

การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์

Study Combustion Efficiency of Asphalt Spraying Burner

วรชัย ชัยสิงห์เหนือ

Worachai Chaisingnuea

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2567



การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์

Study Combustion Efficiency of Asphalt Spraying Burner

วรชัย ชัยสิงห์เหนือ

Worachai Chaisingnuea

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์
ชื่อ นามสกุล	วรชัย ชัยสิงห์เหนือ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ฐณพล เวียงทอง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ฐณพล เวียงทอง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ พันธุนะ)
วันที่ 27 เดือน กันยายน พ.ศ. 2567

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์
ชื่อ นามสกุล วรชัย ชัยสิงห์เหนือ
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.ฐณพล เวียงทอง
ปีการศึกษา 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซล โดยวิธีการปรับเปลี่ยนความดันเชื้อเพลิง การศึกษานี้ทำการทดสอบกับเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ชนิดเคลื่อนที่ได้ ติดตั้งอยู่กับรถบรรทุก 6 ล้อ การปรับเปลี่ยนความดันเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับภาระความต้องการใช้งานเร่งด่วนของหน้างานและผู้ใช้งาน ปัญหาของเตาเผาที่เกิดขึ้น คือ เตาเผาจุดติดไฟยาก และขณะเตาเผาทำงานจะมีปริมาณควันดำที่ปล่อยออกมาจากปล่องไอเสียเป็นจำนวนมาก โดยมีเงื่อนไขในทดสอบ คือ การปรับเปลี่ยนระดับความดันเชื้อเพลิง ที่ระดับ 40-80 psi และทำการบันทึกค่าวัดไอเสียเตาเผา

จากการทดสอบการปรับเปลี่ยนระดับความดันเชื้อเพลิง และการทำงานของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ พบว่า ที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 40 psi มีประสิทธิเตาเผาสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 59.14 เมื่อเทียบกับความดันเชื้อเพลิงที่ระดับ 45-80 psi และ ผลการวัดค่าก๊าซไอเสียที่ความดันเชื้อเพลิงที่ระดับ 40 psi พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เท่ากับ ร้อยละ 5.06, ร้อยละ 0.09 และ 7.0 ppm ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ที่ 34.80 ลิตรต่อชั่วโมง น้อยกว่าระดับความดันเชื้อเพลิง ที่ระดับ 45-80 psi อยู่ร้อยละ 1.7-5 ซึ่งจากผลการทดสอบ จึงได้กำหนดระดับความดันเชื้อเพลิงของเตาเผาในการใช้งานไว้ที่ระดับ 40 psi ซึ่งสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ และยังสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยก๊าซไอเสีย และควันดำไม่ให้เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

คำสำคัญ : เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์, ประสิทธิภาพเตาเผา, ความดันเชื้อเพลิง, ก๊าซไอเสีย

Thesis Title	Study Combustion Efficiency of Asphalt Spraying Burner
Author	Worachai Chaisingnuea
Degree	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
Major Program	Mechanical Engineering, Faculty of Engineering
Advisor	Asst.Prof. Dr.Padipan Tinprabath
Co-Advisor	Dr.Thanaphon Wiangthong
Academic Year	2024

ABSTRACT

This research investigates the combustion efficiency of an asphalt spraying burner using diesel fuel by adjusting the fuel pressure. The study was conducted with a mobile asphalt spraying burner installed on a 6-wheeled truck. Each fuel pressure adjustment depends on the urgent workload demands of the job site and the user. The problem encountered with the burner include difficulty in ignition and a significant amount of block smoke emitted from the exhaust stack during operation. The testing conditions involved adjusting the fuel pressure levels between 40-80 psi and recording the exhaust measurement values from the burner.

From the tests on adjusting fuel pressure levels and the operation of the asphalt spraying burner, it was found that at a fuel pressure level of 40 psi, the burner efficiency reached the highest at 59.14% compared to the fuel pressure ranging from 45-80 psi. In addition, the measurement results of exhaust gas at the fuel pressure of 40 psi showed that the carbon dioxide, carbon monoxide, and nitrogen oxide levels were 5.06%, 0.09%, and 7.0 ppm, respectively. These values are within the defined standards. The fuel consumption rate was recorded at 34.80 liters per hour, which was 1.7-5% lower than the fuel pressure levels of 45-80 psi. The fuel pressure level for burner operation has been determined to be set at 40 psi, which not only reduces fuel consumption but also effectively controls the release rates of exhaust gases and block smoke to remain within the specified standards.

Keywords : Asphalt Spraying Burner, Burner Efficiency, Fuel Pressure, Exhaust Gas

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท และอาจารย์ ดร.ฐณพล เวียงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำ ข้อคิดเห็น ช่วยเหลือ สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ตลอดจนควบคุมการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี รวมไปถึงคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือตลอดจนท่านอาจารย์ที่ได้ให้ความรู้ ความสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

วรชัย ชัยสิงห์เหนือ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
คำอธิบายสัญญาลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การทบทวนวรรณกรรม	33
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	38
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	38
3.3 สภาวะการทดสอบ	44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผล	
4.1 ขั้นตอนการตรวจสอบ	45
4.2 เงื่อนไขในการการทดสอบ	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดสอบ	46
4.4 วิจารณ์ผลการทดสอบ	62
4.5 การนำผลทดสอบไปสู่การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ	63
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	64
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	65
5.3 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก ก	68
ภาคผนวก ข	75
ประวัติผู้จัดทำวิทยานิพนธ์	

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	10
2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีเทนกับดัชนีดีเซล	15
2.3	ประเภทของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ	19
3.1	สภาวะการทดสอบเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	44
4.1	ผลการทดสอบจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสียและค่าควันดำ	47
4.2	ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ระดับความดันเชื้อเพลิง 45-80 psi	50
4.3	สรุปผลการทดสอบจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย และการคำนวณ	51

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงลักษณะการเผาไหม้ของละอองตามความเร็วสัมพัทธ์กับก๊าซ	17
2.2	โครงสร้างเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	25
2.3	หัวเผาและเขี้ยวสปาร์ค	26
2.4	พัดลมอัดอากาศ	26
2.5	ชุดควบคุมความดันเชื้อเพลิง และเกจวัดความดัน	27
2.6	ถังน้ำมันเชื้อเพลิง	27
2.7	ท่อไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	28
2.8	เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	28
2.9	สตาร์ทเริ่มการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	29
2.10	ชุดควบคุมการทำงานของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	29
2.11	ชุดวาล์วควบคุมความดันเชื้อเพลิง	30
2.12	ลักษณะการนำไปใช้งานเครื่องพ่นแอสฟัลต์	30
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน Flow chart	37
3.2	ลักษณะส่วนด้านท้ายเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	38
3.3	ลักษณะส่วนด้านข้างเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	39
3.4	หัวเผา	39
3.5	ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	40
3.6	เครื่องอัดอากาศ	40
3.7	ชุดควบคุมการทำงานเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์	41
3.8	เครื่องวัดก๊าซไอเสีย	41
3.9	เกจวัดความดัน	42
3.10	เครื่องวัดควันดำ	42
3.11	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	43
3.12	แผนผังการทดสอบ	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	กราฟแนวโน้ม ก๊าซออกซิเจน	52
4.2	กราฟแนวโน้ม ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	53
4.3	กราฟแนวโน้ม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	54
4.4	กราฟแนวโน้ม ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	55
4.5	กราฟแนวโน้ม ประสิทธิภาพเตาเผาได้จากเครื่องวัด	56
4.6	กราฟแนวโน้ม ประสิทธิภาพเตาเผาได้จากการคำนวณ	57
4.7	กราฟเส้นแนวโน้ม ค่าควันดำ	58
4.8	กราฟแนวโน้ม อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง	59
4.9	กราฟแนวโน้ม อัตราส่วนสมมูล	60
4.10	กราฟแนวโน้ม อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	%
CO_2	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	%
O_2	ก๊าซออกซิเจน	%
NO_x	ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	ppm
CH_4	ก๊าซมีเทน	%
C	คาร์บอน	%
H	ไฮโดรเจน	%
H_2O	โมเลกุลของน้ำ	g/mol
HCl	ไฮโดรเจนคลอไรด์	g/mol
S	ซัลเฟอร์ (กำมะถัน)	g/cm^3
Ø	อัตราส่วนสมมูล	-
AF_{stoich}	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทฤษฎี	-
AF_{actual}	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง	-
m_f	มวลเชื้อเพลิง	-
m_a	มวลอากาศ	-
K	หน่วยวัดอุณภูมิในระบบเอสไอ (SI units)	-
MJ/kg	หน่วยของค่าความร้อนสำหรับของแข็งและของเหลว	-
kPa	หน่วยวัดความดัน กิโลปาสคาลในระบบเอสไอ	-
psi	หน่วยวัดความดัน ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	-
ppm	หน่วยความเข้มข้นของสาร ส่วนในล้านส่วน	-
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย	kCal/kg/°C
ΔT	ความต่างระหว่างอุณภูมิภายในและภายนอกเตา	°C
M	มวลโมเลกุล	-
T_{fg}	อุณภูมิของก๊าซไอเสีย	°C
T_{amb}	อุณภูมิภายนอกเตาเผา	°C
GCV_{fuel}	ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง	kJ/kg-fuel

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันนี้มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาใหญ่และวิกฤตอย่างรุนแรงไปทั่วโลก โดยแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศแบ่งออกเป็น 2 สาเหตุหลักๆ ได้แก่ (1) การเกิดมลพิษทางอากาศจากการกระทำของมนุษย์ เช่น เกิดจากความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในครัวเรือน ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตรกรรม และการสันดาปยานยนต์ (2) ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟทำให้เกิดควัน มลพิษที่เกิดจากไฟป่า ซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศได้ส่งผลเสียตามมาอย่างมากมาย เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ เกิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตแบบเฉียบพลัน สาเหตุเกิดจากการสูดดมเอามลพิษทางอากาศที่มีความเข้มข้นและรุนแรงเข้าสู่ร่างกาย เกิดการเจ็บป่วยเรื้อรังจากการสัมผัสหรือหายใจเอามลพิษที่ไม่มีความเข้มข้นมากแต่สะสมเข้าไปในร่างกายเป็นระยะเวลานานก็จะก่อให้เกิดการเจ็บป่วยเรื้อรัง และการเสื่อมสภาพของอวัยวะต่างๆ

นอกจากนี้ปัญหามลพิษทางอากาศ ยังส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ที่ต้องหายใจเช่นเดียวกับมนุษย์ อีกด้วยสภาพอากาศทั่วโลกแย่ลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมานี้ และในประเทศไทยจะเห็นได้ว่าปัญหาของฝุ่นควันและมลพิษส่งผลต่อการใช้ชีวิตของคนในกรุงเทพฯ ปริมณฑล และตามหัวเมืองใหญ่ๆ และจากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าฝุ่นควันที่เกิดจากการเผาขยะ เผานาเผาไร่หรือวัสดุทางการเกษตรกลางแจ้ง ผนวกกับก๊าซพิษที่เกิดจากการจราจรตามเมืองใหญ่ๆ ส่งผลต่อสุขภาพของคนไทยอย่างเป็นวงกว้าง ที่ผ่านมาเราพบว่า“มลพิษในอากาศเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรสูงทั่วโลก” และยังส่งผลให้อัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นอย่างมาก อย่างเช่น การมีผู้ป่วยฉุกเฉินเพิ่มมากขึ้น การเกิดโรคหลอดเลือดในสมองมากขึ้น การเสียชีวิตก่อนวัยจากโรคหัวใจ โรคหอบหืด หลอดลมอุดกั้นเรื้อรัง มะเร็งปอด และเด็กที่เกิดใหม่ในย่านที่มีมลพิษสูงจะมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ และสตรีมีครรภ์ก็มีอัตราการคลอดก่อนกำหนดเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนผลกระทบอื่นๆ ที่เห็นได้ชัดอีก ก็เช่น ฝุ่นละอองและมลพิษในอากาศเป็นสาเหตุโรคติดเชื้อระบบทางเดินหายในเด็ก และอาจมีผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมองและระบบประสาทในเด็กอีกด้วย

จากงานศึกษาวิจัยสำคัญๆ ในระยะสิบปีที่ผ่านมา เราได้รู้แล้วว่า มลพิษทางอากาศเป็นอันตรายคุกคามสุขภาพของเรามากกว่าที่เราเคยเข้าใจ องค์การอนามัยโลกประมาณการว่ามีประชากรที่ต้อง “ตายก่อนเวลาอันควร” เนื่องจากมลพิษในอากาศทั่วโลกมากกว่าหกล้านคนในแต่ละปี และในจำนวนนี้ เป็นเด็กอายุต่ำกว่าห้าขวบราวร้อยละสิบ คือประมาณ 600,000 คน มีงานวิจัยที่แสดงด้วยว่า เมื่อคุณภาพอากาศเลวลง อัตราการไปห้องฉุกเฉินและการเข้าอยู่โรงพยาบาลจะสูงขึ้น เพราะมลพิษทำให้ปัญหาสุขภาพที่มีอยู่กำเริบขึ้น และเป็นเหตุให้หัวใจวาย หลอดเลือดในสมองตีบ หอบหืดกำเริบ และอื่นๆ อีกมากมาย [1] จากข้อมูลเฝ้าระวังโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 19 มีนาคม 2566 พบว่าผู้ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศแล้ว 1,730,973 ราย โรคที่พบสูงสุดได้แก่ โรคทางเดินหายใจ โรคผิวหนังอับเสบ และกลุ่มโรคตา

ในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิที่ได้เริ่มก่อสร้างในปี พ.ศ 2563-2567 เป็นงานก่อสร้างที่ใช้เครื่องจักรเป็นจำนวนมาก ประกอบไปด้วย รถเกรด รถบด รถแบ็คโฮ รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกสิบแปดล้อ รถเครน รถปูยางแอสฟัลต์ และรถแทรคเตอร์ เครื่องจักรที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ มีส่วนทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ จากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ และมีเครื่องจักรอีก 1 รายการ ที่ปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ จากการเผาไหม้ในเตาเผา คือ เครื่องพ่นแอสฟัลต์ ซึ่งเครื่องพ่นแอสฟัลต์นี้จะมีเตาเผาที่ใช้ต้มยางมะตอย โดยการเผาไหม้ในเตาเผานั้นจะปลดปล่อยมลพิษออกมาเป็นจำนวนมากสังเกตุได้จากท่อไอเสียที่มีทั้งควันดำและควันขาว และทางบริษัทผู้ว่าจ้าง คือ การท่าอากาศยาน (AOT) ได้มีหนังสือถึงบริษัทผู้รับเหมาให้มีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะศึกษาวิจัยประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเตาเผาของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิ (AOT) ซึ่งเครื่องพ่นแอสฟัลต์ที่เป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองมีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก และหลักการทำงานของเครื่องพ่นแอสฟัลต์จะเริ่มต้นจากการดูดยางมะตอยที่เตรียมไว้ เข้าไปในถังบรรจุ จากนั้นจะส่งยางมะตอยเข้าสู่ระบบหมุนเวียนภายในท่อพ่นและถังบรรจุ ใช้ความร้อนจากหัวเผาทำให้ยางมะตอยเกิดความร้อนตลอดเวลา จากนั้นระบบในตัวรถจะส่งยางมะตอยร้อนออกมาผ่านท่อพ่น เพื่อฉีดยางมะตอยออกมาตามปริมาณและอุณหภูมิที่ต้องการ โดยปัญหาที่พบจากเครื่องพ่นแอสฟัลต์นี้ก็คือ ในขณะเครื่องพ่นแอสฟัลต์ทำงานหรือต้มยางมะตอยนั้น จะเกิดควันดำและควันขาวจากการเผาไหม้ในเตาเผาถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก และจากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยได้มีการหยุด และซ่อมบำรุงเครื่องพ่นแอสฟัลต์โดยการถอดรื้อไส้เตาเผาเพื่อตรวจสอบถึงสาเหตุของปัญหาดังกล่าว พบว่า ในไส้เตาเผามีปริมาณเขม่าสะสมเป็นจำนวนมาก และมีน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

หลงเหลือจากการเผาไหม้ไม่หมด โดยผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิจัยประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์มากยิ่งขึ้น [2] เพื่อลดการปล่อยมลพิษจากเตาเผา และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของการเผาไหม้ในเตาเผาให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ซึ่งที่ผ่านมาการวิจัยเรื่องคุณลักษณะการเผาไหม้ รวมถึงมลพิษในไอเสียที่มีค่อนข้างน้อย โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมา มุ่งเน้นไปในเรื่องคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และการทดสอบสมรรถนะ เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่ามีความจำเป็น ที่จะต้องศึกษาตั้งแต่ การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง การปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบ รวมถึงมลพิษในไอเสียจากเตาเผา ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเตาเผายังมีความจำเป็นที่ต้องศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ปรับเปลี่ยนความดันของการฉีดเชื้อเพลิงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.3.2 ศึกษามลพิษที่ปลดปล่อยออกจากเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น มลพิษที่วัดได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) , ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) , ก๊าซออกซิเจน (O_2) และค่าควันดำ

1.3.3 ศึกษาอัตราการปลดปล่อยมลพิษของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.3.4 ศึกษาข้อมูลการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบผลการศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.4.2 ได้ทราบอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

1.4.3 ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยสามารถนำไปวางแผนกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงเตาเผาอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานนี้ได้พิจารณาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้ประกอบการจัดทำ การทำงานของเตาเผา ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และประสิทธิภาพเตาเผา จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ของเตาเผาเพื่อที่จะได้ใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพและการคำนวณหาประสิทธิภาพเตาเผาได้อย่างแท้จริง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีการเผาไหม้ (Combustion theory)

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมี ซึ่งวัตถุที่เผาไหม้ได้จะทำปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นกันกับออกซิเจนพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะเดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซค์ หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบทั้ง 3 อย่าง ได้แก่ สารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากัน คือ

- เชื้อเพลิง
- ออกซิไดเซอร์
- สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น มีแหล่งความร้อน ประกายไฟ หรือ การสร้างสภาวะกดอัดให้มีความดันสูง อุณภูมิสูง เพื่อจุดติดไฟ

2.1.2 เปลวไฟ

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีความสามารถในการแพร่ลามได้ด้วยตัวเองคือ เปลวไฟ (Flames) หากเกิดเหตุการณ์ที่เปลวไฟไม่สามารถแพร่ลามได้อีกต่อไปถือว่าเป็นการดับมอด (Extinction) เกิดขึ้นเปลวไฟหรือคลื่นการเผาไหม้ (Combustion wave) ที่มีความเร็วในการแพร่ลามกว่าความเร็วเสียงเรียกว่า (Deflagration) ขณะที่เปลวไฟหรือคลื่นการเผาไหม้ที่มีความเร็วในการแพร่ลามสูงกว่าความเร็วเสียงเรียกว่า (Detonation)

2.1.2.1 เปลวไฟแบบผสมก่อนและแบบแพร่ผสม

เปลวไฟแบบผสมก่อน (Premixed flames) เป็นเปลวไฟที่มีการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิแดนท์ก่อนทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในขณะที่เปลวไฟแบบแพร่ผสมหรือไม่ผสมก่อน (Diffusion or non-premixed flames) เป็นเปลวไฟที่เกิดจากการแพร่มาสัมผัสและผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิแดนท์ที่มาจากแหล่งที่แยกออกจากกันอย่างชัดเจนแล้วมาทำปฏิกิริยากัน

2.1.2.2 เปลวไฟแบบราบเรียบและปั่นป่วน

เปลวไฟแบบราบเรียบและปั่นป่วน (Laminar and turbulent flames) ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการไหลของสารตั้งต้นสามารถบ่งชี้ได้จากเลขเรย์โนลด์

2.1.3 สมการเคมี

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ทั่วไปของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับอากาศเขียนในรูปสัมประสิทธิ์ดุลสมการเคมีของการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$C_xH_y + (x + (y/4))\,(O_2 + 3.76N_2) \longrightarrow xCO_2 + (y/2)\,H_2O + 3.76(x+ (y/4))\,N_2 \quad (2.1)$$

สำหรับการเผาไหม้จริงที่เกิดขึ้น เราใช้อัตราส่วนที่บอกว่าสัดส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศของไอดีมีค่าเป็นกี่เท่าของสัดส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศที่ให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ดังนี้

- Fuel Equivalent ratio, Φ_{fuel}

$$\Phi = (AF)_{act} / (AF)_{stoich} = (AF)_{stoich} / (AF)_{act} \quad (2.2)$$

โดยที่ :

$$FA = m_f / m_a = \text{อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ} \quad (2.3)$$

$$AF = m_a / m_f = \text{อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง} \quad (2.4)$$

m_a = มวลอากาศ

m_f = มวลเชื้อเพลิง

เมื่อ

$\Phi < 1$ ไอดีจาง (Lean) มีออกซิเจนเหลือในไอเสีย

$\Phi > 1$ ไอดีเข้ม (Rich) มีคาร์บอนมอนนอกไซด์ และเชื้อเพลิงในไอเสีย

$\Phi = 1$ สัดส่วนสมบูรณ์ได้พลังงานสูงสุดจากเชื้อเพลิง

2.1.4 การแบ่งชนิดของหัวพ่นไฟ (Burner)

การแบ่งชนิดของหัวพ่นไฟของลมที่ผสมกับก๊าซเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

2.1.4.1 Premix gas burner ได้แก่ หัวพ่นไฟที่ใช้อากาศผสมกับก๊าซก่อนผ่านไปยังหัวพ่นไฟ

2.1.4.2 Nozzle mix burner ได้แก่ หัวพ่นไฟที่ให้ลมกับก๊าซผ่านหัวพ่นไฟไปผสมกันในเตา จะไม่มีการผสมที่ตัวหัวพ่นไฟ

2.1.4.3 Tempered air burner ได้แก่ หัวพ่นไฟที่ใช้ลมร้อนเข้ามาใช้ผสมกับก๊าซ

แสดงสมการปฏิกิริยาของธาตุองค์ประกอบต่างๆ เมื่อเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวเกิดการเผาไหม้ ตัวอย่างสมการ (2.5) - (2.10) เป็นการปฏิกิริยาในกรณีที่คาร์บอนเผาไหม้สมบูรณ์ คาร์บอน 1 kmol (12kg) จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน 1 kmol (32 kg, 22.4 m^3_N) เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 kmol (44kg, 22.4 m^3_N) หากเชื้อเพลิง 1 kg มีคาร์บอนอยู่ c [kg] แล้ว เนื่องจากคาร์บอนจำนวน c [kg] จะเท่ากับ c/12 [kmol] ดังนั้น การทำให้คาร์บอนนี้เผาไหม้สมบูรณ์จะต้องใช้ O_2 จำนวน (c /12) x22.4 [m^3_N] ผลจากการเผาไหม้สมบูรณ์ จะเกิด CO_2, ขึ้น (c/12) x 22.4 [m^3_N]

1.	C	+ O_2	=	CO_2	(2.5)
	1 kmol	1 kmol		1 kmol	
	12 kg	32 kg		44 kg	
		22.4 m^3_N		22.4 m^3_N	
	c kg	(c/12) × 22.4 m^3_N		(c/12) × 22.4 m^3_N	
2.	C	+ (1/2) O_2	=	CO	(2.6)
	1 kmol	1/2 kmol		1 kmol	
	12 kg	32/2 kg		28 kg	
		22.4/2 m^3_N		22.4 m^3_N	
	c kg	(c/12)/2 × 22.4 m^3_N		(c/12) × 22.4 m^3_N	

3.	H	+	(1/4) O_2	=	(1/2) HO_2 (2.7)
	1 kmol		1/4 kmol		1/2 kmol
	1 kg		22.4/4 m^3_N		22.4/4 m^3_N
	h kg		(h/4) × 22.4 m^3_N		(h/2) × 22.4 m^3_N
4.	S	+	O_2	=	SO_2 (2.8)
	1 kmol		1 kmol		1 kmol
	32 kg		32 kg		32 kg
	s kg		(s/32) × 22.4 m^3_N		(s/32) × 22.4 m^3_N
5.	N	=	(1/2) N_2		(2.9)
	1 kmol		1 kmol		
	14 kg		22.4/2 m^3_N		
	n kg		(n/28) × 22.4 m^3_N		
6.	H_2O	=	H_2O		(2.10)
	1 kmol		1 kmol		
	18 kg		18 kg		
	w kg		(w/18) × 22.4 m^3_N		

2.1.5 ปฏิกิริยาเผาไหม้

มีลักษณะเด่นคือ เป็นปฏิกิริยาอุณหภูมิสูงและความเร็วสูงที่ประกอบด้วยอะตอมและอนุมูลอิสระ รวมทั้งคุณสมบัติของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่อย่างมากกับอิทธิพลทางกลศาสตร์ของก๊าซ กล่าวคือ ปฏิกิริยาเผาไหม้ทั่วไปหากไม่สนใจกระบวนการระหว่างทางผลลัพธ์สุดท้ายแล้วจะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนในสถานะก๊าซ ไม่ว่าเชื้อเพลิงจะเป็นของแข็งหรือของเหลว เมื่อเริ่มเผาไหม้จะเกิดการกลายเป็นไอก่อน หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยาความร้อนในสถานะก๊าซระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงกับสารออกซิเดชั่น

เชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง จะประกอบด้วยอะตอมของ (C, H, O) ฯลฯ ที่ทำพันธะกันในรูปแบบต่างๆ อะตอมเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับออกซิเจนก่อให้เกิดแสงและความร้อน จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น สุดท้ายแล้วเชื้อเพลิงจะกลายเป็น (CO_2 , H_2O) ทั้งนี้แล้ว วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยความร้อน ก็คือ การใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ได้สัดส่วนตามทฤษฎีมีดังต่อไปนี้

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O \qquad (2.11)$$

อย่างไรก็ตาม ด้านซ้ายของสมการนี้จะแสดงเพียงสภาวะก่อนทำปฏิกิริยา และด้านขวาก็แสดงเพียงสภาวะหลังทำปฏิกิริยาเท่านั้น ไม่ได้แสดงให้เห็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างทางแต่อย่างใด ในทางปฏิบัติเนื่องจากเปลวไฟจะมีอุณภูมิสูง ดังนั้น (H_2O) จึงสลายตัว (Dissociation) ทำให้เกิดสารประกอบมีทั้ง (H_2, H_2, OH, H, O) อยู่ด้วย ซึ่งเมื่อหลุดพ้นเปลวไฟออกมาปฏิกิริยาหลักทั้งหมดจะสิ้นสุดลง และได้สมดุลทางเคมีตามสมการ อย่างไรก็ตาม ก่อนจะถึงจุดนั้น ปฏิกิริยาจะดำเนินไป โดยผ่านกระบวนการพื้นฐานจำนวนมาก เช่น

$$OH+H, \longrightarrow H_2O+H \qquad (2.12)$$

$$H+O_2 \longrightarrow OH+O \qquad (2.13)$$

$$O+H_2 \longrightarrow OH+H \qquad (2.14)$$

$$H+O_2 +M \longrightarrow HO_2+M \qquad (2.15)$$

$$H, O, OH \longrightarrow \text{โมเลกุลที่เสถียร} \qquad (2.16)$$

ทั้งนี้ M หมายถึงโมเลกุลใดๆ ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกับ (Chemical species) ระหว่างการทำปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ตัวมันเองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ปฏิกิริยา (2.11) - (2.16) เรียกว่า (Elementary reaction) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ไม่เพียงดำเนินไปในทิศทางตามลูกศร (ปฏิกิริยาไปข้างหน้า) เท่านั้น แต่ยังดำเนินไปในทิศทางย้อนลูกศรด้วย (ปฏิกิริยาย้อนกลับ) ดังนั้น ปฏิกิริยาผาไหม้จึงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ ไม่มีสิ้นสุด และในก๊าซเผาไหม้จะมีสาร (Intermediate) จากปฏิกิริยารวมอยู่ด้วย ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า (Dissociation) หรือ (Thermal dissociation) และเมื่อความเข้มข้นของ (Chemical species) อยู่ในภาวะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเรียกว่าได้สมดุลเคมี

ปรากฏการณ์ (Dissociation) จะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 2000 K อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้ปฏิกิริยาปลดปล่อยความร้อนจากการเผาไหม้ออกมาไม่หมด และทำให้อุณหภูมิก๊าซเผาไหม้ลดต่ำลง

2.1.6 กระบวนการเผาไหม้ในการปฏิบัติ

วิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซ แบ่งออกเป็นการเผาไหม้ด้วย (Burner) และการเผาไหม้ในภาชนะ วิธีแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กำเนิดเปลวไฟที่นิ่งและสม่ำเสมอ วิธีหลังมีวัตถุประสงค์เพื่อเผาไหม้ก๊าซผสมที่อยู่ในภาชนะด้วยการเคลื่อนที่หรือการลามของเปลวไฟ

นอกจากนี้ ถ้าแบ่งวิธีการเผาไหม้โดยใช้เกณฑ์อีกแบบหนึ่ง ยังสามารถแบ่งได้เป็น (Premix combustion, Partial premix combustion) และ (Diffuse combustion) โดย (Premix combustion) จะนำเชื้อเพลิงกับอากาศมาผสมให้เข้ากันก่อนแล้วจึงนำไปเผาไหม้ มีคุณสมบัติเด่นคือเปลวไฟจะลามไปในก๊าซ (Premix) ด้วยตัวเองในขณะที่ (Diffuse combustion) จะใช้กระแสเชื้อเพลิงกับกระแสอากาศ หรือก้อนเชื้อเพลิงกับก้อนอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ตรงที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนสัมผัสกัน วิธีนี้จะทำให้เปลวไฟไม่เคลื่อนที่ส่วน (Partial premix combustion) จะมีลักษณะอยู่ระหว่างทั้งสองวิธีข้างต้นโดยใช้ก๊าซ (Premix) ที่มีความเข้มข้นสูงเกินกว่า (Flammability limit) แทนเชื้อเพลิง

นอกจากนี้ การเผาไหม้ยังแบ่งออกตามการไหลของก๊าซใกล้ๆ เปลวไฟว่าเป็นการไหลราบเรียบหรือปั่นป่วน ออกเป็น การเผาไหม้กระแสราบเรียบ (Laminar flame) และการเผาไหม้กระแสปั่นป่วน (Turbulent flame) ได้อีกด้วย เมื่อการไหลเปลี่ยนจากราบเรียบเป็นปั่นป่วน ลักษณะของเปลวไฟจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยนอกจากจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นแล้ว ในการเผาไหม้แบบ (Premix combustion) ความเร็วของเปลวไฟยังเพิ่มขึ้ม และในการเผาไหม้แบบ (Diffuse combustion) นั้น (Combustion rate) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวของเปลวไฟจะเพิ่มอีกด้วย

2.1.7 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้

เชื้อเพลิง หมายถึง สารที่สามารถเผาไหม้ได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออออกซิเจน และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานอย่างได้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการจะนำสิ่งใดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้นั้น จำเป็นต้องสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมาก สามารถจัดหามาใช้ได้อย่างสะดวก เก็บรักษา ขนส่ง และใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ สารที่เกิดจากการเผาไหม้ (เช่น ไอ

เสีย ขี้เถ้าเป็นต้น) ต้องไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่นทางอากาศ ทางน้ำ ฯลฯ เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสภาพทางกายภาพ เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงเหลว หมายถึง เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของเหลวภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันเกือบทั้งหมดจะเป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียม การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันดิบที่ขุดได้จากบ่อน้ำมัน มากลั่น แยกสลาย (แยกสลายด้วย Catalyst แยกสลายด้วยการทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน เป็นต้น) ทำ (Alkylation) กลั่นลำดับส่วน ฯลฯ เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งานแต่ละเชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากตามโรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะ เพราะสะดวกในการใช้ และให้ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงสูง เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ส่วนใหญ่จะได้จาก ผลิตภัณฑ์การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซินหรือน้ำมันแก๊สโซลีน น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบิน ไอพ่น น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น

การกลั่นส่วนลำดับน้ำมันดิบ ประกอบไปด้วย

1. ก๊าซปิโตเลียมเหลวหรือก๊าซหุงต้ม ใช้ในครัวเรือนหรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
2. แนฟทานำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีหรือทำเม็ดพลาสติก
3. น้ำมันเบนซินใช้เป็นเชื้อเพลิงรถยนต์
4. น้ำมันก๊าซใช้จุดตะเกียงหรือเครื่องทำความร้อน และใช้ในโรงงานบางประเภท
5. น้ำมันเครื่องบินใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องบิน มีทั้งแบบเครื่องบินใบพัดและไอพ่น
6. น้ำมันดีเซลใช้เป็นเชื้อเพลิงรถปิคอัพ หรือเรือ
7. น้ำมันหล่อลื่นใช้เพื่อหล่อลื่นเครื่องยนต์หรือเกียร์
8. น้ำมันเตาใช้กับเตาต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม
9. ยางมะตอยใช้ปูผิวทำถนน

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

เชื้อเพลิง	องค์ประกอบหลัก	ช่วงจุดเดือด (°C)	ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)	วัตถุประสงค์การใช้งานหลัก
น้ำมันเบนซิน	C,H	320-210	46.1	เครื่องยนต์เบนซิน
น้ำมันก๊าด	C,H	160-300	46	เครื่องยนต์ขนาดเล็กสำหรับการเกษตรใช้ในครัวเรือน
น้ำมันเบา	C,H	160-360	41.9	เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก
น้ำมันหนัก	C,H (O,S)	250-360	42.8-46.5	หม้อไอน้ำ เตาอุตสาหกรรม เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลว

ข้อดี

(1) มีค่าความร้อนสูง

(2) ราคาถูกเทียบค่าความร้อนต่อหนึ่งหน่วย

(3) จัดเก็บและขนส่งสะดวก ไม่ค่อยเสื่อมสภาพระหว่างการจัดเก็บ

(4) ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง

(5) มีขี้เถ้าน้อย

(6) เผาไหม้ง่าย ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ง่าย

ข้อเสีย

(1) อุณหภูมิในการเผาไหม้สูง ทำให้เกิดความร้อนในบางจุดที่อาจสูงเกินไปได้ง่าย

(2) น้ำมันหนักจะมีองค์ประกอบของกำมะถันมาก เป็นสาเหตุของมลพิษทางอากาศได้ง่าย

(3) หัวเผาเชื้อเพลิง (Burner) บางชนิดจะทำให้เกิดเสียงดังได้ง่าย

2.1.8 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลว

การทราบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเชื้อเพลิงเหลวเป็นอย่างดีจะช่วยทำให้การนำน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น รถยนต์หรืออุปกรณ์การเผาไหม้ในครัวเรือนต้องการน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ง่ายต่อการแตกตัวเป็นละออง ในขณะที่เตาเผาอุตสาหกรรมขนาดใหญ่สามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดสูงๆได้แต่ต้องใช้ระบบการอุ่นน้ำมันเข้าช่วยเพื่อทำให้การแตกตัวเป็นละอองง่ายขึ้น เป็นต้น

ค่าการระเหย (Volatility) บอกให้ทราบถึงการระเหยของเชื้อเพลิงเหลวว่า ยากหรือง่าย ระบุโดยค่าความดันไอกรณีมีค่าที่สูงเกินไปสามารถดูได้อีกอย่างจากเส้นโค้งการกลั่น ซึ่งได้จากการวัดปริมาณ น้ำมันที่ระเหยและทำให้ควบแน่นเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุโดยสถาบัน ปิโตรเลียม IP (The Institute of Petroleum) หรือ (ASME) เป็นต้น

ความหนืด คือความต้านทานต่อการไหลของน้ำมันมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในการปั๊มน้ำมันให้ไหลไปตามท่อ ขณะเดียวกันก็มีผลต่อการทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นละออง ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลงตาม อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น มาตรฐานการทดสอบวัดค่าความหนืดมีอยู่หลายมาตรฐาน แต่วิธีคิเนแมติก (Kinematic) ซึ่งใช้ วิธีการวัดอัตราการไหลในอุปกรณ์ทดสอบค่าความหนืดมาตรฐานหลอดรูปตัวยู (Standard U-tube Viscometer) ได้รับความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน

ความหนืดที่วัดโดยวิธีนี้เรียกว่า ความหนืดคิเนแมติก ในขณะที่ความหนืด ไดนามิก (Dynamic viscosity) คือ ผลคูณระหว่างความหนืดคิเนแมติก กับค่าความหนาแน่นของน้ำ

จุดน้ำมันเป็นฝ้า คือ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดฝ้าขุ่นมัวในเนื้อน้ำมัน เนื่องจากเริ่มเกิดผลึกขี้ผึ้งหรือ ไขน้ำมันเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิต่ำลง เป็นสาเหตุให้กรองน้ำมันอุดตัน วิธีการทดสอบหาจุดเป็นฝ้าใช้ได้กับน้ำมันที่ใสเท่านั้น

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวและพอที่จะไหลได้ (ประมาณ 3 °C หรือ 5°F) จุดไหลเทจะต่ำกว่าจุดน้ำมันเป็นฝ้ามาก เหตุที่น้ำมันหยุดไหลเพราะเกิดการแยกตัวเป็นไข จุดไหลเทจะบอกได้ว่าเราจะใช้น้ำมันที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดนั้นไม่ได้

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้ไอน้ำมันลุกติดไฟได้แล้วดับทันที เมื่อไอน้ำมันสัมผัสกับเปลวไฟจากแห่งภายนอก เป็นตัวชี้วัดถึงความยากง่ายในการติดไฟของน้ำมัน

จุดติดไฟ คืออุณหภูมิที่สูงกว่าจุดวาบไฟเล็กน้อย ที่เมื่อมีเปลวไฟจากแหล่งภายนอกมาสัมผัสกับไอน้ำมันทำให้เกิดการติดไฟและการเผาไหม้ต่อเนื่อง

จุดติดไฟด้วยตัวเอง คือ อุณหภูมิต่ำสุดของเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการติดไฟและเผาไหม้ขึ้นด้วยตัวเองภายในภาชนะมาตรฐานและบรรยากาศปกติ โดยไม่มีการสปาร์ก ด้วยไฟฟ้าหรือเปลวไฟจากแหล่งภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง

ยางมะตอย จะมีอยู่ในน้ำมันที่เหลือจากการกลั่น (Residual fuel oils) เท่านั้น ยางมะตอยเป็นพวกไฮโดรคาร์บอนประเภทอะโรแมติกส์ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยอะตอม กำมะถัน ไนโตรเจน วานาเดียมและพาราฟินส์บางประเภท ยางมะตอยไม่ได้ละลายอยู่ในน้ำมันแต่จะแขวนลอยอยู่ ปริมาณยางมะตอยคิดจากสัดส่วนที่มีอยู่ในน้ำมันหลังจากที่ถูกแยกออกโดยการเติมสารละลาย

จุดควัน คือ ตัวเลขวัดแนวโน้มการเกิดเขม่ายากหรือง่าย ทำได้โดยการทดลองเผาน้ำมันโดยใช้ตะเกียง แบบไส้ชนิดพิเศษ (Special wick lamp) โดยการค่อยๆเพิ่มความสูงของเปลวไฟ จนเริ่มปรากฏควันดำหรือเขม่าให้เห็น โดยความสูงของเปลวไฟที่สูงสุดโดยไม่เกิดควันเรียกว่าจุดควัน

2.1.9 น้ำมันดีเซล

ชนิดน้ำมันดีเซล สำหรับในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ได้แบ่งชนิดของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด นอกจากนั้นยังมีอีกหลายสถาบันที่ทำงานเกี่ยวข้องกับด้านเชื้อเพลิง หรืองานอุตสาหกรรม โดยได้กำหนดชนิดน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด ได้แก่

1. ASTM (American Society for Testing and Materials)

ก) น้ำมันดีเซล No. 1 – D

ข) น้ำมันดีเซล No. 2 – D

ค) น้ำมันดีเซล No. 4 – D

2. FS (Federal Specification)

ก) DF - A (Arctic)

ข) DF - 1 (Winter)

ค) DF – 2 (Regular)

ง) DF – 4 (Heavy)

3. USBM ได้แบ่งเกรดของน้ำมันดีเซลออกเป็น 4 เกรด คือ

ก) เกรด 1 ใช้กับเครื่องยนต์ประเภทรถโดยสาร

ข) เกรด 2 ใช้สำหรับรถบรรทุก รถแทรกเตอร์ หรือเครื่องยนต์ทั่วไป

ค) เกรด 3 ใช้สำหรับรถไฟที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล

ง) เกรด 4 ใช้สำหรับเรือเดินทะเล หรือสำหรับโรงผลิตกระแสไฟฟ้า

4. น้ำมันดีเซลที่แบ่งตามรอบเครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

ก) น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็วที่ใช้กับยานยนต์ (Automotive diesel oil หรือ Gas oil) เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เรือประมง เรือโดยสาร รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ ประเภทนี้ จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงและมีการระเหยเร็ว มิฉะนั้นเครื่องยนต์จะเดินไม่สะดวก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD; High Speed Diesel Oil) แต่ในตลาด เป็นที่รู้จักกันในชื่อของน้ำมันโซล่า ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า (Marine gas oil)

ข) น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (Industrial diesel oil) เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับส่งกำลัง ติดตั้งอยู่กับที่ตามโรงงานต่าง ๆ ซึ่งมีรอบ การทำงานต่ำประมาณ 500 - 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่า ซีเทนสูงมากนัก และการระเหยอาจช้ากว่าได้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD; Low Speed Diesel Oil) ซึ่งในตลาดเป็นที่รู้จักกันว่า น้ำมันขี้โล้ ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมัก เรียกว่า (Marine diesel oil) เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Distillate fuel) และน้ำมันเตา (Fuel oil, FO หรือ Heavy Fuel Oil, HFO) ในอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์

ลักษณะและคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันดีเซล คุณสมบัติที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงของน้ำมันดีเซล มีดังนี้คือ

ก) การติดไฟ (Ignition quality) คุณสมบัติในการติดไฟของน้ำมันดีเซล จะแสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การป้องกันการน็อก ในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้อาจแสดงออกมาเป็นค่าดัชนีซีแทนหรือค่าจากซีเทนนัมเบอร์ (Cetane number)

ข) ความสะอาด (Cleanliness) มีคุณสมบัติที่สำคัญ น้ำมันดีเซลจะต้องมี ความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น จะต้องมีตะกอน น้ำ กากถ่าน หรือเขม่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้สำหรับน้ำมันดีเซล เนื่องจากระบบเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้ปั๊มและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

ค) การกระจายเป็นฝอย (Fluidity-atomization) คุณสมบัติอันนี้อยู่ที่ความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้การกระจายเป็นฝอยได้ดี ในขณะที่หัวฉีดได้ฉีดน้ำมันในช่วงเริ่มการเผาไหม้ และความหนืดของน้ำมันดีเซลมีผลต่อระบบปั๊มของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย เพราะน้ำมันจะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบปั๊ม (Plunger) ไปในตัวด้วย

ง) การระเหยตัว (Volatility) ความสามารถในการะเหยตัวของน้ำมันจะมี ผลต่อจุดเดือด (Boiling point) จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) ของน้ำมันดีเซลด้วย ช่วงจุดเดือดของน้ำมันดีเซลทั่วไปมีค่าประมาณ 280-725 องศาฟาเรนไฮต์ (138 - 385 องศาเซลเซียส)

จ) อัตราซีเทน (Cetane number) จะแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขหรือที่ เรียกว่า ซีเทนนัมเบอร์ (CN) ซีเทนนัมเบอร์หรือดัชนีซีเทนคือ ค่าที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำมันดีเซลใน ด้านของคุณสมบัติในการติดไฟ ค่าซีเทนนัมเบอร์ควรให้สูงพอกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะ ทำให้การติดเครื่องยนต์ง่าย ไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์ และเป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงด้วย

ฉ) ดัชนีดีเซล (Diesel index; DI) ในการหาค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลโดย วิธีเดินเครื่องยนต์มาตรฐานนั้นทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ในการนี้อาจจะหาค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลโดยวิธีที่ง่ายกว่าแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่มีอยู่แล้ว และค่าที่ได้ก็นับว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความจริง การทดสอบดังกล่าวมี 3 วิธี คือ

1. ดัชนีดีเซล (Diesel index; DI)
2. ค่าคำนวณดัชนีซีเทน (Calculated cetane index; CCI)
3. หาจากโนโมกราฟ (Nomograph)

ดัชนีดีเซลสามารถหาได้จากสมการคือ

AG / DI = 100

เมื่อ A คือ จุดอะนิลีน (Aniline point; °F)

G คือ ความถ่วง API ที่อุณหภูมิ 15 °C (60 °F)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีเทนกับค่าดัชนีดีเซล สามารถเปรียบเทียบได้ดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีเทนกับดัชนีดีเซล [13]

ค่าซีเทน	ดัชนีดีเซล
30	26
35	34
40	42
45	49
50	56
55	64
60	72

ช) จุดอะนิลีน (Aniline point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่สารอะนิลีนและตัวอย่าง น้ำมันที่มีปริมาณเท่ากันรวมตัวกันได้หมด การหาจุดอะนิลีนทำได้โดยเอาอะนิลีนกับตัวอย่างน้ำมัน ดีเซลใส่ในหลอดทดลองแล้วกวนให้เข้ากัน จุดที่แยกตัวนี้คือ จุดอะนิลีน ผลิตภัณฑ์ที่มีจุดอะนิลีนสูง จะมีสารอะโรแมติกและแนพธีนน้อย โดยทั่วไปสารอะโรแมติกจะทำให้ยางพอง พวกพาราฟินจะมี จุดอะนิลีนสูง ส่วนโอลิฟินจะมีจุดอะนิลีนปานกลาง อะนิลีนคือสารอินทรีย์ที่มีสูตรทางเคมี (C6, H5N, H2) มีลักษณะเป็นของเหลว ใส ไม่มีสี คล้ายน้ำมันใส ๆ (ถ้าถูกแสงจะกลายเป็นสีน้ำตาล) เป็นพิษ ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์เคมีต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้ดีเซลในการประมาณหาค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วนั้น ไม่นิยมทำกันต่อไปอีกแล้ว เนื่องจากเกิดความผิดพลาดได้มากกว่า

ซ) ค่าดัชนีซีเทน (Cetane index) จะแสดงคุณภาพในการติดไฟของน้ำมัน ดีเซล หาได้จากค่าความถ่วง API และอุณหภูมิของการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์หรือจุดกลางของการ เดือด (Mid boiling point)

2.1.10 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

2.1.10.1 วิธีการเผาไหม้ประเภทต่างๆ วิธีเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวแบ่งได้เป็นดังต่อไปนี้

(1) Liquid surface combustion

(2) Wick combustion

(3) Evaporating combustion

(4) Spray combustion

(1) Liquid surface combustion เป็นการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟด้วยการแผ่รังสีหรือด้วยการพาความร้อนให้แก่ผิวหน้าของเชื้อเพลิงทำให้เกิดการระเหย แล้วนำไอระเหยที่เกิดขึ้นไปสัมผัสกับอากาศทำให้เกิดการเผาไหม้แบบ (Diffusion combustion) ขึ้นเหนือผิวหน้าของของเหลว แบ่งเป็น (Pot combustion) ซึ่งจะวางภาชนะใส่เชื้อเพลิงไว้ในกระแสอากาศที่ไหลผ่านผิวหน้าเชื้อเพลิง แล้วทำให้เกิด (Boundary layer combustion) ซึ่งจะให้เกิดเปลวไฟลามขนานกับผิวหน้าของเหลว

(2) Wick combustion จะนำเชือกขนาดใหญ่ที่ทำจากฝ้ายหรือใยแก้วหรือผ้าหนาจุ่มลงไปในน้ำมัน เพื่อดูดเชื้อเพลิงขึ้นมาด้วยปรากฏการณ์ (Capillary) แล้วใช้การพาความร้อนหรือการแผ่รังสีจากเปลวไฟถ่ายเทความร้อนให้ระเหยและเผาไหม้

(3) Evaporating combustion จะให้ความร้อนด้วยเปลวไฟแก่เชื้อเพลิงที่ไหลอยู่ในท่อทำให้เชื้อเพลิงเหลวระเหย และเผาไหม้ด้วยวิธีเดียวกับเชื้อเพลิงก๊าซ

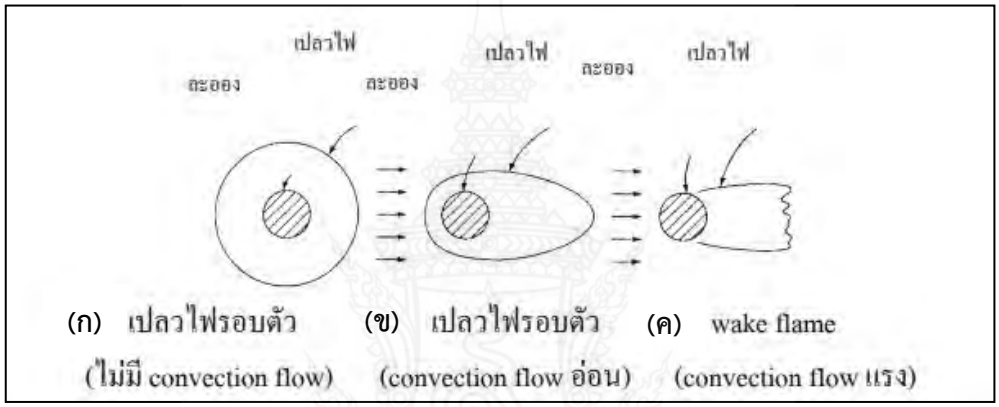
(4) Spray combustion จะใช้หัวฉีดพ่นเชื้อเพลิงเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ ที่มีขนาดไม่กี่ μm ถึงหลายร้อย μm เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระเหยแล้วนำไปเผาไหม้ วิธีนี้นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม ต่อไปนี้จะอธิบายการเผาไหม้ด้วยหัวฉีด

2.1.10.2 การละเหยและการเผาไหม้ด้วยละออง

ละอองที่ถูกพ่นออกไปสัมผัสอย่างกระทันหันกับอากาศในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงและมีคุณสมบัติออกซิเดชั่นนั้น หากบรรยากาศดังกล่าวมีเงื่อนไขเหมาะสม และเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตค่าหนึ่งแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปค่าหนึ่ง ละอองจะติดไฟด้วยตัวเอง การหน่วงเวลาติดไฟนี้แบ่งได้เป็นการหน่วงเวลาทางกายภาพตั้งแต่เริ่มเกิดก๊าซผสมขึ้นรอบๆ ละอองจนถึงสภาวะที่สามารถติดไฟได้ และการหน่วงเวลาทางเคมีตั้งแต่ปฏิกิริยาเริ่มดำเนินไปหลังจากนั้นจนถึงการติดไฟ

เมื่อติดไฟแล้วรอบๆ ละอองจะเกิดเปลวไฟ (Diffusion flame) ขึ้น ลักษณะของเปลวไฟนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างละอองกับอากาศรอบข้าง ดังรูปที่ 2.1 โดยรูปที่ 2.1

(ก) เป็นกรณีที่ไม่มี (Convection flow) เลย ซึ่งบริเวณที่เกิดการเผาไหม้จะเป็นทรงกลมสมมาตร เกิดเปลวไฟรูปทรงกลม รูปที่ 2.1 (ข) เป็นกรณีที่มี (Free convection) หรือ (Forced convection) เล็กน้อย ซึ่งเปลวไฟจะเปลี่ยนรูปเป็นรูปไข่ เปลวไฟในรูปที่ 2.1 (ก) และรูปที่ 2.1 (ข) เรียกว่า (Envelope flame) เมื่อ (Forced convection) เพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง เปลวไฟใกล้ๆ กับจุดหยุดนิ่งจะดับอย่างกระทันหัน เปลี่ยนเป็น (Wake lame) ดังรูปที่ 2.1 (ค) โดย (Envelope flame) ในรูปที่ 2.1 (ก) และรูปที่ 2.1 (ข) เป็น (Counterflow diffusion fame) ที่เกิดขึ้นจากไอระเหยของเชื้อเพลิงจากผิวหน้าของละอองไปหาผิวหน้าของเปลวไฟกับออกซิเจนที่แพร่จากภายนอกมายังผิวหน้าของเปลวไฟ



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของการเผาไหม้ของละอองตามความเร็วสัมพัทธ์กับก๊าซ [12]

2.1.11 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนสูงกับค่าความร้อนต่ำปริมาณความร้อนที่ได้ออกมาเมื่อเชื้อเพลิงปริมาณหนึ่งหน่วยที่อยู่ภายใต้สภาวะคงที่ค่าหนึ่ง (เช่น 101.3 kPa (1 บรรยากาศ) 25 °C) เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ (กล่าวคือ ธาตุที่เผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิง (C, H, S) ทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบเคมีสุดท้ายที่เสถียร (CO, H_2O ,SO_2) จนถึงเมื่อสารผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นความร้อนกลับไปอยู่สภาวะเริ่มแรก เรียกว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ดังนั้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จึงหมายถึงปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้งานได้สูงสุดจากการเผาไหม้นั้น องค์ประกอบของก๊าซเผาไหม้ทุกชนิดจะมีสถานะเป็นก๊าซ ยกเว้น (H_2O) สำหรับ (H_2O) นั้น สถานะสุดท้ายอาจเป็นก๊าซ (ไอน้ำ) หรือของเหลว (น้ำ) ก็ได้ กรณีที่สุดท้าแล้ว (H_2O) กลายเป็นน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะควบแน่นเมื่ออุณหภูมิลดลำลง และปลดปล่อยความร้อนแฝงของการควบแน่นออกมา แต่ถ้า (H_2O) มีสถานะสุดท้ายเป็นก๊าซแล้ว เนื่องจากจะไม่เกิดความร้อนแฝงของการ

ควบแน่น ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจึงน้อยลงเท่ากับความร้อนแฝงนั้น ค่าความร้อนในกรณีแรกที่ (H_2O) มีสถานะสุดท้ายเป็นของเหลว เรียกว่า ค่าความร้อนสูง (H_h) และกรณีที่เป็นก๊าซเรียกว่า ค่าความร้อนต่ำ

ในอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยความร้อนจากการเผาไหม้จะใช้ประสิทธิภาพความร้อนเป็นตัวชี้วัดสมรรถนะว่าอุปกรณ์นั้นสามารถนำพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิผลเพียงใด ในกรณีนี้ แม้ว่าปริมาณพลังงานความร้อนที่นำมาใช้งานจะเท่ากัน แต่สำหรับค่าพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง การเลือกใช้ค่าความร้อนสูง หรือ ค่าความร้อนต่ำ จะทำให้คำนวณประสิทธิภาพความร้อนได้ไม่เท่ากัน ในอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยความร้อนในอุตสาหกรรม หากลดอุณหภูมิของก๊าซเผาไหม้ลงมา ต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ น้ำที่ควบแน่นอาจทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนผุกร่อนได้ ดังนั้น โดยทั่วไป เราจะไม่นำความร้อนแฝงของการควบแน่นของไอน้ำในก๊าซเผาไหม้มาใช้งาน ด้วยเหตุดังกล่าว เมื่อจะให้คำจำกัดความประสิทธิภาพความร้อน ส่วนมากแล้วมักจะใช้ค่าความร้อนต่ำเป็นค่าความร้อมของเชื้อเพลิง

2.1.12 การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

องค์ประกอบหลักในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ ได้แก่ (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O) อย่างไรก็ตาม ประเภทของเชื้อเพลิงและสภาพการเผาไหม้บางอย่างจะทำให้เกิด (CO, SO_2, NO, NO_2, HCL) และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ปริมาณเล็กน้อยได้ นอกจากนี้ บางครั้งยังมีอนุภาคของแข็งอีกด้วย เช่น เขม่า เป็นต้น การวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีความสำคัญในการหาปริมาณอัตราส่วนอากาศ การตรวจสอบปริมาณก๊าซเผาไหม้ การประมาณความสูญเสียในก๊าซไอเสียในสมดุลความร้อน การปรับปรุงสภาวะการเผาไหม้ เป็นต้น เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี และเครื่องวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ ซึ่งยังแบ่งออกเป็นประเภทย่อยได้อีก ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภทของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

	วิธีวิเคราะห์	ชื่อเครื่องวิเคราะห์	องค์ประกอบที่วัด
เครื่องวิเคราะห์ก๊าซทางเคมี	การดูดกลืนของสารละลาย	Hempel gas analyzer	CO_2 ,O_2 ,CO ,N_2
		Orsat gas analyzer	CO_2 ,O_2 ,CO ,N_2
เครื่องวิเคราะห์	วิธีสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	เครื่องวัด CO_2 แบบไฟฟ้า	CO_2
ก๊าซทางฟิสิกส์	วิธีความถ่วงจำเพาะ	เครื่องวัด CO_2 แบบความถ่วงจำเพาะ	CO_2
	วิธีการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบรังสีอัลตราไวโอเล็ต	CO_2 ,SO_2 ,CO ,NO, CH_4
	วิธีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบรังสีอินฟราเรด	NO, NO_2, SO_2
	วิธีการเปล่งแสงทางเคมี	เครื่องวิเคราะห์แบบการเปล่งแสงทางเคมี	NO, NO_2
	วิธีการนำไฟฟ้า	เครื่องบันทึก SO_2 อัตโนมัติ	SO_2
	วิธีไฟฟ้าเคมี	เครื่องวิเคราะห์ SO_2 แบบเซอร์โคเนีย	O_2
		เครื่องวิเคราะห์ O_2 แบบแบตเตอรี่กัลวานี	O_2
	วิธีแม่เหล็ก	เครื่องวัด O_2 แบบแม่เหล็ก	CO_2, N_2, H_2, O_2, CO
	วิธีก๊าซโครมาโตราฟฟี่	ก๊าซโครมาโตกราฟฟี่	CH_4, SO_2, NO_2

วิธีวิเคราะห์ทางฟิสิกส์หมายถึง วิธีวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของ (Chemical species) ที่อยู่ในก๊าซ ด้วยการวัดคุณสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางเคมีฟิสิกส์ตัวอย่าง เช่น การดูดกลืนและการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสงที่มองเห็นได้ รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีอินฟราเรด) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น ความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น

วิธีการวิเคราะห์ก๊าซเกือบทั้งหมดจะจัดเป็นวิธีวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ทั้งสิ้น วิธีวิเคราะห์ทางเคมีหมายถึง (Hempel gas analyzer) และการวิเคราะห์ปริมาตรด้วยการไตเตรตต่างๆ เท่านั้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีทั้งแบบที่สามารถวัดความเข้มข้นได้อย่างต่อเนื่องและแบบที่ต้องเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นครั้งๆ ไป

วิธีเก็บตัวอย่างก๊าซไอเสีย (JIS K0065)

ในการเก็บตัวอย่างก๊าซจากท่อไอเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ ให้อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS และต้องคำนึงถึงปัญหาเฉพาะตัวขององค์ประกอบเป้าหมายด้วย

1. การเลือกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง

ให้เลือกตำแหน่งท่อไอเสียที่สอดดคล้องกับมาตรฐาน (JIS) โดยหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีอากาศรั่วเข้ามาในท่อไอเสีย หรือตำแหน่งที่ฝุ่นละอองสะสมหรือร่วงหล่นในท่อ ไอเสีย ติดตั้งปากทางวัด โดยกำหนดตำแหน่งที่วัดหลายๆแห่งให้สอดคล้องกับขนาดและรูปร่างของท่อไอเสีย

พิจารณาได้ว่าผลการวิเคราะห์ของแต่ละตำแหน่งจะแตกต่างกันน้อย และความหนาแน่นของก๊าซจะคงที่สม่ำเสมอตลอดระนาบหน้าตัดของตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง เช่น ในท่อไอเสียของหม้อไอน้ำจะเก็บตัวอย่างจากจุดใดๆ เพียง 1 จุดก็ได้

2. โครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยทั่วไปจะประกอบด้วยหลอดเก็บตัวอย่าง หลอดนำก๊าซ เครื่องทำความเย็น-กำจัดความชื้น หลอดแยกก๊าซ-ของเหลว กับดักน้ำควบแน่น ฯลฯ วัสดุที่ใช้ทำหลอดเก็บตัวอย่างและหลอดนำก๊าซ จะต้องเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี การดูดเกาะ ฯลฯ และต้องทนทานต่อการกัดกร่อน และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากความชื้นหรือก๊าซที่มี (Dew point) สูงในก๊าซไอเสียเกิดการควบแน่น ให้ทำการหุ้มฉนวนรักษาความร้อนหรือให้ความร้อนแก่หลอดเก็บตัวอย่างตามความเหมาะสม

เพื่อป้องกันฝุ่นละอองต่างๆ ปะปนเข้าไปในก๊าซตัวอย่าง ให้ใส่สารกรองไว้ในหลอดเก็บตัวอย่างตามความเหมาะสม และใช้สารกรองละเอียดหลังจากผ่านหลอดแยกก๊าซ-ของเหลวมาแล้ว และเพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนในการชี้บอกค่าเนื่องจากน้ำที่ควบแน่นไปเกาะติดท่อต่างๆ ในเครื่องวิเคราะห์และเนื่องจากความเสียหายจากความชื้น ให้ใช้เครื่องทำความเย็น-กำจัดความชื้น หลอดแยกก๊าซ-ของเหลว หรือกับดักน้ำควบแน่น ฯลฯ ในการทำความเย็นให้ความชื้นควบแน่นเป็นน้ำและกำจัดความชื้นออกไป หรือใช้สารดูดความชื้นต่างๆ

2.1.13 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ผลของการผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากปิโตรเลียม เช่น แก๊สธรรมชาติ แก๊สหุงต้ม น้ำมันเบนซิน ดีเซล พลาสติก โฟม และอื่นๆ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการปิโตรเลียม มีประโยชน์และมีบทบาทในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ต่อการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหล่านี้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ได้ ผลกระทบส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นก็คือการเกิดมลภาวะทางอากาศซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ เนื่องจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้สารต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำมันระเหยออกมาได้ และหากเครื่องยนต์มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ก็จะก่อให้เกิดเขม่าควัน และแก๊สที่เป็นอันตราย ดังนี้

ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxides, NO_x)

ไนโตรเจนออกไซค์ เป็นมลพิษหลักของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นมลพิษควบคุม โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide, NO) ประมาณร้อยละ 70 ถึง 80 และไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide NO_2) ประมาณร้อยละ 20 เป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อทางเดินระบบหายใจ อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศทำให้เกิดเป็นโอโซน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดหมอกควัน ทั้งนี้ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ประมาณ 50-1000 ppm และถ้ากำหนดปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ในหน่วยมวลตามปกติจะอยู่ในรูปอัตราส่วน (NO_2)

ไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงจากไนโตรเจนและออกซิเจนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง

$$N_2 + O_2 = 2NO - 182.4\ kJ/\ mol \qquad (2.17)$$

ค่าความร้อนที่มีผลเป็นลบแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาแบบดูดกลืนความร้อนของไนตริกออกไซด์เกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.17 ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ทั้งนี้ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำการสมดุลเคมีแตกออกได้ดังด้านซ้ายมือของสมการที่ 2.18

ทั้งนี้ ไนโตรเจนออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศส่วนใหญ่ โดยไนตริกออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายปฏิกิริยาในระหว่างการเผาไหม้หรือสิ้นสุดการเผาไหม้ทันที ตัวอย่างเช่น

$$O + N \longrightarrow NO + N \qquad (2.18)$$

$$N + O \longrightarrow NO + O \qquad (2.19)$$

$$N + OH \longrightarrow NO + H \qquad (2.20)$$

ไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

$$NO + H_2O \longrightarrow NO_2 + H_2 \qquad (2.21)$$

$$NO + O_2 \longrightarrow NO_2 + O \qquad (2.22)$$

กลไลที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์จากการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลไก ดังนี้

1. การเกิด (Prompt NO_x) เกิดจากโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนเมื่อมีการเผาไหม้ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ที่ส่วนผสมเชื้อเพลิงที่หนา

2. การเกิด (Fuel NO_x) เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของในโตรเจน เช่น แอมโมเนีย (NHH_3) เป็นต้น แต่ในการเกิดไนโตรเจนออกไซค์จากเชื้อเพลิงจะมีปริมาณที่น้อยมาก

3. การเกิด (Thermal NO_x) เกิดจากไนโตรเจนในอากาศเมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิสูงอย่างห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ บางส่วนของไนโตรเจนอะตอมคู่ (N_2) จะแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายกว่า ดังนั้น เมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้มีการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ที่สูงขึ้น

กลไกการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ตามที่กล่าวมาข้างต้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดไนโตรเจนออกไซค์ เช่น ความดัน อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เป็นต้น นอกจากนี้ การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ภายในห้องเผาไหม้จะเกิดขึ้นไม่เท่ากันด้วย

ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons, HC)

ไฮโดรคาร์บอน (HC) พบในสถานะก๊าซในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ ที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันหล่อลื่น โดยเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนมีคุณลักษณะที่เป็นคาร์บอนชนิดโซ่สั้น ในทางตรงกันข้ามไฮโครคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นประกอบไปด้วยโลหะหนัก ซึ่งทั่วไปแล้วไฮโดรคาร์บอนจะมีสูตร โครงสร้างทางเคมีเป็น (C_nF_m) โดย (n) คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอน และ (m) คือ จำนวนอะตอมของไฮโดรเจน

มาตรฐานมลพิษไอเสียในเครื่องยนต์ ไฮโดรคาร์บอนโดยปกติแล้วเกิดขึ้นจากสารประกอบของเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้หรือมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่แตกตัวจากโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ถูกเผาไหม้แต่เผาไหม้ไม่หมด ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมและรูปร่างที่แตกต่างกัน สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ประมาณ 20 ถึง 300 ppm สาเหตุการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนมาจากหลายแหล่งดังนี้

1. ภายในห้องเผาไหม้ที่มีซอกหรือช่องแคบๆ ที่เชื้อเพลิงหรือไอดีสามารถเข้าไปอยู่ตามซอกต่างๆ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะการอัด ความดันในกระบอกสูบจะดันให้เชื้อเพลิงเข้าไปติดตามซอกหรือช่องต่างๆ เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงในส่วนนี้จะไม่เกิดการเผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2. บริเวณผนังกระบอกสูบเมื่อเปลวไฟลามไปถึงผนังกระบอกสูบ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากอยู่ใกล้ระบบระบายความร้อนจึงส่งผลให้เปลวไฟดับ ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้

3. ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากสารหล่อลื่นสามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ เป็นผลให้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนนั้นไม่สามารถเผาไหม้ได้ ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจะส่งกลิ่นและทำให้อวัยวะต่างๆ ในร่างกายเกิดการะคายเคือง อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศเกิดเป็นหมอกควัน

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงเป็นแก๊สน้ำหนักเบากว่าอากาศ ทำให้สามารถลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน

คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซพิษ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้เมื่อมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งส่งผลให้คาร์บอนไม่สามารถทำปฏิกิริยาให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกเผาไหม้และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ สำหรับในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงบาง (Lean combustion) มักจะไม่พบการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซค์จากการเผาไหม้ที่มากนัก เนื่องจากมีออกซิเจนเพียงพอต่อการเผาไหม้ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ประมาณ 10 ถึง 500 ppm ซึ่งการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ส่วนใหญ่มักเกิดกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

สารตะกั่ว (Pb)

เกิดจากสารบางชนิดที่เติมลงไปในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับน้ำมัน เมื่อถูกเผาไหม้จึงระเหยปนมากับสารอื่นๆ สารตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลเสียต่อสมอง ไต ระบบประสาท โลหิต และระบบสืบพันธุ์ ในปัจจุบันจึงมีการห้ามไม่ให้ผสมสารที่มีตะกั่วเจือปนลงในน้ำมัน

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

เกิดจากการเผาไหม้ของสารที่มีซัลเฟอร์ผสมอยู่ มีผลกระทบต่อระบบหายใจ เมื่อรวมตัวกับละอองน้ำในอากาศ จะเกิดเป็นฝนกรด ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และทำให้เกิดความเสียหายแก่

สิ่งก่อสร้างต่างๆได้ สำหรับผลต่อร่างกายแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำลายเนื้อเยื่อในจมูก ตา และปอด นอกจากนี้ยังทำลายคลอฟิลล์ในพืชด้วย

เขม่าควันดำ (Smoke)

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการปล่อยเขม่าหรือฝุ่นละออง ซึ่งก็คือละอองของคาร์บอนที่อยู่ในสถานะของแข็ง เขม่าที่ออกมาจากท่อไอเสียสามารถเห็นได้ในรูปควันที่มีสีดำและจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เขม่าจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีเชื้อเพลิงผสมหนา (Rich combustion) ขณะเผาไหม้เนื่องจากเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบของคาร์บอน ละอองคาร์บอนนี้จะมีความเข้มข้นสูงเมื่อเครื่องยนต์มีภาระการทำงานที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากเครื่องยนต์มีการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มากขึ้น

ละอองของคาร์บอนเหล่านี้เมื่อรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนคาร์บอนและมีสถานะเป็นของแข็งมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 80 นาโนเมตร แต่ส่วนใหญ่เขม่าในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีขนาด 15 ถึง 30 นาโนเมตร ก้อนคาร์บอนเหล่านี้จะดูดซับไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบอื่นๆ ไว้ที่ผิวได้

2.1.14 เครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue gas analyzer)

เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาที่ปล่องมีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาในรูปแบบของตัวเลข ทำให้ไม่ต้องใช้การคาดคะเน และนอกจากจะบอกว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้แล้ว ยังบอกค่าอื่นๆได้เช่น (CO CO_2 NO_x) และ (O_2) เป็นต้น

โดยเครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีให้เลือกหลายรุ่น ซึ่งมีความสามารถแตกต่างกันไป เช่น วัดค่าได้มากขึ้น สามารถเก็บและบันทึกข้อมูลได้ เป็นต้น อีกทั้ง ยังสามารถใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์ไร้สาย ทำให้สามารถพิมพ์ผลได้ทันที ใช้ตรวจวัดก๊าซไอเสียจากปล่องระบาย และวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้เพื่อปรับการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและประหยัดเชื้อเพลิง ทั้งไอเสียที่เกิดจากหม้อไอน้ำหรือบอยเลอร์ (Boiler) และเตาเผา/เตาอบ

2.1.15 เครื่องวัดควันดำระบบกรองกระดาษ (Filter smoke meter)

เครื่องมือตรวจวัดควันดำโดยการเก็บตัวอย่างควันดำลงบนกระดาษกรอง และวัดค่าของแสงสะท้อนจากกระดาษกรองซึ่งตรวจวัดค่าเป็นหน่วยร้อยละโดยมีหลักการวิธีอ่านค่าดังต่อไปนี้

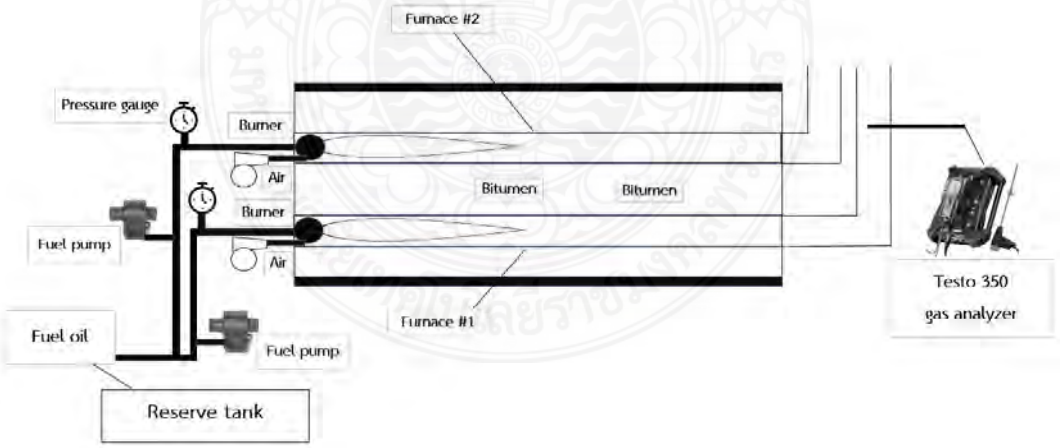
- ทำความสะอาดเครื่องวัด หัววัด (Probe) ก่อนทำการทดสอบ
- ปรับระดับความดันเชื้อเพลิงฉีดพ่นเข้าไปในเตาเผา
- กดลูกสูบกระบอกเก็บตัวอย่าง พร้อมกับใส่กระดาษเก็บตัวอย่างผลการทดสอบ
- สอดหัววัดเข้าไปในท่อไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยให้ปลายของหัววัดอยู่ระหว่างกึ่งกลางจากผนังท่อไอเสีย
- กดเพื่อปล่อยกระบอกสูบยืดออก ดูดควันจากปล่องไอเสียผ่านกระดาษกรอง
- นำกระดาษกรองออกจากกระบอกเก็บตัวอย่าง และนำเปรียบเทียบกับเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์เขม่าควันดำ

2.1.16 เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ที่ใช้ในการวิจัย และทดสอบในครั้งนี้เป็นเตาเผาที่ใช้ความร้อนส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ ก็คือ น้ำยางมะตอย โดยเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

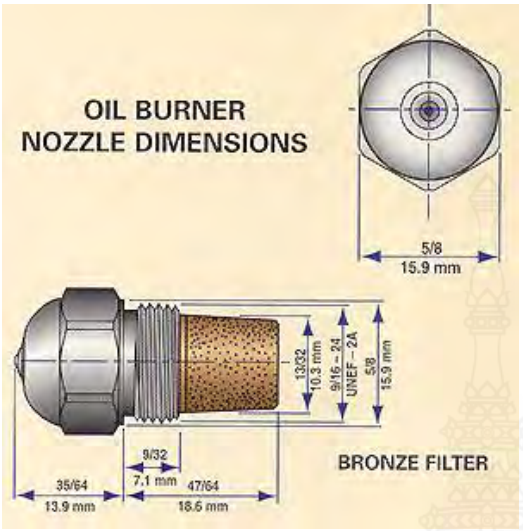
- ส่วนประกอบเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

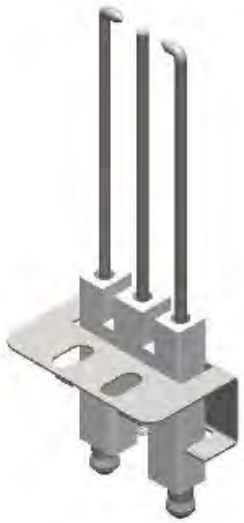
- โครงสร้างเผาเตาเป็นลักษณะท่อเหล็กกลม ติดตั้งอยู่ภายในถังบรรจุน้ำยาง



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างเตาเผา

- หัวเผา และ เขี้ยวสปาร์ค





รูปที่ 2.3 ชุดหัวเผา และ เขี้ยวสปาร์ค

- พัดลมอัดอากาศ



รูปที่ 2.4 ชุดพัดลมอัดอากาศ

- ชุดควบคุมปรับความดันน้ำมันเชื้อเพลิง และเกจวัดความดัน



รูปที่ 2.5 ชุดควบคุมความดันเชื้อเพลิง

- ถังน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.6 ถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง

- ท่อไอเสียเตาเผา



รูปที่ 2.7 ชุดท่อไอเสียเตาเผา

- เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ประเภทเตาเผาติดตั้งกับรถบรรทุก 6 ล้อ เป็นเตาเผาลักษณะเคลื่อนที่ได้ โดยที่เตาเผาจะถูกติดตั้งอยู่กับถังบรรจุน้ำยางมะตอย



รูปที่ 2.8 เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

- การทำงานของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

- สตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเตาเผา



รูปที่ 2.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- กดปุ่มสวิตช์การทำงานของเตาเผา



รูปที่ 2.10 ชุดควบคุมการทำงานเตาเผา

- ชุดวาล์วควบคุมปรับเปลี่ยนระดับความดันน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อฉีดพ่นเข้าไปในเตาเผา



รูปที่ 2.11 ชุดควบคุมปรับระดับความดันเชื้อเพลิง

- เมื่อความร้อนจากการเผาไหม้ในเตาเผา ส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์หรือน้ำยางมะตอย และมีอุณภูมิเท่ากับ 70-80 ℃ ตามข้อกำหนดการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง การนำไปใช้งานโดยการฉีดพ่นลงพื้นทาง เพื่องานก่อสร้างถนน



รูปที่ 2.12 ลักษณะการนำไปใช้งานของเครื่องพ่นแอสฟัลต์

2.1.17 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency)

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ หมายถึง ประสิทธิภาพของการเผาไหม้กระบวนการในการแปลงเชื้อเพลิงเป็นพลังงานความร้อน และถูกวัดโดยปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ ในขณะเดียวกันก็ลดการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายให้น้อยที่สุด

ในการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือ (Flue gas analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาที่ปล่อง มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาเป็นตัวเลข และนอกจากบอกค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยังบอกค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ปริมาณเปอร์เซ็นต์ (O_2 , CO, CO_2 และ NO_x) ซึ่งก๊าซมลพิษต่างๆ ที่ได้จากเครื่องมือวัด ยังสามารถนำไปคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียจากเตาเผา หรือ การหาประสิทธิภาพเตาเผา โดยที่ประสิทธิภาพของเตาเผาสามารถกำหนดได้ทั้งวิธีทางตรงและวิธีทางอ้อม ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบวิธีทางตรง ประสิทธิภาพของเตาเผาสามารถคำนวณได้จากการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ผลิตจากเตาเผา

การหาประสิทธิภาพเตาเผา โดยวิธีทางตรงสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

Furnace efficiency = (พลังงานที่ชิ้นงานได้รับ/พลังงานป้อนจากเชื้อเพลิง) × 100 (2.23)

2. การทดสอบวิธีทางอ้อม โดยการหาการสูญเสียความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย

2.1 การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย
(Sensible heat loss)

$$\% \text{ Loss} = m \times C_p \times \Delta T \quad (2.24)$$

m = มวลของอากาศ
C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสีย
ΔT = ความต่างอุณภูมิภายในและภายนอกเตาเผา

2.2 การสูญเสียความร้อนจากความชื้นของน้ำมันเชื้อเพลิง

(Loss Due to Evaporation of Moisture Present in Fuel)

$$\% \text{ Loss} = M \{584 + 0.45 (T_{fg}-T_{amb})\} / \text{GCV of Fuel} \quad (2.25)$$

M = มวลความชื้นน้ำมันเชื้อเพลิง 1 kg

T_{fg} = อุณภูมิของก๊าซไอเสีย

T_{amb} = อุณภูมิภายนอกเตาเผา

GCV_{fuel} = ค่าความร้อนสุทธิ

2.3 การสูญเสียความร้อนจากไนโตรเจนของเชื้อเพลิง

(Loss Due to Evaporation of Water Formed due to Hydrogen in Fuel)

$$\% \text{ Loss} = \{9 \times H_2 \{584 + 0.45 (T_{fg}-T_{amb})\} / \text{GCV of Fuel}\} \times 100 \quad (2.26)$$

2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัยครั้งนี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Nidal H และคณะ (2020) [3] ศึกษาผลกระทบของแรงดันฉีดต่อประสิทธิภาพความร้อนและลักษณะการปล่อยมลพิษของเตาเผาน้ำมันที่ใช้เชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซล-น้ำมันปาล์ม B20 งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของแรงดันในการฉีดเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม B20 ต่อประสิทธิภาพความร้อนและลักษณะการปล่อยมลพิษของเตาเผาน้ำมัน เชื้อเพลิงถูกฉีดพ่นด้วยหัวฉีดทรงกรวยกลวง 60 องศา ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ อุณภูมิแกนของเปลวไฟ การแผ่รังสีทั้งหมดและความส่องสว่างของเปลวไฟ และความเข้มข้นของการปล่อยมลพิษ (CO_2 , CO และ NO_x) ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าการเพิ่มแรงดันในการฉีดทำให้เปลวไฟมีลักษณะเป็นรูปกรวยซึ่งมีความกว้างเพิ่มขึ้นและความยาวลดลง ส่งผลทำให้ความยาวทะลุของเปลวไฟลดลงและทำให้เปลวไฟมีปริมาตรมากขึ้นพร้อมโซนปฏิกิริยาเปลวไฟที่ใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มแรงดันในการฉีดยังช่วยลดขนาดหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสม ซึ่งทำให้ทั้งอุณภูมิและการแผ่รังสีทั้งหมดของเปลวไฟเพิ่มขึ้น และลดการปล่อยอนุภาค (CO) และเขม่า สุดท้าย แม้ว่าความเข้มข้นของการปล่อย (NO_x) จะเพิ่มขึ้นจากความดันของการฉีด แต่ก็ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานแม้จะอยู่ที่ความดันการฉีดสูงก็ตาม

Yelin Li และคณะ (2010) [4] การศึกษานี้ ได้มีการตรวจสอบและกำหนดเงื่อนไขในการทำงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพในเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่บรรยากาศที่มีออกซิเจนต่างกัน มีการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อตรวจสอบผลกระทบของอัตราส่วนของการดีดตัวและความดันต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนการดีดตัวจะเปลี่ยนการกระจายเปลวไฟในเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงอย่างมาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มอัตราส่วนการดีดตัวจะลดอุณภูมิเฉลี่ยและอุณภูมิสูงสุดของเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ความดันที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการกระจายเปลวไฟในเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง และขัดขวางการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนในเครื่องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกโดยรวมลดลงที่ความดันสูงกว่า 6.5 MPa ในบรรยากาศที่อากาศ/คาร์บอนมอนอกไซด์ อัตราส่วนการฉีดที่เพิ่มขึ้นและจะลดอุณภูมิเฉลี่ยและอุณภูมิสูงสุดในเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง อย่างไรก็ตาม การกระจายเปลวไฟโดยรวมจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นและลดลงเนื่องจากปัจจัยตรงข้าม 2 ประการ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนที่เพิ่มขึ้นและความแตกต่างของอุณภูมิที่ลดลง การเพิ่มแรงดันจะยับยั้งการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนแบบบังคับในเครื่องเผา

ไหม้ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกลดลงจาก 78% เป็น 56% เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 0.2 MPa เป็น 0.5 MPa

S. Baghdar Hosseini และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับลักษณะการปล่อยของระบบหัวเผาของเหลวที่ใช้ไบโอดีเซลและน้ำมันก๊าซหลายเปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างก๊าซไอเสียจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Testo 350) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยมลพิษบางชนิด เช่น (CO_2, CO) และอนุภาคได้ ในขณะที่ การปล่อย (NO_x) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันก๊าซ ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าการใช้ไอโอดีเซลในกระบวนการอุตหกรรมอาจมีประโยชน์

S.H. Pourhoseini and Rasoul Asadi [6] ได้ศึกษาวิจัยของมุมของใบพัดหมุนวนอากาศส่งผลต่อลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว เช่น อุณภูมิเปลวไฟ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสี ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และการปล่อยมลพิษ โดยงานวิจัยนี้จะค้นหาว่ามุมใบพัดใดเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากลักษณะการเผาไหม้ ใบพัดสามใบมีมุม 0 องศา 40 องศา และ 80 องศา ซึ่งทำให้เกิดความเข้มของการหมุนวนต่ำและสูงในกระแสอากาศ ถูกตรวจสอบและลักษณะการเผาไหม้ของเปลวไฟก็ถูกวัดปริมาณ อุณภูมิเปลวไฟถูกวัดโดยเทอร์โมคัปเปิล และใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Testo 350 XL) เพื่อกำหนดความเข้มข้นของมลพิษ (CO) และ (NO) นอกจากนี้ ยังใช้วิธีแรงโน้มถ่วงเพื่อวัดความเข้มข้นของเขม่าเตาเผา และเซ็นเซอร์ฟลักซ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามุมของใบพัดหมุนส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณภูมิ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และการปล่อยมลพิษ (CO) และ NO ที่สำคัญที่สุดคือ ใบพัดหมุนมีมุมที่เหมาะสมที่สุด เมื่อมุมเหมาะสม พื้นที่สัมผัสและเวลาที่เหมาะสมที่สุดจะช่วยเพิ่มอัตราการผสมของอากาศที่เข้ามาและพ่นเชื้อเพลิงได้สูงสุด

ศิริพงษ์ แก้วศรีหมอก และมาลี สันติคุณาภรณ์ (2563) [7] ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยการปรับเปลี่ยนลักษณะการกระจายตัว จำนวน และขนาดของช่องเปิดอากาศ ช่องฉีดเชื้อเพลิง ได้ทดสอบหัวเผา 3 แบบ ภายในเตาเผาขนาด 1 ลูกบาศเมตร์ โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 1:10 โดยที่หัวเผาแบบที่1 และ2 เป็นหัวเผาที่มีการไหลของเชื้อเพลิงกับอากาศทำมุม 90° และหัวเผาแบบที่ 3 มีลักษณะการไหลของเชื้อเพลิงกับอากาศทำมุม 45° สรุปผลการวิจัย พบว่าพลังงานสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียค่อนข้างสูง (ปริมาณร้อยละ 59) มาตราการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา คือการปรับเปลี่ยนการกระจายตัว และลักษณะการเรียงตัวของช่องฉีดอากาศ เพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงมากที่สุด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานใน

เตาเผาได้ และมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ เช่น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

เบ็ญจวรรณ วนวิชาเขนทร์ [8] พัฒนาเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดจากเดิมซึ่งเป็นเตาเผาขนาดเล็กให้เป็นเตาเผาแรงดัน มีอุปกรณ์ต่าง ๆ ครบถ้วน ใกล้เคียงกับเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ในระบบขนาดใหญ่ ทำการทดลองเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาสภาวะการทำงาน ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และการถ่ายเทความร้อนในเตาฟลูอิดไดซ์เบด พบว่า อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ 6:1-6.9:1 (โดยน้ำหนัก) คิดเป็นปริมาณอากาศส่วนเกิน 10-30 % ในช่วงอุณหภูมิ 870-920 องศาเซลเซียส ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ 93-96 % และอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง 7.1-8.6:1 (โดยน้ำหนัก) หรือปริมาณอากาศส่วนเกิน 30-56 % ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่า 85-89 % โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 66-82 % ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้ง 2 กรณีมีค่าเฉลี่ย 250 และ 51-68 วัตต์ต่อตารางเมตร/เคลวิน ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการปรับปรุงโปรแกรมการคำนวณออกแบบเตาฟลูอิดไคซ์เบดจากเดิมซึ่งเขียนเป็นภาษา (Gwbasic) ไปเป็นภาษา (Quick Basic) เพื่อการแก้ไขหรือปรับปรุงเพิ่มเติม

Mohammad Darwish and et.al, (2021) [9] และคณะได้ศึกษาเชื้อเพลิงหมุนเวียนในผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวสำหรับอุตสาหกรรม การเผาไหม้ของส่วนผสมเชื้อเพลิงดีเซล บิวทานอล B20-B50 ถูกตรวจสอบในหัวเผาแบบควบคุมอุณภูมิผสม ซึ่งเป็นต้นแบบใหม่ของหัวเผาแบบหมุนวนแบบปั่นป่วนสำหรับการปล่อยมลพิษต่ำพิเศษ เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของการผสมบิวทานอลสำหรับการใช้งานที่มั่นคง การเผาไหม้ที่มีเสถียรของเชื้อเพลิงผสมถูกจำกัดไว้ที่อัตราส่วนเทียบเท่า 0.76 ในหัวเผา ซึ่งเป็นข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลในระบบทดสอบนี้ เปลวไฟแบบกระจายมีความส่องสว่างต่ำ และปล่อย (CO,NO_X) เลขหลักเดียวในหน่วย (ppm) ที่ระดับ 15% (O_2) ซึ่งผลลัพธ์ลักษณะเปลวไฟของเชื้อเพลิงที่ตรวจสอบทั้งหมดตามเขื่อนไข มีรายละเอียดการปล่อยมลพิษโดยเน้นถึงข้อดีของการเผาไหม้แบบกระจาย และพิจารณา ลักษณะของเปลวไฟ การปล่อยสารเคมีเรืองแสง การปล่อยมลพิษ

กรมควบคุมมลพิษ [10] คู่มือการใช้เครื่องตรวจวัดควันดำ เครื่องตรวจวัดควันดำ ประกอบด้วย หน้าจอแสดงผล หัวตรวจวัดควันดำ สายเชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือ และหัวตรวจวัดควันดำ Filter ที่ผ่านการสอบเทียบและมีใบแสดงผลการสอบเทียบ และกระดาษสำหรับปริ้นท์แสดงผลการตรวจวัด การประกอบเครื่องและวิธีการใช้เครื่องตรวจวัด ประกอบไปด้วย 1.การตรวจสอบแบตเตอรี่ 2.การสอบเทียบเครื่องมือ 3. การตั้งค่าเครื่องมือวัด 4.การตรวจวัดและบันทึกผล

คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ.2561 [11] ประสิทธิภาพการเผาไหม้เตาเผาเชื้อเพลิงสามารถตรวจวัดได้จากการตรวจวัดส่วนประกอบของก๊าซที่ปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ปริมาณ (O_2 , CO) หรือ (CO_2) ในก๊าซ และอุณภูมิของก๊าซที่ปล่อยทิ้ง จะใช้ในการคำนวณการสูญเสียความร้อนทางปล่อง และประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเชื้อเพลิง

คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงานความร้อน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [12] ทฤษฎีการเผาไหม้ การทราบหลักการของกระบวนการเผาไหม้และวิธีควบคุมการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ จึงมีความสำคัญยิ่งต่อการอนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การทราบสาเหตุของการสูญเสียความร้อนในรูปแบบต่างๆของระบบและอุปกรณ์ความร้อน พร้อมทั้งแนวทางในการป้องกัน จะช่วยทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานความร้อนของระบบโดยรวมให้สูงขึ้น

ประเสริฐ เทียนนิมิต และคณะ 2547 [13] เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น ทางด้านเทคโนโลยีของเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น และสารหล่อลื่นกับเครื่องจักรกลและเครื่องยนต์ โดยได้รวบรวมและอธิบายถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น และสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ

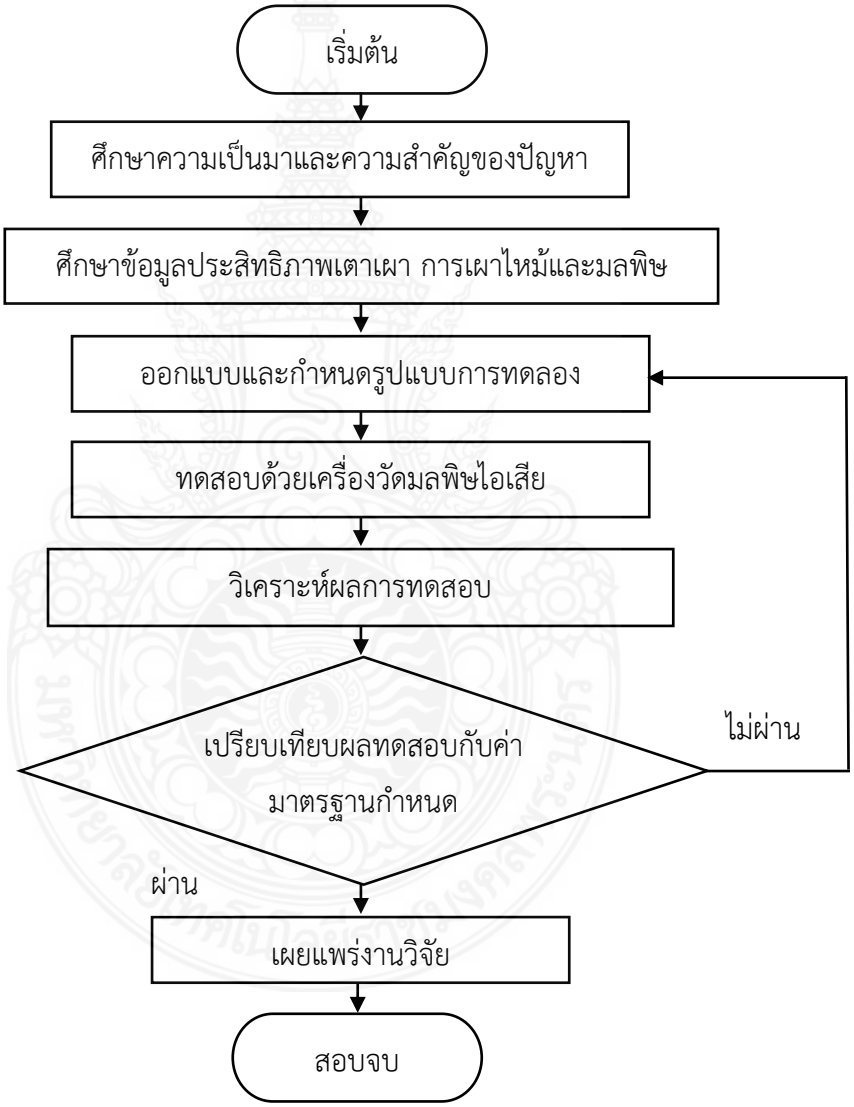
บทสรุปช่องว่างเพื่อการวิจัยต่อยอด

เนื่องจากศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนความดันน้ำมัน ฉีดพ่นในเตาเผาของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ยังมีการศึกษาไม่เป็นที่กว้างขวางมากนัก จึงเห็นว่ามีความจำเป็นที่ต้องศึกษาการปล่อยมลพิษ และประสิทธิภาพการเผาไหม้รวมไปถึงประสิทธิภาพเตาเผา

บทที่ 3

การดำเนินงาน

การจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการทดสอบการวัดไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ และหาประสิทธิภาพเตาเผา เงื่อนไขการการทดสอบโดยการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานมีขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน Flow chart

3.1.ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การทดสอบการวัดไอเสียเตาเผา และการหาประประสิทธิการเผาไหม้ รวมไปถึงประสิทธิภาพเตาเผา

3.1.2 กำหนดขอบเขตในการศึกษา และวางแผนดำเนินการวิจัย

3.1.3 ออกแบบ และกำหนดเงื่อนไขวิธีการทดสอบรวมถึงการปรับปรุงวิธีการให้พร้อมทำการทดสอบ

3.1.4 ดำเนินการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้เครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเก็บบันทึกผลการทดสอบ

3.1.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้เครื่องพ่นแอสฟัลต์

3.1.6 สรุปผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพเตาเผา และเผยแพร่ผลการศึกษาผ่านงานประชุมวิชาการ

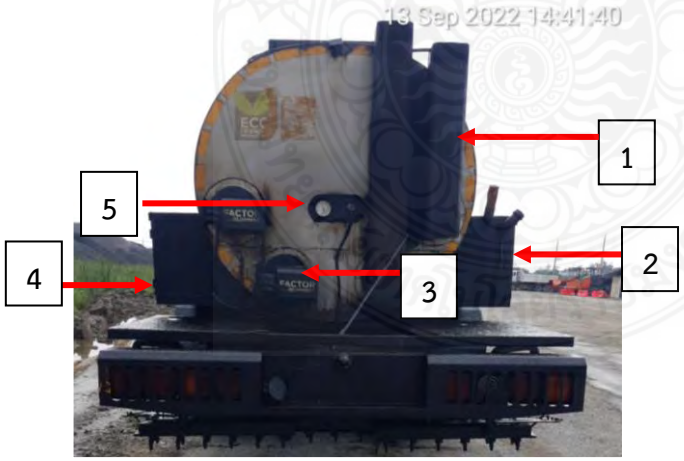
3.1.7 สรุปผลการศึกษา และจัดทำรายงานการศึกษา

3.1.8 สอบวิทยานิพนธ์

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

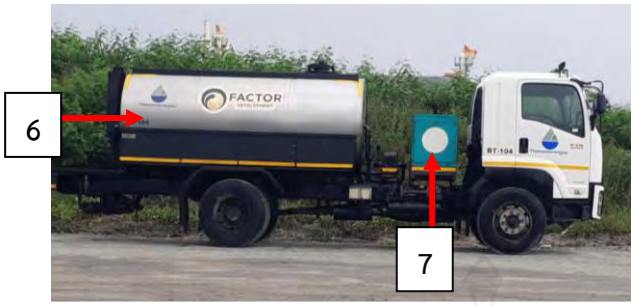
3.2.1 เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ จะถูกติดตั้งอยู่กับตัวรถบรรทุก 6 ล้อ เป็นเตาเผาชนิดเคลื่อนที่ได้ อุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ประกอบไปด้วย



หมายเลข 1. ท่อไอเสีย
หมายเลข 2. ถังเชื้อเพลิง
หมายเลข 3. พัดลมอัดอากกาศ
หมายเลข 4. ชุดควบคุมเตาเผา
หมายเลข 5. เครื่องวัดอุณภูมิ

รูปที่ 3.2 ด้านท้ายเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์



หมายเลข 6. ถังบรรจุน้ำยางมะตอย

หมายเลข 7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รูปที่ 3.3 ด้านข้างเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

3.2.2 หัวเผา (Burner)

หัวเผาที่ใช้ในการเผาให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์น้ำยางมะตอย ซึ่งเป็นหัวเผาขนาดเล็กแบบเปลวไฟแพร่ (Diffusion flame) หัวเผารุ่น (Monarch oil nozzle 3.00 GPH × 45 degree PLP) ชุดหัวเผาแบบ (PLP) โคนกึ่งแข็ง 2.25 ถึง 100 USGPH



รูปที่ 3.4 หัวเผา (Burner)

3.2.3 ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง (Fuel pump)

แสดงปั๊มฉีดเชื้อเพลิง ในการศึกษาและวิจัยนี้ได้ใช้ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบติดตั้งอยู่นอกถังเชื้อเพลิง ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงหรือปั๊มติ๊กทำหน้าที่ดูดและส่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังน้ำมันไปยังเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลท์



รูปที่ 3.5 ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

3.2.4 เครื่องอัดอากาศ (Blower)

เป็นอุปกรณ์สำหรับอัดอากาศเข้าเตาเผา โดยมีลักษณะก้านมือโยกเพื่อการปรับปริมาณอากาศเข้าเตาเผา



รูปที่ 3.6 เครื่องอัดอากาศ

3.2.5 ตู้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า (Control panel)

เป็นตู้ควบคุมการทำงานอุปกรณ์ต่างๆ ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ การทำงานของปั๊มน้ำยาง และควบคุมการทำงานของระบบสเปรย์บาร์



รูปที่ 3.7 ตู้ควบคุมเตาเผา

3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Flue gas analyzer)

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่ใช้ในการศึกษานี้ เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ รุ่น (Flue gas analyzer testo 350) เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบปริมาณก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากปล่องไอเสีย โดยสามารถวัดก๊าซ (O_2 CO_2 CO ,NO_x) และ (SO_2) ได้ และ มีความเที่ยงตรง (O_2 ± 0.2 Vol %, CO_2 ± 0.3 Vol %, CO ± 10 ppm, NO_x ± 5 ppm) และ (SO_2 ± 5 ppm)



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

3.2.7 เกจวัดความดันดิจิตอล (Digital pressure gauge)

เครื่องมือใช้สำหรับวัดความดันของก๊าซและของเหลว โดยแสดงค่าความดันบนจอ ในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล เกจวัดความดันปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าภายในเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์



รูปที่ 3.9 เกจวัดความดัน

3.2.8 เครื่องวัดควันดำระบบกระดาษกรอง

เป็นเครื่องมือวัดควันดำโดยการเก็บตัวอย่างควันดำจากปล่องไอเสียเตาเผา ที่ความดันเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และนำกระดาษกรองจากการวัดควันดำเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์



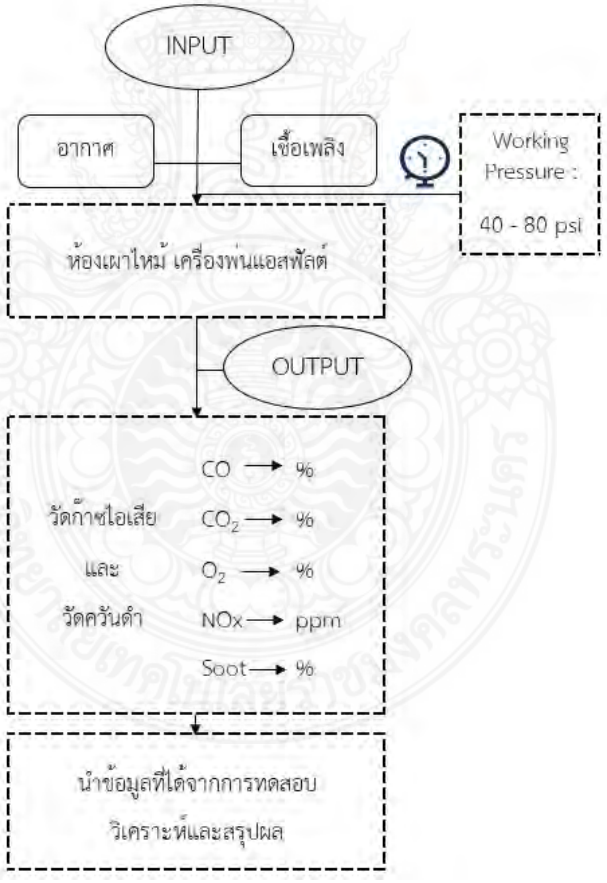
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดควันดำ

3.2.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ใช้สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั๊มดูดน้ำยาง ปั๊มสเปรย์น้ำยางและอุปกรณ์การทำงานอื่นๆ ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์



รูปที่ 3.11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.12 แผนผังการทดสอบ

แผนภาพอุปกรณ์การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยการปรับเปลี่ยนความดันเชื้อเพลิง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.12 ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ด้านในถังบรรจุแอสฟัลต์ จะมีเตาเผา และ ชุดหัวเผา จำนวน 2 ชุด มีชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานเตาเผา โดยมีปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ส่งเข้าไปในเตาเผา ผ่านอุปกรณ์เกจวัดความดัน วาล์วควบคุม และเครื่องอัดอากาศ นำเอาอากาศด้านนอกเผาเตา ส่งเข้าไปในเตาเผา มีกระบวนการจุดติดไฟในเตาเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ และเกิดความร้อนส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์

3.3 สภาวะการทดสอบ

สภาวะการทดสอบการวัดไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ เงื่อนไขในการทดสอบเตาเผา ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดสอบเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

รายการ	สภาวะที่กำหนด	ก๊าซไอเสียที่วัด
ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง	40-80 psi	CO, CO_2
เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ	Diesel B20	NO_x , O_2 , ควันดำ

จากสภาวะการทดสอบเตาเผาที่ความดันน้ำมันต่างๆ สภาวะที่กำหนด 40-80 psi ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจะไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณการสิ้นเปลืองจะขึ้นอยู่กับความดันที่เพิ่มขึ้น โดยสรุปได้ดังนี้

- ความดันน้ำมัน 40 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 34.80 l/hrs.
- ความดันน้ำมัน 45-50 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 35.40 l/hrs.
- ความดันน้ำมัน 55-70 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 36.00 l/hrs.
- ความดันน้ำมัน 75-80 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 36.60 l/hrs.

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบการวัดมลพิษไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ เงื่อนไขการปรับเปลี่ยนเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซล ทำการทดสอบที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-80 psi และวัดค่าเขม่าควันดำเตาเผา วิเคราะห์ผลการทดสอบที่ระดับความดันเชื้อเพลิงที่กำหนด

4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

4.1.1 ตรวจสอบความพร้อมก่อนการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์เตาเผา

4.1.1.1 ตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.1.2 ตรวจสอบระดับน้ำหล่อเย็นหรือน้ำหม้อน้ำเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.1.3 ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.1.4 ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิงเตาเผา

4.1.1.5 ตรวจสอบเครื่องอัดอากาศ

4.1.1.6 ตรวจสอบตู้ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเตาเผา

4.1.2 เตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

4.1.2.1 ติดตั้งเกจวัดความดันดิจิตอล

4.1.2.2 ติดตั้งเครื่องวัดก๊าซไอเสีย

4.1.2.3 ติดตั้งเครื่องวัดควันดำ

4.1.2.4 ตรวจสอบชุดเขี้ยวสปาร์คสำหรับจุดติดไฟเตาเผา

4.1.2.5 ตรวจสอบชุดวาล์วควบคุมปรับระดับความดันเชื้อเพลิงเตาเผา

4.1.3 ขั้นตอนการปรับตั้งและทดสอบ

4.1.3.1 สตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1.3.2 กดปุ่มสวิตช์การทำงานของเตาเผา

4.1.3.3 ปรับปลี่ยนระดับความดันน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ระดับ 40-80 psi ตามข้อกำหนดการทดสอบ และทำการทดสอบ 2 ครั้ง

4.1.3.4 บันทึกค่าผลการทดสอบในสภาวะต่างๆ ได้แก่ ก๊าซไอเสีย อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และปริมาณควันดำ

4.1.4. การซ่อมบำรุงเตาเผา

4.1.4.1 ถอดรื้อไส้เตาเผาทั้ง 2 ชุด ล้างทำความสะอาด นำเขม่าที่สะสมอยู่ภายในเตาเผาออก

4.1.4.2 เปลี่ยนหัวเผาใหม่ทั้ง 2 ชุด

4.2 เงื่อนไขในการทดสอบ

4.2.1 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้เครื่องพ่นแอสฟัลต์ในครั้งนี้ จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ชนิดน้ำมันดีเซลในการทดสอบ

4.2.2 การทำงานของเตาเผาและการทดสอบ

การศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้เครื่องพ่นแอสฟัลต์ในครั้งนี้ นอกจากมีการกำหนดชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ยังได้กำหนดความดันเชื้อเพลิงในการทดสอบ โดยจะทำการทดสอบที่ระดับความดันเชื้อเพลิง ตั้งแต่ 40-80 psi

4.2.3 ตัวแปรที่ศึกษา

จากการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรสำคัญ ในการศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้เครื่องพ่นแอสฟัลต์ในครั้งนี้ โดยกำหนดชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง และกำหนดความดันเชื้อเพลิงที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในการทดสอบจะมีการศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ก๊าซไอเสียที่ปลดปล่อยออกจากเตาเผา
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
- ปริมาณควันดำจากการเผาไหม้ในเตาเผา

4.3 ผลการทดสอบ

4.3.1 การทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

4.3.1.1 จากการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ จะได้ค่าพารามิเตอร์จากเครื่องมือวัด ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซไนโตรเจนออกโซด์ (NO_x) , ก๊าซออกซิเจน (O_2) และ ค่าควันดำ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย และค่าวัดควันดำ

ความดันน้ำมัน	ก๊าซไอเสีย				ค่าควันดำ
	O_2	CO	CO_2	NO_x	
(psi)	%	%	%	ppm	%
40	14.06	0.09	5.06	7.00	0.00
45	13.31	0.07	5.66	24.00	16.00
50	12.07	0.06	6.61	17.00	16.00
55	11.99	0.01	6.68	20.00	20.00
60	11.58	0.004	6.99	24.00	26.00
65	11.53	0.003	7.03	36.00	71.00
70	11.44	0.003	7.10	39.00	71.00
75	10.29	0.004	7.63	39.00	87.00
80	10.19	0.005	8.03	31.00	87.00

4.3.1.2 จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกโซด์ (NO_x) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ในส่วนค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องคำนวณหาประกอบไปด้วย

- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (AF_{actual})
- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทฤษฎี (AF_{stoich})
- เปรียบเทียบ (AF_{stoich}) กับ (AF_{actual})
- หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) โดยใช้วิธี (Indirect Method) ในการคำนวณหาประสิทธิภาพ

4.3.1.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (AF_{actual}) อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทฤษฎี (AF_{stoich}), เปรียบเทียบ (AF_{stoich}) กับ AF_{actual}) และ หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) โดยใช้วิธี (Indirect Method) ที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-80 psi แสดงรายการคำนวณ ดังต่อไปนี้

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 14.06 %
CO = 0.09 %, CO_2 = 5.06 % ผลรวมของก๊าซทั้งสาม เท่ากับ 19.21 % ดังนั้น N_2 = 80.79 %

ปฏิกิริยา $xC_{12.3}H_{22.2} + yO_2 + y(3.76)N_2 \longrightarrow 5.06CO_2+0.09CO+14.06O_2+80.79N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : $y(3.76) = 80.78$; $y = 21.49$

คิดจำนวนคาร์บอน : $12.3x = 5.06+0.09$

$X = 0.42$

คิดจำนวนไฮโดรเจน : $22.2x = 2z$

$Z = 4.65$

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.42C_{12.3}H_{22.2} + 21.48O_2 + 21.48(3.76)N_2 \longrightarrow 5.06CO_2+0.09CO+14.06O_2+80.79N_2+4.65H_2O$

หารด้วย 0.42 :

$C_{12.3}H_{22.2} + 51.32O_2 + 51.32(3.76)N_2 \longrightarrow 12.04CO_2+0.21CO+33.47O_2+192.35N_2+11.07H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f = 51.32(16\times2) + 51.32(3.76)(14\times2) / (12.3\times12)(22.2\times1)$

$= 41.49$

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f = 14.5$

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio $\emptyset = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 / 41.49 = 0.35$

หาประสิทธิภาพเตาเผา Furnace efficiency

Flue gas temperature = 357 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.58 l/min × 60 = 34.80 Litres/hr

= 34.80 × 0.85

= 29.58 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 14.06 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air = ((O_2% / (21 - O_2%)) × 100

= 202 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+202/100)

= 42.36 kg/kg of oil

Sensible heat loss = m × C_p × ΔT

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 42.36 + 1

= 43.36 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = m × C_p × ΔT = 43.36 × 0.24 × (357-38)

= 3,319.88 kCal/kg/ °C

- Heat loss in flue gas = 33.20 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

% Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

= 0.15 (584+0.45) (357-38) / (10,000) × 100

= 1.06 %

- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel.

% Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

= 9 × 0.1123 (584+0.45) × (357-38) / (10,000) × 100

= 7.14 %

ผลรวมความร้อนสูญเสีย (Total losses) = 41.40 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 % - 41.40 %

= 58.60 %

จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ประกอบไปด้วย อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (AF_{actual}) ,อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทฤษฎี (AF_{stoich}), เปรียบเทียบ (AF_{stoich}) กับ (AF_{actual}) และหาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) โดยใช้วิธี (Indirect Method) โดยที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 45-80 psi แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-80 psi

ความดันเชื้อเพลิง	อัตราส่วนความ	ความร้อนสูญเสีย (%)			รวมความร้อน	ประสิทธิภาพ
psi	เข้มไอดี	ความร้อนสูญเสีย	ความร้อนสูญเสีย	ความร้อนสูญเสีย	สูญเสีย	คำนวณ
	Φ	จากก๊าซไอเสีย	จากความชื้นในเชื้อเพลิง	จากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง	(%)	(%)
40	0.35	33.20	1.06	7.14	41.40	58.60
45	0.39	39.95	1.13	7.62	48.70	51.30
50	0.45	36.64	1.15	7.74	45.53	54.47
55	0.45	39.15	1.17	7.90	48.22	51.79
60	0.47	38.10	1.18	7.93	47.21	52.79
65	0.47	37.68	1.18	7.92	46.78	53.23
70	0.48	35.92	1.16	7.83	44.91	55.09
75	0.51	33.70	1.18	7.94	42.82	57.18
80	0.54	33.70	1.18	7.96	42.84	57.16

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย และการคำนวณ

ความดันน้ำมัน (psi)	ก๊าซไอเสีย				ประสิทธิภาพเตาเผา		ค่าควันดำ	FT	AF_{stoich}	AF_{actaul}	ϕ	Fuel Cons.
	O_2	CO	CO_2	NOx	เครื่องวัด	คำนวณ						
	%	%	%	ppm	%	%	%	°C				l/hrs
40	14.06	0.09	5.06	7.00	59.10	58.60	0.00	357.00	14.50	41.49	0.35	34.80
45	13.31	0.07	5.66	24.00	53.70	51.30	16.00	462.30	14.50	37.36	0.39	35.40
50	12.07	0.06	6.61	17.00	57.40	54.47	16.00	488.10	14.50	32.23	0.45	35.40
55	11.99	0.01	6.68	20.00	55.10	51.79	20.00	523.50	14.50	32.14	0.45	36.00
60	11.58	0.004	6.99	24.00	56.40	52.79	26.00	530.90	14.50	30.79	0.47	36.00
65	11.53	0.003	7.03	36.00	56.80	53.23	71.00	527.90	14.50	30.62	0.47	36.00
70	11.44	0.003	7.10	39.00	55.90	55.09	71.00	509.30	14.50	30.33	0.48	36.00
75	10.29	0.004	7.63	39.00	60.60	57.18	87.00	531.60	14.50	28.44	0.51	36.60
80	10.19	0.005	8.03	31.00	60.10	57.16	87.00	536.00	14.50	26.92	0.54	36.60

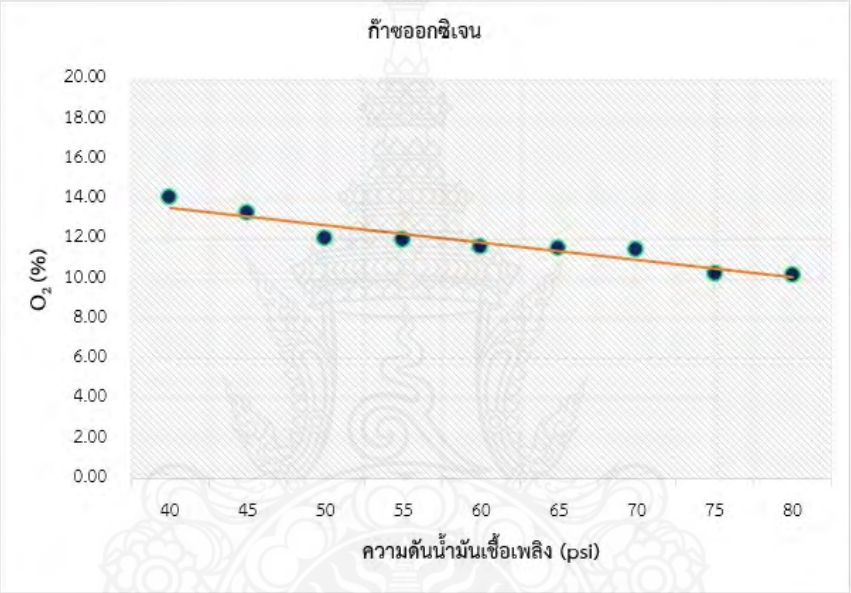
4.3.1.4 ผลการทดสอบ และการคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเครื่องมือวัดไอเสีย ที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-80 psi จะประกอบด้วยก๊าซดังต่อไปนี้

- ก๊าซออกซิเจน (Oxygen)
- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)
- ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide)
- ควันดำ (Soot)
- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (AF Stoich)
- อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)

สรุปผลการทดสอบและข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ จึงนำมาจัดทำกราฟแนวโน้มและวิเคราะห์ผล ดังนี้

ก๊าซออกซิเจน (Oxygen)

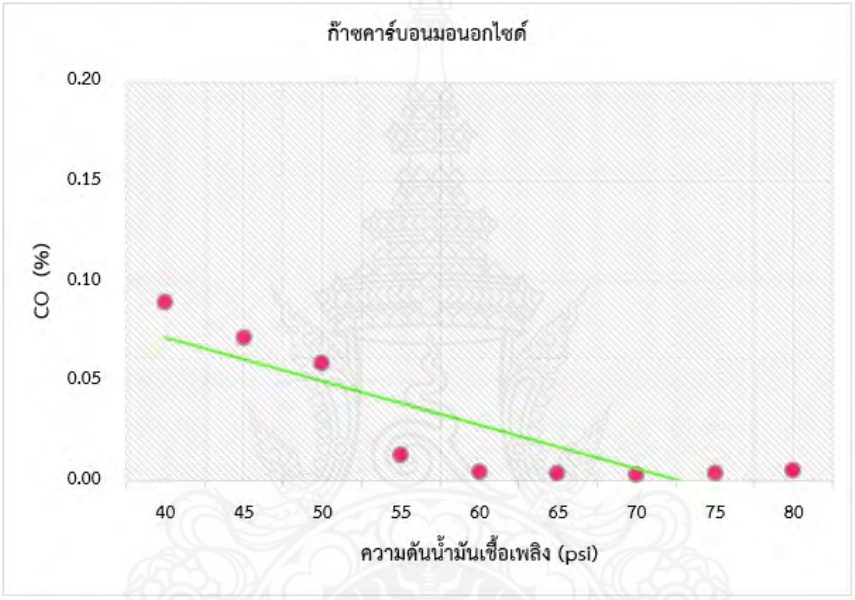
จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ จะมีค่าเท่ากับ 14.06 % เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซออกซิเจนในไอเสียจะลดลงตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 10.19 %



รูปที่ 4.1 กราฟแนวโน้ม ก๊าซออกซิเจน (Oxygen)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเท่ากับ 0.09 % เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 0.005 %



รูปที่ 4.2 กราฟแนวโน้ม ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

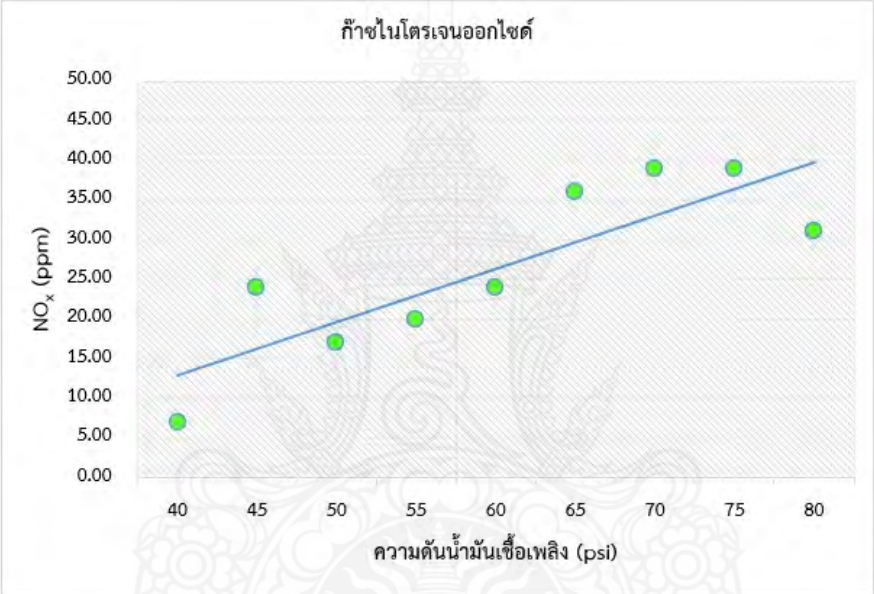
จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 5.06 % และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 8.03%



รูปที่ 4.3 กราฟแนวโน้ม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 40 psi ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเท่ากับ 7 ppm และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ เท่ากับ 31 ppm



รูปที่ 4.4 กราฟแนวโน้ม ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide)

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

ประสิทธิภาพเตาเผาจากเครื่องมือวัด จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผามีค่า เท่ากับ 59.10 % และจากกราฟ พบว่า ประสิทธิภาพเตาเผาอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60 % และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพเตาเผา เท่ากับ 60.10 %



รูปที่ 4.5 กราฟแนวโน้ม ประสิทธิภาพเตาเผา

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

ประสิทธิภาพเตาเผาจากการคำนวณ จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผามีค่า เท่ากับ 58.60% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพเตาเผา เท่ากับ 57.16%



รูปที่ 4.6 กราฟแนวโน้ม ประสิทธิภาพเตาเผา

ค่าวัดควันดำ (Smoke)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 40 psi ค่าควันดำเท่ากับ 0 % เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมัน 45 psi ค่าควันดำเท่ากับ 16.0 % และค่าควันดำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ค่าวัดควันดำเท่ากับ 87.0 %



รูปที่ 4.7 กราฟแนวโน้ม ควันดำ

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (A/F $_{Actual}$)

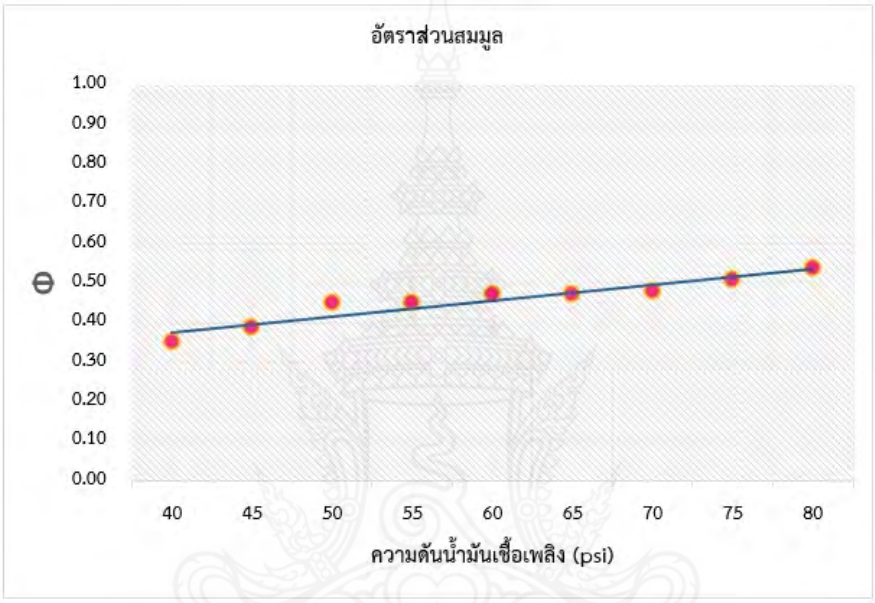
จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง เท่ากับ 41.49 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริงมีค่าลดลง และระดับความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริงมีค่าเท่ากับ 29.92



รูปที่ 4.8 กราฟแนวโน้ม อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง

อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)

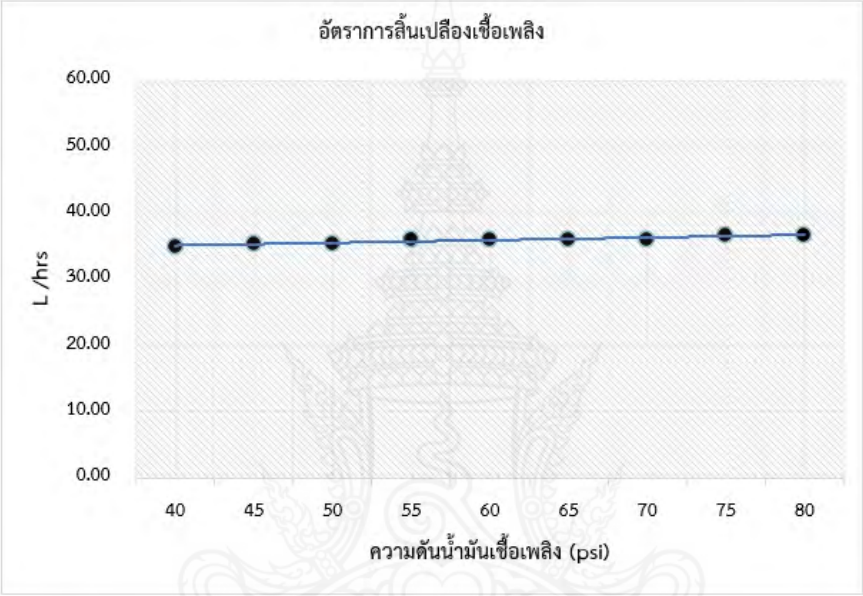
จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 40 psi อัตราส่วนสมมูลมีค่าเท่ากับ 0.35 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราส่วนสมมูล เท่ากับ 0.54



รูปที่ 4.9 กราฟแนวโน้ม อัตราส่วนสมมูล

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เท่ากับ 34.80 l/hrs. โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามความดันน้ำมันที่เพิ่มขึ้น และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราการสิ้นเปลือง เท่ากับ 36.40 l/hrs.



รูปที่ 4.10 กราฟแนวโน้ม อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.4 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการศึกษาและทดสอบที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-80 psi และวัดค่าไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ จึงสรุปผลจากกราฟแนวโน้มของพารามิเตอร์ที่ได้จากเครื่องมือวัด และการคำนวณดังนี้

4.4.1 ก๊าซออกซิเจน (O_2) จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 14.06-10.19 % จะเห็นได้ว่า แต่ละความดันเชื้อเพลิงที่ทดสอบนั้น ปริมาณของก๊าซออกซิเจน (O_2) ค่อนข้างสูง เนื่องจากอากาศส่วนเกินมาก แต่เมื่อปรับความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อากาศส่วนเกินเริ่มลดลงส่งผลทำให้ (O_2) ลดลง

4.4.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 5.06-8.03 % เนื่องจากปริมาณของก๊าซออกซิเจน (O_2) ค่อนข้างสูง ทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่ำ แต่เมื่อปรับความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อากาศส่วนเกินเริ่มลดลงส่งผลทำให้ (CO_2) เพิ่มขึ้น จึงแสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น [3]

4.4.3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.09-0.005 % มีค่าต่ำ ไม่ถึง 1% เนื่องจาก มีปริมาณอากาศเพียงพอต่อการเผาไหม้ ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงตกค้างจากการเผาไหม้ [3]

4.4.4 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 7-31 ppm เนื่องจาก อากาศส่วนเกินมาก ส่งผลให้ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่ำ แต่เมื่อปรับความดันน้ำมันเพิ่ม อากาศส่วนเกินเริ่มลดลงส่งผลทำให้ (NO_x) มีค่าสูงขึ้น [3]

4.4.5 ประสิทธิภาพเตาเผา จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า

- ประสิทธิภาพเตาเผา ผลทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดมีประสิทธิภาพสูงสุด เท่ากับ 60.60% ที่ระดับความดันน้ำมัน 80 psi

-ประสิทธิภาพเตาเผา ผลทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ที่ระดับความดันน้ำมัน 40 psi มีประสิทธิภาพเท่ากับ 59.10 %

- ประสิทธิภาพเตาเผา ผลที่ได้จากการคำนวณมีประสิทธิภาพสูงสุด เท่ากับ 58.60 % ที่ระดับความดันน้ำมัน 40 psi

ความดันน้ำมันสูงส่งผลเสียต่อการกระจายเปลวไฟ และการกระจายความร้อนแบบการพาความร้อนภายในห้องเผาไหม้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกโดยรวมลดลง [4]

4.4.6 ค่าควันดำ จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า เมื่อปรับความดันน้ำมันที่ระดับ 40-60 psi ค่าควันดำจะไม่เกิน 30 % เนื่องจากการเผาไหม้พอดี ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงตกค้างจากการเผาไหม้ และทำให้เกิดเขม่า

4.4.7 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริงค่อนข้างสูง เริ่มต้นที่ความดันน้ำมัน 40 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง เท่ากับ 41.94 เนื่องจากมีอากาศส่วนเกินมาก แต่เมื่อปรับความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่วนผสมที่หนาขึ้น ส่งผลทำให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริงลดลง

4.4.8 อัตราส่วนสมมูล จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า เริ่มต้นที่ความดันน้ำมัน 40 psi อัตราส่วนสมมูล มีค่าเท่ากับ 0.35 แต่เมื่อปรับความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริงลดลง แสดงถึงการเผาไหม้ดีขึ้น ส่งผลทำให้ อัตราส่วนสมมูลเพิ่มขึ้น

4.4.9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จากกราฟแสดงผลการทดสอบ พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองจะเพิ่มขึ้นตามความดันน้ำมันที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราสิ้นเปลืองอยู่ระหว่าง 34.80-36.40 l/hrs

4.5 การนำผลทดสอบไปสู่การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

ผลการศึกษา และนำไปปรับปรุงการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันเท่ากับ 40 psi พบว่า

4.5.1 ค่าควันดำน้อย และไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนด

4.5.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 34.80 l/hrs ซึ่งมีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับความดันน้ำมันที่ระดับ 45-80 psi

4.5.3 มลพิษไอเสีย เมื่อนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่า ไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนด และสรุปได้ดังนี้

- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีปริมาณค่าระดับไม่ถึง 1% และมีค่าแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีปริมาณค่าระดับเพิ่มขึ้น
- ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีปริมาณค่าระดับเพิ่มขึ้น

4.5.4 ค่าควันดำ มีปริมาณค่าระดับที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยการปรับเปลี่ยนความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซล เพื่อดำเนินการทดสอบ เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการเผาไหม้ ปริมาณความร้อนที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ รวมถึงการวัดปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบการศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

5.1.1 ในงานศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ในเตาเผา เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ เงื่อนไขในการดำเนินการโดยการปรับเปลี่ยนความดันเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันดีเซล ที่ระดับความดันตั้งแต่ 40-80 psi

5.1.2 ในการศึกษาปริมาณก๊าซไอเสีย ที่ปลดปล่อยออกจากเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ อันได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

ปริมาณของก๊าซไอเสียที่ปลดปล่อยออกจากเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์สรุปได้ดังนี้

- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าลดลงตามความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์อยู่ที่ระดับ 0.09-0.005%
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ระดับ 5.06-8.03%
- ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์อยู่ที่ระดับ 7.00-31.00 ppm
- การวัดควันดำจากเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยใช้วิธีแบบระบบกระดาษกรอง จากการทดสอบพบว่า ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-60 psi ค่าควันดำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อยู่ที่ระดับ 0-30 % และ ระดับความดันเชื้อเพลิง 65-80 psi ค่าควันดำเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อยู่ที่ระดับ 71-87 %

5.1.3 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเตาเผา โดยการคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียจากปล่องไอเสียของเตาเผา พลังงานที่สูญเสียจากความร้อนแฝงของ Hydrogen ในเชื้อเพลิง และพลังงานที่ทำให้ความชื้นของเชื้อเพลิงกลายเป็นไอ พบว่า ที่ระดับความดันเชื้อเพลิง 40 psi เตาเผามีประสิทธิภาพสูงสุด เท่ากับ 59.10% เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบที่ระดับความดันน้ำมันเชื้อเพลิงอื่นๆ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ในกระบวนการทดสอบ เริ่มตั้งแต่การสตาร์ทการทำงานของเตาเผา การปรับความดันน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆของเตาเผา การทำงานเตาเผา จำเป็นต้องมีผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในการทดสอบแต่ละครั้ง

5.2.2 พื้นที่ในการทำงาน และการทดสอบเป็นบริเวณพื้นที่ควบคุมของ การท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) การทดสอบต้องใช้ความระมัดระวังทุกๆครั้ง เกี่ยวกับควันดำที่ปลดปล่อยออกจากเตาเผา ที่อาจจะส่งผลกระทบกับการบินขณะที่เครื่องบินขึ้นและลง ณ ช่วงเวลานั้นๆ ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ภายในเตาเผาที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานๆ ควรจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการซ่อมบำรุง ถอด-รื้อ ทำความสะอาดไส้เตาเผาเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของเขม่าควันดำและตกค้างอยู่ภายใน

5.3.2 ปริมาณความร้อนที่เหลือออกจากระบบในส่วนต่างๆ โดยเฉพาะจากไอเสียมีปริมาณสูงมาก เพื่อให้เกิดคุณภาพพลังงานสูงสุด เต็มศักยภาพควรมีการนำความร้อนที่เหลือจากส่วนดังกล่าวให้กลับมาใช้งานในกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาต่อไปอีก

บรรณานุกรรม

[1] กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข วันที่31 มีนาคม 2566

[2] กรมควบคุมมลพิษ **แนวทางการจัดการมลพิษเตาเผาอย่างมีประสิทธิภาพ** พ.ศ 2561

[3] Nidal H. Abu-Hamdeh, Rashad A.R. Bantan, Ashkan Alimoradi, S.H. Pourhose **"The effect of injection pressure on the thermal performance and emission Characteristic of an oil burner operating on B20 palm oil biodiesel-diesel blend fuel"** fuel 278 (2020)

[4] Yelin Li, Jain Lan, Tian Lyu, Jiefei Zhou, Xin Yang, Gangtao Lin, Genxiang Gu and Dang Han **"Enhancing External Combustion Efficiency in Stirling Engine Combustors: Influence of Oxygen Atmosphere, Ejection Ratio, and Pressure"** Harbin Engineering University and Springer-Verlag GmbH Germany, part of SpringNature 2024

[5] S.Baghdar Hosseini, K. Bashirnezhad, A.R. Moghiman, Y. Khazraii, N. Nikoofal **"Experimental Comparison of Combustion Characteristic and Pollutant Emission of Gas oil and Biodiesel"** World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechanical and Manufacturing Engineering Vol:4, No:12,2010

[6] S.H. Pourhoseini and Rasoul Asadi **"An Experimental Study of Optimum Angle of Air Swirler Vanes in Liquid Fuel Burners"** Journal of Energy Resources Technology. May 2017, Vol.139

[7] ศิริพงษ์ แก้วสีหมอก และมาลี สันติคุณาภรณ์ **การออกแบบหัวเผาเพื่อการปรับปรุงการเผาไหม้ สำหรับเตาเผาเซรามิก** งานวารสารทางวิชาการและระบบข้อมูลวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 เมษายน 2563

[8] เบ็ญจวรรณ วนวิชาเขนทร์, 2537, **การพัฒนาระบบเตาเผาฟลูอิคไคซ์เบด**, วิทธานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] Mohammad Darwish and et.al, (2021) **Distributed combustion of diesel-butanol fuel blends in a mixture temperature-controlled burner**, Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 1111 Budapest, Muegyetem krp.3., Hungary

[10] กรมควบคุมมลพิษ **"คู่มือการใช้เครื่องตรวจวัดควันดำ"**

[11] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ.2561. **"เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้" (Flue gas analyzer).**

[12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และ อนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน **"ตอนที่2 บทที่ 3 ทฤษฎีการเผาไหม้"**

[13] ประเสริฐ เทียนนิมิตร **"เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น 2547 "**

ภาคผนวก ก
รูปภาพการทดสอบ



รูปที่ ก.1 ตรวจสอบตู้ควบคุมการทำงานของเตาเผา



รูปที่ ก.2 ตรวจสอบทำความสะอาดพัดลมอัดอากาศ



รูปที่ ก.3 ตรวจสอบหัวเผาและเขี้ยวสปาร์ค



รูปที่ ก.4 ตรวจสอบปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ ก.5 เติมน้ำยางเข้าในถังเพื่อทดสอบ



รูปที่ ก.6 ตรวจเช็คอุปกรณ์การทำงานทั้งหมดของเตาเผาก่อนการทดสอบ



รูปที่ ก.7 สตาร์ทการทำงานของเตาเผา



รูปที่ ก.8 เตรียมเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้



รูปที่ ก.9 วัดก๊าซไอเสียเตาเผาและบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ ก.10 วัดควันดำเตาเผา



รูปที่ ก.11 วัดควันดำเตาเผา



รูปที่ ก.12 วัดควันดำเตาเผา

ภาคผนวก ข
รายการคำนวณ

1. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 14.06 %

CO = 0.09 %, CO_2 = 5.06 % ผลรวมของก๊าซทั้งสาม เท่ากับ 19.21 % ดังนั้น N_2 = 80.79 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y\ (3.76)N_2 \longrightarrow 5.06CO_2+0.09CO+14.06O_2+80.79N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 80.78 ; y = 21.49

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 5.06+0.09

X = 0.42

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 4.65

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.42C_{12.3}H_{22.2} + 21.48O_2 +21.48(3.76)N_2 \longrightarrow 5.06CO_2+0.09CO+14.06O_2+80.79N_2+4.65H_2O$

หารด้วย 0.42 :

$C_{12.3}H_{22.2} + 51.32O_2 +51.32(3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.04CO_2+0.21CO+33.47O_2+192.35N_2+11.07H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 51.32(16×2) + 51.32 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 7,045.77/169.8

= 41.49

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /41.49 = 0.35

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 357 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.58 l/min × 60 = 34.80 Litres/hr

= 34.80 × 0.85

= 29.58 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 14.06 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air = $\frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 202 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+202/100)

= 14 × 3.02 kg/kg of oil

= 42.36 kg/kg of oil

Sensible heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 42.36 + 1

= 43.36 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 43.36 × 0.24 × (357-38)

= 3,319.88 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,319.88/10,000) × 100

= 33.20 %

- Heat loss in flue gas = 33.20 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (357-38) / (10,000) × 100

  = 1.06 %

- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel.

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (357-38) / (10,000) × 100

  = 7.14 %

Total losses = 41.40 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 41.40 = 58.60 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 58.60 %

2. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 45 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 13.31 %

CO = 0.07 % , CO_2 = 5.66 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 19.04 % ดังนั้น N_2 = 80.69 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2 +y(3.76)N_2 \longrightarrow 5.66CO_2+0.07CO+13.31O_2+80.69N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 80.96 ; y = 21.53

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 5.66+0.07

X = 0.47

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 5.17

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.47C_{12.3}H_{22.2} + 21.53O_2 +21.53(3.76)N_2 \longrightarrow 5.66CO_2+0.07CO+13.31O_2+80.79N_2+5.17H_2O$

หารด้วย 0.47

$C_{12.3}H_{22.2} + 45.80O_2 +45.80(3.76) N_2 \longrightarrow 12.04CO_2+0.14CO+28.32O_2+171.89N_2+11.0H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 45.80(16×2) + 45.80 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 6,343.71/169.8

= 37.36

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /37.36 = 0.39

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 462 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.59 l/min × 60 = 35.40 Litres/hr

= 35.40 × 0.85

= 30.09 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 13.31 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air = $\frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 173.08 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+173.08/100)

= 14 × 3.02 kg/kg of oil

= 38.23 kg/kg of oil

Sensible heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 38.23 + 1

= 39.23 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 39.23 × 0.24 × (426.30-38)

= 3,995.02 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,995.02/10,000) × 100

= 39.95 %

- Heat loss in flue gas = 39.95 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (426.30-38) / (10,000) × 100

  = 1.13 %

- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (426.30-38) / (10,000) × 100

  = 7.62 %

Total losses = 48.70 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 48.70 = 51.30 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 45 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 51.30 %

3. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 50 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 12.07 % , CO = 0.06 %, CO_2 = 6.61 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 18.74 % ดังนั้น N_2 = 81.26 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 6.61CO_2+0.06CO+12.07O_2+81.26N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 81.26 ; y = 21.61

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 6.61+0.06

X = 0.54

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 6.02

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.54C_{12.3}H_{22.2} + 21.61O_2 +21.61(3.76)N_2 \longrightarrow 6.61CO_2+0.06CO+12.07O_2+81.26N_2+6.02H_2O$

หารด้วย 0.54

$C_{12.3}H_{22.2} + 40.01O_2 +40.01 (3.76) N_2 \longrightarrow 12.24CO_2+0.11CO+22.35O_2+150.48N_2+11.14H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f = 40.01(16\times2) + 40.01 (3.76)(14\times2) / (12.3\times12) (22.2\times1)$

= 5,472.35/169.8

= 32.23

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio $\emptyset = AF_{stoich} / AF_{actual}$ = 14.5 /32.23 = 0.45

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 488 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.59 l/min × 60 = 35.40 Litres/hr

= 35.40 × 0.85

= 30.09 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 12.07 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air = $\frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 135.16 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+135.16 /100)

= 32.92 kg/kg of oil

Sensible heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 32.92 + 1

= 33.92 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 33.92 × 0.24 × (488.10-38)

= 3,664.47 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,664.47/10,000) × 100

= 36.64 %

- Heat loss in flue gas = 36.64 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (488.10-38) / (10,000) × 100

  = 1.15 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (488.10-38) / (10,000) × 100

  = 7.74 %

Total losses = 45.53 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 45.53 = 54.47 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 50 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 54.47 %

4. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 55 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 11.99 %

CO = 0.01 % , CO_2 = 6.68 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 18.68 % ดังนั้น N_2 = 81.32 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 6.68\ CO_2+0.01CO+11.99O_2+81.32N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 81.32 ; y = 21.63

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 6.61+0.06

X = 0.54

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 6.04

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.54C_{12.3}H_{22.2} + 21.63O_2 +21.63(3.76)N_2 \longrightarrow 6.68CO_2+0.01CO+11.99O_2+81.32N_2+6.04H_2O$

หารด้วย 0.54

$C_{12.3}H_{22.2} + 40.05O_2 +40.05\ (3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.37CO_2+0.01CO+22.20O_2+150.60N_2+11.18H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 40.05 (16×2) + 40.05 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 5,456.58/169.8

= 32.14

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /32.14 = 0.45

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 523 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.60 l/min × 60 = 36.20 Litres/hr

= 36.20 × 0.85

= 30.77 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 11.99 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air $= \frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 133.07 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+133.07 /100)

= 32.63 kg/kg of oil

Sensible heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 32.63 + 1

= 33.63 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 33.63 × 0.24 × (523-38)

= 3,914.58 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,914.58/10,000) × 100

= 39.15 %

- Heat loss in flue gas = 39.15 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (488.10-38) / (10,000) × 100

  = 1.17 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (488.10-38) / (10,000) × 100

  = 7.90 %

Total losses = 48.21 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 48.21 = 51.79 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 55 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 51.79 %

5. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 60 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 11.58 %

CO = 0.004 %, CO_2 = 6.99 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 18.57 % ดังนั้น N_2 = 81.43 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 6.99\ CO_2+0.004CO+11.58O_2+81.43N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 81.43 ; y = 21.66

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 6.99+0.004

X = 0.57

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 6.31

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.57C_{12.3}H_{22.2} + 21.66O_2 +21.66(3.76)N_2 \longrightarrow 6.9CO_2+0.004CO+11.58O_2+81.43N_2+6.04H_2O$

หารด้วย 0.57

$C_{12.3}H_{22.2} + 38O_2 +38\ (3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.26CO_2+0.007CO+20.31O_2+142.86N_2+10.59H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 38 (16×2) + 38 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 5,228.07/169.8

= 30.79

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /30.79 = 0.47

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 530.90 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.60 l/min × 60 = 36.20 Litres/hr

= 36.20 × 0.85

= 30.77 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 11.58 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air = $\frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 122.93 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+122.93 /100)

= 31.21 kg/kg of oil

Sensible heat loss = m × C_p × ΔT

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 31.21 + 1

= 32.21 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 32.21 × 0.24 × (530.90-38)

= 3,810.34 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,810.34/10,000) × 100

= 38.10 %

- Heat loss in flue gas = 38.10 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (530.90-38) / (10,000) × 100

  = 1.18 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (530.90-38) / (10,000) × 100

  = 7.93 %

Total losses = 47.21 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 47.21 = 52.79 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 60 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 52.79 %

6. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 65 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 11.53 %

CO = 0.003 % CO_2 = 7.03 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 18.56 % ดังนั้น N_2 = 81.44 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 7.03\ CO_2+0.003CO+11.53O_2+81.44N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 81.44 ; y = 21.66

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 7.03 +0.003

X = 0.57

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 6.35

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.57C_{12.3}H_{22.2} + 21.66O_2 +21.66(3.76)N_2 \longrightarrow 7.03CO_2+0.003CO+11.53O_2+81.44N_2+6.35H_2O$

หารด้วย 0.57

$C_{12.3}H_{22.2} + 38O_2 +38\ (3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.33CO_2+0.005CO+20.22O_2+142.87N_2+11.14H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 38 (16×2) + 38 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 5,199.87/169.8

= 30.62

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /30.62 = 0.47

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 527.90 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.60 l/min × 60 = 36.20 Litres/hr

= 36.20 × 0.85

= 30.43 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 11.53 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air $= \frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 121.75 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+121.75 /100)

= 31.05 kg/kg of oil

Sensible heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 31.05 + 1

= 32.05 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 32.05 × 0.24 × (527.90-38)

= 3,767.77 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,767.77/10,000) × 100

= 37.68 %

- Heat loss in flue gas = 37.68 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (527.90-38) / (10,000) × 100

  = 1.18 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (527.90-38) / (10,000) × 100

  = 7.92 %

Total losses = 46.77 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 46.77 = 53.23 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 65 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 53.23 %

7. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 70 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 11.44 %

CO = 0.003 % CO_2 = 7.10 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 18.54 % ดังนั้น N_2 = 81.46 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 7.10\ CO_2+0.003CO+11.44O_2+81.46N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 81.46 ; y = 21.66

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 7.10 +0.003

X = 0.58

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 6.41

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.58C_{12.3}H_{22.2} + 21.66O_2 + 21.66(3.76)N_2 \longrightarrow 7.10CO_2+0.003CO+11.44O_2+81.46N_2+6.41H_2O$

หารด้วย 0.58

$C_{12.3}H_{22.2} + 37.34O_2 + 37.34\ (3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.24CO_2+0.005CO+19.72O_2+140.44N_2+11.05H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 37.34 (16×2) + 37.34 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 5,149.97/169.8

= 30.33

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /30.33 = 0.48

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 509.30 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.60 l/min × 60 = 36.0 Litres/hr

= 36.0 × 0.85

= 30.60 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 11.44 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air = $\frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 119.67 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+119.67 /100)

= 30.75 kg/kg of oil

Sensible heat loss = m × Cp × ΔT

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 30.75 + 1

= 31.75 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 31.75 × 0.24 × (509.30-38)

= 3,591.66 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,591.66/10,000) × 100

= 35.92 %

- Heat loss in flue gas = 35.92 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (509.30-38) / (10,000) × 100

  = 1.16 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (509.30-38) / (10,000) × 100

  = 7.83 %

Total losses = 44.91 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 44.91 = 55.09 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 70 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 55.09 %

8. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 75 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 10.29 %

CO = 0.004 % CO_2 = 7.63 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 17.92 % ดังนั้น N_2 = 82.08 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 7.63\ CO_2+0.004CO+10.29O_2+82.08N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 82.08 ; y = 21.83

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 7.63 +0.004

X = 0.62

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 6.89

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.62C_{12.3}H_{22.2} + 21.83O_2 +21.83\ (3.76)N_2 \longrightarrow 7.63CO_2+0.004CO+10.29O_2+82.08N_2+6.89H_2O$

หารด้วย 0.62

$C_{12.3}H_{22.2} + 35.20O_2 +35.20\ (3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.30CO_2+0.006CO+16.59O_2+132.38N_2+11.11H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 35.20 (16×2) + 35.20 (3.76)(14×2) /

(12.3×12) (22.2×1)

= 4,828.38/169.8

= 28.44

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /28.44= 0.51

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 531.60 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.61 l/min × 60 = 36.60 Litres/hr

= 36.60 × 0.85

= 31.11 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 10.29 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air $= \frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 96.08 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+96.08 /100)

= 27.45 kg/kg of oil

Sensible heat loss = m × Cp × ΔT

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 27.45 + 1

= 28.45 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 28.45 × 0.24 × (531.60 -38)

= 3,370.42 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,370.42/10,000) × 100

= 33.70 %

- Heat loss in flue gas = 33.70 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (531.60-38) / (10,000) × 100

  = 1.18 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (531.60-38) / (10,000) × 100

  = 7.94 %

Total losses = 42.82 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 42.82 = 57.18 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 75 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 57.18 %

9. ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi

ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าดังต่อไปนี้ O_2 = 10.19 %

CO = 0.005 % CO_2 = 8.03 % ผลรวมของก๊าซทั้งสามมีเท่ากับ 18.22 % ดังนั้น N_2 = 81.78 %

ปฏิกิริยาทางเคมี $xC_{12.3}H_{22.2}+yO_2+y(3.76)N_2 \longrightarrow 8.03\ CO_2+0.005CO+10.19O_2+81.78N_2+zH_2O$

คิดจำนวนไนโตรเจนขณะเกิดปฏิกิริยา จะได้ : y (3.76) = 81.78; y = 21.75

คิดจำนวนคาร์บอน : 12.3x = 8.03 +0.005

X = 0.65

คิดจำนวนไฮโดรเจน : 22.2x = 2z

Z = 7.25

ดังนั้นปฏิกิริยาเคมี คือ :

$0.65C_{12.3}H_{22.2} + 21.75O_2 + 21.75\ (3.76)N_2 \longrightarrow 8.03CO_2+0.005CO+10.19O_2+81.78N_2+7.25H_2O$

หารด้วย 0.65

$C_{12.3}H_{22.2} + 33.46O_2 + 33.46\ (3.76)\ N_2 \longrightarrow 12.35CO_2+0.009CO+15.67O_2+125.81N_2+11.15H_2O$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง $AF_{actual} = m_a/m_f$ = 33.46 (16×2) + 33.46 (3.76)(14×2) / (12.3×12) (22.2×1)

= 4,570.58/169.8

= 26.92

การสันดาปสมบูรณ์ (Stoichiometric combustion) $AF_{stoich} = m_a/m_f$ = 14.5

อัตราส่วนเข้มไอดี Equivalence ratio Ø = AF_{stoich} / AF_{actual} = 14.5 /26.92= 0.54

หาประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency)

Flue gas temperature = 536.0 °C

Ambient temperature = 38 °C

Specific gravity of oil = 0.85

Average fuel oil consumption = 0.61 l/min × 60 = 36.60 Litres/hr

= 36.60 × 0.85

= 31.11 kg/hr

Calorific value of oil = 10,000 kCal/kg

O_2 percentage in flue gas = 10.19 %

Sensible Heat Loss in Flue Gas

Excess air $= \frac{O2\%}{21-O2\%} \times 100$

= 94.26 %

Total air supplied = Theoretical air × (1 + excess air/100)

= 14 × (1+94.26 /100)

= 27.20 kg/kg of oil

Sensible heat loss = m × Cp × ΔT

m = Weight of flue gas

= Actual mass of air supplier/kg of fuel + mass of fuel (1 kg)

= 27.20 + 1

= 28.20 kg/kg of oil

C_p = Specific of heat gas

= 0.24 kCal/kg/°C

ΔT = Temperature difference

Heat loss = $m \times C_p \times \Delta T$ = 28.20 × 0.24 × (536.0 -38)

= 3,370.11 kCal/kg/°C

% Heat loss in flue gas = (3,370.11/10,000) × 100

= 33.70 %

- Heat loss in flue gas = 33.70 %
- Loss due to evaporation of moisture present in fuel

  % Loss = M (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 0.15 (584+0.45) (531.60-38) / (10,000) × 100

  = 1.18 %
- Loss due to evaporation of water formed due to hydrogen in fuel

  % Loss = 9 × H_2 (584+0.45) × ΔT / GCV of fuel × 100

  = 9 × 0.1123 (584+0.45) × (536.0 -38) / (10,000) × 100

  = 7.96 %

Total losses = 42.48 %

ประสิทธิภาพเตาเผา (Furnace efficiency) = 100 - 42.48 = 57.16 %

ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพเตาเผา มีค่าเท่ากับ 57.16 %

ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล นาย วรชัย ชัยสิงห์เหนือ

วัน เดือน ปีเกิด 09 มิถุนายน 2525

ภูมิลำเนา ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
ปวส.อุตสาหการเครื่องมือกล	สถาบันเทคโนโลยีลำปาง	2547
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วศ.บ.)	สถาบันรัชต์ภาคย์	2559

ประวัติการทำงาน

2567-ปัจจุบัน ผู้จัดการงานซ่อมบำรุง
บริษัทถนอมวงศ์บริการ
118/1 แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร.