988 Approval requirement for domestic gas cooking appliances [19]

- ใช้วัสดุ Aluminum เป็นวัสดุที่ใช้ทำภาชนะทดสอบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในภาชนะ 20, 23 cm ความสูงจากก้นภาชนะถึงปากภาชนะ 14.1, 15.7 cm วัสดุที่ใช้ทำ Hood ทำจากวัสดุ Stainless steel โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hood ที่ 30.5-50.8 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Steam vent 1.2, 0.6 cm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง 7.6, 12.7 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Sampling tube 0.6, 0.8 cm ปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ 2.3, 4.5 kg โดยมีตำแหน่งของ เทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิที่กึ่งกลางของปริมาตรน้ำ

- วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนตั้งภาชนะที่ใส่น้ำตามกำหนดไว้บนเตาบันทึกปริมาณเชื้อเพลิง, อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น จุดไฟพร้อมทั้งเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นถึง 95 °C ยกภาชนะทดสอบลงจากเตาพร้อมทั้งเริ่มกวนน้ำ บันทึกเวลาที่ใช้ และบันทึกปริมาณเชื้อเพลิงสุดท้ายและบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่สูงที่สุดในขณะที่กวนน้ำอยู่

- วิธีการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ จุดเตาทิ้งไว้อย่างน้อย 4-5 ชั่วโมง และบันทึกค่า CO₂, CO, NO₂, NO และ NO_x ในอากาศไว้ก่อนการทดสอบ เริ่มต้นทดสอบโดยตั้งภาชนะใส่น้ำบนเตาครอบภาชนะด้วย Hood ทิ้งไว้ 15 นาทีบันทึกค่าความเข้มข้นของ CO₂, CO, NO₂, NO, และ NO_x ขณะทดสอบบันทึกค่า HC ในอากาศอย่างต่อเนื่องหากมีปริมาณเกิน 5 ppm ให้หยุดทำการทดสอบถ้าอุณหภูมิของ Probe ที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซเกิน 200 °C ให้หยุดอ่านตัวอย่างก๊าซที่วิเคราะห์ได้

การเลือกมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้เลือกมาตรฐานการทดสอบที่ใช้ Aluminum เป็นการตั้งค่าภาชนะ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูก เนื้ออ่อนง่ายต่อการขัดตกแต่ง และมีค่าการนำความร้อนที่ดีมากเมื่อเทียบกับ Stainless steel ซึ่งเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมาก ราคาสูง เนื้อแข็ง ยากต่อการขัดตกแต่ง และมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่า Aluminum ดังนั้นถ้าเลือกใช้ Aluminum มาทำภาชนะจะเป็นการลดการสูญเสียความร้อนที่จะให้กับภาชนะได้มากกว่าและลดเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านความร้อนทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ และเลือกมาตรฐานการทดสอบที่มีการอุ่นเตาหุงต้มให้ร้อนก่อนทำการทดสอบเพื่อเป็นการลดการสูญเสียความร้อนที่จะต้องให้กับตัวเตาและบรรยากาศรอบ ๆ เตา ส่วนของมาตรฐานการวัดมลพิษนั้นจะเลือกมาตรฐานการทดสอบที่มีปริมาณการสูญเสียก๊าซมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้ในขณะที่ทำการวัดก๊าซมลพิษน้อยที่สุด ดังนั้นเลือกมาตรฐานการทดสอบที่ใช้ Hood ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ โดยจุดที่เก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษได้ดีที่สุดก็คือด้านบน เพราะโดยธรรมชาติก๊าซร้อนย่อมลอยตัวขึ้นสูง ดังนั้นมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิง

เอกสารนี้ใช้ความร้อนและมาตรฐานการวัดมลพิษที่เหมาะสม คือมาตรฐาน German Standard นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจัดเตรียมและการสร้างอุปกรณ์การทดสอบ

จัดเตรียมและสร้างอุปกรณ์ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน DIN EN 203-2 และมาตรฐานการทดสอบมลพิษ DIN EN 203-1 ของประเทศเยอรมนี

3.2.1 การจัดเตรียมการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

- จัดเตรียมและสร้างหม้อทดสอบโดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 220 mm มีความสูง 140 mm ใช้วัสดุ Aluminum ในการสร้างภาชนะทดสอบ โดยให้หม้อมีความหนาผิวข้าง 1.5 mm มีความหนาก้นภาชนะ 2 mm โดยควบคุมภาชนะขณะที่ไม่มีฝาครอบให้มีน้ำหนัก 680 g โดยภาชนะจะมีลักษณะดังภาพที่ 3.1

- จัดสร้างฝาภาชนะโดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดฝาหม้อประมาณ 2 mm โดยให้มีความหนา 2 mm ทำการเจาะรูที่ฝาหม้อเพื่อใช้สำหรับติดตั้ง Thermocouple

- จัดเตรียมเครื่องชั่งสำหรับชั่งน้ำโดยเครื่องชั่งมีหน่วยเป็นกรัมและมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ เตรียมเครื่องชั่งน้ำหนักขนาดใหญ่สำหรับชั่งเตาอั้งโล่

- จัดซื้อ Thermocouple type K ขนาดเล็กที่มีขนาดช่วงการวัดถึงอุณหภูมิ 200 °C โดยให้มีสายยาว 2 m

- จัดเตรียมไม้ที่จะไว้ใช้สำหรับกวนน้ำ

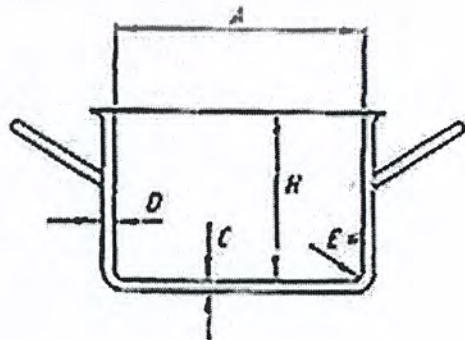
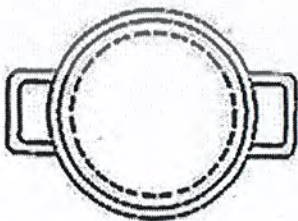
- จัดเตรียม Data locker ใช้สำหรับอ่านค่าที่วัดได้จาก Thermocouple

- จัดเตรียมภาชนะสำหรับตวงน้ำ

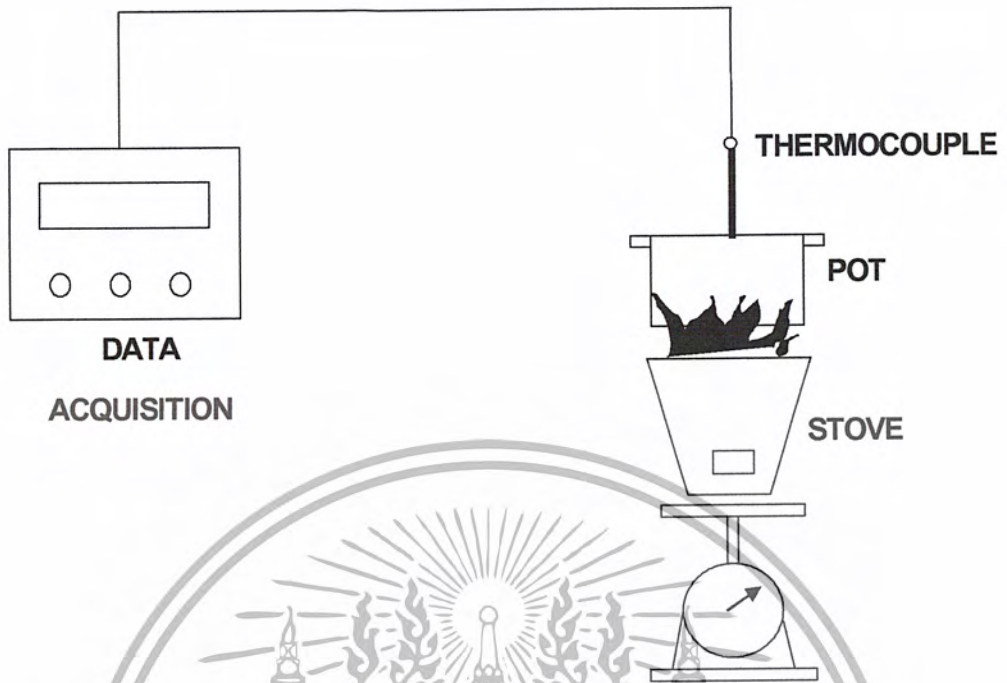
- จัดเตรียม Flow meter สำหรับ วัดอัตราการไหลของก๊าซ LPG

- จัดเตรียมสมุดบันทึกผลการทดสอบสำหรับบันทึกผลการทดลอง

- ต่ออุปกรณ์ทดสอบตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ลักษณะของภาชนะทดสอบ [4]

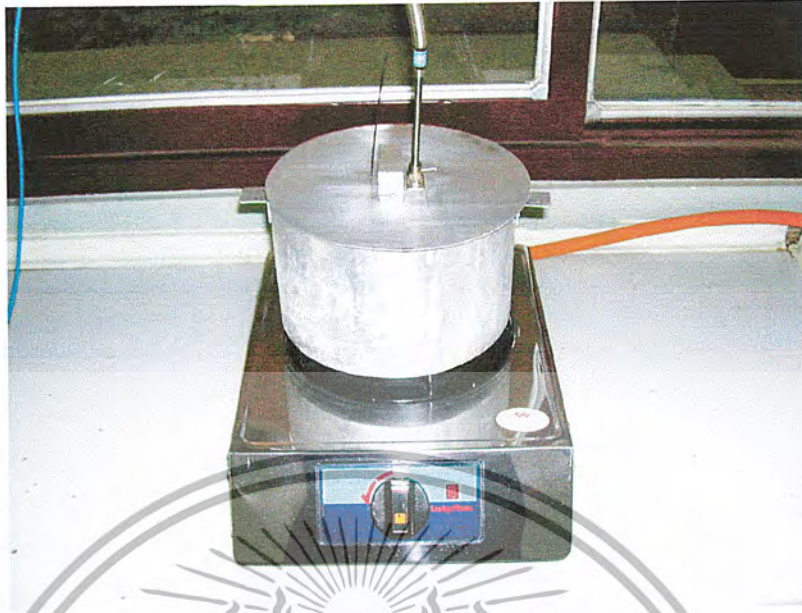


รูปที่ 3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน



รูปที่ 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาก๊าซ LPG

3.2.2 การจัดเตรียมการทดสอบค่าสัมพัทธ์ที่เกิดจากการเผาไหม้

- จัดเตรียมอุปกรณ์โดยการสร้าง Hood เก็บก๊าซ โดยให้ Hood มีขนาดฐานกว้าง 480 mm ส่วนสูง 400 mm ความหนา 1 mm ใ่วัสดุ Steel sheet ดังรูปที่ 3.6
- จัดเตรียมท่อเก็บก๊าซตัวอย่าง ไว้ใช้สำหรับเก็บก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้
- จัดเตรียมเครื่องวิเคราะห์ไอเสียใช้สำหรับวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้
- ต่ออุปกรณ์ทดสอบตามรูปที่ 3.5

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

- อุ่นให้ร้อนเตาก่อนทำการทดสอบ
- ตวงน้ำที่จะใช้ทดสอบโดยให้มีมวลน้ำ 3.7 kg จากนั้นนำน้ำเทใส่ในภาชนะทดสอบ แล้วทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นก่อนการทดสอบ
- ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงที่จะใช้ในการต้มน้ำแล้วบันทึกค่าไว้ในกรณีของเตาอั้งโล่ ส่วนกรณีของเตาก๊าซ LPG ให้บันทึกค่าอัตราการไหลของก๊าซขณะต้มน้ำ
- บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะนำไปบนเตา
- นำภาชนะทดสอบที่บรรจุน้ำขึ้นตั้งบนเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

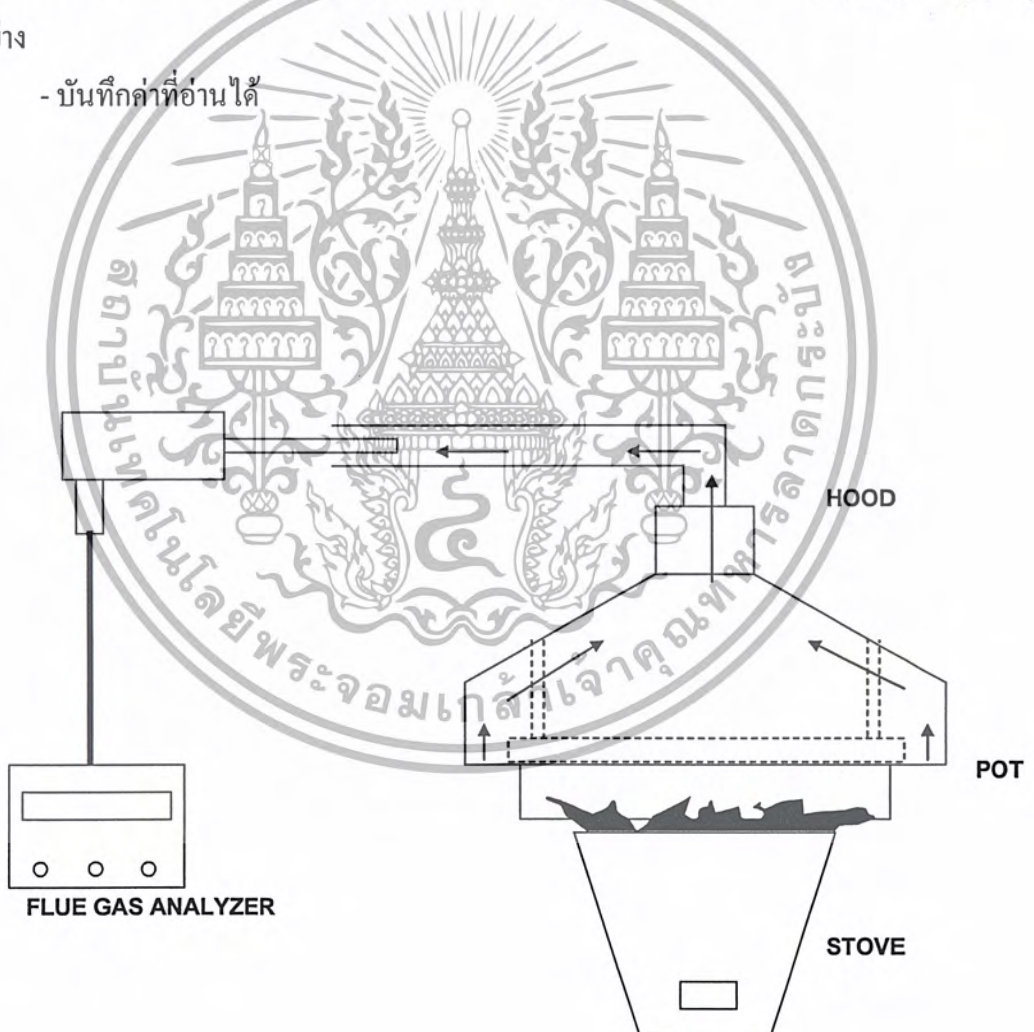
- จับเวลาที่ใช้ในการทดสอบทันทีที่นำภาชนะทดสอบขึ้นตั้งบนเตา
- รอจนกว่าอุณหภูมิจะขึ้นถึง 90°C แล้วให้รีบปิดเตา
- บันทึกเวลาที่ใช้ไปในการต้มน้ำ
- บันทึกปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการต้มน้ำในกรณีของเตาอั้งโล่
- ใช้ไม้กวนน้ำกวนไปเรื่อยๆ สังเกตดูแล้วบันทึกค่าอุณหภูมิสูงสุด

3.3.2 วิธีการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้

- ตั้งภาชนะที่ใส่น้ำบนเตาแล้วเปิดเตาหรือจุดเตา
- นำ Hood ครอบลงไปบนหม้อปรับเลื่อนฝนักของ Hood ให้เหมาะสมกับขนาดเตาที่ใช้
- หลังเปิดเตาไปแล้ว 15 นาทีให้อ่านเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์ CO , CO_2 , NO_x ณ จุด

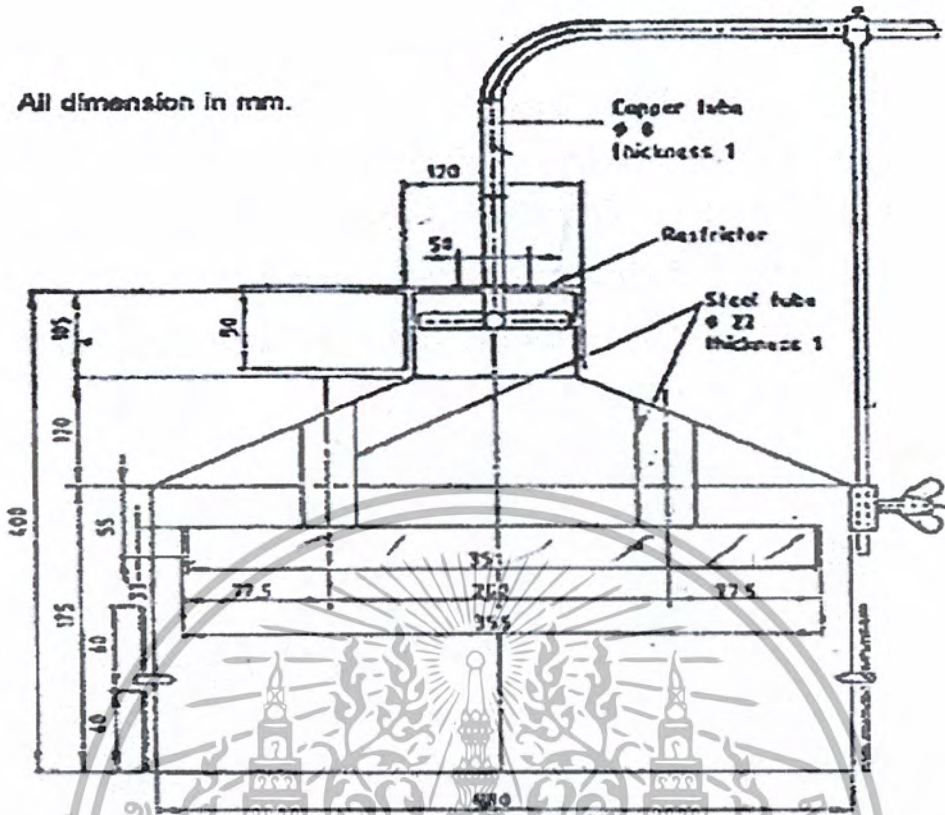
เก็บตัวอย่าง

- บันทึกค่าที่อ่านได้

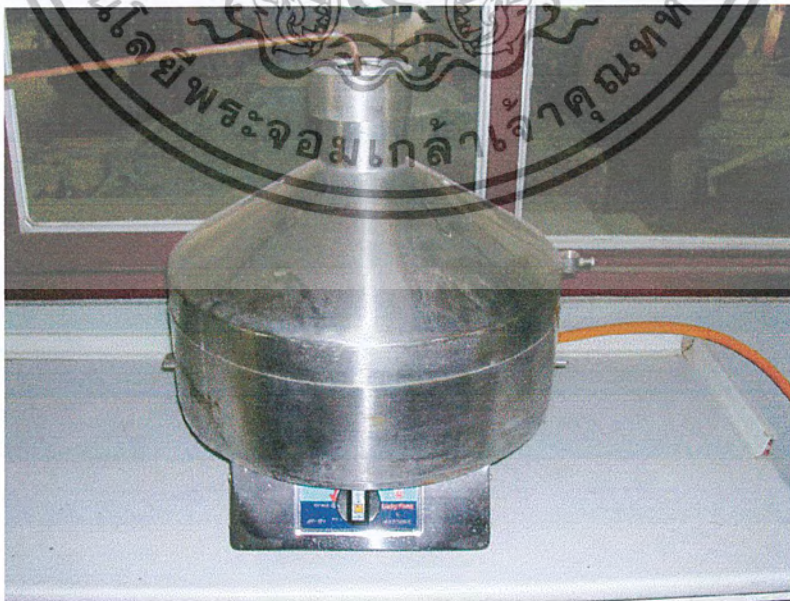


รูปที่ 3.5 การวัดค่ามลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลักษณะของ Hood ทดสอบ [3]

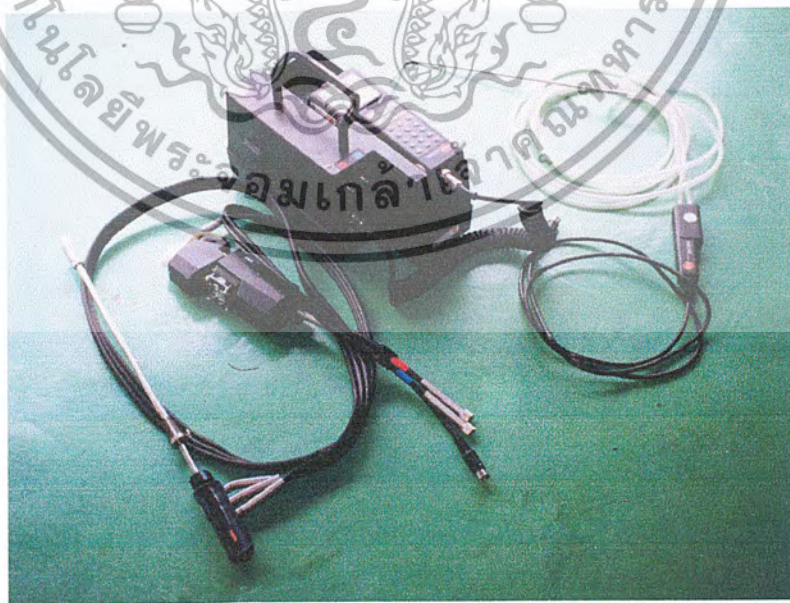


รูปที่ 3.7 การวัดค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาแก๊ส LPG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การวัดค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาอังโด



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาอั้งโล่แบบต่างๆ ตามมาตรฐานกำหนด พบว่าเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด และประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อเตาอั้งโล่ที่ใช้ทดสอบนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้น เตาอั้งโล่ชนิดทรงกระบอกจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำกว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบที่มีขนาดเท่ากัน และเชื้อเพลิงถ่านให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงไม้ฟืน ตารางที่ 4.1 เป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงถ่านและเชื้อเพลิงไม้ฟืนซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ที่ผ่านกระบวนการ Pyrolysis มาแล้วนั้นมีคุณสมบัติดีขึ้น อีโอดีมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเพิ่มขึ้น มีค่าความร้อนจำเพาะเพิ่มขึ้น มีค่าความชื้นลดลง

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้และไม้ฟืน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้และไม้ฟืน

องค์ประกอบ	ถ่าน ไม้ยูคาลิปตัส	ไม้ฟืน
C	75.63	45.13
H	2.57	6.72
O	18.27	47.28
N	0.11	0.14
S	0.01	0.02
Ash	3.41	0.71
Moisture, % wb	2.24	11.92
LHV, MJ/kg	26.42	13.92

4.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ไม้ฟืนเชื้อเพลิง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 ซึ่งเป็นเตาที่มีขนาดเล็กสุดเมื่อเทียบกับเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบทั้งหมดที่นำมาใช้ในการทดสอบ ที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นนั้นเนื่องมาจากปริมาตรของเตาที่เล็กกว่าทำให้เตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 มีการสูญเสียความร้อนที่น้อยกว่า

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตาอังโล่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
ทรงกระบอกฐานแคบ เบอร์ 2	18.68
ทรงกระบอกฐานแคบ เบอร์ 3	19.27

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอังโล่ทรงกระบอกเมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตาอังโล่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
ทรงกระบอก เบอร์ 1	15.19
ทรงกระบอกเบอร์ 2	17.71
ทรงกระบอกเบอร์ 3	18.56

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตาอังโล่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
เตาประสิทธิภาพสูง	19.00

จากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอังโล่ทรงกระบอกเบอร์ 3 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเตาอังโล่ทรงกระบอกทั้งหมดที่นำมาทดสอบ เนื่องจากเป็นเตาอังโล่ที่มีขนาดเล็กที่สุด และพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอังโล่ทรงกระบอกจะลดลงเมื่อเตาอังโล่ทรงกระบอกที่ใช้มีขนาดใหญ่ขึ้น และจากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบกับข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าเตาอังโล่ที่มีขนาดใกล้เคียงกันหรือเตาอังโล่ที่มีเบอร์เดียวกันและใช้เชื้อเพลิงที่นำมาเผาไหม้มีชนิดเดียวกัน เตาอังโล่ทรงกระบอกจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำกว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบเนื่องมาจากเตาอังโล่ทรงกระบอกมีขนาดที่มีปริมาตรกว่าเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบอยู่พอสมควร จึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากกว่าเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบ

ถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างเตาประสิทธิภาพสูงกับเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 ซึ่งเป็นเตาที่มีขนาดใกล้เคียงกับเตาประสิทธิภาพสูงจะพบว่าเตาประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เนื่องมาจากเตาประสิทธิภาพสูงเป็นเตาที่ได้รับการปรับปรุงให้มีคุณภาพดีขึ้นแล้ว แต่เตาอังโล่ทรงกระบอกและเตาอังโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตาประสิทธิภาพสูงเนื่องจากความเหมาะสมกันระหว่างขนาดของเตาและภาชนะทำให้เตาอั้งโล่ทรงกระบอก

4.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

จากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่มีความสอดคล้องกับการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดสอบที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเตามีขนาดเล็ก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อเตาอั้งโล่ที่ใช้มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนเตาประสิทธิภาพสูงมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเตาอั้งโล่เบอร์ 2 ที่มีขนาดเทียบเท่ากันแต่มีค่าต่ำกว่าเตาอั้งโล่ทรงกระบอกและเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตาอั้งโล่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
ทรงกระบอกฐานแคบ เบอร์ 2	17.41
ทรงกระบอกฐานแคบ เบอร์ 3	26.65

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตาอั้งโล่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
ทรงกระบอก เบอร์ 1	12.23
ทรงกระบอกเบอร์ 2	17.94
ทรงกระบอกเบอร์ 3	25.37

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

ชนิดของเตาอั้งโล่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
เตาประสิทธิภาพสูง	22.64

จากผลการทดสอบดังแสดงมาข้างต้น เตาอั้งโล่ที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำกว่าเตาอั้งโล่ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ยกเว้นเตาอั้งโล่ทรงกระบอกที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่คือเตาอั้งโล่ทรงกระบอก เบอร์ 1 และ เตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากผลของระยะห่างของกองเชื้อเพลิงและเปลวไฟกับก้นหม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG

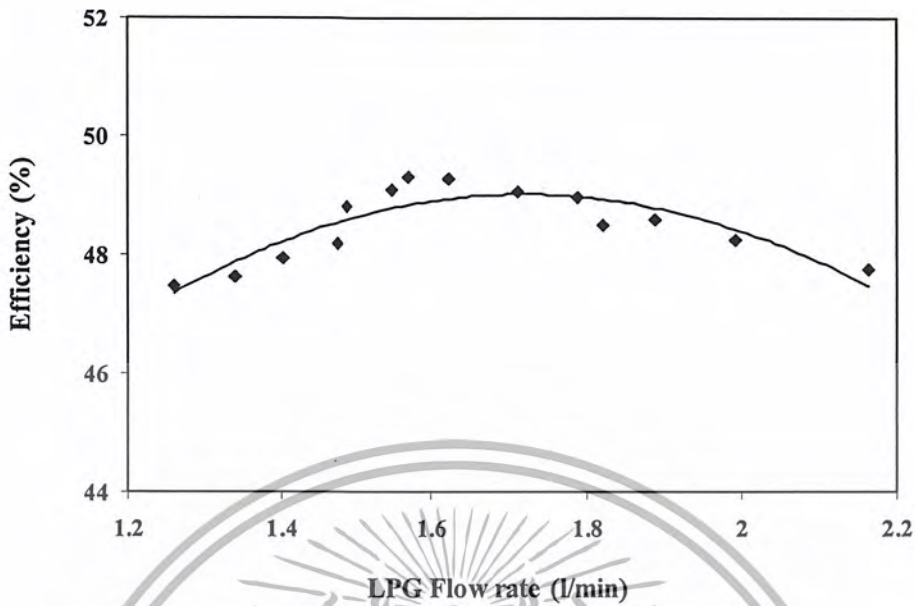
ในการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG จะทำการทดสอบที่อัตราการไหลหลายค่าเริ่มต้นตั้งแต่ที่อัตราการไหลต่ำไปจนถึงอัตราการไหลสูงเพื่อให้ทราบถึงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆที่ครอบคลุมการใช้งานเตาแก๊ซ LPG โดยเริ่มตั้งแต่ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.261 l/min ไปจนถึงอัตราการไหลเท่ากับ 2.163 l/min

จากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อนำค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลต่างๆที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตเป็นกราฟจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลาคว่ำจะพบว่าจุดที่ไหลของแก๊ซ LPG สูงสุด และจุดที่อัตราการไหลของแก๊ซ LPG ต่ำสุดไม่ใช่จุดที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจากรูปที่ 4.1 เห็นได้ว่าอัตราการไหลของแก๊ซที่สูงไม่จำเป็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG จะต้องมากขึ้นตามไปด้วย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG จะมีค่าสูงที่สุดที่ค่าหนึ่ง ในที่นี้คือที่อัตราการไหลของแก๊ซ LPG เท่ากับ 1.571 ลิตรต่อนาที และจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงเมื่อมีอัตราการไหลของแก๊ซ LPG ต่ำและประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงอีกครั้งเมื่ออัตราการไหลของแก๊ซ LPG มากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ซ LPG ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน

Batch No.	mH ₂ O (g)	T1 (°C)	T2 (°C)	Time(min)	Flow (l/min)	Vol LPG(l)	Eff (%)
1	3700.22	28.6	90.6	16.02	1.261	20.20122	47.48
2	3700.15	28.7	90.7	15.04	1.339	20.13856	47.63
3	3700.14	28.8	90.6	14.23	1.402	19.95046	47.92
4	3700.12	28.7	90.6	13.49	1.473	19.87077	48.19
5	3700.21	28.9	90.8	13.18	1.489	19.62502	48.80
6	3700.23	29	90.8	12.58	1.548	19.47384	49.10
7	3700.23	28.9	90.9	12.38	1.571	19.44898	49.32
8	3700.18	28.8	90.9	12.02	1.622	19.49664	49.28
9	3700.17	28.9	90.8	11.41	1.711	19.52251	49.05
10	3700.15	28	91.1	11.14	1.789	19.92946	48.94
11	3700.11	28.2	90.9	10.98	1.822	20.00556	48.49
12	3700.21	29	90.7	10.39	4.891	19.64749	48.58
13	3700.18	28.7	91	10.02	1.994	19.97988	48.24
14	3700.23	28.7	90.9	9.32	2.163	20.15916	47.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส LPG ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน

เป็นข้อสังเกตได้ว่าเมื่อนำเตาแก๊ส LPG มาใช้งาน ไม่จำเป็นที่จะต้องเปิดเตาแก๊สให้เปลวแรงหรือเปิดเตาแก๊สให้เปลวไฟเบาเพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งาน เนื่องจากการเปิดเตาแก๊สที่แรงเกินไปหรือเบาเกินไปนอกจากจะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำลงแล้วยังเป็นการสิ้นเปลืองแก๊ส LPG อีกด้วย

4.2 ผลการวัดค่ามลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้ม

จากผลการทดสอบมลพิษของเตาหุงต้มแบบต่างๆพบว่าเตาอั้งโล่ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะสามารถดึงเอาอากาศรอบๆเตาอั้งโล่มาใช้ในการเผาไหม้ได้มากกว่าเตาอั้งโล่ที่มีขนาดเล็ก สังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนส่วนเกินหรืออากาศส่วนเกินที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มลพิษ TESTO-M350 ของเตาอั้งโล่เบอร์ 1 ที่มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าเตาอั้งโล่เบอร์ 2 หรือ ของเตาอั้งโล่เบอร์ 1 ที่มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าเตาประสิทธิภาพสูงอย่างเห็นได้ชัด เป็นต้น ทำให้ทราบว่าคุณค่าความเข้มข้น (ppm) ของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาอั้งโล่ที่มีขนาดเล็กจะมีค่ามากกว่าของเตาอั้งโล่ที่มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อต้องต้มน้ำที่มีน้ำหนักเท่ากัน และใช้ภาชนะเดียวกัน และเชื้อเพลิงไม้ฟืนจะให้ค่าความเข้มข้น (ppm) ของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้มากกว่าเชื้อเพลิงถ่านจากผลการทดสอบเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงพบว่าความเข้มข้น (ppm) ของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการเผา

เอกสารนี้ให้มันมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับเตาอั้งโล่ที่มีขนาดใกล้เคียงกันนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการวัดค่ามลพิษเมื่อใช้ไม้พืนเป็นเชื้อเพลิง

ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากเตาประสิทธิภาพสูงนั้นมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากอั้งโล่ทรงกระบอกและอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบทุกขนาด สำหรับเตาอั้งโล่ทรงกระบอกและอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเตาอั้งโล่ที่ใช้มีขนาดเล็กลง

ตารางที่ 4.9 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ไม้พืนเป็นเชื้อเพลิง

เบอร์	ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากไม้พืน			
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %
2	14913.0	7.5	56.8	10.6
3	16554.0	8.0	62.8	10.1

ตารางที่ 4.10 มลพิษของเตาทรงกระบอกเมื่อใช้ ไม้พืนเป็นเชื้อเพลิง

เบอร์	ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากไม้พืน			
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %
1	9859.0	3.6	41.2	14.4
2	13309.0	6.9	48.2	12.0
3	15382.0	7.4	68.0	10.1

ตารางที่ 4.11 มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ไม้พืนเป็นเชื้อเพลิง

ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากไม้พืน			
CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %
18872.0	7.4	69.4	10.2

4.2.2 ผลการวัดค่ามลพิษเมื่อใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบที่ได้มีทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกับผลการทดสอบที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงไม้พืน แต่ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากใช้ไม้พืนเป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้ถ่าน ไม้เป็นเชื้อเพลิงอย่างเห็นได้ชัด และสังเกตได้ว่าเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุดกลับปล่อยก๊าซมลพิษออกมาน้อยมาก เมื่อเทียบกับเตาอั้งโล่แบบอื่น โดยเฉพาะเตาประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง

เบอร์	ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากถ่าน			
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %
2	4976.0	10.4	59.2	7.5
3	6448.0	10.9	65.6	6.9

ตารางที่ 4.13 มลพิษของเตาทรงกระบอกเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

เบอร์	ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากถ่านไม้			
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %
1	2908.0	7.4	44.8	11.6
2	4531.0	9.0	51.0	8.6
3	5564.0	10.0	64.6	7.8

ตารางที่ 4.14 มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากถ่านไม้				
CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %	
6829.0	10.4	72.2	7.3	

4.2.3 ผลการทดสอบมลพิษ ของเตาก๊าซ LPG

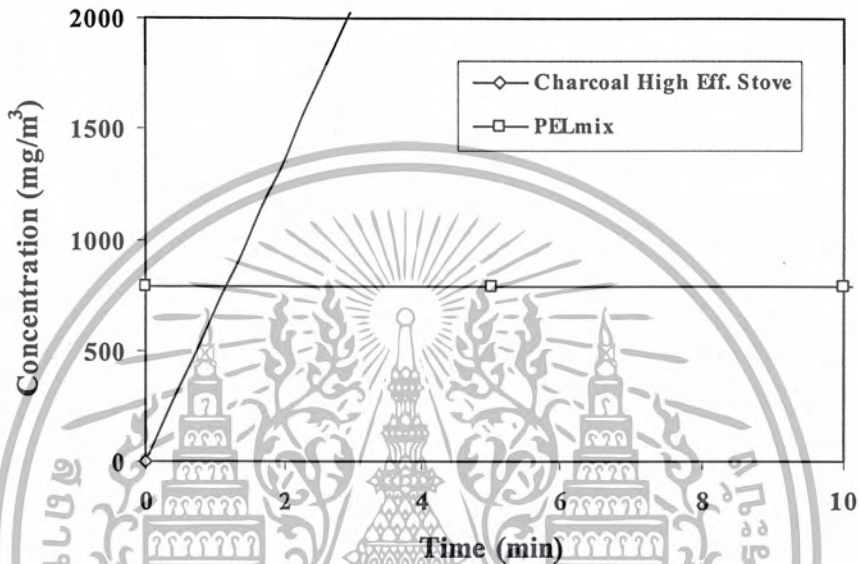
ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น และไนโตรเจนออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของก๊าซ LPG เพิ่มขึ้น และพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ ที่เกิดจากเตาก๊าซ LPG มีค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากเตาอั้งโล่ที่ใช้ไม้ฟืนและถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากก๊าซ LPG เผาไหม้ได้ง่าย

ตารางที่ 4.15 มลพิษของเตาก๊าซ LPG

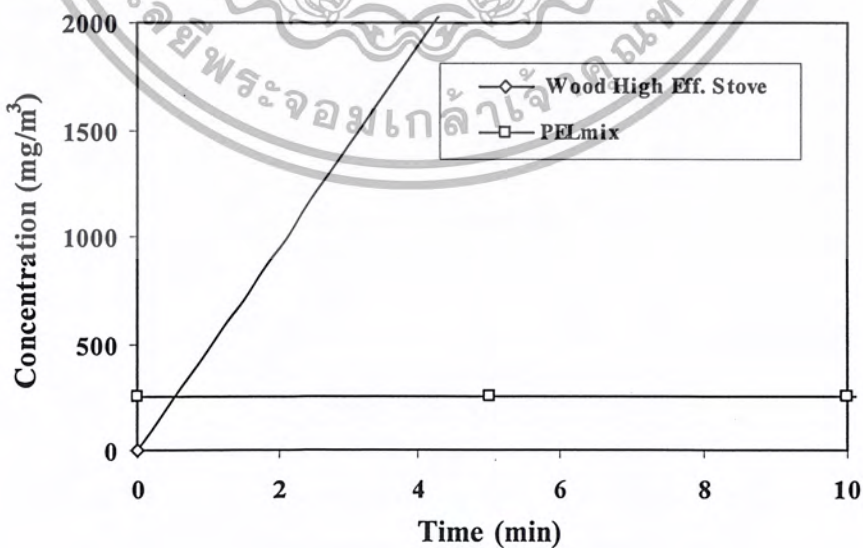
อัตราการไหล (l/min)	ค่าเฉลี่ยของมลพิษที่เกิดจากเตาก๊าซ LPG			
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , ppm	O ₂ , %
1.261	6.0	0.0	4.0	18.6
1.571	4.0	2.0	15.0	17.1
2.163	1.0	2.0	23.0	15.9

4.3 ความปลอดภัยในการใช้เตาหุงต้ม

จากผลการคำนวณหาความเข้มข้นของมลพิษรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่ขอมให้มีได้ในบรรยากาศ โดยกำหนดให้ห้องครัวมีขนาด 30 m^3 และไม่มีการระบายอากาศได้ผลการทดสอบดังรูป

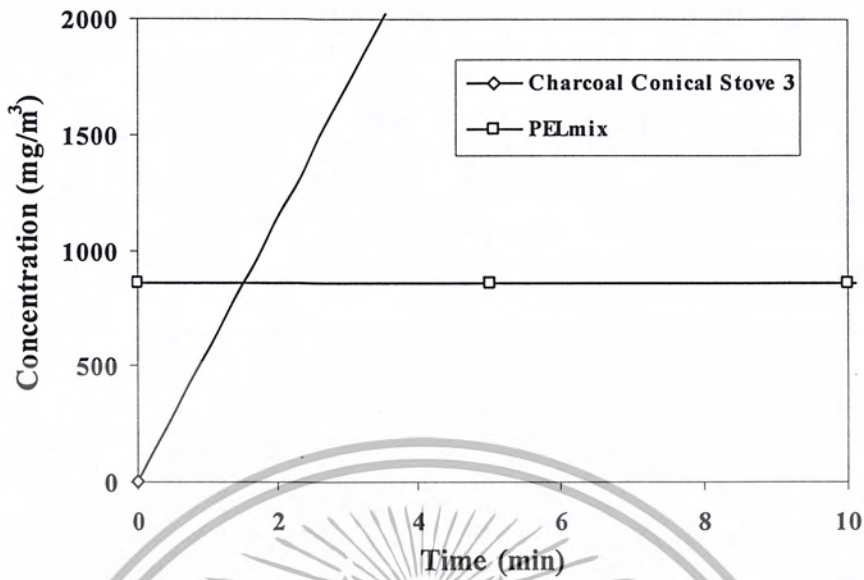


รูปที่ 4.2 มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่าน

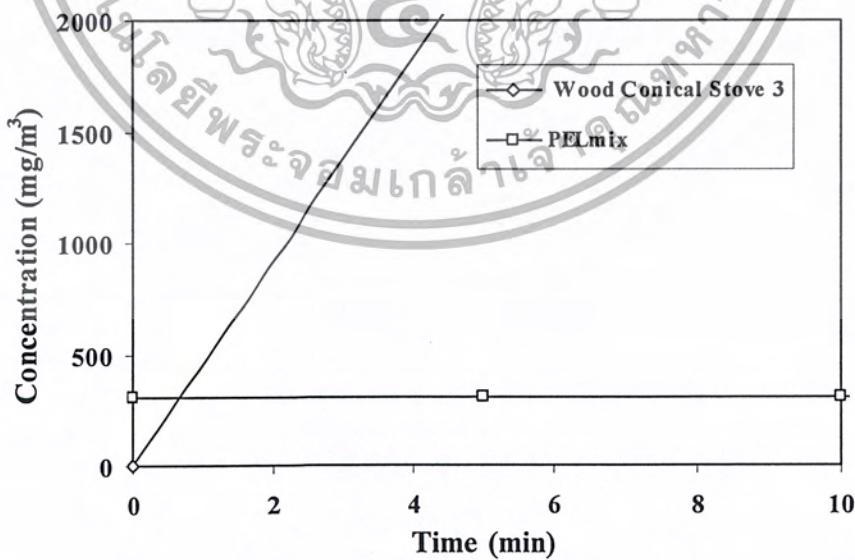


รูปที่ 4.3 มลพิษของเตาประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

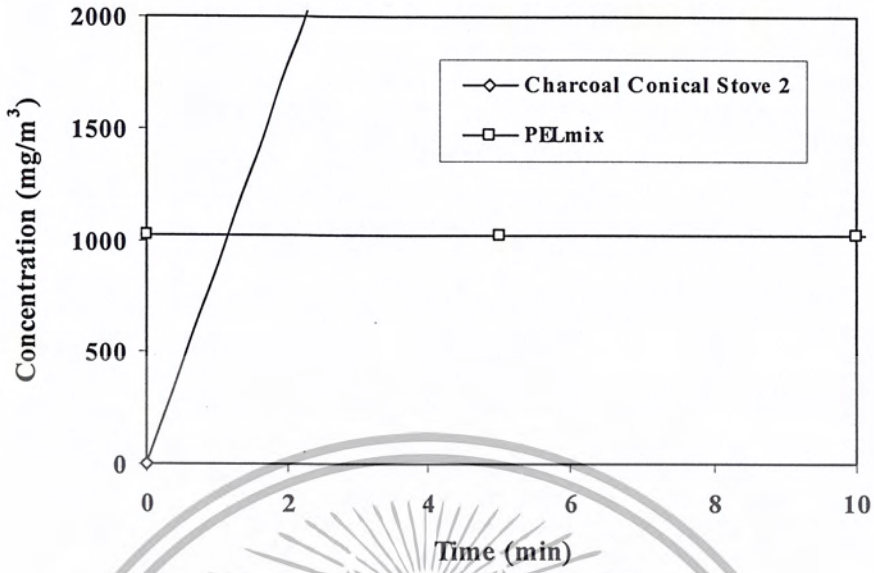


รูปที่ 4.4 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่าน

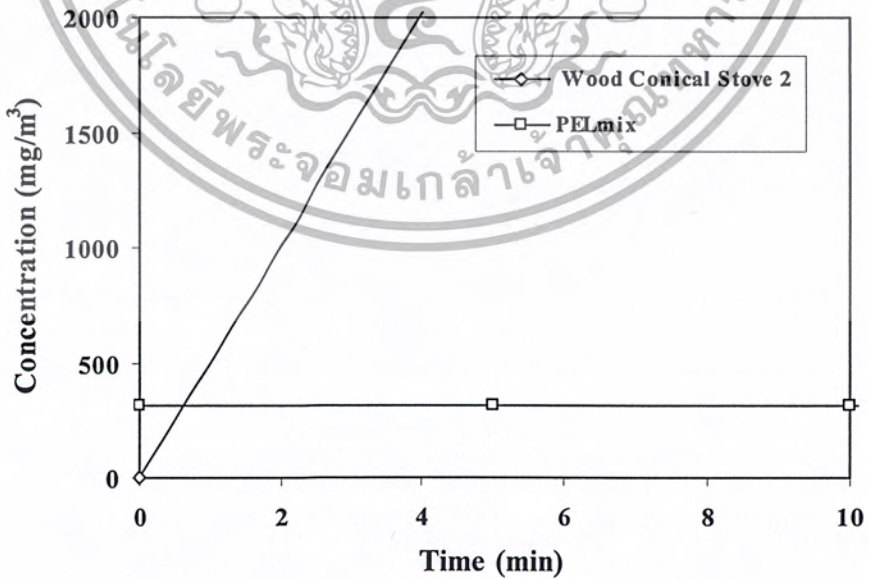


รูปที่ 4.5 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

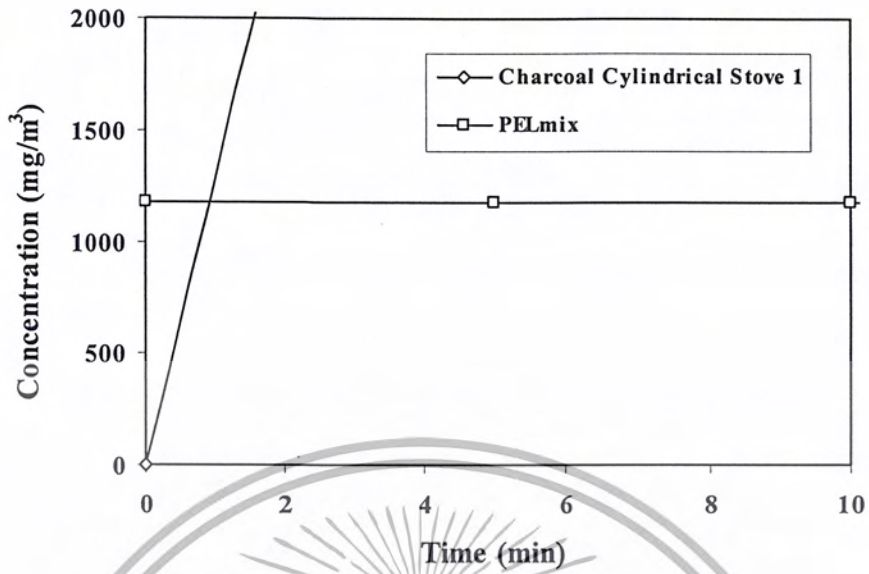


รูปที่ 4.6 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่าน

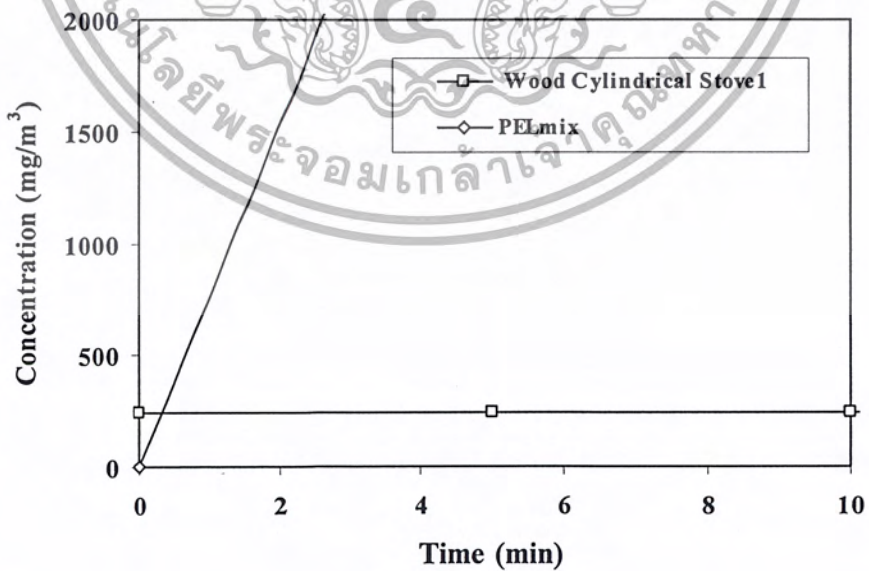


รูปที่ 4.7 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้พืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

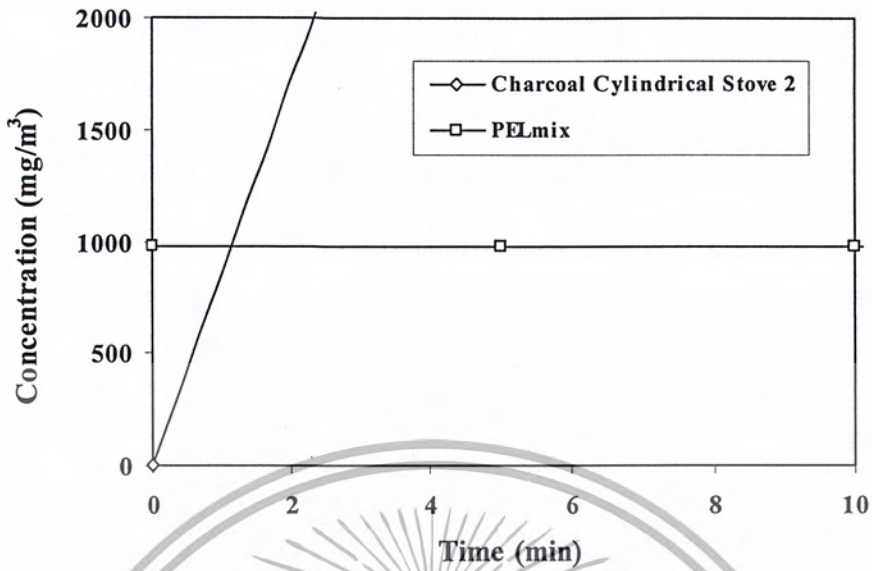


รูปที่ 4.8 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่าน

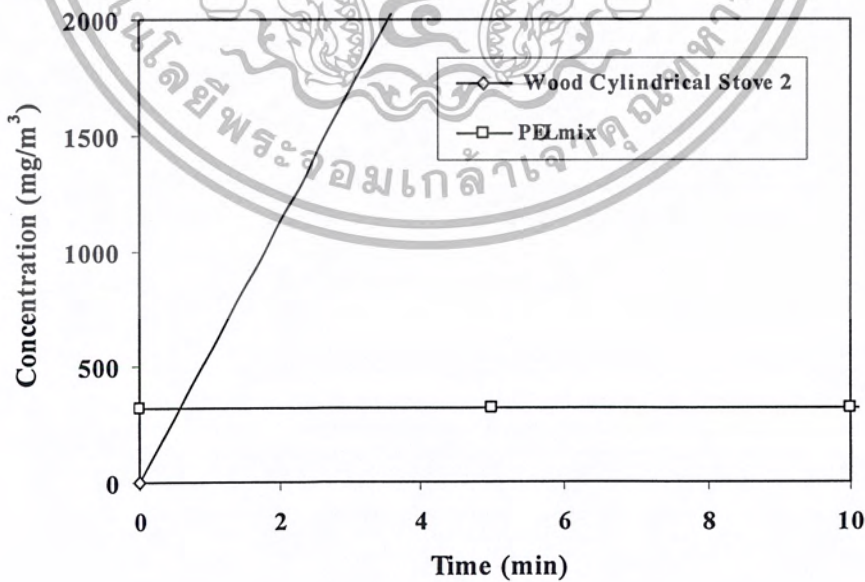


รูปที่ 4.9 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 เมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

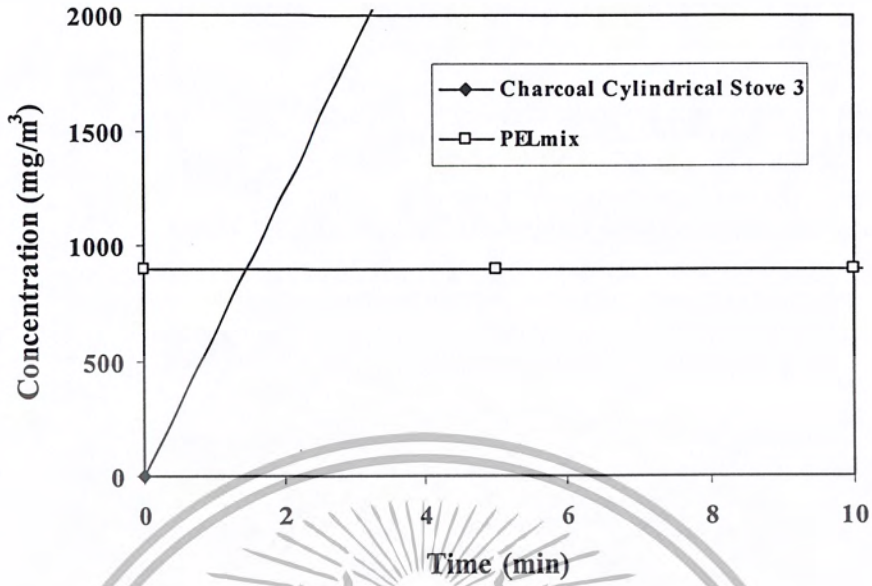


รูปที่ 4.10 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่าน

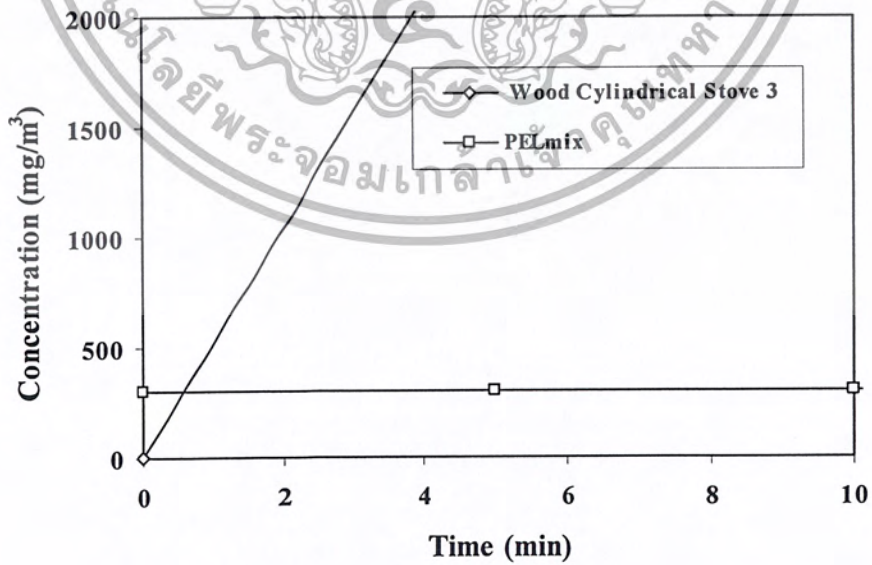


รูปที่ 4.11 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 เมื่อใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

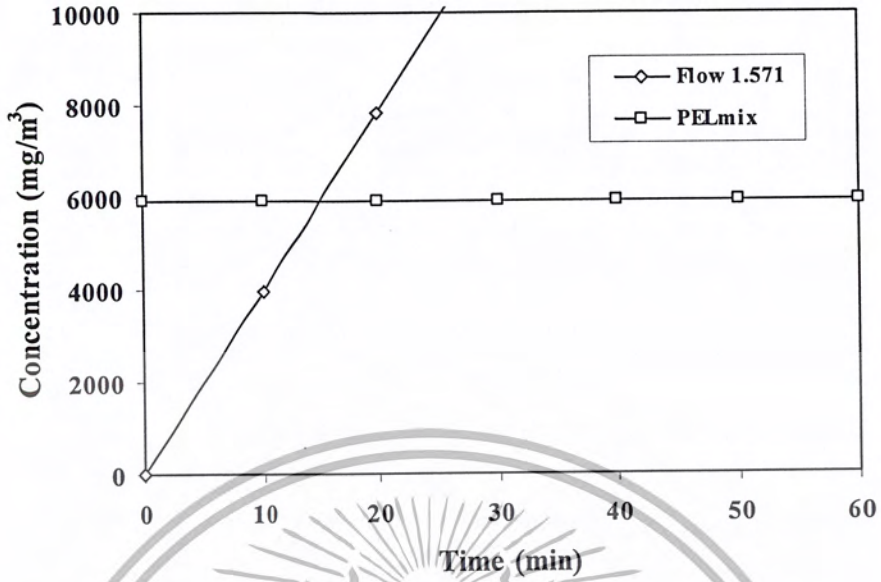


รูปที่ 4.12 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 3 เชื้อเพลิงถ่าน

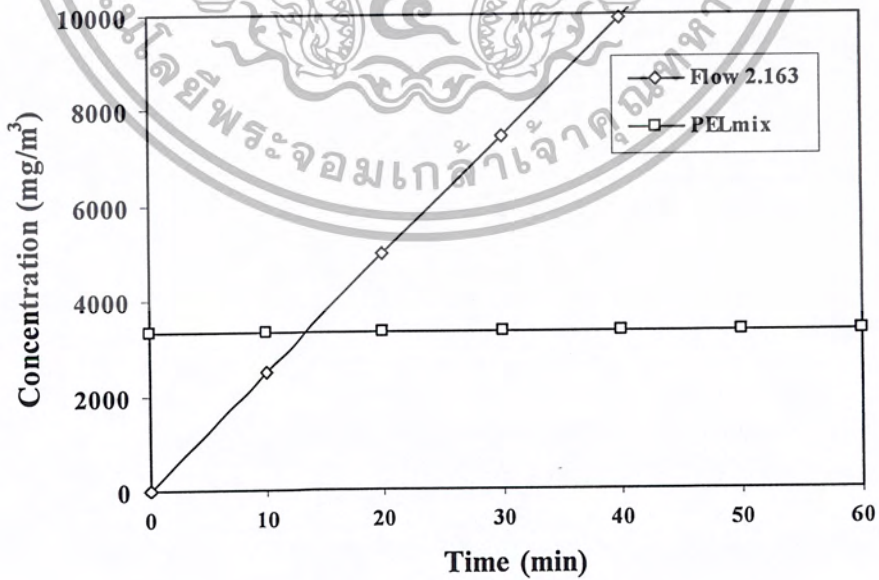


รูปที่ 4.13 มลพิษของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 3 เชื้อเพลิงไม้ฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 มลพิษของเตาแก๊ส LPG ที่อัตราการไหล 1.571 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.15 มลพิษของเตาแก๊ส LPG ที่อัตราการไหล 2.163 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาพบว่าเมื่อนำค่ามลพิษแต่ละตัวที่วัดได้คือคาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ในหน่วย ppm มาคำนวณเป็นความเข้มข้นรวมของมลพิษในหน่วย Mg/m^3 โดยกำหนดให้ห้องครวมีขนาดเท่ากับ $30 m^3$ แล้วนำมาพิจารณาจะพบว่า ภายในเวลาประมาณ 15 นาที ปริมาณความเข้มข้นรวมของมลพิษที่เกิดจากเตาแก๊ซ LPG ที่สะสมอยู่ในห้องครวจะมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ และความเข้มข้นรวมของมลพิษจะเกินมาตรฐานที่กำหนดภายในเวลาประมาณ 0.5-1.5 นาที ในกรณีที่ใช้เตาอั้งโล่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่นำมาทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 49.3-12.2 % แล้วแต่ชนิดของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ ชนิดของเตาหุงต้มและขนาดของเตาหุงต้มที่นำมาทดสอบ

เตาก๊าซ LPG เป็นเตาที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด โดยประสิทธิภาพของเตาจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 49.32 % ที่อัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 1.571 ลิตรต่อนาที ที่อัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 1.261 ลิตรต่อนาทีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาจะมีค่าเท่ากับ 47.5 % และที่อัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 2.163 ลิตรต่อนาทีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาจะมีค่าเท่ากับ 47.7 % สรุปได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาก๊าซ LPG จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของก๊าซมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 1.571 ลิตรต่อนาที

เตาอั้งโล่ที่นำมาทำการทดสอบมีอยู่ด้วยกันสองรูปทรงคือเตาอั้งโล่ทรงกระบอกและเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบ โดยแต่ละชนิดก็มีอยู่ด้วยกัน 3 ขนาด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่จะขึ้นกับขนาดและรูปทรงของเตา จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับเตาอั้งโล่ทุกแบบโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง พบว่าเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 (เตาขนาดเล็กที่สุด) ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 26.6 % ส่วนเตาอั้งโล่ทรงกระบอกขนาดเดียวกันจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรองลงมาเป็น 25.4 % เมื่อเตาอั้งโล่ที่นำมาทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นเตาเบอร์ 2 ประสิทธิภาพของเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบจะลดลงมาเป็น 17.4 % ส่วนเตาอั้งโล่ทรงกระบอกค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลงมาเป็น 17.9 % สำหรับเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 (เตาขนาดใหญ่ที่สุด) จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 12.2 % ในส่วนของการทดสอบโดยการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ในทดสอบพบว่าเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เป็นเตาที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดคือ 19.3 % ส่วนเตาอั้งโล่ทรงกระบอกที่มีขนาดเดียวกันจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรองลงมาเป็น 18.6 % และเมื่อเตาอั้งโล่ที่นำมาทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นขนาดเบอร์ 2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้งสองแบบจะลดลงเป็น 18.7 % และ 17.7 % ตามลำดับ ส่วนเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 15.2 % เตาอั้งโล่อีกแบบที่นำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคือ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นเตาที่มีขนาดเทียบได้กับเตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 และเตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่

ประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงทดสอบพบว่ามีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 22.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเรียงพิมพ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสงวนลิขสิทธิ์ที่ตนการคุ้มครอง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 19.0% ตามลำดับ จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่แต่ละชนิดพบว่าส่วนใหญ่การใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำกว่าการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ส่วนในบางการทดลองที่ปรากฏว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงกลับให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงนั้นเนื่องมาจากว่าระยะของกองเชื้อเพลิงไม้ฟืนจะอยู่ใกล้กับภาชนะที่ใช้ทดสอบมากกว่ากองเชื้อเพลิงถ่าน ทำให้มีระยะของเปลวไฟที่ใกล้กับกันหม้อมากกว่าระยะของเปลวไฟที่ได้จากกองเชื้อเพลิงถ่าน ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้จากเชื้อเพลิงถ่านจึงมีค่าที่น้อยกว่าเนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพัดพาของอากาศ โดยผลการทดลองที่เป็นเช่นนี้จะเกิดกับเตาที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่

ผลการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาอั้งโล่แต่ละแบบนั้นปริมาณมลพิษที่วัดได้จะมีค่ามีสูงขึ้นเมื่อเตาอั้งโล่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น โดยปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ ที่วัดได้จากการทดสอบนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเตาอั้งโล่ที่ใช้ทดสอบมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์ที่วัดได้ในหน่วย ppm สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ เตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 3 เตาอั้งโล่ทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เตาอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 2 เตาทรงอั้งโล่ทรงกระบอกเบอร์ 1 ส่วนของเตาอั้งโล่จะเห็นได้ว่ามลพิษที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าที่สวนทางกันกับค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยเฉพาะมลพิษที่เกิดจากเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงปรากฏว่ามีความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์มากกว่าเตาอั้งโล่ทุกแบบที่กล่าวมา เตาก๊าซ LPG เป็นเตาหุงต้มที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงและยังให้มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ต่ำมากเนื่องจากก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ง่าย จากการทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้พบว่าอัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ของเตาก๊าซ LPG มีปริมาณที่ต่ำมาก ดังนั้นเตาก๊าซ LPG จึงเป็นเตาหุงต้มที่ปลอดภัยมากที่สุดในการใช้งานในพื้นที่ที่มีขนาดเท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากผลการทดสอบพบว่า ในการใช้งานเตาหุงต้มที่ใช้ไม้ฟืนและ ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงจะสามารถใช้งานได้ประมาณ 0.5 นาที่ถึง 1.5 นาที่ ส่วนเตาก๊าซ LPG นั้นจะสามารถใช้งานได้นานกว่าแต่ก็ประมาณ 15 นาที่เท่านั้น ในการนำเตาหุงต้มไปใช้งานนั้นผู้ใช้มักไม่ได้คำนึงถึงในเรื่องของความปลอดภัยในการใช้งาน ถ้าการใช้งานนั้นอยู่ภายในสถานที่ที่เหมาะสมมีการระบายอากาศที่ดีเพียงพอจะก่อให้เกิดความปลอดภัย แต่ในทางกลับกันถ้ามีการใช้งานในสถานที่ที่ขาดการระบายอากาศที่ดีเพียงพอแล้วจะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในบริเวณที่มีการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะอ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN203-1 หาได้จากการนำค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับจากการต้มน้ำมาเทียบกับปริมาณความร้อนที่ป้อนให้ โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\eta_{th} = m_{H_2O} * C_{p,H_2O} * (T_f - T_i) * 100 / Q_{input}$$

การหาค่าของปริมาณความร้อนที่ป้อนให้ (Q_{input}) แบ่งออกเป็นสองส่วนคือกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหรือเชื้อเพลิงไม้ฟืน

$$Q_{input} = m_{fuel} * C_{fuel}$$

กรณีใช้เชื้อเพลิง ก๊าซ LPG

$$Q_{input} = flow * t * \rho_{LPG} * C_{LPG} / 1000$$

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้ตามมาตรฐาน DIN EN203-1 นั้นเป็นค่าที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากการอุ่นเตาให้ร้อนก่อนการทดสอบ

วิธีการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 มีดังนี้

1. นำภาชนะที่เตรียมไว้สำหรับทำการทดสอบมาใส่น้ำให้มีน้ำหนัก 3.7 kg
2. วัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะทดสอบ และบันทึกผล
3. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ในกรณีที่เชื้อเพลิงที่ใช้คือถ่านไม้และไม้ฟืนหรือ อ่านค่าอัตราการไหลของก๊าซ LPG จาก Flow Meter และบันทึกผล
4. นำภาชนะทดสอบมาตั้งบนเตาหุงต้มที่จุดไฟไว้
5. รอจนกว่าอุณหภูมิของน้ำในภาชนะทดสอบจะมีค่าถึง 90°C จากนั้นให้รีบยกภาชนะทดสอบออกจากเตาหุงต้มพร้อมทั้งคนน้ำในภาชนะทดสอบพร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิสูงสุดที่อ่านได้

6. ให้นำเชื้อเพลิงบนเตาไปชั่งหาน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้จริงในกรณีที่เชื้อเพลิงที่ใช้คือถ่านไม้และไม้ฟืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ตารางที่ ข.1 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เชื้อเพลิงไม้

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	$T_2 - T_1$ (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{หิน1}$ (g)	$M_{หิน2}$ (g)	$M_{หิน3}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	27.19	91.73	64.54	3700	493	102.38	390.62	554.62	18.056
2	27.74	92.15	64.41	3700	497.05	135.5	363.55	5169.68	19.362
3	30.7	94.7	64	3700	508.3	135.86	372.44	5296.1	18.779
4	30.3	90.8	60.5	3700	507.17	143.68	363.49	5168.83	18.189
5	30.2	91	60.8	3700	502.97	153.65	349.32	4967.33	19.021

ตารางที่ ข.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เชื้อเพลิงไม้

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	$T_2 - T_1$ (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{หิน1}$ (g)	$M_{หิน2}$ (g)	$M_{หิน3}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	27.51	90.96	63.45	3700	496.98	126.79	370.19	5264.1	18.731
2	28.52	91	62.48	3700	489.51	141.15	348.36	4953.68	19.6
3	30.12	90.6	60.48	3700	505.07	170.78	334.29	4753.6	19.772
4	30.8	91.1	60.3	3700	505.46	188.86	316.6	4502.05	20.814
5	30.2	90.8	60.6	3700	501.33	121.33	380	5403.6	17.428

ตารางที่ ข.3 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 1 เชื้อเพลิงไม้

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	$T_2 - T_1$ (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{หิน1}$ (g)	$M_{หิน2}$ (g)	$M_{หิน3}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	27.1	91.37	64.27	3700	608.47	183.41	425.06	6044.35	16.524
2	27.51	90.59	63.08	3700	603.27	121.06	482.21	6857.03	14.296
3	27.6	90.35	62.75	3700	623.3	131.54	491.76	6992.83	13.945
4	27.65	90.91	63.26	3700	624.34	159.08	465.26	6616	14.859
5	29.16	92.83	63.67	3700	616.96	190.53	426.43	6063.83	16.317

ตารางที่ ข.4 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์2 เชื้อเพลิงไม้

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{หิน1}$ (g)	$M_{หิน2}$ (g)	$M_{หินใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	30.6	91.1	60.5	3700	510.9	119.06	391.84	5517.96	16.873
2	30.7	91.2	60.5	3700	508.82	146.7	362.12	5149.35	18.258
3	26.92	92.33	65.41	3700	508.53	114.31	394.22	5605.81	18.132
4	26.33	91.32	64.99	3700	500.93	105.26	395.67	5626.43	17.95
5	27.56	91.23	63.67	3700	505.48	104.77	400.71	5698.1	17.364

ตารางที่ ข.5 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์3 เชื้อเพลิงไม้

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{หิน1}$ (g)	$M_{หิน2}$ (g)	$M_{หินใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	27.9	91.1	63.2	3700	503.11	110.48	392.63	5583.2	17.591
2	28.2	91.4	63.2	3700	505.42	123.58	381.84	5429.76	18.088
3	28	91.7	63.7	3700	491.96	137.06	354.9	5046.68	19.615
4	30.8	90.9	60.1	3700	508.66	165.96	342.7	4873.19	19.165
5	31	93	62	3700	511.65	142.53	369.12	5248.89	18.356

ตารางที่ ข.6 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูง เชื้อเพลิงไม้

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{หิน1}$ (g)	$M_{หิน2}$ (g)	$M_{หินใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	30.7	91.5	60.8	3700	553.31	152.74	400.57	5696.11	16.587
2	30.2	92.9	62.7	3700	502.61	154.23	348.38	4953.96	19.668
3	30.8	92.2	61.4	3700	511.88	169.29	342.59	4871.63	19.586
4	30.8	94.2	63.4	3700	501.38	155.33	346.05	4920.83	20.022
5	30.3	92.7	62.4	3700	516.46	160.42	356.04	5062.89	19.153

ตารางที่ ข.7 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 2 เชื้อเพลิงถ่าน

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{ถ่าน1}$ (g)	$M_{ถ่าน2}$ (g)	$M_{ถ่านใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	29.07	90.37	61.3	3700	219.2	48.41	170.79	5318.4	17.911
2	29.11	90.59	61.48	3700	231.63	54.93	176.7	5502.44	17.363
3	28.88	90.23	61.35	3700	231.38	60.56	170.82	5319.33	17.923
4	29.07	90.45	61.38	3700	231.96	50.13	181.83	5662.19	16.846
5	28.84	90.32	61.48	3700	230.3	50.04	180.26	5613.3	17.02

ตารางที่ ข.8 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกฐานแคบเบอร์ 3 เชื้อเพลิงถ่าน

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{ถ่าน1}$ (g)	$M_{ถ่าน2}$ (g)	$M_{ถ่านใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	30.49	90.87	60.38	3700	183.3	78.25	113.05	3520.38	26.654
2	30.44	90.47	60.03	3700	182.06	62.76	119.3	3715	25.111
3	30.76	90.05	59.29	3700	181.41	71.85	109.56	3411.7	27.006
4	30.5	91.5	61	3700	182.51	68.7	113.81	3544.04	26.747
5	30.5	90.6	60.1	3700	182	73.083	108.17	3368.41	27.727

ตารางที่ ข.9 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์ 2 เชื้อเพลิงถ่าน

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{ถ่าน1}$ (g)	$M_{ถ่าน2}$ (g)	$M_{ถ่านใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	30.3	92.93	62.63	3700	250.61	79.84	170.77	5317.78	18.302
2	29.98	91.32	61.34	3700	248.9	77.38	171.52	5341.13	17.847
3	30.08	91.51	61.43	3700	249.46	78.07	171.39	5337.08	17.887
4	30.44	90.91	60.47	3700	250.05	81.17	168.88	5258.92	17.869
5	30.49	91.21	60.72	3700	259.96	89.67	170.29	5302.83	17.794

ตารางที่ ข.10 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์3 เชื้อเพลิงถ่าน

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{ถ่าน1}$ (g)	$M_{ถ่าน2}$ (g)	$M_{ถ่านใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	30.8	90.8	60	3700	180.78	38.9	141.88	4418.14	21.104
2	30.7	94.3	63.6	3700	192.38	70.68	121.7	3789.74	26.079
3	30.8	91.2	60.4	3700	190.91	76.55	114.36	3561.17	26.357
4	30.5	91.4	60.9	3700	190.77	82.44	108.33	3373.4	28.054
5	30.5	92.3	61.8	3700	193.39	71.24	122.15	3803.75	25.248

ตารางที่ ข.11 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทรงกระบอกเบอร์1 เชื้อเพลิงถ่าน

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{ถ่าน1}$ (g)	$M_{ถ่าน2}$ (g)	$M_{ถ่านใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	29.06	91.92	62.86	3700	351.51	90.64	260.87	8123.49	12.025
2	29.93	91.87	61.94	3700	352.25	103.8	248.45	7736.73	12.441

ตารางที่ ข.12 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประสิทธิภาพสูง เชื้อเพลิงถ่าน

ซ้ำที่	T_1 (C)	T_2 (C)	T_2-T_1 (C)	$M_{น้ำ}$ (g)	$M_{ถ่าน1}$ (g)	$M_{ถ่าน2}$ (g)	$M_{ถ่านใช้}$ (g)	Q_{input} (kJ)	η (%)
1	29	90.6	61.6	3700	180.68	47.35	133.33	4151.9	23.056
2	30.9	90.9	60	3700	185.6	52.83	132.77	4134.46	22.552
3	28.6	90.3	61.7	3700	183.38	44.93	138.45	4311.33	22.239
4	29.2	90.77	61.57	3700	185.56	46.2	139.36	1339.67	22.048
5	29.8	90.59	60.79	3700	183.33	53.07	130.26	4056.3	23.289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

การทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดสอบมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาหุงต้ม

การหาปริมาณมลพิษ

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ซึ่งประกอบด้วย โพรเพน (60% โดยโมล) กับบิวเทน (40% โดยโมล)



สมมุติฐานการคำนวณ

- อากาศประกอบด้วย O_2 21% โดยปริมาตร และ N_2 79% โดยปริมาตร
- เชื้อเพลิงไม่มี N_2 เป็นส่วนประกอบ และออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นมาจาก N_2 ในอากาศ จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนโตรเจนทั้งหมด
- ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก จึงไม่นำมาคิด
- ปริมาณ O_2 ที่ตรวจวัดเป็น O_2 ที่เหลือจากปฏิกิริยาการเผาไหม้

คุณสมบัติของก๊าซ LPG ที่ใช้ในการคำนวณ

- มวลโมเลกุลเท่ากับ 49.6
- ความหนาแน่นของ LPG ในสถานะก๊าซที่ $25^\circ C$, 1 atm เท่ากับ 1.6581 kg/m^3
- ค่าความร้อนเท่ากับเท่ากับ 63.32 MJ/kg

การคำนวณหาปริมาณ CO_2

$$CO_{2,Cal} = [CO_{2,max} * (21 - O_{2,measure})] / 21 \quad (2)$$

การทำสมดุลสมการการเผาไหม้

จากผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ O_2 , CO , NO_x และเปอร์เซ็นต์ CO_2 ที่คำนวณได้ข้างต้น นำมาทำสมดุลสมการการเผาไหม้ เพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาเช่น ค่าความเข้มข้นของ

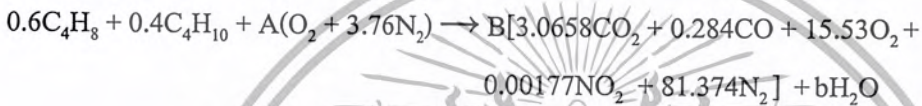
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{CO} &= 284 \text{ ppm} \\ \text{NO}_x &= 17.7 \text{ ppm} \\ \text{CO}_2 &= 3.0658 \% \quad \text{จากสมการที่ (2)} \end{aligned}$$

เนื่องจากค่าที่วัดได้เป็นค่าความเข้มข้นของไอเสียแห้ง ดังนั้นจะเกิด

$$\text{N}_2 = 100 - 15.53 - 0.0248 - 0.00177 - 3.0658 = 81.374 \%$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้



ทำสมการดุล	C	จะได้	B	=	1.0988
ทำสมการดุล	H ₂	จะได้	b	=	4.4
ทำสมการดุล	O ₂	จะได้	A	=	22.65

คำนวณหาอัตราการปล่อยมลพิษ

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณ CO₂ โดยมีอัตราการไหลเชื้อเพลิง = 4.12*10⁵ kg/s จาก

สมการ (3)

ปริมาณเชื้อเพลิง 1	โมล	จะเกิด CO ₂	3.0658*1.0988	โมล
ปริมาณเชื้อเพลิง 49.6	kg	จะเกิด CO ₂	3.369*44	
ปริมาณเชื้อเพลิง 4.12*10 ⁵	kg/s	จะเกิด CO ₂	1.2312*10 ⁴	kg/s

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นอัตราการปล่อย CO}_2 &= (1.2312 \cdot 10^4) / (63.32 \cdot 10^3 \cdot 4.12 \cdot 10^5) \\ &= 4.72 \cdot 10^5 \text{ kg/s} \\ &= 47.2 \text{ g/MJ of energy input} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของมลพิษที่เกิดจากการใช้งานเตาหุงต้มภายในห้องที่ไม่มีการระบายอากาศ
ประเมินความเข้มข้นของมลพิษแต่ละชนิด

สมมุติ - ห้องครัวเป็นห้องปิดขนาด 3*4*2.5 = 30 m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้งานเตาหุงต้มเป็นเวลา 60 นาที
- ใช้งานเตาหุงต้มที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง = 1.2183 l/min
- ปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้น = 42.588 g/MJ

จะได้ว่าในเวลา 60 นาทีใช้ LPG = (1.2183*1.6581*60)/1000 = 0.1212 kg

$$\text{ให้พลังงาน} = 63.32 * 0.1212$$

$$= 7.67 \text{ MJ}$$

$$\text{ดังนั้นจะเกิด CO}_2 = 7.67 * 47.588 * 1000$$

$$= 365000 \text{ mg}$$

$$\text{ฉะนั้นความเข้มข้น CO}_2 \text{ ในห้อง} = 365000/30$$

$$= 12167 \text{ mg/m}^3$$

สำหรับความเข้มข้นของ CO₂ และ NO_x ก็คำนวณด้วยวิธีเดียวกันนี้ ความเข้มข้นของก๊าซมลพิษแต่ละชนิดที่คำนวณได้ เมื่อนำมารวมกันเป็นค่าความเข้มข้นมลพิษรวมของแต่ละแบบสามารถนำไปเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศของก๊าซผสม (PEL_{mix}) ซึ่งจะกล่าวต่อไป

ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศของก๊าซผสม (PEL_{mix})

ค่าความเข้มข้นของมลพิษแต่ละชนิดที่ได้ข้างต้นนำมารวมกันเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศของก๊าซผสมซึ่งหาได้จากสมการ

$$\frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n C_i / \text{PEL}_i}$$

ในการคำนวณค่าความเข้มข้นมลพิษรวมนี้ ได้มีการนำโปรแกรม MathCAD 2000 มาช่วยในการคำนวณ โดยมีลำดับขั้นตอนในการคำนวณดังที่จะแสดงต่อไป

Calculation of Permissible Exposure Level Mixed of High Efficiency Stove Firing Fuel Wood

Input data

Dimensions of Kitchen

$$x := 3 \text{ m} \quad y := 4 \text{ m} \quad z := 2.5 \text{ m} \quad (\text{Width} - \text{Length} - \text{Height}) \quad R := x \cdot y \cdot z \quad \text{m}^3$$

Emission

$$o_2 := 10.2 \text{ \%} \quad co_2 := 7.4 \text{ \%} \quad nox := 69.4 \text{ ppm} \quad co := 18872 \text{ ppm}$$

$$no_2 := \frac{nox}{10000} \quad cox := \frac{co}{10000} \quad N_2 := 100 - o_2 - co_2 - cox - no_2$$

Fuel Compositions (% by weight)

$$C := 75.63 \quad H := 2.57 \quad O := 18.27 \quad N := 0.11 \quad S := 0.01 \quad \text{Ash} := 3.41$$

$$K := \frac{100}{(100 - \text{Ash})}$$

$$C_1 := C \cdot K \quad H_1 := H \cdot K \quad O_1 := O \cdot K \quad N_1 := N \cdot K \quad S_1 := S \cdot K$$

$$\text{LHV} := 14.22 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \quad X := C_1 + H_1 + O_1 + N_1 + S_1 \quad X = 100$$

Chemical Equation Balance

$$u := 3.75 \text{ (Carbon)} \quad v := 6.72 \text{ (Hydrogen)} \quad w := 2.955 \text{ (Oxygen)} \quad x_1 := 0.01 \text{ (Nitrogen)}$$

$$b := \frac{v}{2} \quad B := \frac{u}{(co_2 + cox)}$$

$$A := \frac{\left[B \cdot \left(N_2 + \frac{no_2}{2} \right) - \left(\frac{x_1}{2} \right) \right]}{3.76}$$

Mass of Fuel Wood

$$M_m := \frac{358.726}{1000} \quad \text{Kg}$$

$$M_f := (u \cdot 12) + v + (w \cdot 16) + (x \cdot 14) \quad (\text{Molecular weight})$$

$$\text{CO}_2 := B \cdot \text{co}_2 \cdot 44 \cdot M_m \cdot \frac{1000}{M_f \cdot \text{LHV}} \quad \text{CO}_2 = 33.454 \quad \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

$$\text{NO}_2 := B \cdot \text{no}_2 \cdot 46 M_m \cdot \frac{1000}{M_f \cdot \text{LHV}} \quad \text{NO}_2 = 0.033 \quad \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

$$\text{CO}_1 := B \cdot \text{co}_x \cdot 28 M_m \cdot \frac{1000}{M_f \cdot \text{LHV}} \quad \text{CO}_1 = 5.429 \quad \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

$$\text{CO}_2 := \text{LHV} \cdot M_m \cdot 1000 \cdot \frac{\text{CO}_2}{R} \quad \text{CO}_2 = 5.688 \times 10^3 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{NO}_2 := \text{LHV} \cdot M_m \cdot 1000 \cdot \frac{\text{NO}_2}{R} \quad \text{NO}_2 = 5.577 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{CO} := \text{LHV} \cdot M_m \cdot 1000 \cdot \frac{\text{CO}_1}{R}$$

$$\text{PEL}_{\text{mix}} := \frac{(\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NO}_2)}{\left[\left(\frac{\text{CO}}{38} \right) + \left(\frac{\text{CO}_2}{9000} \right) + \left(\frac{\text{NO}_2}{6} \right) \right]} \quad \text{CO}_1 = 5.429 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{PEL} := \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NO}_2 \quad \text{PEL}_{\text{mix}} = 255.928 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$t := 13.98 \quad \text{minute} \quad \text{PEL} = 6.617 \times 10^3 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{pel} := \frac{\text{PEL} \cdot 5}{t} \quad \text{pel} = 2.367 \times 10^3$$

$$s := 34 \quad \text{sec} := s \cdot \frac{100}{60}$$

$$\text{sec} = 56.667$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculation of Permissible Exposure Level Mixed of High Efficiency Stove Firing Charcoal

Input data

Dimensions of kitchen

$$x := 3 \text{ m} \quad y := 4 \text{ m} \quad z := 2.5 \text{ m} \quad (\text{Width} - \text{Length} - \text{Height})$$

$$R := x \cdot y \cdot z \text{ m}^3$$

Emission

$$o_2 := 7.3 \% \quad co_2 := 10.4 \% \quad nox := 72.2 \text{ ppm} \quad co := 6829 \text{ ppm}$$

$$no_2 := \frac{nox}{10000} \quad cox := \frac{co}{10000} \quad N_2 := 100 - o_2 - co_2 - cox - no_2$$

Fuel Compositions (% by weight)

$$C := 75.63 \quad H := 2.57 \quad O := 18.27 \quad N := 0.11 \quad S := 0.01 \quad \text{Ash} := 3.41$$

$$K := \frac{100}{(100 - \text{Ash})}$$

$$C_1 := C \cdot K \quad H_1 := H \cdot K \quad O_1 := O \cdot K \quad N_1 := N \cdot K \quad S_1 := S \cdot K$$

$$X := C_1 + H_1 + O_1 + N_1 + S_1 \quad X = 100$$

$$\text{LHV} := 31.14 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Chemical Equation Balance

$$u := 6.35 \text{ (Carbon)} \quad v := 2.66 \text{ (Hydrogen)} \quad w := 1.18 \text{ (Oxygen)} \quad x_1 := 0.0078 \text{ (Nitrogen)}$$

$$b := \frac{v}{2} \quad B := \frac{u}{(co_2 + cox)}$$

$$A := \frac{\left[B \cdot \left(N_2 + \frac{no_2}{2} \right) - \left(\frac{x_1}{2} \right) \right]}{3.76} \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mass of Charcoal

$$M_m := 134.83 \text{ g} \quad M_f := (u \cdot 12) + v + (w \cdot 16) + (x \cdot 14) \quad (\text{Molecular weight})$$

$$\text{CO}_2 := B \cdot \text{co}_2 \cdot 44 \cdot \frac{1000}{M_f \cdot \text{LHV}}$$

$$\text{NO}_2 := B \cdot \text{no}_2 \cdot 46 \cdot \frac{1000}{M_f \cdot \text{LHV}}$$

$$\text{CO}_2 = 86.046 \quad \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

$$\text{CO}_1 := B \cdot \text{cox} \cdot 28 \cdot \frac{1000}{M_f \cdot \text{LHV}}$$

$$\text{NO}_2 = 0.062 \quad \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

$$\text{CO}_2 := \text{LHV} \cdot M_m \cdot \frac{\text{CO}_2}{R}$$

$$\text{CO}_1 = 3.596 \quad \frac{\text{g}}{\text{MJ}}$$

$$\text{NO}_2 := \text{LHV} \cdot M_m \cdot \frac{\text{NO}_2}{R}$$

$$\text{CO}_2 = 1.204 \times 10^4 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{CO} := \text{LHV} \cdot M_m \cdot \frac{\text{CO}_1}{R}$$

$$\text{NO}_2 = 8.74 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{PEL}_{\text{mix}} := \frac{(\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NO}_2)}{\left[\left(\frac{\text{CO}}{38} \right) + \left(\frac{\text{CO}_2}{9000} \right) + \left(\frac{\text{NO}_2}{6} \right) \right]}$$

$$\text{CO}_1 = 3.596 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{PEL} := \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NO}_2$$

$$\text{PEL}_{\text{mix}} = 782.841 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$t := 21.03 \quad \text{minute}$$

$$\text{PEL} = 1.255 \times 10^4$$

$$\text{pel} := \frac{\text{PEL} \cdot 30}{t}$$

$$\text{pel} = 1.791 \times 10^4$$

$$s := 25$$

$$\text{sec} := s \cdot \frac{100}{60}$$

$$\text{sec} = 41.667$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculation of Permissible Exposure Level Mixed of LPG Cooking Stove

Input data

Dimensions of Kitchen

$$x := 3 \text{ m} \quad y := 4 \text{ m} \quad z := 2.5 \text{ m} \quad (\text{Width} - \text{Length} - \text{Height})$$

$$R := x \cdot y \cdot z \quad \text{m}^3$$

$$R = 30$$

Emission

$$o_2 := 17.075 \% \quad co_2 := 4.65 \% \quad nox := 15.25 \text{ ppm} \quad co := 3.75 \text{ ppm}$$

$$no_2 := \frac{nox}{10000} \quad cox := \frac{co}{10000}$$

$$N_2 := 100 - o_2 - co_2 - cox - no_2$$

$$b := 4.4$$

$$B := 3.4 \div (cox + co_2)$$

$$A := \left[\left[(2co_2 + cox + 2 \cdot o_2 + 2 \cdot no_2)B \right] + b \right] \div 2 \quad B = 0.731$$

Fuel Compositions (% by weight)

$$C := 75.63 \quad H := 2.57 \quad O := 18.27 \quad A = 18.085$$

$$LHV := 63.32 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chemical Equation Balance

$$w := 1.18 \quad (\text{Hydrogen}) \quad u := 6.35 \quad (\text{Carbon})$$

$$v := 2.66 \quad (\text{Oxygen}) \quad x1 := 0.0078 \quad (\text{Nitrogen})$$

$$b := \frac{v}{2} \quad B := \frac{u}{(co2 + cox)}$$

$$flow := 1.571$$

$$f := flow \cdot \frac{1.6581}{1000}$$

$$Mmco2 := \frac{(co2 \cdot 1.0988 \cdot 44) \cdot 1000}{49.6 \cdot 63.32} \quad \frac{g}{MJ} \quad Mmno2 := \frac{no2 \cdot 1.0988 \cdot 46 \cdot 1000}{49.6 \cdot 63.32} \quad \frac{g}{MJ}$$

$$Mmco := \left[\frac{(cox \cdot 1.0988 \cdot 28 \cdot 1000)}{49.6 \cdot 63.32} \right] \quad \frac{g}{MJ}$$

$$Mmco2 = 71.582$$

$$Mmno2 = 0.025$$

$$Mlpg := \frac{(f \cdot 1.6581 \cdot 60)}{1000} \quad Mmco = 3.674 \times 10^{-3} \quad kg$$

$$Mlpg = 2.591 \times 10^{-4} \quad Mf := 49.6 \quad (\text{Molecular weight})$$

$$CO22 := \frac{(LHV \cdot Mmco2 \cdot 1000 \cdot 60)}{R} \quad CO22 = 9.065 \times 10^6 \quad \frac{g}{MJ}$$

$$NO22 := B \cdot no2 \cdot 46 \cdot \frac{1000}{Mf \cdot LHV} \quad NO22 = 0.03 \quad \frac{g}{MJ}$$

$$CO1 := B \cdot cox \cdot 28 \cdot \frac{1000}{Mf \cdot LHV} \quad CO1 = 4.565 \times 10^{-3} \quad \frac{g}{MJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{CO}_2 := \text{LHV} \cdot \text{Mmco}_2 \cdot \frac{f \cdot 60 \cdot 1000}{R} \quad \text{CO}_2 = 2.361 \times 10^4 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{NO}_2 := \text{LHV} \cdot \text{Mmno}_2 \cdot \frac{f \cdot 60000}{R} \quad \text{NO}_2 = 8.096 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{CO} := \text{LHV} \cdot \text{Mmco} \cdot \frac{f \cdot 60000}{R} \quad \text{CO} = 1.212 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{PEL}_{\text{mix}} := \frac{(\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NO}_2)}{\left[\left(\frac{\text{CO}}{38} \right) + \left(\frac{\text{CO}_2}{9000} \right) + \left(\frac{\text{NO}_2}{6} \right) \right]} \quad \text{PEL}_{\text{mix}} = 5.898 \times 10^3 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{PEL} := \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NO}_2 \quad \text{PEL} = 2.362 \times 10^4 \quad \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

$$t := 60 \quad \text{minute}$$

$$\text{pel} := \frac{\text{PEL} \cdot 40}{t} \quad \text{pel} = 1.575 \times 10^4$$

$$s := 57$$

$$\text{sec} := s \cdot \frac{100}{60} \quad \text{sec} = 95$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 มลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงถ่าน

	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , %	O ₂
เตาอังโล่ ประสิทธิภาพสูง	6997	10.5	71.0	7.2
	6850	10.4	72.0	7.3
	6768	10.4	73.0	7.3
	6754	10.4	72.0	7.3
	6821	10.4	73.0	7.4
	6829	10.4	72.2	7.3
	เตาอังโล่ ทรงกระบอกฐาน แคบเบอร์ 2	4986	10.4	58.0
5001		10.3	59.0	10.5
5103		10.4	60.0	10.7
4932		10.4	60.0	10.5
4857		10.3	59.0	10.6
4976		10.4	59.2	10.6
เตาอังโล่ ทรงกระบอกฐาน แคบเบอร์ 3		6658	11.0	62.0
	6741	10.9	65.0	6.8
	6695	10.9	66.0	7.1
	6569	11.0	68.0	6.9
	5577	10.8	67.0	6.9
	6448	10.9	65.6	6.9
	เตาอังโล่ ทรงกระบอก เบอร์ 1	2893	7.5	43.0
2923		7.3	45.0	11.7
2745		7.4	45.0	11.7
3004		7.5	45.0	11.6
2975		7.3	46.0	11.7
2908		7.4	44.8	11.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 มลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงถ่าน (ต่อ)

	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , %	O ₂
เตาอังโล่ ทรงกระบอก เบอร์ 2	4549	9.0	49.0	8.5
	4436	8.9	51.0	8.5
	4632	9.1	52.0	8.7
	4502	9.2	51.0	8.7
	4537	9.0	52.0	8.5
	4531	9.0	51.0	8.6
เตาอังโล่ ทรงกระบอก เบอร์ 3	5439	9.8	59.0	8
	5587	9.9	58.0	7.8
	5599	10.0	68.0	7.7
	5621	10.1	70.0	7.7
	5581	10.0	68.0	7.7
	5564	10.0	64.6	7.8

ตารางที่ ง.2 มลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงไม้ผืน

	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , %	O ₂
เตาอังโล่ ประสิทธิภาพสูง	18895	7.4	69.0	10.2
	19231	7.3	71.0	10.3
	19007	7.3	70.0	10.3
	18994	7.5	68.0	10.2
	18235	7.5	69.0	10.1
	18812	7.4	69.4	10.2
เตาอังโล่ ทรงกระบอกฐาน แคบเบอร์ 2	14998	7.6	55.0	10.5
	15032	7.5	58.0	10.5
	14786	7.4	57.0	10.7
	14923	7.6	58.0	10.5
	14827	7.5	56.0	10.6
	14913	7.5	56.8	10.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 มลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงไม้ฟืน (ต่อ)

	CO, ppm	CO ₂ , %	NO _x , %	O ₂
เตาอั้งโล่ ทรงกระบอกฐาน แคบเบอร์ 3	16554	8.0	62.0	9.9
	16842	8.1	62.0	10.1
	16933	7.9	63.0	10.0
	16442	8.0	64.0	10.2
	15998	7.9	63.0	10.1
	16554	8.0	62.8	10.1
	เตาอั้งโล่ ทรงกระบอก เบอร์ 1	10056	3.8	41.0
9883		3.6	43.0	14.4
10042		3.5	40.0	14.5
9594		3.6	41.0	14.5
9721		3.7	41.0	14.3
9859		3.6	41.2	14.4
เตาอั้งโล่ ทรงกระบอก เบอร์ 2		10056	3.8	41.0
	9883	3.6	43.0	14.4
	10042	3.5	40.0	14.5
	9594	3.6	41.0	14.5
	9721	3.7	41.0	14.3
	9859	3.6	41.2	14.4
	เตาอั้งโล่ ทรงกระบอก เบอร์ 3	14998	7.6	55.0
15032		7.5	58.0	10.5
14786		7.4	57.0	10.7
14923		7.6	58.0	10.5
14827		7.5	56.0	10.6
14913		7.5	56.8	10.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

“การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน”

การประชุมวิชาการโครงการวิศวกรรมเกษตร ครั้งที่ 9

ประจำปี 2546

วันศุกร์ที่ 17 มกราคม 2546

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน
Study of Thermal Efficiency and Emissions from Cooking Stove

เฉลิมพล เทพประพันธ์ และ ศรุต กิตติลาภานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ. ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการวัด DIN EN 203-1 และ DIN EN 203-2 ของประเทศเยอรมัน เตาหุงต้มที่นำมาเป็นตัวอย่งทดสอบ ได้แก่ เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอก เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแคบ และเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง โดยใช้ถ่านไม้และไม้พินเป็นเชื้อเพลิง และเตาหุงต้ม LPG ชนิดหัวเดียว ผลการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่เมื่อใช้ถ่านไม้และไม้พินเป็นเชื้อเพลิง มีค่าเฉลี่ย 18-20% และ 25-27% สำหรับเตาอั้งโล่แบบทรงกระบอก และมีค่า 19.2% และ 18.4% สำหรับเตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแคบ ส่วนเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ถ่านไม้และไม้พินเป็นเชื้อเพลิงมีค่าเป็น 19.5% และ 23.2% ตามลำดับ ในขณะที่ค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดพบว่า มีค่ามากขึ้นเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแบบเดียวกัน สำหรับเตาหุงต้ม LPG จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราการไหลของแก๊ส LPG 1.571 ลิตรต่อนาที เป็น 49.6 % และมีค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ต่ำกว่าเตาอั้งโล่ทั้งสามแบบ

1. บทนำ

การใช้พลังงานในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ส่วนหนึ่งต้องนำมาใช้ในการทำอาหาร เชื้อเพลิงที่ใช้นั้นมีหลายรูปแบบ เช่น แก๊ส LPG ไม้พิน ถ่านไม้ เป็นต้น ส่วนเตาที่ใช้ก็มีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยภาพรวมของแล้ว เชื้อเพลิงแก๊ส LPG มีปริมาณการใช้ที่สูงมาก เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้สะดวก ใช้งานง่ายและสะอาด แต่แก๊ส LPG จัดเป็นเชื้อเพลิงประเภทที่ใช้แล้วหมดไป (Conventional Fuels) เนื่องจากต้องใช้เวลาานกว่าที่จะสร้างให้เกิดใหม่ได้ ส่วนไม้พินและถ่านไม้ นับเป็นเชื้อเพลิงอีกรูปแบบหนึ่งที่มีปริมาณการใช้สูงในเกณฑ์สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในครัวเรือนชนบท ข้อดีของเชื้อเพลิงไม้พิน คือ เป็นเชื้อเพลิงที่หมุนเวียนได้ (Renewable Energy) เนื่องจากเมื่อนำมาใช้แล้วสามารถปลูกทดแทนได้อย่างรวดเร็ว

ในปี 2543 พบว่ามีการใช้แก๊ส LPG เป็นจำนวนทั้งสิ้น 2,167 ktoe (Kiloton of Oil Equivalent) หรือคิดเป็น 4.48% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในประเทศ ในขณะที่มีการใช้ไม้พิน (Fuel Wood) และถ่าน (Charcoal) ในปริมาณ 3,258 ktoe และ 2,277 ktoe ตามลำดับ รวมการใช้พลังงานทั้งสิ้น 5,535 ktoe หรือคิดเป็น 11.45% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในประเทศ และแนวโน้มการใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเตาหุงต้มแบบต่างๆ ตลอดจนอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากมลพิษที่ปล่อยจากเตาหุงต้ม โครงการนี้จึงมุ่งศึกษาถึงวิธีการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตาหุงต้มที่

ใช้ในครัวเรือน โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการวัด DIN EN 203-1 และ DIN EN 203-2 ของประเทศเยอรมัน เตาหุงต้มที่
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ ได้แก่ เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอก เตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกฐานแคบ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงของสถาบันวิจัยเชื้อเพลิงทดแทนและพลังงานธรรมชาติ จ. ปทุมธานี โดยใช้ถ่านไม้และไม้พื้เป็นเชื้อเพลิง และเตาหุงต้ม LPG ชนิดหัวเดียว

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การวัดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม และการวัดค่ามลพิษจากการเผาไหม้ที่ปล่อยจากเตาหุงต้ม ตามมาตรฐานการวัด DIN EN 203-1 และ DIN EN 203-2 ของประเทศเยอรมัน

2.1 วิธีการวัดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

หม้อที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 220 mm สูง 140 mm หนัก 680 g (ไม่รวมฝาครอบ) ฝาครอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าหม้อประมาณ 2 mm เจาะรูเพื่อติดตั้ง Thermocouple Type K เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดสอบ (รูปที่ 1)

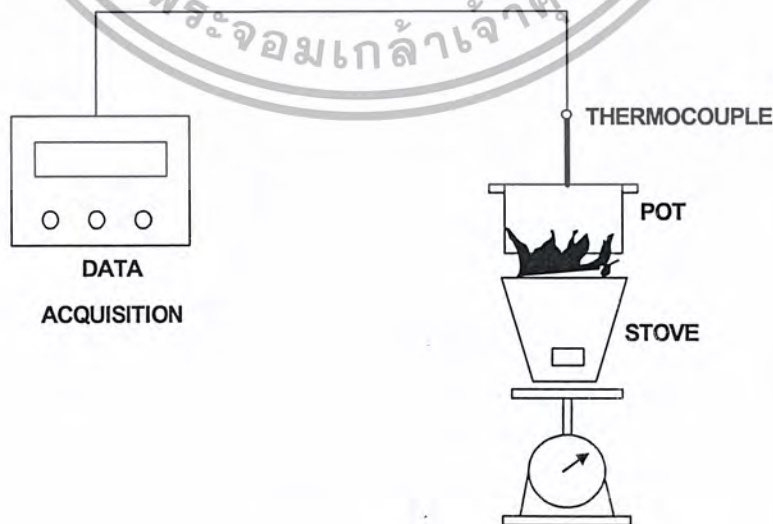
การทดลองจะเริ่มจากอุ่นเตาให้ร้อน นำน้ำที่ชั่งหนัก 3.7 kg ($M_{\text{น้ำ}}$) ใส่หม้อที่สร้างขึ้นแล้วนำมาตั้งบนเตาที่จะทดสอบบันทึกค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (T_i) จับเวลาที่ใช้ในการทดสอบตั้งแต่เริ่มวางหม้อบนเตาแล้วรอจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 90°C แล้วปิดเตา บันทึกเวลาและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ($M_{\text{เชื้อเพลิง}}$) ตลอดจนอุณหภูมิน้ำสุดท้าย (T_f) และคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากสมการ (1) (HV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง)

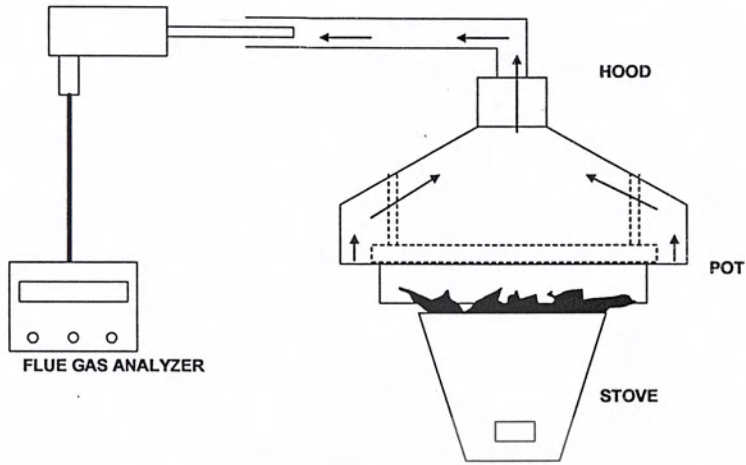
$$\eta = \frac{M_{\text{น้ำ}} \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)}{(M_{\text{เชื้อเพลิง}} \cdot \text{HV})} \quad (1)$$

2.2 วิธีการวัดค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้

สร้าง Hood เก็บไอเสีย มีขนาดฐานกว้าง 480 mm สูง 400 mm หนา 1 mm ต่อท่อเก็บไอเสียเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Flue Gas Analyzer) ทำการวัดค่ามลพิษ (รูปที่ 2)

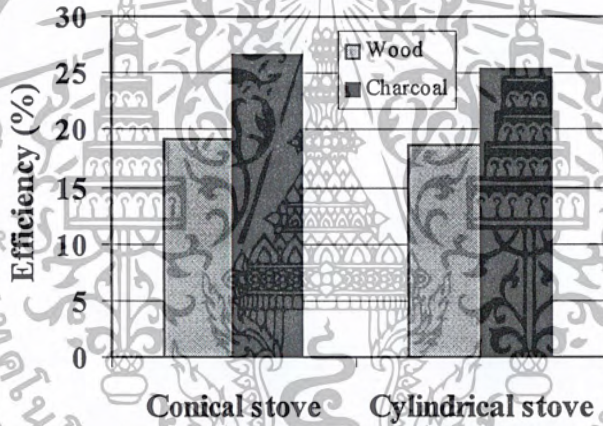
การทดลองทำโดยตั้งหม้อที่ใส่น้ำบนเตาเช่นเดียวกับการวัดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน แต่ปิดหม้อด้วย Hood เก็บไอเสีย หลังจากน้ำเริ่มเดือด จึงทำการวัดมลพิษ โดยมลพิษที่ทำการวัด ได้แก่ CO และ NO



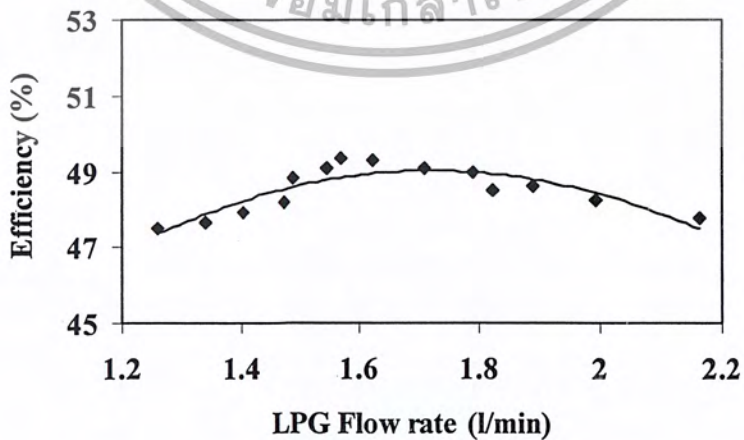


รูปที่ 2 การ Set-up การทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน



รูปที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม LPG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่าน

Stove	CO (ppm)	NO (ppm)
Cylindrical Stove 1	2908	44.8
Cylindrical Stove 2	4531	52
Cylindrical Stove 3	5564	64.6
Conical Stove 2	4976	59.2
Conical Stove 3	6448	65.6
High Efficiency Stove*	6829	72.2

ตารางที่ 2 ค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้

Stove	CO (ppm)	NO (ppm)
Cylindrical Stove 1	9859	41.2
Cylindrical Stove 2	13309	48.2
Cylindrical Stove 3	15382	68
Conical Stove 2	14913	56.8
Conical Stove 3	16554	62.8
High Efficiency Stove*	18872	69.4

* เตาของสถาบันวิจัยเชื้อเพลิงทดแทนและพลังงานธรรมชาติ จ. ปทุมธานี

ตารางที่ 3 ค่ามลพิษที่เกิดจากเตาหุงต้ม LPG

LPG Stove	CO (ppm)	NO (ppm)
Flow rate 1.216 l/min	6	4
Flow rate 1.571 l/min	4	15
Flow rate 2.613 l/min	1	23

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอั้งโล่แบบทรงกระบอกและแบบทรงกระบอกฐานแคบเมื่อใช้ไม้ฟืนและถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 18-20 % และ 25-27 % ตามลำดับ ส่วนเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 19-23 % และสำหรับเตาหุงต้ม LPG มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 46-50% ในขณะที่ค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดพบว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านไม้ให้ค่ามลพิษที่ต่ำกว่าไม้ฟืน ในขณะที่แก๊ส LPG ให้ค่ามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ต่ำที่สุด

ดังนั้นในการใช้งานเตาหุงต้มโดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาอั้งโล่ ผู้ใช้งานควรคำนึงถึงสถานที่ใช้งานเตาด้วยว่ามีการ

ระบายอากาศที่ดีเพียงพอหรือไม่ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยด้านสุขภาพของผู้ใช้งานเตาหุงต้มดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, " รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ปี 2543 ", หน้า 1-17, 2543.
2. Emi, J., Bardana, J. and Montanaro, A., Indoor air pollution and health New York, Marcel Decker, pp. 83-92, 1997.
3. Crawl, D.A. and Louvar, J.F., Chemical process safety: Fundamentals with application, New Jersey, Prentice Hall, pp. 40-78, 1990.
4. สมพร ธเนศวรดิษฐ์, " ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและมลพิษที่ปล่อยจากเตาหุงต้ม LPG ", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.
5. สมพร ธเนศวรดิษฐ์ และ วัชร เติมชาติ, " การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน ", การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, หน้า 34-39, 2545.
6. German Standards and Technical Rules, DIN EN 203-1 : Gas-heated catering equipment ; General safety requirements, 71 p., 1997.
7. German Standards and Technical Rules, DIN EN 203-2: Gas-heated catering equipment, 17 p., 1997.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ วัชรระ เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ช่วยให้คำแนะนำและคำปรึกษาต่างๆ ขอขอบพระคุณ รศ. เกียรติศักดิ์ สุวรรณ โปธิศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมและอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ช่วยแนะนำและชี้ให้เห็นข้อบกพร่องในการทำโครงการจนปริญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ธุรการและเจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ช่วยประสานงานและช่วยเหลือให้โครงการนี้สำเร็จด้วยความราบรื่น และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่มาช่วยกันทำโครงการนี้ สุดท้ายนี้ขอพระขอบคุณ บิดา มารดา รวมถึง ญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำปริญาานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, “รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2543”, หน้า 1-17, 2543
2. ศูนย์ฝึกอบรมพลังงาน กองเศรษฐกิจพลังงาน และ ฝ่ายพัฒนาและเผยแพร่ กองค้นคว้าและพัฒนาพลังงานสำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, “คู่มือการผลิตและการใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง”, 72 หน้า, 2527
3. German Standards and Technical Rules, 1997, DIN EN 203-1 : Gas-heated catering equipment ; General safety requirements, 71 p.
4. German Standards and Technical Rules, 1997, DIN EN 203-2 : Gas-heated catering equipment, 17 p.
5. สมพร ธเนศวรณิษฐ์, “ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและมลพิษที่ปล่อยจากเตาหุงต้ม LPG”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. กัญญา เม้ามินทร์พย์, “วารสารประสิทธิภาพพลังงาน”, มกราคม-มีนาคม, หน้า42-43, 2544
7. วารสารพลังงาน ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, หน้า28-31, ตุลาคม-ธันวาคม, หน้า28-31, 2541
8. Asian Institute of Technology, “EC ASEAN COGEN Program Report”, <http://www.cogen.ait.ac.th>.
9. Emi, J., Bardana, J. and Montanaro, A., 1997, Indoor air pollution and health New York, Marcel Dekker, pp. 83-92.
10. Crawl, D.A. and Louvar, J.F.,1990, Chemical process safety : Fundamentals with application, New Jersey, prentice Hall, pp. 40-78.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สมพร ธนสวาณิชย์ และ วัชระ เพิ่มชาติ, “การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน”, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, หน้า 34-39, 2545
12. T.M. Khoa, 1996, Biomass in Vietnam : An experimental study on emissions from domestic cookstoves, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand, 4 p.
13. Arjun Bahadur K. C., 1997, An experimental study of emissions from domestic biomass cookstoves, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand, 6 p.
14. Rahima A. L., Ijaz H., 2000, Efficiency study of Bangladeshi Cookstoves with an emphasis on gas cookstoves, Chemical Engineering Department , Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh, 16 p.
15. V.V.N. Kishore, P.V. Ramana, 1999, Improved cookstoves in rural India, Tata Energy Research Institute, New Delhi India, 16 p.
16. British Standards Institution, 1980, BS-5386-1980 : Specification for gas burning appliances; Part 3 Domestic cooking appliances burning gas, pp. 1-80
17. Japanese Industrial Standard, 1991, JIS S 2103-1991 : Gas burning cooking appliances for domestic use, 63 p.
18. Japanese Industrial Standard, 1991, JIS S 2093-1991 : Test method of gas burning appliances for domestic use, 93 p.
19. The Australian Gas Association and Australian Liquefied Petroleum Gas Association Ltd., 1988, AG 101-1988 : Approval Requirements for Domestic Gas Cooking Appliances, 239 p.