

การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์กรองควันดำสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล
STUDY AND DESIGN EXHAUST FILTER EQUIPMENT FOR DIESEL ENGINE
COMBUSTION

นายเกรียงศักดิ์ นรารัตนานุกูล
นายมนต์ชัย แสงผล
นายสัญญา วงศ์สุวรรณ
นายเอกภพ อ่อนอุไร

โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตร
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2543

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์
กรองควินดำสำหรับเครื่องยนต์
ดีเซล

นายเกรียงศักดิ์ นรารัตนานุกูล

นายมนต์ชัย แสงพล

นายสัญญา วงศ์สุวรรณ

นายเอกภพ อ่อนอุไร

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ประจักษ์นติ ไตรยสุทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมศาสตร์

(อาจารย์ประจักษ์นติ ไตรยสุทธิ์)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ)

กรรมการ

(อาจารย์ประชา บุญขวานิชกุล)

กรรมการ

(อาจารย์มนัส แป้งใส)

กรรมการ

การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์กรองควันดำสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

ปีการศึกษา 2543

โดย

นายเกรียงศักดิ์ นรารัตนานุกูล

นายมนต์ชัย แสงผล

นายสัญญา วงศ์สุวรรณ

นายเอกภพ อ่อนอุไร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประชาสันติ ไตรยสุทธิ

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต กล่าวถึงการศึกษาและ การออกแบบอุปกรณ์กรองควันดำสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยวิธีการใช้ไส้กรองสำหรับกรองควันดำ เพื่อที่จะให้ได้ไอเสียที่มีปริมาณเขม่าควันดำลดลง และมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น พอไส้กรองเริ่มอุดตันก็จะสามารถเผาไหม้เขม่าควันดำโดยใช้ตัวทำความร้อนเพื่อจะให้เขม่าควันดำนั้นสลายไป จะทำให้สามารถนำไส้กรองกลับมาใช้ได้ใหม่อีกครั้ง

Study and Design Exhaust Filter Equipment for Diesel Engine Combustion

Academic Year 2000

By

Mr. Kreangsak Narattananukul

Mr. Monchai Sawangpol

Mr. Sanya Wongsuwan

Mr. Ekkapop On-urai

Project Report Advisor

Mr. Prachasanti Thaiyasuit

ABSTRACT

This engineering project is to study and design exhaust filter equipment for diesel engine combustion by using filter for exhaust filter for decreasing soot content in exhaust for decreasing soot content in exhaust and filter have full the soot to begin the temperature is rise up in the filter by using heating coil wire there for the melting soot and can apply the filter reused.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการสอบโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในภาคทฤษฎี ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขจนทำให้โครง
งานฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรม
เครื่องกลที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องยนต์ อุปกรณ์การตรวจวัด เครื่องมือ และวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการ
สร้างและทดสอบจนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ความดี ความรู้ และประสบการณ์ ที่เกิดจากการจัดทำโครงการนี้ กลุ่มผู้จัดทำขอ
ขอบ พระคุณบิดามารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้ ความสามารถ แก่
คณะผู้จัดทำมาตั้งแต่ต้นจนกระทั่งจัดทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ได้โดยสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎี	
หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล	3
วัฏจักรของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	4
การกวาดไอเสีย	5
การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล	6
สาเหตุการเกิดควันดำและสารพิษ	9
มลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล	18
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ	22
ข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล	22
ผลกระทบของอุปกรณ์กรองควันดำต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์	24
การจัดไอเสียหลังการเผาไหม้	25
เทอร์โมคัปเปิล	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ (ต่อ)	หน้า
3. การคำนวณและการออกแบบ	
การออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์การเผาไหม้ไต้กรอง	29
การคำนวณกำลังไฟฟ้า	29
4. การและผลการทดลอง	
อุปกรณ์การทดลอง	31
วิธีการทดลอง	31
ผลการทดลอง	32
5. สรุปผลและเสนอแนะ	
สรุปผลการทำโครงการ	48
ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก 1 แสดงรายละเอียดและวิธีการใช้เครื่องวัดควันดำ เทคโนโลยี รุ่น 490	52
ภาคผนวก 2 แสดงตารางและส่วนต่างๆของเครื่องกรอง	62
ภาคผนวก 3 แสดงการออกแบบชุดควบคุมและวงจรไฟฟ้า	70
ประวัติผู้จัดทำ	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงข้อแตกต่างระหว่างเครื่องชนิดเบนซินและเครื่องดีเซล	22
2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	28
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำ	32
4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองหลังติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำ	33
4.3 ตารางแสดงเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของลวดทำความร้อน	37
ตารางภาคผนวกที่	
2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ	63
2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆของใยกรอง	68
2.3 ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆทางความร้อน	69

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง P - θ curve ของเครื่องชนิดเบนซินและดีเซล	4
2.2 แสดงจังหวะการทำงานของเครื่องชนิดดีเซล 4 จังหวะ	4
2.3 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเครื่องชนิดดีเซล	5
2.4 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องชนิดดีเซล	8
2.5 แสดงตัวอย่างผลกระทบของห้องเผาไหม้ต่อ NO_x และกำลัง	11
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรห้องเผาไหม้ช่วยต่อ NO_x ควันดำ และอัตราส่วนกำลังอัด	12
2.7 แสดงผลของการตั้งเวลาฉีดต่อ NO_x และตัวแปรอื่นๆ	13
2.8 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องแบบฉีดโดยตรง และโดยอ้อม ฉีดล่าเมื่อต้องการ	14
2.9 แสดงผลกระทบของภาระและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน	16
2.10 แสดงการเปลี่ยน NO_x เนื่องจากความเร็วรอบและความดันประสิทธิผลเฉลี่ย	17
2.11 แสดงผลของค่าซีเทนที่มีต่ออัตราการเกิดควันดำ	18
2.12 แสดงก่อตัวของสารมลพิษในล้ำมันที่ฉีดไปในอากาศหมุนวน	19
2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างของควันดำสำหรับเครื่องชนิดดีเซล	20
2.14 แสดงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้	23
2.15 แสดงอุณหภูมิและความดันเพิ่ม	24
4.1 กราฟแสดงความดันย้อนกลับก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์	38
4.2 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 1000 RPM	39
4.3 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 1500 RPM	40
4.4 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 2000 RPM	41
4.5 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 1000, 1500 และ 2000 RPM	42
4.6 กราฟแสดงปริมาณควันดำหลังการกรองในความเร็วรอบต่างๆ	43
4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกรองของอุปกรณ์กรองควันดำ	44
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการเผาไหม้	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ (ต่อ)	หน้า
4.9 แสดงเครื่องวัดควันดำ TECHNO TEST รุ่น 490	46
4.10 แสดงควบคุมอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้า	46
4.11 แสดงรูปของไขกรองเซรามิก	47
4.12 แสดงชุดทดสอบความดันย้อนกลับ	47
รูปภาคผนวกที่	
1.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดควันดำ	53
1.2 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่องวัดควันดำ	54
1.3 แสดงส่วนประกอบของจอแสดงผล	56
1.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องควบคุมระยะไกล	57
1.5 แสดงการสอดคล้องเข้ากับไอเสียรถยนต์	59
1.6 แสดงการต่อแถมปีหนึ่งขวนำ	60
1.7 แสดงตัวอย่างกระดาษแสดงผลการทดสอบจากเครื่องวัดควันดำ	61
3.1 แสดงวงจรควบคุมการทำงาน	72

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_f	พื้นที่รับการถ่ายเทความร้อน	m^2
A/F Ratio	อัตราส่วนระหว่างอากาศกับน้ำมัน	-
BTDC	ก่อนถึงศูนย์กลางตายบน	-
Bhp	กำลังแรงม้า	hp
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะ	$kJ/(kg^\circ C)$
CO_2	คาร์บอนไดออกไซด์	-
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์	-
cc	ลูกบาศก์เซนติเมตร	cm^3
H_2O	น้ำ	-
I	กระแสไฟฟ้า	A
k	ค่า ส.ป.ส การนำความร้อน	W/m-K
L	ความยาว	m
mmAQ	มิลลิเมตรน้ำ	mm
mep	ความดันเฉลี่ย	kPa
NO_x	ไนโตรเจนออกไซด์	-
N_2	ไนโตรเจน	-
O_2	ออกซิเจน	-
P	ความดัน	kPa
Q	การถ่ายเทความร้อน	W
R	รัศมี	m
SO_2	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	-
T	อุณหภูมิ	$^\circ C$
TDC	จุดศูนย์กลางตายบน	-
U	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	V
X	ขนาดความหนาของผนังแต่ละชั้น	m
%HRT	หน่วยวัดควันทำระบบฮาร์ทริค	%

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมพบว่า ปริมาณมลพิษของอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยเฉพาะ ในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งกำลังเผชิญอยู่ถือ ได้ว่าเป็นปัญหาร้ายแรง จากรายงานสภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ได้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณฝุ่นละอองในอากาศเฉลี่ยมีค่ามากกว่ามาตรฐาน ที่คนจะสามารถรับได้ ถึงสามเท่า และปัญหารองลงมาคือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีการสันดาปที่ความดันและอุณหภูมิสูง จึงทำให้เกิดสารประเภทนี้ขึ้น

นอกจากนี้เครื่องยนต์ดีเซล ยังมีมลพิษที่เรียกว่า “ สารมลพิษอนุภาค (Particulate Matter) ” ซึ่งเป็นส่วนประกอบของควันดำ สารมลพิษอนุภาคเกิดจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ดีเซล เปรียบเสมือนฝุ่นละอองชนิดหนึ่งมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และถ้าเราสูดเอามลพิษนี้เข้าสู่ร่างกายก็จะทำให้เป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจหรือโรคมะเร็งได้

ปัจจุบันยานพาหนะ ได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย จากสถิติของกรมขนส่งทางบกนับวันยิ่งมากขึ้น จึงเป็นเหตุให้เกิดมลพิษมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้ศึกษาแนวความคิดในการแก้ปัญหานี้ จึงได้จัดทำโครงการ การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ลดควันดำโดยการเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยวิธีการกรองผ่านไส้กรองเมื่อใช้ไประยะหนึ่งไส้กรองจะเกิดการอุดตันซึ่งก่อให้เกิดความดันย้อนกลับ และจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการเผาไหม้ควันดำที่อุดตันไส้กรองให้สลายเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้ต่อไป และนำเครื่องกรองนี้ไปติดตั้งเข้ากับรถยนต์ ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ โดยการออกแบบอุปกรณ์กรองควันดำนี้ จะต้องมีประสิทธิภาพ ในการกรองควันดำได้มากพอสมควร มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์น้อยที่สุด ราคาถูกและการบำรุงรักษาง่าย

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สร้างอุปกรณ์ลดควันดำแบบเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล
2. ศึกษาประสิทธิภาพการลดมลพิษหลังการติดตั้งอุปกรณ์
3. ศึกษาเปรียบเทียบความดันของไอเสียทั้งก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์

ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดควันดำของเครื่องยนต์ดีเซลแบบเผาไหม้
2. ศึกษาเปรียบเทียบมลพิษซึ่งประกอบไปด้วยควันดำของไอเสีย ทั้งก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์
3. ศึกษาเปรียบเทียบความดันของไอเสียทั้งก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์
4. ระบบไฟฟ้าที่ใช้กับขดลวดใช้กระแสสลับ 220 โวลต์
5. ระบบที่สร้างจะเป็นแค่เครื่องต้นแบบ ยังไม่ติดตั้งรถยนต์จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

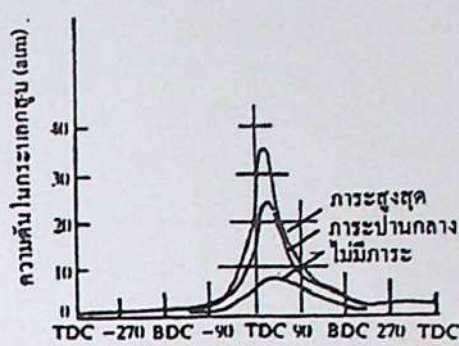
1. สามารถลดปริมาณควันดำของไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลได้
2. สามารถนำผลการศึกษาและออกแบบไปใช้พัฒนาในงานจริงต่อไป

บทที่ 2

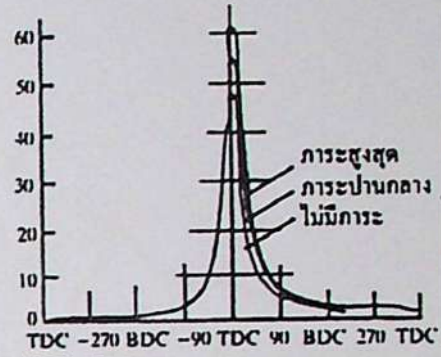
ทฤษฎี

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ประเภท เผลไหม้ภายใน (Internal combustion engine) ซึ่งได้พลังงานความร้อนเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ จึงเรียกว่า เป็นเครื่องจักรกลความร้อน (Heat engine) เครื่องยนต์ดีเซลมีคุณลักษณะที่สำคัญแตกต่างจากเครื่องยนต์ประเภทอื่นคือวิธีการจุดระเบิดเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซลใช้วิธีการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบอกสูบที่มีอากาศอัดด้วยความดันสูงนี้ จะทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงฉีดเป็นฝอยเข้าไปกระทบกับอากาศร้อน ก็จะเกิดจุดระเบิดขึ้น ซึ่งอัตราการเผาไหม้ จะถูกควบคุมโดยอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์เบนซินนั้นแตกต่างกันมากในเครื่องยนต์เบนซินสารผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าจังหวะดูด และสารผสมนี้จะถูกอัดจนลูกสูบเคลื่อนที่ไปจน เกือบถึงจุดศูนย์ตายบน หัวเทียนจะช่วยจุดระเบิดเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ สารผสมนี้ต้องไม่จุดระเบิดเองไม่ว่าก่อนหรือหลังหัวเทียนจุด มิฉะนั้นจะเกิดการน็อกขึ้น ซึ่งทำให้เครื่องยนต์เสียดำรงประสิทธิภาพตก ส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นในจังหวะดูดจะดูดแค่อากาศเพียงอย่างเดียวแล้วอากาศนี้จะถูกอัดจนลูกสูบเกือบถึงศูนย์ตายบน อากาศนี้จะมี ความดันและอุณหภูมิสูง เมื่อน้ำมันถูกฉีดเข้ามาเป็นฝอยละเอียดและผสมกับอากาศที่ถูกอัดนั้นแล้วเกิดการผสมขึ้น สารผสมที่เกิดขึ้นในลูกสูบนี้จะมีอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงต่างกันไปในแต่ละแห่งและแต่ละเวลา การเผาไหม้จะเกิดขึ้นเองเมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงพอดีกัน ธรรมชาติของน้ำมันขนาดต่างๆที่ถูกฉีดเข้ามาจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบ และในกระบอกสูบสารผสมก็จะหมุนเวียนวนไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้หลายๆแห่งไม่แน่นอน แต่ทั่วไปไฟจะติดหลายจุดรอบๆบริเวณที่ฉีดน้ำมันเข้าก่อน



องศาเพลารื้อเหวี่ยง
(1) เครื่องยนต์เบนซิน

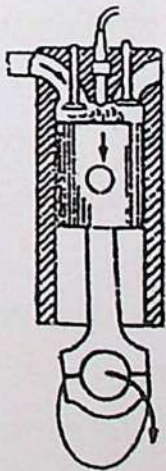


องศาเพลารื้อเหวี่ยง
(2) เครื่องยนต์ดีเซล

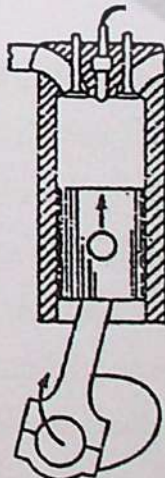
รูปที่ 2.1 แสดง P - θ curve ของเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล

วัฏจักรของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

การทำงานของเครื่องยนต์โดยเพลารื้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบหรือหมุนเป็นมุมรวม 720 องศา จะได้กำลังงาน 1 ครั้ง โดยลูกสูบเลื่อนขึ้นของลูกสูบ 2 ครั้ง และเลื่อนลง 2 ครั้ง ลำดับการทำงานที่เกิดขึ้นทั้ง 4 จังหวะเริ่มจากจังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะงาน และจังหวะคาย



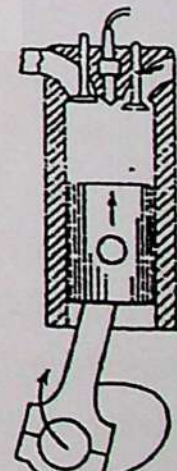
(ก) จังหวะดูด



(ข) จังหวะอัด

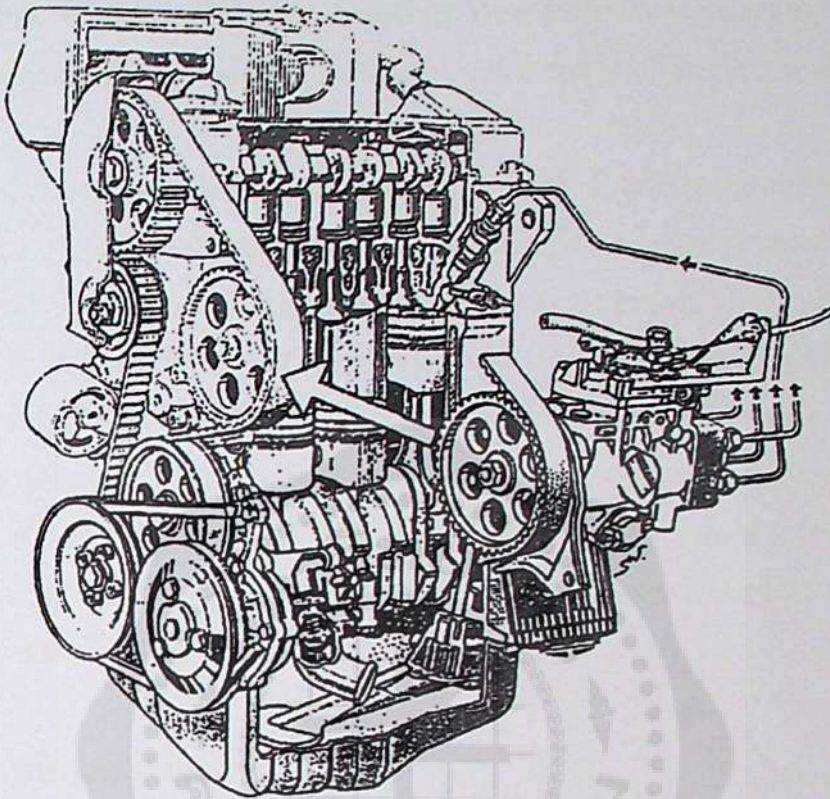


(ค) จังหวะงาน



(ง) จังหวะคาย

รูปที่ 2.2 แสดงจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

การกวาดไล่ไอเสีย

การกวาดไล่ไอเสีย (Scavenging) เป็นวิธีการที่ใช้กวาดไล่ก๊าซในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ ปกติการกวาดไล่ไอเสียจะเกิดขึ้นโดยการใช้ช่องไอดีและช่องไอเสียรวมกัน หรือใช้ช่องร่วมกับลิ้น วิธีการกวาดไล่ไอเสียที่ใช้อยู่ทั่วไปมีอยู่ 3 วิธีคือ

1. การกวาดไล่ไอเสียโดยไหลข้าม วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมากวิธีหนึ่งอากาศจะไหลผ่านช่องที่ผนังกระบอกสูบข้างหนึ่งเข้าไป ทิศทางของอากาศที่เข้าจะถูกบังคับให้จึงขึ้นตอนบน ทั้งนี้เนื่องจากหัวลูกสูบถูกออกแบบให้หมุนขึ้นอากาศที่วิ่งตอนบนให้หมุนขึ้น อากาศที่วิ่งขึ้นตอนบนนี้จึงช่วยกวาดไล่ไอเสีย และผ่านช่องไอเสียที่เจาะอยู่ตรงข้ามช่องไอดีออกไปวิธีนี้ปรากฏว่าอากาศดีบางส่วนจะผสมเข้ากับไอเสียและติดตามไอเสียออกไปทางช่องไอเสียวิธีการกวาดไล่ไอเสียโดยไหลข้ามนี้ ประสิทธิภาพในการกวาดไล่ไอเสียจะขึ้นอยู่กับการปรับปรุงออกแบบ ทิศทางของช่องส่งไอดีกับลักษณะรูปร่างของหัวสูบ

2. การกวาดไล่ไอเสียโดยไหลสวนกลับ การปรับปรุงประสิทธิภาพของการกวาดไล่ไอเสียให้สูงขึ้น โดยการแก้ไขทิศทางการไหลของอากาศที่เข้ากระบอกสูบซึ่งอากาศจะช่วยดันไอเสียออกและสูญเสียไปกับการผสมกับไอน้ำมันน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้วิธีการกวาดไล่ไอเสียแบบไหลข้าม

3. การกวาดไล่ไอเสียโดยไหลทางเดียว วิธีนี้ใช้การบรรจุก๊าซเข้าทางด้านข้างของกระบอกสูบ และขับไอเสียออกทางบนสุดของกระบอกสูบ กระบอกสูบของเครื่องยนต์ 2 จังหวะแบบไหลทางเดียวนี้ จะเจาะช่องไอดีไว้เป็นแนวรอบกระบอกสูบประมาณ ตอนกลางของกระบอกสูบ ส่วนไอเสียใช้วิธีขับออกทางลิ้นซึ่งอยู่ที่ฝาสูบ ระบบการกวาดไล่ไอเสียโดยไหลทางเดียวนี้ถูกนำไปใช้กับเครื่องยนต์ชนิดวางสูบตรงข้าม (Opposed piston) ช่องไอดีและช่องไอเสียเจาะไว้ที่ปลายสุดด้านข้างของกระบอกสูบ ดังนั้นไอดีจึงเข้าจากทางปลายข้างหนึ่งของกระบอกสูบ และกวาดไอเสียออกไปทางช่องไอเสียซึ่งอยู่อีกปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบ ปกติช่องไอดีของเครื่องยนต์ที่มี การกวาดไล่ไอเสียโดยไหลทางเดียวนี้จะเจาะไว้เฉียง ๆ เพื่อช่วยให้การผสมการหมุนวนดี ทำให้การสันดาปเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซินแตกต่างกันมากในเครื่องยนต์เบนซินสารผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าในจังหวะดูดและสารผสมนี้จะถูกอัดจนถูกสูบเคลื่อนที่จนเกือบถึงจุดศูนย์กลางบนหัวเทียนจะช่วยจุดไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้สารผสมนี้ต้องไม่ติดไฟเองไม่ว่าก่อนหรือหลังหัวเทียนจุด มิฉะนั้นจะเกิดอาการน็อกขึ้นซึ่งทำให้เครื่องเสีย กำลังประสิทธิภาพตก ส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นในจังหวะดูด จะดูดเอาแต่อากาศเพียงอย่างเดียว แล้วอากาศนี้จะถูกอัดจนถูกสูบเกือบถึงศูนย์กลางบนอากาศนี้จะมีควมดันสูงและอุณหภูมิสูง เมื่อน้ำมันถูกฉีดเข้ามา หยดของน้ำมันที่มีขนาดไม่เท่ากัน ก็จะได้รับความร้อนและผิวของหยดน้ำมันจะระเหยออกไป โขของน้ำมันจะผสมกับอากาศที่อัดแน่น และเกิดเป็นสารผสมขึ้น สารผสมที่เกิดขึ้นในลูกสูบนี้อจะมีอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงต่างกันไปในแต่ละแห่งและแต่ละเวลาการเผาไหม้เกิดขึ้นเองเมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงพอดีกัน ธรรมชาติของน้ำมันขนาดต่างๆ ที่ถูกฉีดเข้ามากระจายไปทั่วกระบอกสูบ และในกระบอกสูบอากาศก็จะหมุนเวียนวนไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้หลาย ๆ แห่งไม่แน่นอนแต่ทั่ว ๆ ไปจะติดหลาย ๆ จุดรอบ ๆ บริเวณที่ฉีดน้ำมันเข้ามาก่อนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงคือ

1. ช่วงจุดไฟล่า (Delay Period หรือ Ignition Delay) คือ ช่วงเวลาระหว่างที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดเริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์รวมทั้งผลกระทบ

อย่างมากต่อเสียงการสันตะเทียนและไอเสีย เมื่อช่วงจุดไฟล่าถอย การเผาไหม้จะนิ่มนวลการสันตะเทียนจะน้อยและ No_x จากไปเสียจะน้อย ช่วงจุดไฟล่าถอยขึ้นอยู่กับ Cetane Number ของเชื้อเพลิง อุณหภูมิและความดันของการอัดการตั้งเวลาการฉีดและการหมุนเวียนของก๊าซในกระบอกสูบ ช่วงนี้จะสั้นเมื่อ Cetane Number สูง ความดัน และอุณหภูมิตั้งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (ก่อน IDC ไม่นาน)

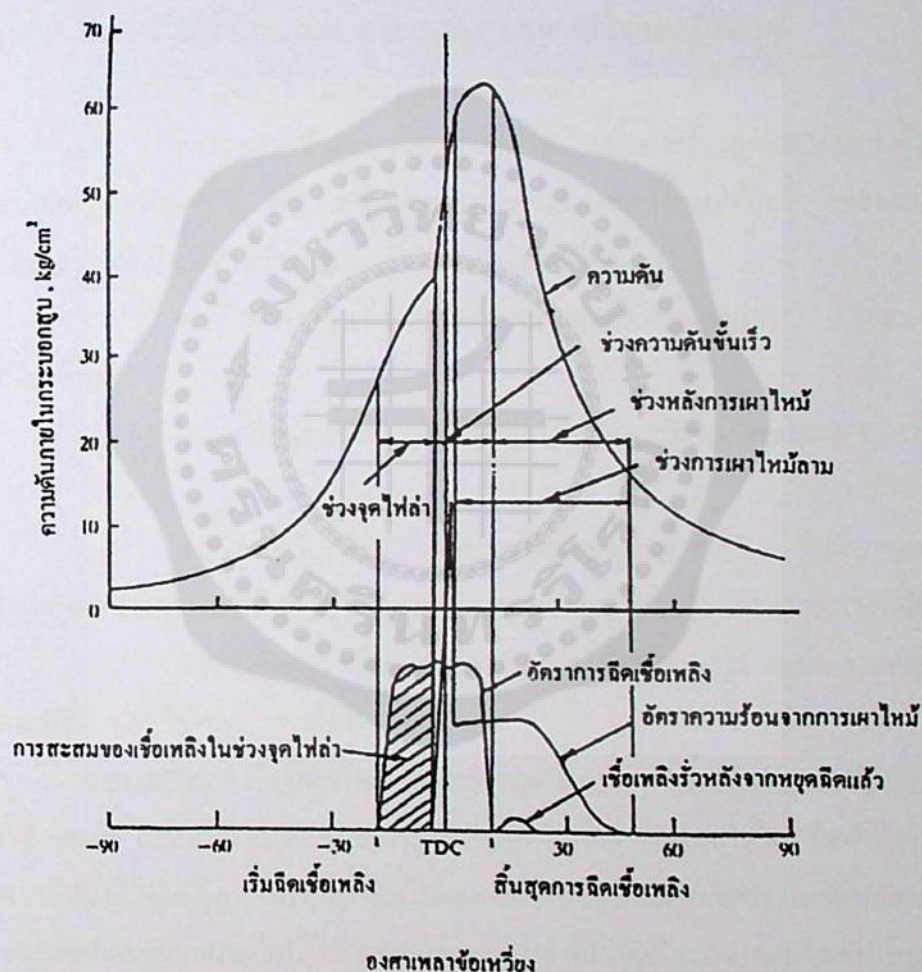
Delay Period นี้เป็นผลรวมของ Physical Delay และ Chemical Delay คือช่วงของ Physical Delay น้ำมันที่ถูกฉีดเข้ามาจะแตกตัวออกเป็นหยด และเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยแล้วรวมตัวกับอากาศ เป็นสารผสมหลังจากนี้เป็นช่วงของ Chemical Delay ในช่วงนี้ไฮโดรคาร์บอนหนักในสารผสม จะแตกตัว เป็นไฮโดรคาร์บอนเบา แล้วเกิดการกระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศขึ้น ธรรมดา Physical Delay จะสั้นมากโดยเฉพาะถ้าเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้วจะเห็นว่าช่วงเวลาที่น้ำมันดีเซล ระเหยนี้ใช้เวลาเพียง $1/3$ หรือ $1/2$ เท่าของน้ำมันเบนซินเท่านั้น แล้วแต่อุณหภูมิไอติดกันนั้น จะเห็นว่า Physical Delay มีผลน้อยมากต่อ Delay Period ดังนั้นผลของการเผาไหม้จึงเป็นส่วน ใหญ่เนื่องมาจาก Chemical Delay ได้มีการค้นและทดลองเกี่ยวกับ Chemical Delay มาเป็นเวลา หลายสิบปี แต่ก็ยังไม่มีข้อมูลที่แน่นอนพอที่จะยืนยันถึงการเกิดปฏิกิริยา ของไฮโดรคาร์บอนกับ ออกซิเจน อย่างไรก็ตามได้มีการทดลองยืนยันว่าในช่วงจุดไฟล่าถอยเองที่เกิดสารมลพิษ

2. ช่วงความดันขึ้นเร็ว (Rapid Pressure Rise Period) คือช่วงเวลาเริ่มติดไฟ จนถึงความดันสูงสุด หรือช่วงที่ความดันเพิ่มอย่างรวดเร็วถ้าอัตราเพิ่มความดัน (dp/dt) ขึ้นแรงเกินไป จะทำให้เครื่องน็อกและเกิดการสั่นกำลังของเครื่องจะตกจะมีสารมลพิษในไอเสียมาก อัตราความดันจะดีก็ต่อเมื่อช่วงจุดไฟล่าถอยพอเหมาะถ้าช่วงยังยาวอัตราความดันจะยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะ ถ้าช่วงจุดไฟล่าถอยยาวปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามาในกระบอกสูบจะสะสมมากขึ้นเมื่อเกิดการติดไฟ ก็ จะติดหลาย ๆ จุดขึ้นพร้อม ๆ กัน ทำให้ความดันเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วเกินไป

3. ช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion Propagation) ความจริงแล้วการเผาไหม้ก็จะลามทันที แต่ในช่วง 2 นั้น การเผาไหม้ลามอย่างรวดเร็วมาก สำหรับในช่วง 3 การลามจะ ค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วก็ช้าลง ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่รอบๆ จะระเหยและดึงความร้อน จากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบและผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น เพราะสารผสมกระจายไปสม่ำเสมอและปริมาณ O_2 ใน กระบอกสูบก็ลดลง แก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นและวนเวียนไปรอบๆ การเผาไหม้ในกรณีเช่นนี้ Thermal Decomposition หรือ Polymerization

4. ช่วง Blow - Down หรือช่วงหลังการเผาไหม้ ช่วงนี้น้ำมันหยุดฉีดแล้วแต่การเผาไหม้ยังลามต่อไป เชื้อเพลิงที่กระจายไปรอบๆ กระบอกสูบที่ขาด O_2 และสารอนุภาคของแข็ง ที่เกิดก็จะลามติดไฟอย่างช้า ๆ แม้ว่าลิ้นที่หัวฉีดจะปิดแล้วแต่ก็จะเกิดน้ำมันรั่วออกมาอีกเนื่องจาก

ความดันที่ค้างในท่อน้ำมันของน้ำมันที่รั่วบางที่เรียกว่า Secondary Injection (การฉีดตกค้าง) จะไม่สามารถเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ซึ่งจะทำให้เกิดควันดำและ HC ไอเสียที่ออกมาในช่วง Blow - down นี้ งานที่ให้น้อยมากทำให้ประสิทธิภาพความร้อนต่ำ ฉะนั้นในช่วงนี้จึงมีแต่การเพิ่มอุณหภูมิไอเสียเท่านั้น



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

สาเหตุการเกิดควันดำและสารพิษ

ควันดำและสารพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้คาร์บอนบางส่วนในน้ำมันเชื้อเพลิง (ไฮโดรคาร์บอน) ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเหลือเป็นเขม่าดำและสารพิษออกมาจากท่อไอเสีย

สาเหตุของการเกิดควันดำ ซึ่งเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์นั้นมีหลายประการ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ กรองอากาศอุดตันทำให้อากาศเข้าไม่เพียงพอ ปรับแต่งปั๊มหัวฉีดไม่เหมาะสม หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงชำรุดทำให้การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เป็นฝอยละเอียด กำลังอัดของกระบอกสูบต่ำเนื่องจากสึกหรอมากและการออกแบบห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

1. แบบฉีดโดยตรง (Direct Injection Type)

ช่องว่างบนหัวลูกสูบคือห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดกระจายเข้าหาลูกสูบ จากหัวฉีดแบบหลาย ๆ รู ซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งตรงกลางของห้องเผาไหม้ ในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นเป็นลำดับดังนี้คือ

- 1.1. ท่อไอดีและวาล์วไอดี จะทำหน้าที่หมุนอากาศ ให้ผสมกับเชื้อเพลิงที่ ถูกฉีดเข้ามา
- 1.2. รอยปุ่มตรงกลางของหัวลูกสูบ เพื่อเสริมให้เกิดการผสมและการเผาไหม้ที่ดีขึ้น
- 1.3. รอยปุ่ม ยังทำให้เกิดการไหลอย่างรุนแรง ในช่วงของลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดศูนย์กลางบน โดยแก๊สจะถูกผลักออกและดูดเข้าอย่างรวดเร็วทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น
- 1.4. เมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดมากระแทก ที่ผนังรอยปุ่ม จะเกิดการหมุนเวียนของอากาศมากขึ้น ทำให้เกิดการผสมดีขึ้น

สำหรับห้องเผาไหม้ฉีดโดยตรงแบบ Quiescent นั้นเป็นห้องเผาไหม้ที่อากาศเคลื่อนไหวน้อยมาก ดังนั้นหัวฉีดนอกจากจะมีหลายรูแล้วยังต้องออกแบบให้การฉีดน้ำมันกระจายตัวเป็นละอองให้มากที่สุดด้วย ไม่ให้น้ำมันไปกระทบผิวลูกสูบหรือผนังกระบอกสูบก่อนการจุดระเบิด หากเกิดกระทบก่อนเผาไหม้ได้เพราะขาดอากาศทำให้เกิดเป็นบางและบางส่วนไหลลงก้นอ่างห้องเผาไหม้ฉีดโดยตรงแบบ Quiescent นี้จะใช้เฉพาะกับเครื่องยนต์ที่มีรอบต่ำมากและมีขนาดกระบอกสูบใหญ่กว่า 200 มม. ขึ้นไป

2. แบบฉีดโดยอ้อม (INDIRECT INJECTION Type – IDI)

แบบฉีดโดยอ้อมจะเพิ่มห้องเผาไหม้ช่วย (Sub – Chamber) อีกห้องหนึ่ง โดยมีทางต่อเชื่อมกันระหว่างห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมนี้ จะทำให้เกิดหมุนเวียนให้ดีขึ้นมาก เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ช่วยก่อนและบางส่วนจะถูกเผาโดย glow plug ทำให้

อุณหภูมิและความดันในห้องเผาไหม้ช่วยสูงมาก เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์แตกตัวผสมและน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้หลัก (main chamber) อย่างแรงไปตามทางต่อเชื่อม (Tunnel) ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ขึ้นในห้องเผาไหม้หลัก ห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

แบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้า (Pre – chamber – Pc)

แบบห้องเผาไหม้หมุนวน (Swirl – chamber – Sc)

3. เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องยนต์ ที่มีห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อม (IDI) และ โดยตรง (ID)

เครื่องยนต์ที่มีห้องเผาไหม้โดยอ้อมนั้น เชื้อเพลิงบางส่วนจะถูกเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ช่วยและส่วนผสมทั้งหมดจะถูกอัดผ่านท่อเชื่อมเข้าห้องเผาไหม้หลัก ซึ่งอากาศในห้องเผาไหม้หลักจะถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ การเผาไหม้จะนุ่มนวลกว่า NO_x

อัตราการเพิ่มความดันจะต่ำกว่าอุณหภูมิและความดันสูงสุดจะต่ำกว่าปริมาณ NO_x จะน้อยกว่าเสียงดังน้อยกว่า เครื่องจะทำให้ลดน้ำหนักได้เพราะไม่ต้องด้านความดันสูง

ส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิง ที่เหลือในห้องเผาไหม้ช่วย จะถูกเผาจนหมดเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เพราะมีอากาศเกินพอในเครื่องยนต์ดีเซล ทำให้ควันดำน้อยลง และปริมาณ HC เกือบจะไม่มีเลย

เนื่องจากแก๊สถูกอัดจากห้องเผาไหม้ช่วยเข้าห้องเผาไหม้หลักโดยผ่านท่อต่อเชื่อมมีปริมาณมากและมีความเร็วสูงมาก อัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาณของห้องเผาไหม้สูงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังสูงด้วย เป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลงประมาณร้อยละ 10 – 20 ซึ่งเป็นผลคืออย่างไรในการลดปริมาณ NO_x

แก๊สความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกอัดจากห้องเผาไหม้ช่วยกระแทกบนหัวลูกสูบทำให้เกิดอุณหภูมิสูงเฉพาะที่ โอกาสที่ลูกสูบจะเกิดรอยร้าวง่ายขึ้น

ขณะอัดอากาศผ่านเข้าห้องเผาไหม้ช่วย ทำให้เกิดการเสียดสี อุณหภูมิห้องเผาไหม้ช่วยเย็นลงเนื่องจากน้ำหล่อเย็นด้วย ทำให้อุณหภูมิในการจุดเชื้อเพลิงต่ำซึ่งต้องใช้ glow plug ในการช่วยจุดไฟ

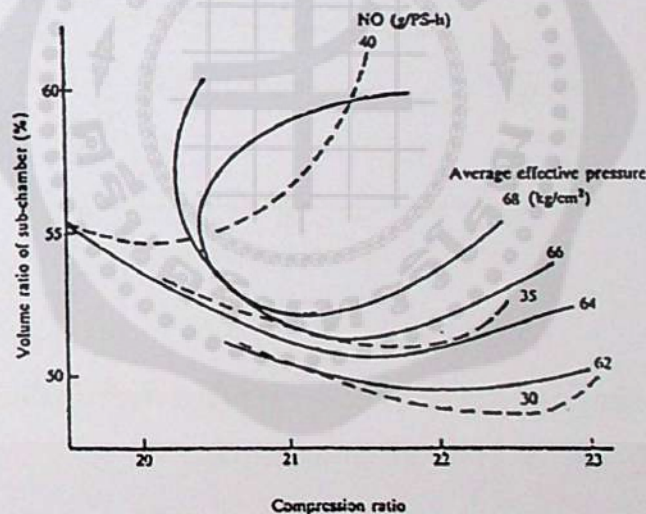
อัตราส่วนปริมาตรของห้องเผาไหม้หลักต่อห้องเผาไหม้ช่วยและขนาดของทางต่อเชื่อมมีผลกระทบต่อไอเสียมาก ถ้าอัตราส่วนห้องเผาไหม้ช่วยน้อย จะทำให้ช่วยลดปริมาณ NO_x แต่ทำให้ความดันประสิทธิผลเฉลี่ยต่ำลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะน้อยลง และจะเพิ่มควันดำ ดังนั้นจึงต้องมีเกณฑ์จำกัดการลดขนาดห้องเผาไหม้ช่วย

4. ระบบการฉีดเชื้อเพลิง

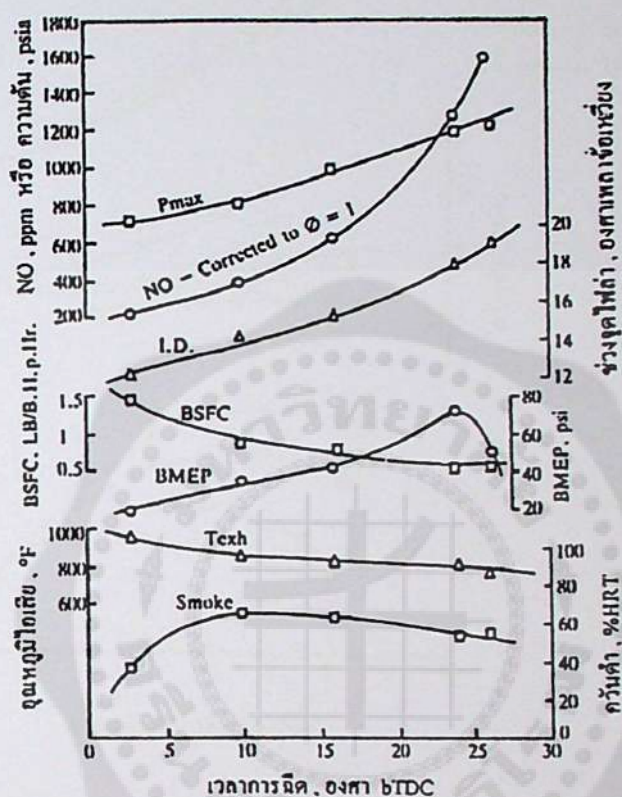
4.1. การตั้งเวลาฉีด เวลาของการฉีดน้ำมันมีผลต่อการจุดระเบิด ของเครื่องยนต์มาก การฉีดน้ำมันเข้าเพื่อให้ได้กำลังมากและประหยัดนั้น ทำให้การจุดระเบิดช้าลง เพราะความดันและอุณหภูมิระหว่างช่วงจุดระเบิดขึ้นสูงมาก และทำให้เวลาของการเผาไหม้ ส่วนผสมน้อยลงด้วย NO_x ก็น้อยลงการฉีดน้ำมันช้าลงจะลดอัตราส่วนกำลังอัด อุณหภูมิสูงสุดจะลดลงและช่วงเวลาของอุณหภูมิสูงนี้จะน้อย NO_x จะน้อยลง

อย่างไรก็ดี การตั้งเวลาฉีดจะทำให้การลุกไหม้ลามไปนานยิ่งขึ้น เป็นเหตุให้เกิดควันดำโดยเฉพาะในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรง อัตราส่วนการขยายตัวของแก๊สจะลดลงในขณะเกิดการเผาไหม้ในช่วงของลูกสูบเลื่อนลง ซึ่งจะเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ลดลง เปลืองน้ำมันมากขึ้น กำลังลดลง

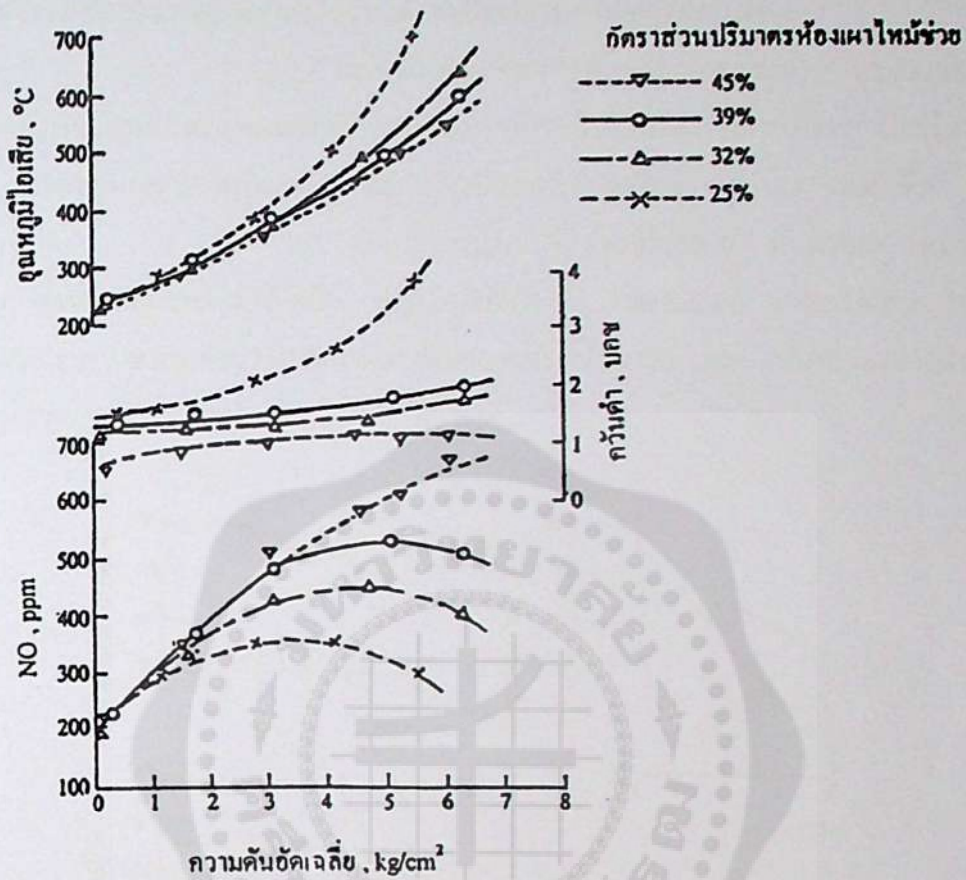
ในเครื่องยนต์ที่มีห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมนั้น ควันดำจะมีไม่มากแม้ว่าจะฉีดน้ำมันช้าลงแต่ปริมาณ NO_x ก็ลดไม่มากแต่จะสิ้นเปลืองน้ำมันมากขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างผลกระทบของห้องเผาไหม้คือ NO_x และกำลัง



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรห้องเผาไหม้ช่วยต่อ NO_x คิวน์ดำและอัตราส่วนกำลังอัด



รูปที่ 2.7 แสดงผลของการตั้งเวลาฉีดต่อ NO_x และตัวแปรอื่น ๆ

4.2. อัตราการฉีดน้ำมัน ปริมาณของน้ำมันที่ฉีดเข้ากระบอกสูบต่อหน่วยเวลา (หรือองศาเพล CA) คืออัตราการฉีดน้ำมัน ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ การเผาไหม้และการลามของเปลวรวมถึงการเกิด NO_x เติงและการน็อกของเครื่องยนต์ด้วย

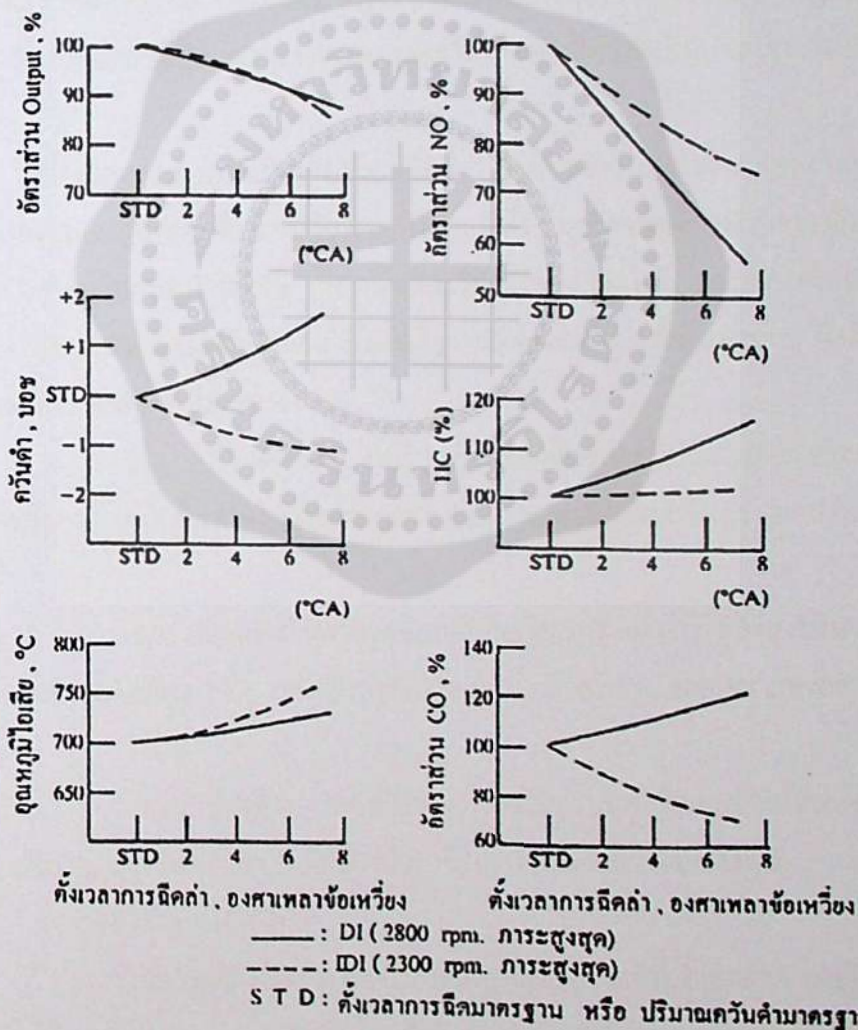
อัตราการฉีดเชื้อเพลิงโดยเฉพาะในช่วงของการจุดระเบิดล้นนั้นมีผลต่อ NO_x มาก การฉีดไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการเผาไหม้ช้า ส่วนใหญ่จะเนื่องจากการออกแบบปริมาตรของช่วงในหัวฉีด (Nozzle Sack) หรือคลื่นความดันในท่อส่งน้ำมัน ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดควันดำ CO และ HC

ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการฉีด ทำได้โดยเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของ Plunger และเพิ่มปริมาตรช่วงหัวฉีด ผลที่เกิดขึ้นคือ ช่วงเวลาการฉีดจะสั้นลง เชื้อเพลิงจะฟุ้งมากขึ้นหากแรง

คันเพิ่มขึ้นและเชื้อเพลิงฟอยนี้จะเกาะไปไกลด้วย อย่างไรก็ตาม ผลต่าง ๆ ดังกล่าวจะกระทบการฉีดแบบโดยอ้อมน้อยมาก ผลกระทบที่สรุปได้จากอัตราการผลิตต่อเครื่องยนต์คือ

4.2.1. ควันดำจะเกิดระหว่างช่วงของการลามของเปลวหากเพิ่มอัตราการผลิตปริมาณน้ำมันในช่วงของจุดระเบิดต่ำ จะมากซึ่งจะไปรวมกับส่วนผสมเดิมทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นอีก การลามของเปลวไฟก็จะช้าลง ดังนั้นจะเป็นผลให้ลดควันดำ แต่ NO_x จะเพิ่มขึ้น

4.2.2. เมื่อปริมาณน้ำมันที่เข้ามาฟอยมาก พื้นที่ผิวของหยดน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะผสมกับอากาศได้ดีขึ้น ปฏิกริยาจะเป็นเชิง Oxidization มากกว่าแบบ Thermal Decomposition หากหยดน้ำมันเล็กลงโดยเพิ่มความดันในการฉีด และลดขนาดของช่องหัวฉีดลง ควันดำก็จะลดลง



รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องแบบฉีดโดยตรงและโดยอ้อมเมื่อตั้งการฉีด

4.2.3. ความเร็วในการฉีดจะเป็นอัตราส่วนโดยตรง การเพิ่มอัตราการฉีดจะทำให้เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดไปได้ไกลกว่า และมักจะไปกระทบกับผนังห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการไหลตามผนัง ซึ่งจะเป็นผลดีในการผสมกับอากาศได้ดีขึ้น

4.2.4. ในความจริง การเลือกขนาดแบบหรือค่าต่าง ๆ เกี่ยวกับระบบการฉีดน้ำมันนั้นควรจะต้องเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) เพราะแต่ละขนาดแต่ละค่าต่างมีความสัมพันธ์กันและมีผลกระทบต่อกัน

5. ระบบไอดี

5.1. การหมุนเวียนของอากาศ ในห้องเผาไหม้ ในเครื่องยนต์นั้นธรรมดาจะมีอากาศเกินพออยู่แล้ว แต่จะมีบางแห่งในห้องเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงมากจนและ ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดควันดำ CO และ HC ได้ การขจัดปัญหานี้ทำได้โดยต้องพยายามให้เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและทำปฏิกิริยากับอากาศเร็วที่สุด อากาศที่หมุนวนอยู่ในห้องเผาไหม้จะเป็นประโยชน์เมื่อเข้าผสมกับเชื้อเพลิง

การหมุนเวียนของอากาศเกิดจากระบบไอดี และการอัดบีบของอากาศจะเกิดที่หัวของลูกสูบ ดังนั้นขนาดและรูปแบบห้องเผาไหม้รวมทั้งตำแหน่ง และขนาดของหัวฉีดจะมีผลต่อการหมุนเวียนทั้งสิ้น ถ้าอากาศหมุนวนไม่ดี เชื้อเพลิงก็จะไม่กระจายก็จะไม่ดี แต่หากให้หมุนวนมากเกินไปเชื้อเพลิงที่ฟอยมากนั้นจะผสมกันเอง ดังนั้นจึงควรเลือกค่าต่าง ๆ ให้เหมาะสม ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและการทดสอบวิจัยมาช่วยมาก

5.2. ปริมาตรไอดี แม้ในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีปริมาณอากาศมากเกินพออยู่แล้ว แต่การอัดอากาศเพิ่มขึ้นอาจใช้เทอร์โบชาร์จเจอร์ จะช่วยให้ลดควันดำ ลดปริมาณ CO และ HC ได้

5.3. ความชื้นในอากาศมีผลต่อไอเสียมาก ความชื้นยิ่งสูงปริมาณ NO_x ยิ่งมากและหากอุณหภูมิไอดีสูง NO_x แต่ควันดำจะเพิ่มเล็กน้อย และกำลังตกเพราะมวลอากาศน้อยลง

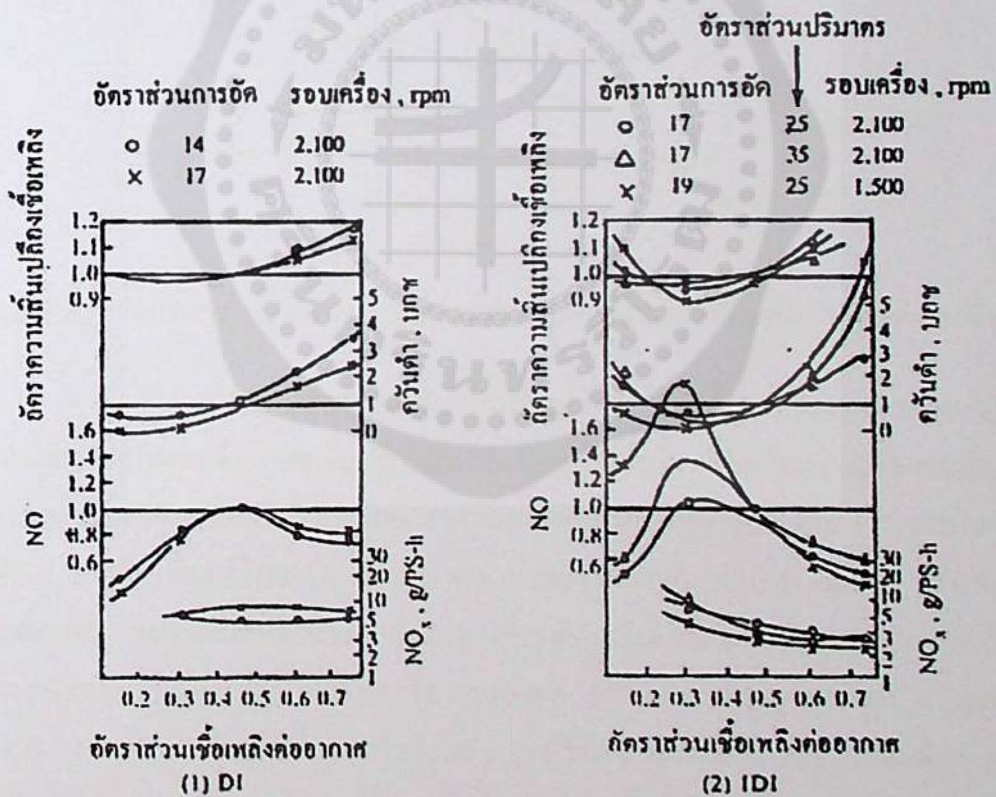
5.4. ก๊าซค้าง หากมีก๊าซเก่าค้างในกระบอกสูบจะทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำลง ปริมาณ O_2 ในการเผาไหม้ก็น้อยลง ซึ่งจะทำให้เกิดควันดำมากขึ้น

6. อัตราส่วนกำลังอัด

อัตรากำลังอัดสูงจะทำให้อุณหภูมิสูงของไอดีที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ การจุดระเบิดก็จะเร็วขึ้น ปริมาณ HC จะลดลงหากอัตราส่วนกำลังอัดสูงขึ้นและ NO_x จะลดลงด้วยสำหรับในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมแต่ในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรงปริมาณ HC ลดและ NO_x เพิ่มขึ้น

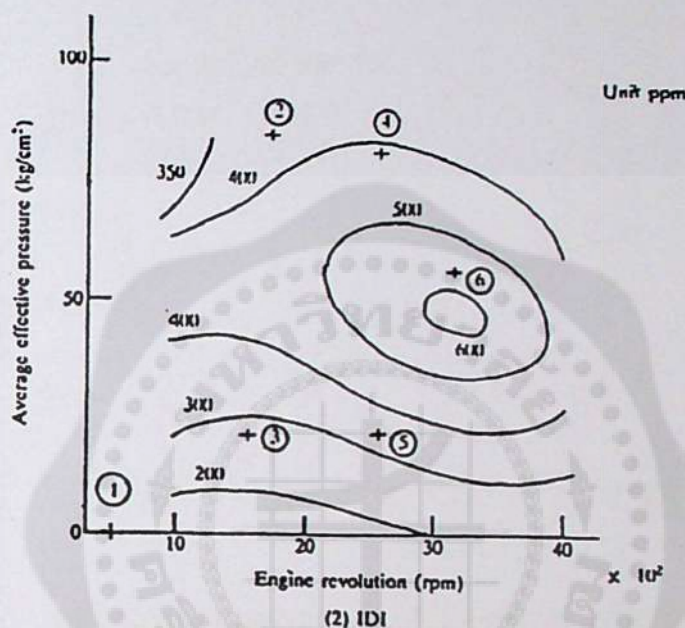
7. ตัวแปรต่างของเครื่องยนต์

7.1. ภาระในเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับภาวะที่เปลี่ยนไปของเครื่องยนต์ ดังนั้นอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันจึงเปลี่ยนตามภาระด้วย เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น อุณหภูมิแก๊สเพิ่มและ NO_x เพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่งที่เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นแล้ว NO_x จะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของ O_2 ลดลง ค่าของอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันที่ทำให้เกิด NO_x สูงสุดนั้นเปลี่ยนตามรูปแบบของห้องเผาไหม้ และการตั้งเวลาการฉีดน้ำมัน คิว้นดำและ CO จะเพิ่มด้วยและจะเพิ่มอย่างรวดเร็วมากที่ ค่าหนึ่งของอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันที่ภาระสูงหรือสูงสุดปริมาณอากาศเกินเพียง 1.2 หรือ 1.5 เท่านั้น แต่อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงมาก และปริมาณ O_2 ในอากาศบางลงค่าจุดระเบิดล้าน้อยลง เปลวจะลามได้ดีขึ้นซึ่งเป็นผลให้เพิ่มความดัน และเช่นกันที่ความเร็วรอบต่ำภาวะต่ำ ซึ่งปริมาณอากาศเกินพอมาก อุณหภูมิของแก๊สจะต่ำ ทำให้ปริมาณ HC เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 แสดงผลกระทบของภาระและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน

7.2. ความเร็วรอบ ถ้าอัตราส่วนอากาศและน้ำมันคงที่ การเปลี่ยนความเร็วรอบจะทำให้ค่า NO_x และควันท่าเปลี่ยนเล็กน้อย



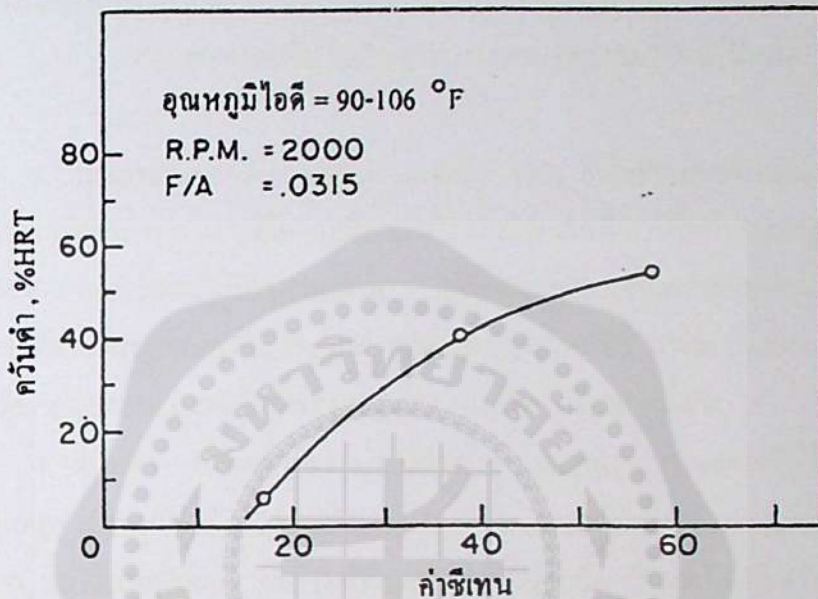
รูปที่ 2.10 แสดงการเปลี่ยน NO_x เนื่องจากความเร็วรอบและความดันประสิทธิผลเฉลี่ย

7.3. สภาพการขับขี่เครื่องยนต์ ในเครื่องยนต์ดีเซลควบคุมการขับขี่ (หรือภาระของเครื่องยนต์) โดยปรับปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าเท่านั้น ไม่เหมือนในเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งปรับภาระโดยเหยียบคันเร่งซึ่งจะเพิ่มอัตราส่วนอากาศน้ำมันทำให้ HC และ CO เพิ่มขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซล หากไม่ใช้เทอร์โบชาร์จเจอร์ปริมาณน้ำมันจะถูกควบคุมโดยภาระอยู่แล้ว ปริมาณ HC, CO และ NO_x จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่บางที่จะเกิดควันท่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอากาศเข้าไม่ทัน เมื่อเพิ่มความเร็วเกินพอจะสรุปได้ว่าในเครื่องยนต์ดีเซล ถ้าความเร็วรอบสูงภาระสูง ความเข้มข้น NO_x มาก รถบรรทุกแม้จะขับขี่ความเร็วรอบต่ำ แต่ก็ใช้ภาระสูงตลอด NO_x ก็เพิ่มด้วย เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มความเร็วรอบสูง NO_x , CO และควันท่าจะเพิ่มหมด

8. เชื้อเพลิง

ค่าครรชนีซีเทนจะมีผลต่อการจุดไฟล่า และมีผลต่อ NO_x ด้วยแต่ธรรมดาที่ขายในตลาดก็มีผลน้อยอยู่แล้ว โดยเฉพาะค่าควันท่า หากเชื้อเพลิงที่เดิมแบบเรียบจะทำให้ควันท่าเพิ่มขึ้น สำหรับคุณสมบัติตัวอื่นของเชื้อเพลิง ก็มีผลกระทบต่อภาระใหม่ และมลพิษเช่น

กัน จากปัจจัยดังกล่าวการที่เชื้อเพลิงจะผสมกับอากาศได้อย่างสมบูรณ์จึงเป็นไปได้น้อย ซึ่งทำให้เกิดควันดำมากขึ้น แต่ถ้าค่าซีเทนต่ำมากก็จะมีผลทำให้ช่วงจุดไฟล่าช้าวนขึ้น ดังนั้นผลของควันดำที่เกิดจากเชื้อเพลิงจึงขึ้นอยู่กับ การออกแบบห้องเผาไหม้ และรอบของเครื่องยนต์ด้วย



รูปที่ 2.11 แสดงผลของค่าซีเทนที่มีต่ออัตราการเกิดควันดำ

มลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล

ในเครื่องยนต์ดีเซล สารมลพิษจากเครื่องยนต์ที่มีปริมาณมากที่สุด จากไอเสียคือ NO_x และ (ควันดำ) มี HC และ CO บ้าง แล้วแต่กรณีนอกจากนี้ภาวะมลพิษที่ถือว่าร้ายแรงอีกคือกลิ่นและเสียง และแอลดีไฮด์ จะเห็นว่าแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน ทั้งนี้จากกระบวนการทำงานการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงต่างกัน

1. คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) กระบวนการเกิด CO ในเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนคล้ายคลึงกับการเกิด CO ในเครื่องยนต์เบนซินกล่าวคือ CO จะเกิดมากหากอัตราการให้อากาศเพิ่มและลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกระบวนการของการเกิดควันดำด้วย ธรรมดาทั่วไปจะเดินเครื่องยนต์ดีเซลด้วยอากาศที่มากกว่าอยู่แล้ว คือ อัตราการให้อากาศจะเป็น 1.2 – 10 เท่า ดังนั้นปริมาณ CO ที่เกิดจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน

2. ไฮโดรคาร์บอน (HC) เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อย HC ออกมาน้อยมาก ด้วยเหตุผลเดียวกับการปล่อย CO แต่ปริมาณ HC จะเพิ่มด้วยเหตุอื่นอีก คือ

2.1. ส่วนผสมของการกาซและเชื้อเพลิงที่หนา จะสัมผัสผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นเหตุให้เกิด HC ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ O_2 และไม่เกิดการเผาไหม้เลย

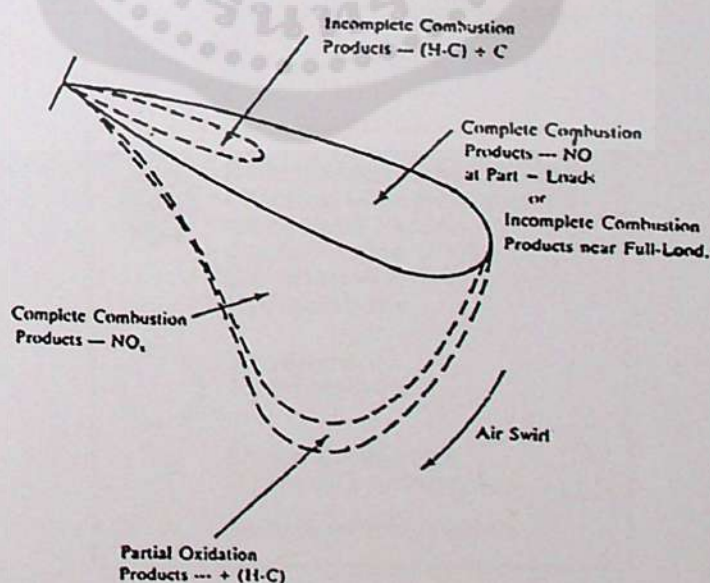
2.2. หากส่วนผสมบางมากเกินไป เปล่งไฟจะดับทำให้เกิด HC มาก

2.3. น้ำมันเหลือหลังหัวฉีด แล้วส่วนที่เหลือเป็นหยดน้ำไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ ทำให้เกิด HC

2.4. สารหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้ไม่หมด จะทำให้เกิด HC

3. ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) การเกิด NO_x ก็เกิดทำนองเดียวกับ เครื่องยนต์เบนซินเป็นการยากที่จะบอกว่า NO_x เกิดมากน้อยเท่าไรและเกิดจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงกับอุณหภูมินั้น เปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมากระหว่างช่องของเกิดเผาไหม้ในกระบอกสูบที่มี O_2 มาก จะเป็นการเผาไหม้ที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็วทำให้อุณหภูมิสูงมาก และอุณหภูมิจะสูงอยู่นาน NO_x จึงเกิดในช่องนี้มาก

4. คาร์บอนดำ แกนกลางของน้ำ ที่ฉีดเข้ากระบอกสูบแยกกระจายไปได้ยาก และมีความหนาแน่นสูง เมื่อแกนน้ำมันนี้ปะทะอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบและขนาด O_2 ช่วยในการเผาไหม้เนื่องจาก O_2 ถูกใช้หมดไปแล้ว จะทำให้เกิดละอองคาร์บอนขึ้น เป็นผลให้เกิดคาร์บอนดำ ทำนองเดียวกัน เชื้อเพลิงที่ฉีดมาแต่กระบอกสูบ เสื้อสูบ และเชื้อเพลิงหยดหลักการฉีดน้ำมันจะทำให้เกิดเป็นคาร์บอนด้วย

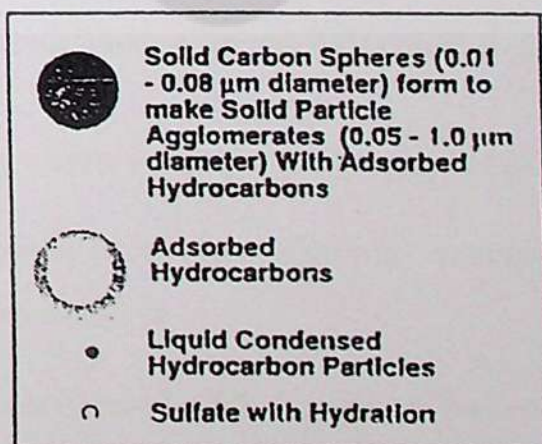
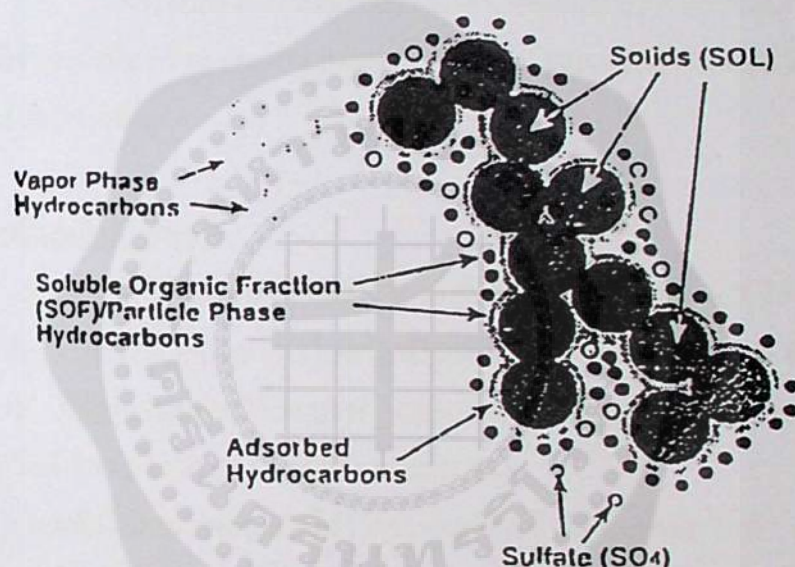


รูปที่ 2.12 แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน

ลักษณะโครงสร้างของควันดำดีเซล ควันดำของรถยนต์ดีเซลนั้นจะประกอบด้วย สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ (Organic and inorganic compounds) ซึ่งอยู่ในสภาพก๊าซ ของเหลว และของแข็ง

สารอินทรีย์ หรือสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด และน้ำมันเครื่อง ส่วนสารอนินทรีย์ ได้แก่ สารพวก ซัลเฟอร์ ออกซิเจน คาร์บอน ไนโตรเจน

ในสภาพก๊าซ ได้แก่ CO , SO_2 และ NO_x ส่วนในสภาพของแข็ง (solid) หรือบางครั้งเรียกว่า เขม่า (soot) ได้แก่ เขม่าขนาดเล็ก (10 - 80 nm) และในสภาพของเหลว ได้แก่ พวก สารประกอบสารอินทรีย์ หรือ ไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟต (SO_4)



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโครงสร้างของควันดำสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

จากลักษณะโครงสร้างของควันดำ หลังการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงจะมีสารประกอบหลายประเภท เช่น สารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ซึ่งอยู่ในสภาพทั้งก๊าซ ของแข็ง และของเหลว ปะปนกันอยู่ บางชนิด soluble organic fraction (sof) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง (carbon) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแล้วก็จะแปรสภาพเป็นก๊าซ

เขม่าควันในน้ำมันเบนซินจะมีสีเทา และละเอียด ส่วนในน้ำมันดีเซลจะมีสีดำ และปริมาณมากกว่า อนุภาคของเขม่าของน้ำมันดีเซลจะใหญ่กว่าอนุภาคของเขม่าในน้ำมันเบนซิน

เขม่าที่ออกมาจากไอเสีย หลังจากผ่านไส้กรองแล้ว จะพบว่ามีสองลักษณะคือ

เขม่าแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ยังคงมีสภาพดี

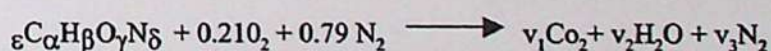
เขม่าเปียก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่องยนต์สึกหรอ และขาดการบำรุงรักษา เขม่าเปียกนี้จะมีคราบน้ำมันเครื่อง และยางเหนียว ๆ ที่หลงเหลือจากการเผาไหม้เขม่าเปียกจะทำให้ไส้กรองอุดตันเร็วกว่าปกติ

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ส่วนมากประกอบด้วย คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O₂) ไนโตรเจน (N₂) ซึ่งสูตรทั่วไปทางเคมีของเชื้อเพลิงก็คือ $C_\alpha H_\beta O_\gamma N_\delta$ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้กับอากาศ ที่เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric) แล้วเกิดสารประกอบด้วยของ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไอน้ำ (H₂O) และไนโตรเจน (N₂)

โดยทั่วไปอากาศจะถูกนำไปใช้ผสมกับเชื้อเพลิงใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งอากาศจะมีก๊าซออกซิเจน 21% โดยปริมาตร และมีไนโตรเจน อยู่ 97% โดยปริมาตร ดังนั้นอากาศจะมีสูตรทางเคมีคือ $(0.21O_2 + 0.79 N_2)$

ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงกับอากาศเกิดการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ (Stoichiometry) ซึ่งจะเขียนสมการได้ดังนี้



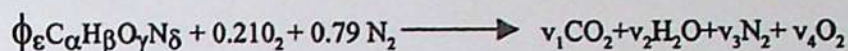
การที่จะบอกการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ จะสมบูรณ์หรือไม่สามารถจะรู้จากค่า ϕ (Fuel-Air Equivalence Ratio) คือ

$\phi = 1$ แสดงว่าการเผาไหม้มีสัดส่วนพอเหมาะ (Stoichiometry)

$\phi > 1$ แสดงว่ามีอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยเกินหรือเรียกว่าส่วนผสม หนา (Rich Mixture)

$\phi < 1$ แสดงว่ามีอากาศในส่วนผสมมากเกินไป หรือ เรียกว่าส่วนผสมบาง (Lean Mixture)

ถ้าการเผาไหม้ที่มีอากาศมากหรือส่วนผสมบางสามารถเขียนสมการได้ คือ



และถ้าการเผาไหม้ที่มีอากาศน้อยหรือส่วนผสมหนา สามารถเขียนสมการได้ คือ

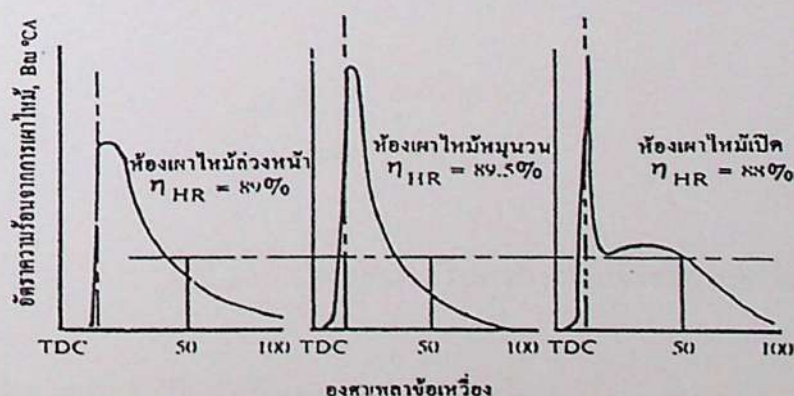


ข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล

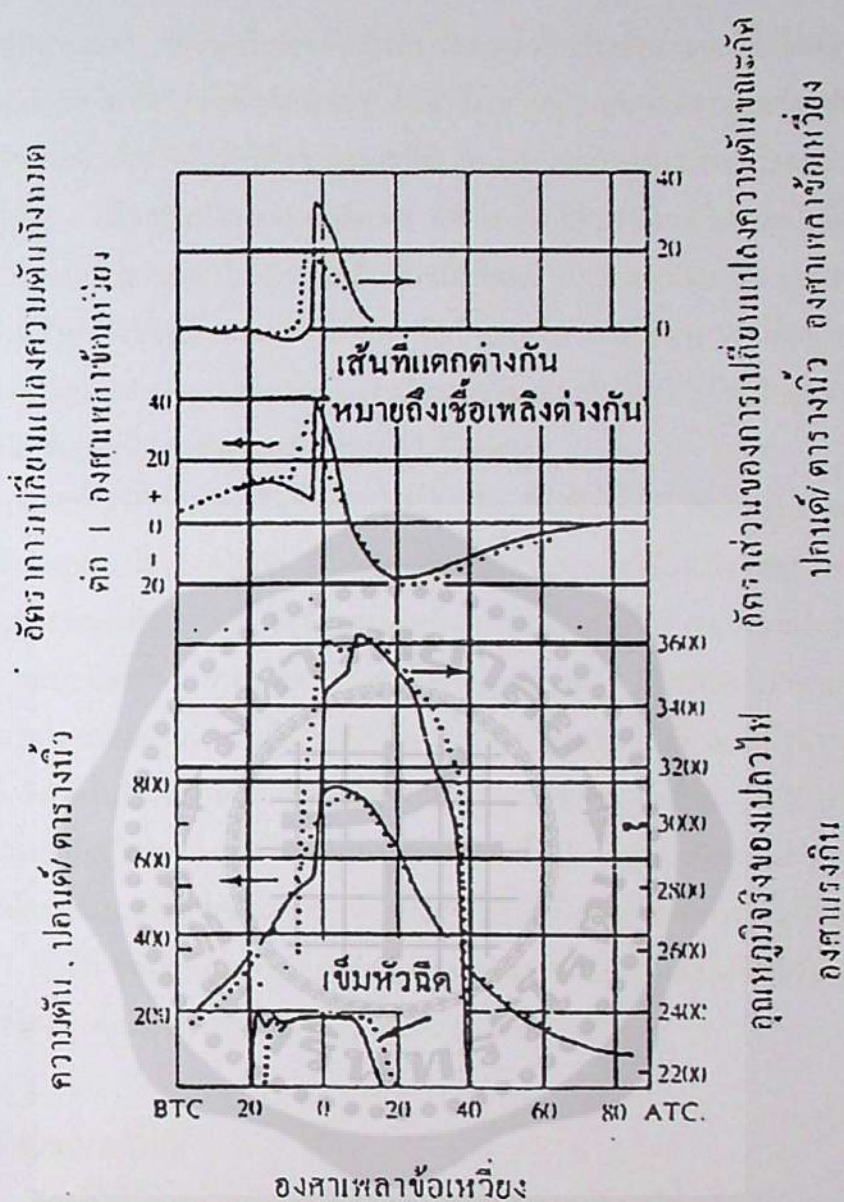
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล

ลำดับที่	เบนซิน	ดีเซล
1	อัตราส่วนอากาศเกินเชื้อเพลิงจะอยู่ระหว่าง 0.8 – 1.5 และจะคงที่ทุกครั้งและทุกแห่งในกระบอกสูบ	อากาศเกินเชื้อเพลิงต่ำสุดคือ 1.2 ที่ภาระสูงๆ ถ้าที่ภาระต่ำมากๆ อาจเป็น 10 ก็ได้ แสดงว่า ในดีเซลจะเป็นส่วนผสมบางตลอดเวลา เพราะอากาศที่เข้า缸ที่ตลอดน้ำมันจะฉีดมากขึ้นขึ้นอยู่กับภาระ
2	มีอัตราส่วนอากาศ/เชื้อเพลิง ค่อนข้างคงที่ทั่วกระบอกสูบและเชื้อเพลิงระเหยได้ดีกว่า	น้ำมันดีเซลที่ระเหยยากกว่าเบนซิน เมื่อถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้จะต้องระเหยอย่างรวดเร็วและผสมกับอากาศเป็นเชื้อเพลิงผสมที่เหนียวกว่าและไม่เป็นเนื้อรวมกันอย่างดีแบบในเครื่องยนต์เบนซิน แม้ว่าจะมีอากาศเกินพอ อัตราส่วนผสมจะเปลี่ยนแปลงไปทั่วกระบอกสูบ
3	การจุดไฟจะจุดที่หัวเทียนแล้วค่อยๆ แผ่กระจายความออกไป	ติดไฟได้ทุกแห่ง ที่มีภาวะเหมาะสมติดไฟไม่คงที่

ลำดับที่	เบนซิน	ดีเซล
4	เปลวลามช้าๆ และความดัน ในกระบอกสูบ ค่อยๆเพิ่มขึ้นไม่เกิดควันดำแต่อาจมี HC และ CO เหลือในไอเสีย	การลามของเปลวหมุนโดย Swirl การ สันดาปแผ่ไปเร็วมากทั่วกระบอกสูบแต่ เวลาที่จำกัดเลยทำให้เชื้อเพลิงผสมบาง ส่วนเผาไหม้ไม่ทันนั้นกลายเป็ควันดำ และHC
5	อัตราส่วนกำลังอัดสูง จะทำให้เกิด Knock ธรรมดาอยู่ระหว่าง 8-9	อัตราส่วนกำลังอัดยังสูง เครื่องยังเดิน เรียบ มีค่าอยู่ระหว่าง 15-20
6	อัตราส่วนอากาศเกิน เชื้อเพลิงน้อยกว่ามาก ดังนั้นอุปรณ์สูงสุดจะสูง แต่ความดันจะต่ำ กว่าและประสิทธิภาพความร้อนต่ำกว่า (ประ มาณ 28%)ยิ่งถ้าใช้ที่ภาระต่ำค่ายิ่งต่ำมาก	การเผาไหม้ มีอัตราส่วนอากาศเกินเชื้อ เพลิงมาก อุณหภูมิสูงสุด จะต่ำกว่าใน เครื่องเบนซิน แต่ความดันมากกว่าเมื่อ อัตราส่วนอากาศ สูงกว่าประสิทธิภาพเชิง ความร้อนจะดีกว่า (ธรรมดาประมาณ 37%)
7	ความดันค่อยๆเพิ่มมีเสียงน้อยกว่า	การเพิ่มความดันเร็ว และมีความดันสูง กว่าจึงเกิดการสันตะเทือนและเสียงดัง
8	เครื่องเบาเดินเรียบประสิทธิภาพต่ำ	เครื่องหนักและแข็งแรง เพราะต้องทน ความดันสูง แต่กำลังมากกว่าเครื่องเบน ซิน 50-60% ถ้ามีความจุเท่ากันส่วน ใหญ่จะคิดกำลังต่อน้ำหนักเครื่อง



รูปที่ 2.14 แสดงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้



_____ ค่าซีเทนเท่ากับ 60
 ค่าซีเทนเท่ากับ 26

รูปที่ 2.15 แสดงอุณหภูมิและความดันเพิ่มต่อการเผาไหม้

ผลกระทบของอุปกรณ์กรองควันดำที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

โดยปกติทั่วไปแล้ว รถยนต์ทุกชนิดจะต้องมีหม้อพักไอเสีย (Muffler) และหม้อเก็บเสียง (Resonator) หม้อพักไอเสียและหม้อเก็บเสียง จะทำหน้าที่ลดเสียงดังก่อนที่ไอเสียจะถูก

ปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ ซึ่งส่วนใหญ่หม้อพักไอเสียและหม้อเก็บเสียงจะก่อให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back pressure) ในท่อไอเสียซึ่งจะส่งผลทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง และสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพราะความดันย้อนกลับทำให้ความดันเฉลี่ย (mep) ภายในกระบอกสูบลดลง ความดันย้อนกลับที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาจจะทำให้ความดันเฉลี่ยลดลงไปถึงประมาณร้อยละ 1 ทั้งนี้เนื่องจากลูกสูบจะต้องทำงานเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษในจังหวะคายไอเสีย นอกจากนี้ความดันย้อนกลับยังมีส่วนทำให้ไอเสียคายออกไม่หมด จึงเป็นเหตุให้ไอเสียเจือจาง ผลก็คือประสิทธิภาพทางประจุไอดี (charge efficiency) ตกต่ำลง บางเครื่องอาจจะตกลงไปถึงประมาณร้อยละ 0.5 ดังนั้นถ้าความดันย้อนกลับเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จึงลดลง

ดังนั้นความดันย้อนกลับ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบ และหาอายุการใช้งานของอุปกรณ์กรองควันดำ เนื่องจากไส้กรองควันดำเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งแล้ว ไส้กรองควันดำจะเริ่มอุดตัน และก่อให้เกิดความดันย้อนกลับเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของความดันย้อนกลับขึ้นอยู่กลับชนิดของไส้กรองและความพรุนของวัสดุกรอง ไส้กรองที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการกรองดำ และมีความดันย้อนกลับต่ำ ในขณะที่ไส้กรองที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกรองสูง แต่ก็มีความดันย้อนกลับสูงเช่นกัน เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง ไส้กรองจะเริ่มมีการสะสมเขม่า รูพรุนของไส้กรองจะเริ่มมีการอุดตันทีละน้อย ความดันย้อนกลับในท่อไอเสียจะเพิ่มมากขึ้นทีละน้อยเช่นกัน เมื่อไส้กรองเริ่มอุดตันแล้ว เราจำเป็นต้องเปลี่ยนไส้กรองใหม่ ดังนั้นในการทดลองหาอายุการใช้งานของอุปกรณ์กรองควันดำจึงใช้ความดันย้อนกลับเป็นตัวจำกัดหรือบ่งบอกอายุการใช้งานของอุปกรณ์กรองควันดำ

การจัดไอเสียหลังการเผาไหม้

จากที่ได้มีการศึกษาและวิจัยโดยทั่วไปนั้นสามารถสรุปได้ 2 วิธีคือ

1. ขบวนการเผาไหม้หลังการกรอง (Regenerative – Type Filter) เป็นการศึกษาเครื่องกรองไอเสียโดยกรองเขม่าควันดำ ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยใช้หลอดทำความร้อน ทำการเผาไหม้เขม่าควันดำที่เกาะติดอยู่กับไส้กรองให้สลายไป จากการศึกษาพบว่าวิธีการนี้สามารถทำลายเขม่าควันดำได้ประมาณร้อยละ 70 – 80 แต่การเผาจะต้องทำอย่างต่อเนื่องตามกำหนดเวลาและตลอดระยะเวลาที่เครื่องทำงาน โดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หลายชนิดควบคุมการทำงานได้แก่การควบคุมเวลา ความร้อน ความดันย้อนกลับของไอเสีย และปริมาณเขม่าเป็นต้น

ปัญหาบางประการที่เกิดขึ้นกับขบวนการเผาไหม้หลังการกรอง เช่น

ความยุ่งยากในการควบคุมการเผาไหม้

ปริมาณเขม่าควันดำที่ถูกปล่อยออกจากห้องเผาไหม้

ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้
 ใต้กรงมีโทษเกี่ยวกับการแตกร้าว
 อุปกรณ์กรงมีราคาแพง

2. การกรงโดยไม่ใช้กระบวนการเผาไหม้ อุปกรณ์อีกประการหนึ่งในการติดตั้งอุปกรณ์จัดไอเสีย คือพื้นที่ในการติดตั้งมีจำกัดทำให้ติดตั้งลำบาก จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์กรงไอเสียและลดเสียงในตัวเดียวกัน อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่ใช้การเผาไหม้ คือไม่มีหลอดนำความร้อนเพื่อทำลายเขม่าไอเสีย ไอเสียของรถยนต์จะผ่านเครื่องกรงซึ่งมีใต้กรงติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์กรงเพื่อทำหน้าที่ดักเขม่าก่อนที่จะออกสู่บรรยากาศ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งเขม่าวันดำจะสะสมบนใต้กรงมากขึ้นจนอุดตัน ทำให้ไอเสียไม่สามารถที่จะไหลได้ทำให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back pressure) ในท่อไอเสียทำให้เครื่องยนต์กำลังตก จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนใต้กรงใหม่ สาเหตุดังกล่าวจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาารูปแบบของการกรง ให้มีประสิทธิภาพในการกรงเขม่าวันดำให้ดียิ่งๆ ขึ้นไป

เทอร์โมคัปเปิล

หลักการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล ได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าเหมาะสมนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมมาโดยตลอด จึงได้เกิดเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานขึ้นหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ซึ่งพอจำแนกได้ดังนี้

1. เทอร์โมคัปเปิลแบบ S. (Type S. Platinum 10% Rhodium V.S. Platinum) โดยสายลวดทำจากแพลตินัม และสายบวกรทำจากโลหะผสม 90% ของแพลตินัม บวก 10% โรเดียม สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1400°C คุณสมบัติพิเศษสามารถใช้งานในสถานะที่เป็น Oxidizing และ Inert ได้ดี ไม่เหมาะกับงานแบบ Reducing, Vacuum หรือสภาพที่เป็นไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสี

2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ R. (Type R. Platinum 13% Rhodium V.S. Platinum) สายบวกรทำจากแพลตินัม สายลวดทำจากแพลตินัม 87% + โรเดียม 13% มีคุณสมบัติเหมือนแบบ S. แต่ให้เอาต์สูงกว่แบบ S.

3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ B. (Type B. Platinum 30% Rhodium / Platinum 6% Rhodium) สายบวกรทำจากแพลตินัม 70% + โรเดียม 30% สายลวดทำจากแพลตินัม 94% + โรเดียม 6% มีคุณสมบัติเด่นกว่า S. และ R. คือ แข็งแรงและทนทานกว่า แต่ให้แรงเคลื่อนน้อยกว่าแบบ S. และ R. ทนอุณหภูมิสูงสุด 1700°C

4. เทอร์โมคัปเปิลแบบ J. (Type J. Iron V.S. Constantan) สายบวกทำจากเหล็ก สายลบทำจาก Constantan (60% ทองแดง + 40% ของนิเกิล) เหมาะกับงานที่เป็น Vacuum, Oxidizing, Reducing หรือ Inert ใช้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 760°C ไม่เหมาะกับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C

5. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K. (Type K. Chromel V.S. Alumel) เป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด เพราะมีราคาถูกสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิเกิล 10% + โครเมียม 90% สายลบทำจาก นิเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอลูมิเนียม, แมงกานีสและซิลิกอน สามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่นๆ ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1260°C และอุณหภูมิต่ำถึง -250°C และเหมาะกับงานรับการแผ่รังสี โดยตรงจากความร้อน และเป็นแบบที่ให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูงกว่าแบบอื่นๆ

ข้อควรระวังในการใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K.

ไม่ควรให้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K. สัมผัสโดยตรงกับงาน ที่มีสภาวะเป็น Reducing หรือ เป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing.

ในสภาวะที่เป็นไอของซัลเฟอร์ซึ่งหากให้สัมผัสโดยตรง ไอของซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะที่ขั้วลบจะเกิดเร็วมาก

ไม่ควรให้สัมผัสโดยตรงในสภาวะที่เป็น Vacuum ยกเว้นระยะ สั้น

6. เทอร์โมคัปเปิลแบบ T. (Type T. Copper V.S. Constantan) สายบวกทำจากทองแดง สายลบทำจาก Constantan ใช้ในอุณหภูมิไม่เกิน 395°C และต่ำถึง -184°C เหมาะกับงานที่มีความชื้นได้ดี ส่วนคุณสมบัติอื่นๆเหมือนแบบ K.

7. เทอร์โมคัปเปิลแบบ E. (Type E. Chromel V.S. Constantan) สายบวกทำจากส่วนผสม 10% ของโครเมียม 90% ของนิเกิลสายลบทำจาก Constantan อุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง -250°C ถึง 871°C คุณสมบัติใช้งานเหมือนแบบ K.

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน °C	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
B.	แพลตินัม - 30% โรเดียม		
	แพลตินัม - 6% โรเดียม	0 to 1820	0 to 13.814
R.	แพลตินัม - 13% โรเดียม		
	แพลตินัม	-50 to 1768	-02.26 to 21.108
S.	แพลตินัม - 10% โรเดียม		
	แพลตินัม	-50 to 1768	-0.236 to 18.698
J.	เหล็ก / คอนสแตนแตน	-210 to 760	-8.096 to 42.922
K.	โครเมล / อลูเมล	-270 to 1372	-6.458 to 54.875
T.	ทองแดง / คอนสแตนแตน	-270 to 400	-6.258 to 20.869
E.	โครเมล / คอนสแตนแตน	-270 to 1000	-9.835 to 76.358
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็ง			

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

จากทฤษฎีบทที่ 2 ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องชนิดดีเซลการเผาไหม้ และการเกิดมลพิษในเครื่องชนิดดีเซล ซึ่งมีมลพิษที่ออกมาล้วนเป็นอันตรายทั้งสิ้น โดยเฉพาะควันดำ และอื่นๆ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) มลพิษเหล่านี้เป็นสาเหตุให้ทำการศึกษา และออกแบบอุปกรณ์ลดมลพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งควันดำ โดย ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ ตลอดจนการคำนวณหา ปริมาตร สัดส่วน และ การติดตั้ง อุปกรณ์การเผาไหม้ของเครื่องกรอง

การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์การเผาไหม้ไ้กรอง

การออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์การเผาไหม้ ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิการเผาไหม้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด การเลือกแท่งความร้อนจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการเผาไหม้ควันดำให้สลายไปได้

ลดความร้อนโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ ชนิดเป็นเส้นลด และชนิดแท่ง ซึ่งลดความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้นี้เป็นลดชนิดแท่ง เพราะสะดวกต่อการติดตั้งและมีอุณหภูมิไม่เกิน 850°C

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของเครื่องกรองที่ใช้งาน} &= \pi R^2 L \\ &= (\pi) (0.1)^2 (0.45) \\ &= 0.01414 \text{ m}^3\end{aligned}$$

การคำนวณกำลังไฟฟ้า

สิ่งที่จะต้องทราบ และคำนวณหาลำดับไฟฟ้าในการออกแบบ เครื่องกรองควันดำ ของเครื่องชนิดดีเซลที่ใช้ในการเผาไหม้ไ้กรอง สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ

อุณหภูมิภายในที่ต้องการในการออกแบบในการเผาไหม้ (ไม่เกิน 850°C)
แรงเครื่องไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กับเครื่องกรองรวมทั้งกระแส (220 V, 8.5 A)

ความร้อนที่สูญเสียออกจากผนังระหว่างทำการเผาไหม้ไ้กรอง
ขนาดและจำนวนของแท่งขดลวด

1. การหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียแก่ผนังเครื่องกรอง

ในการออกแบบเครื่องกรองต้องให้มีความร้อนสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้โดยการการใช้ฉนวนหุ้มที่ผนังเครื่องกรองที่มีค่า k ต่ำๆ ในการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเครื่องกรอง ดังสมการนี้

$$Q = [(T_2 - T_1) / ((X_1/k_1) + (X_2/k_2))] \times A_t$$

จากหนังสือ Heat Transfer (J.P. Holman Mc Graw Hill 1992:25) ได้ดังนี้ โลหะแผ่นที่มีส่วนผสมของคาร์บอน, $C = 0.5\%$ ได้ $k_1 = 54 \text{ W/m.K}$ และ $X_1 = 1.5 \text{ mm}$ ในเซรามิกได้ $k_2 = 0.043 \text{ W/m.K}$ และ $X_2 = 5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_t &= 2\pi RL \\ &= (2\pi)(0.1)(0.4) \\ &= 0.2827 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= [(850 - 30)] / [(0.0015/54) + (0.005/0.043)] \times 0.2827 \\ &= 1993.1 \text{ W} \end{aligned}$$

ให้ประสิทธิภาพในการในการให้ความร้อนเท่ากับ 100% เพราะฉะนั้นได้กำลังไฟฟ้าคือ

$$PE = 1.993.1 \text{ W (ประมาณ 2 kW)}$$

2. การคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned} I &= PE/U \\ &= 1993.1/220 \\ &= 9 \text{ แอมป์} \end{aligned}$$

3. การหาจำนวนแท่งขดลวดทำความร้อน

$$\begin{aligned} &\text{เพราะฉะนั้นจากกำลังไฟฟ้า 2,000 W และ แท่งของขดลวด 400 W} \\ &= 2000/400 \\ &= 5 \text{ แท่ง} \end{aligned}$$

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบการใช้และไม่ใช้อุปกรณ์กรองควันท้าว่ามีผลเป็นอย่างไร สามารถช่วยลดเปอร์เซ็นต์ควันท้าได้จริงหรือไม่ตามที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้ในตอนแรกโดยใช้เครื่องวัดควันท้า ที่ให้ผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ควันท้า ซึ่งก็คือเปอร์เซ็นต์ของความทึบแสง ค่าที่แสดงออกมาจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของแสงที่ไม่สามารถผ่านไปได้

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องย่นคีเซลล์คู่ (SD – 22) ขนาด 2500 ซีซี.
2. อุปกรณ์กรองควันท้า พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ
3. เครื่องกรองควันท้าเทคโนโลยีรุ่น 490
4. เครื่องวัดความเร็วรอบ
5. แบตเตอรี่
6. เครื่องวัดความดันไอเสีย

วิธีการทดลอง

1. ตรวจสอบระบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องย่น เช่น วงจรสตาร์ทฯ
2. ตรวจสอบระบบวงจรน้ำมันเชื้อเพลิง โดยไล่อากาศออกจากระบบด้วยปั๊มมือ
3. ตรวจสอบระดับน้ำในหม้อน้ำ โดยเติมให้เต็มอยู่เสมอ
4. ตรวจสอบระดับน้ำมันเครื่องให้อยู่ในระดับที่กำหนด
5. ตรวจสอบสภาพของเครื่องยนต์โดยรวมให้พร้อมใช้งาน
6. ก่อนสตาร์ทเครื่องยนต์ต้องทำการเผาลูกสูบก่อน ไม่เกิน 15 วินาที
7. สตาร์ทเครื่องยนต์
8. เดินเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบาประมาณ 5 นาที
9. จัดเครื่องมือวัดควันท้าและติดตั้งตามคู่มือ

10. วอร์มอัพ (Warm up) เครื่องวัดควันทัวประมาณ 5 นาที
11. เร่งเครื่องชนิดที่ความเร็วรอบ 1000, 1500 และ 2000 รอบต่อนาที แล้ววัดค่าเปอร์เซ็นต์ควันทัวและความดันไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ ก่อนติดตั้งอุปกรณ์ กรองควันทัว แล้วบันทึกผลการทดลองลงตาราง
12. ติดตั้งอุปกรณ์กรองควันทัว แล้วให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์อยู่ที่ 1000, 1500 และ 2000 รอบต่อนาที แล้ววัดเปอร์เซ็นต์ควันทัวและความดันย้อนกลับที่ความเร็วรอบ ต่าง ๆ แล้วบันทึกผลการทดลองลงตาราง
13. เร่งเครื่องชนิดที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที เมื่อครบ 1 ชั่วโมง จะทำการวัดเปอร์เซ็นต์ควันทัวและความดันย้อนกลับที่ความเร็วรอบ 1000, 1500 และ 2000 รอบต่อนาที แล้วบันทึกผลการทดลองลงตาราง
14. เมื่อมีความดันย้อนกลับมาก นั่นก็คือกรองเริ่มตัน นั่นก็คือที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เมื่อความดันถึง 35 mmAQ ก็เริ่มเผาไหม้ได้กรองครึ่งหนึ่ง โดยปรับชุดควบคุมอุณหภูมิไปที่ 600°C แล้วกดสวิทช์ ON ที่ชุดควบคุม ในตอนนี้ Heater จะทำงานจนถึง 600°C ชุดควบคุมอุณหภูมิก็จะตัดการทำงาน
15. หลังจากนั้นก็ทดสอบในชั่วโมงต่อมาเมื่อความดันย้อนกลับถึงค่าที่กำหนดก็ทำการเผาไหม้ได้กรอง ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบตามชั่วโมงที่กำหนด

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์กรองควันทัว

ความเร็วรอบ (RPM)	ความดันไอเสีย (mmAQ)	ปริมาณควันทัวของเครื่องยนต์ (%HRT)
1,000	-1 mm	8 %
1,500	-7 mm	7 %
2,000	-10 mm	10 %

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองหลังติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำ

เวลา (ชั่วโมง)	ความเร็วรอบ (RPM)	ความดันย้อนกลับ (mmAQ)	ปริมาณควันดำหลังกรอง (%HRT)	ประสิทธิภาพการกรอง (%)
0	1,000	23	7	12
	1,500	30	6	28
	2,000	38	8	20
1	1,000	15	6	25
	1,500	26	5	28
	2,000	36	8	20
2	1,000	13	6	25
	1,500	25	5	28
	2,000	33	9	10
3	1,000	13	7	12
	1,500	22	6	14
	2,000	31	8	20
4	1,000	12	6	25
	1,500	21	6	14
	2,000	30	8	20
5	1,000	13	6	25
	1,500	21	5	28
	2,000	31	7	30
6	1,000	13	7	12
	1,500	22	6	14
	2,000	32	7	30
7	1,000	14	7	12
	1500	22	6	14
	2,000	32	9	10

เวลา (ชั่วโมง)	ความเร็วรอบ (RPM)	ความดันย้อนกลับ (mmAQ)	ปริมาณควันท่ำหลังกรอง (%HRT)	ประสิทธิภาพการกรอง (%)
8	1,000	15	6	25
	1,500	23	5	28
	2,000	33	7	30
9	1,000	16	6	25
	1,500	22	5	28
	2,000	33	8	30
10	1,000	17	5	37
	1,500	23	6	14
	2,000	34	7	30
11	1,000	18	5	25
	1,500	23	6	14
	2,000	35	6	40
ทำการเผาไหม้ไส้กรอง				
12	1,000	12	5	37
	1,500	21	5	28
	2,000	30	6	40
13	1,000	12	6	25
	1,500	22	6	14
	2,000	30	6	30
14	1,000	13	6	25
	1,500	22	5	28
	2,000	31	8	30
15	1,000	14	7	12
	1,500	23	6	14
	2,000	32	8	20

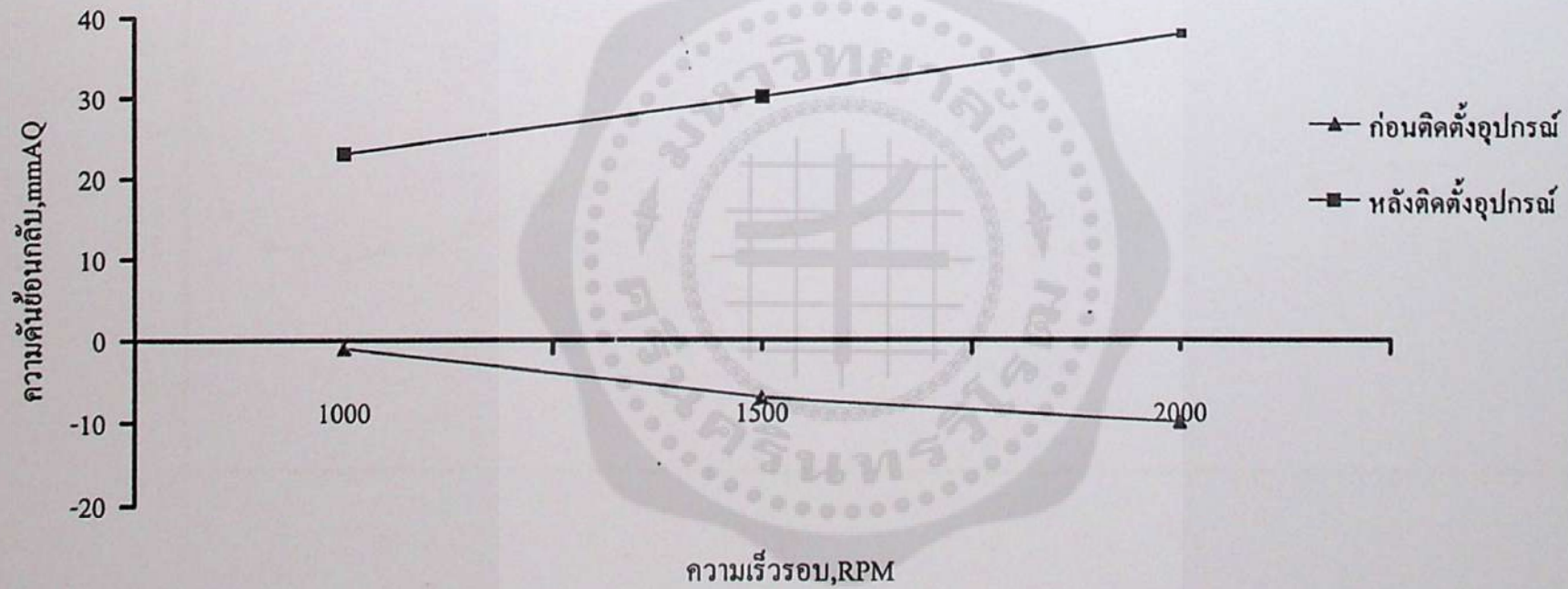
เวลา (ชั่วโมง)	ความเร็วรอบ (RPM)	ความดันย้อนกลับ (mmAQ)	ปริมาณควันท่ำหลังกรอง (%HRT)	ประสิทธิภาพการกรอง (%)
16	1,000	15	7	12
	1,500	23	6	14
	2,000	33	9	40
17	1,000	15	6	25
	1,500	24	6	28
	2,000	33	8	30
18	1,000	16	7	12
	1,500	24	6	28
	2,000	34	7	30
19	1,000	17	7	12
	1,500	25	6	14
	2,000	34	6	40
20	1,000	18	6	25
	1,500	24	5	28
	2,000	35	7	30
ทำการเผาไหม้ไส้กรอง				
21	1,000	13	5	37
	1,500	22	4	42
	2,000	31	6	40
22	1,000	13	6	25
	1,500	22	5	28
	2,000	31	7	30
23	1,000	14	6	25
	1,500	23	5	28
	2,000	31	8	20

เวลา (ชั่วโมง)	ความเร็วรอบ (RPM)	ความดันย้อนกลับ (mmAQ)	ปริมาณควันท่ำหลังกรอง (%HRT)	ประสิทธิภาพการกรอง (%)
24	1,000	15	7	12
	1,500	23	6	14
	2,000	32	6	20
25	1,000	15	6	25
	1,500	24	6	14
	2,000	32	9	10
26	1,000	16	7	12
	1,500	24	6	14
	2,000	32	8	20
27	1,000	16	6	25
	1,500	25	6	14
	2,000	33	9	10
28	1,000	17	7	12
	1,500	26	6	14
	2,000	34	8	20
29	1,000	18	6	25
	1,500	26	6	14
	2,000	34	8	20
30	1,000	18	7	12
	1,500	26	6	14
	2,000	35	9	10
ทำการเผาไหม้ไส้กรอง				

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของลวดทำความร้อน

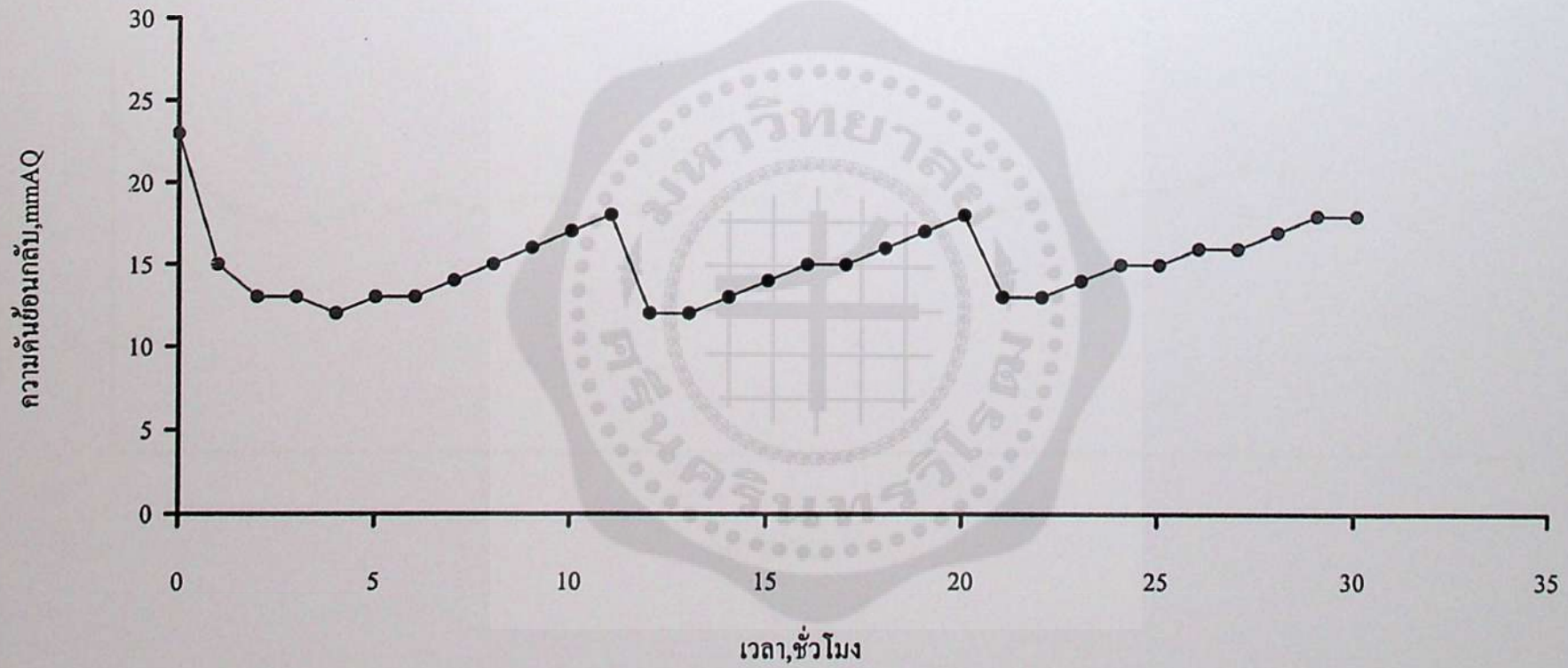
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
50	2
100	4
150	6
200	9
250	12
300	15
350	18
400	22
450	26
500	28
550	30
600	32

ความดันย้อนกลับก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์



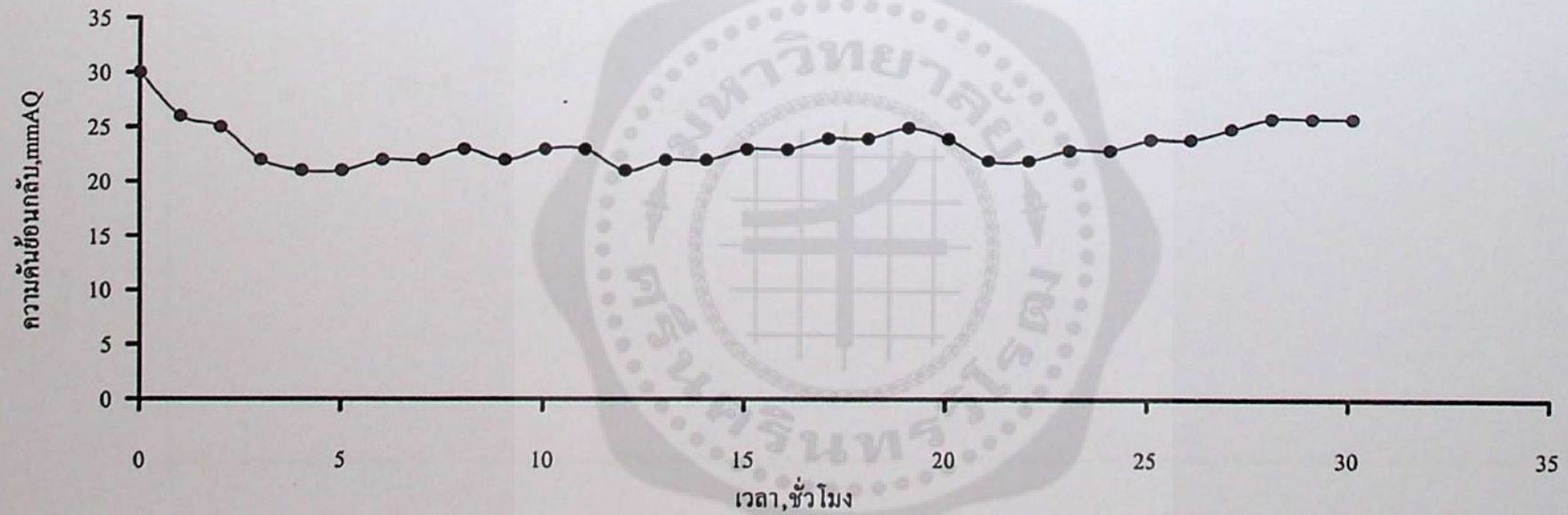
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความดันย้อนกลับก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์

ความดันย้อนกลับ ที่ 1000 RPM



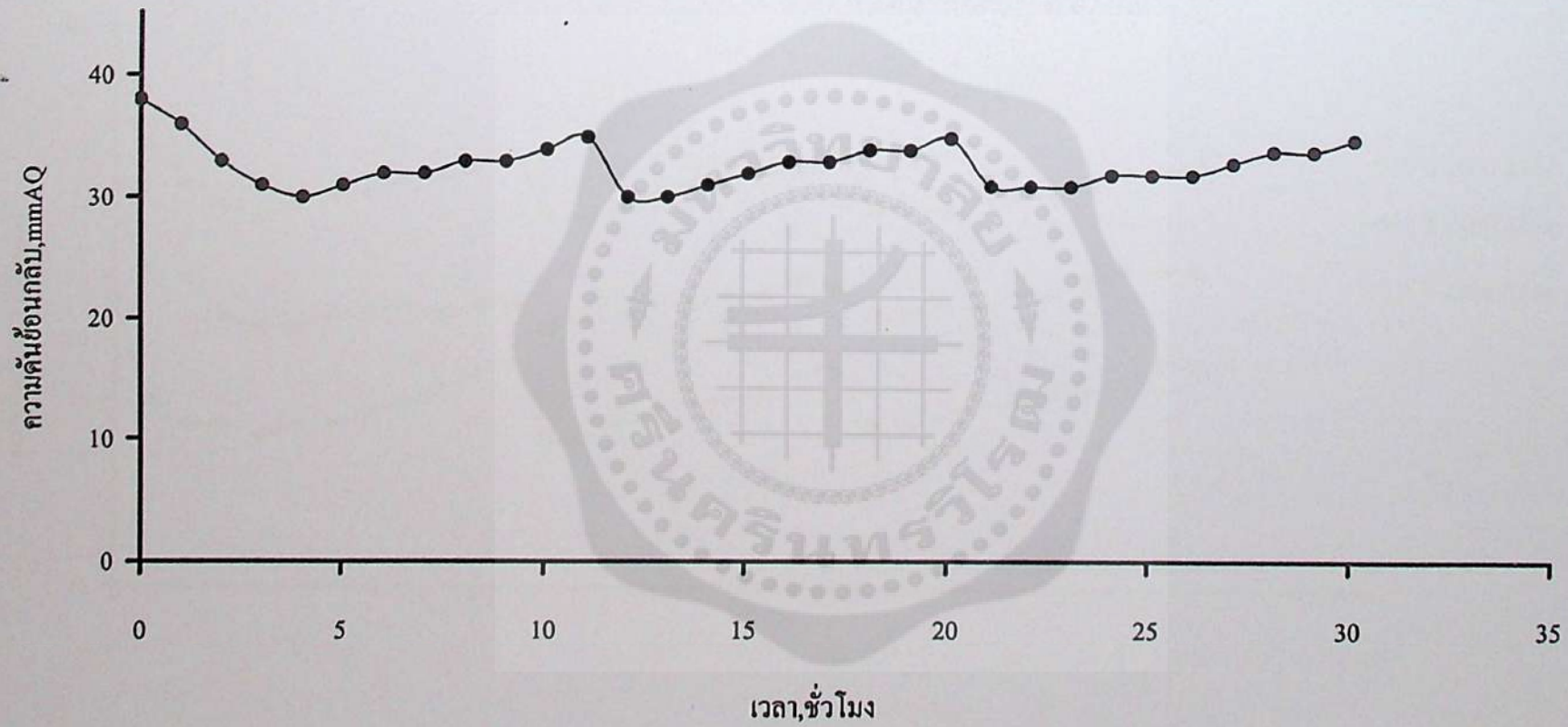
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 1000 RPM

ความดันย้อนกลับ ที่ 1500 RPM



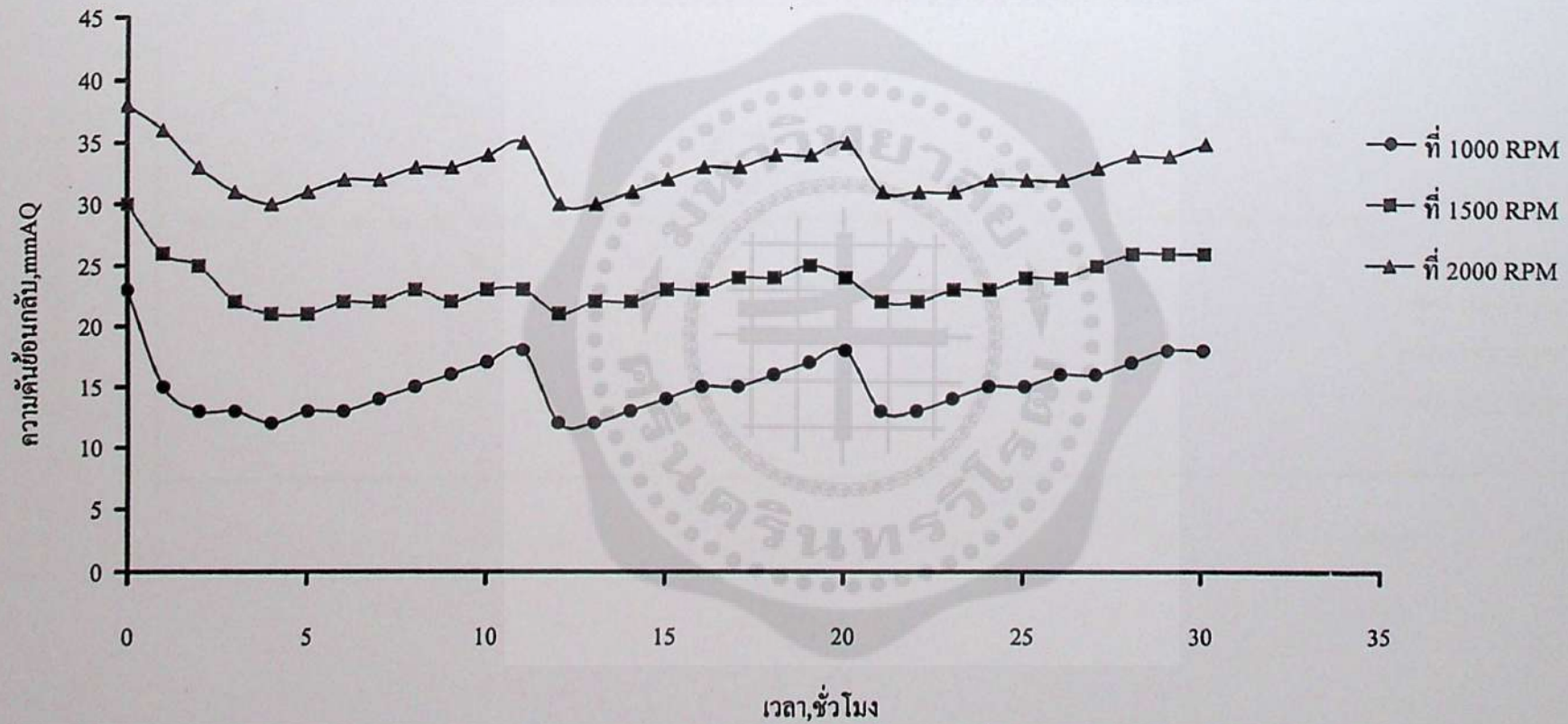
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 1500 RPM

ความดันย้อนกลับ ที่ 2000 RPM



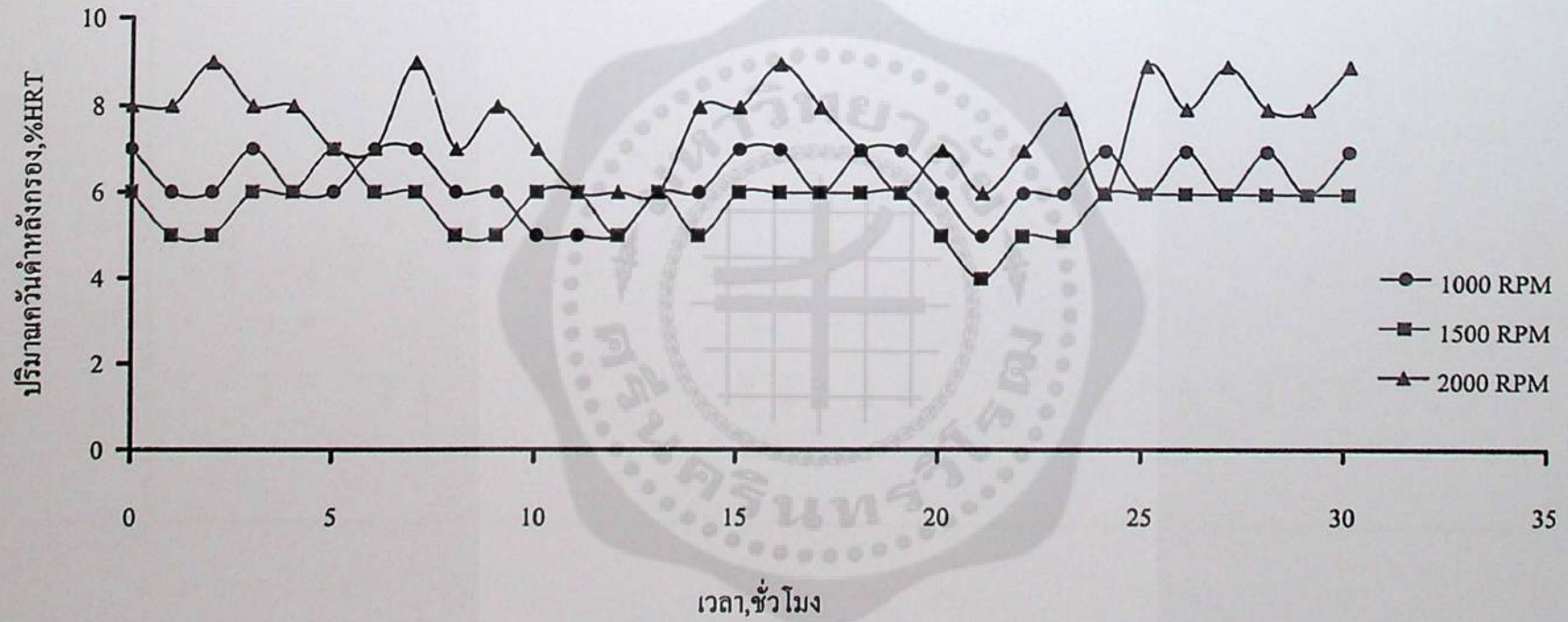
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 2000 RPM

ความดันย้อนกลับ ที่ 1000,1500และ2000 RPM

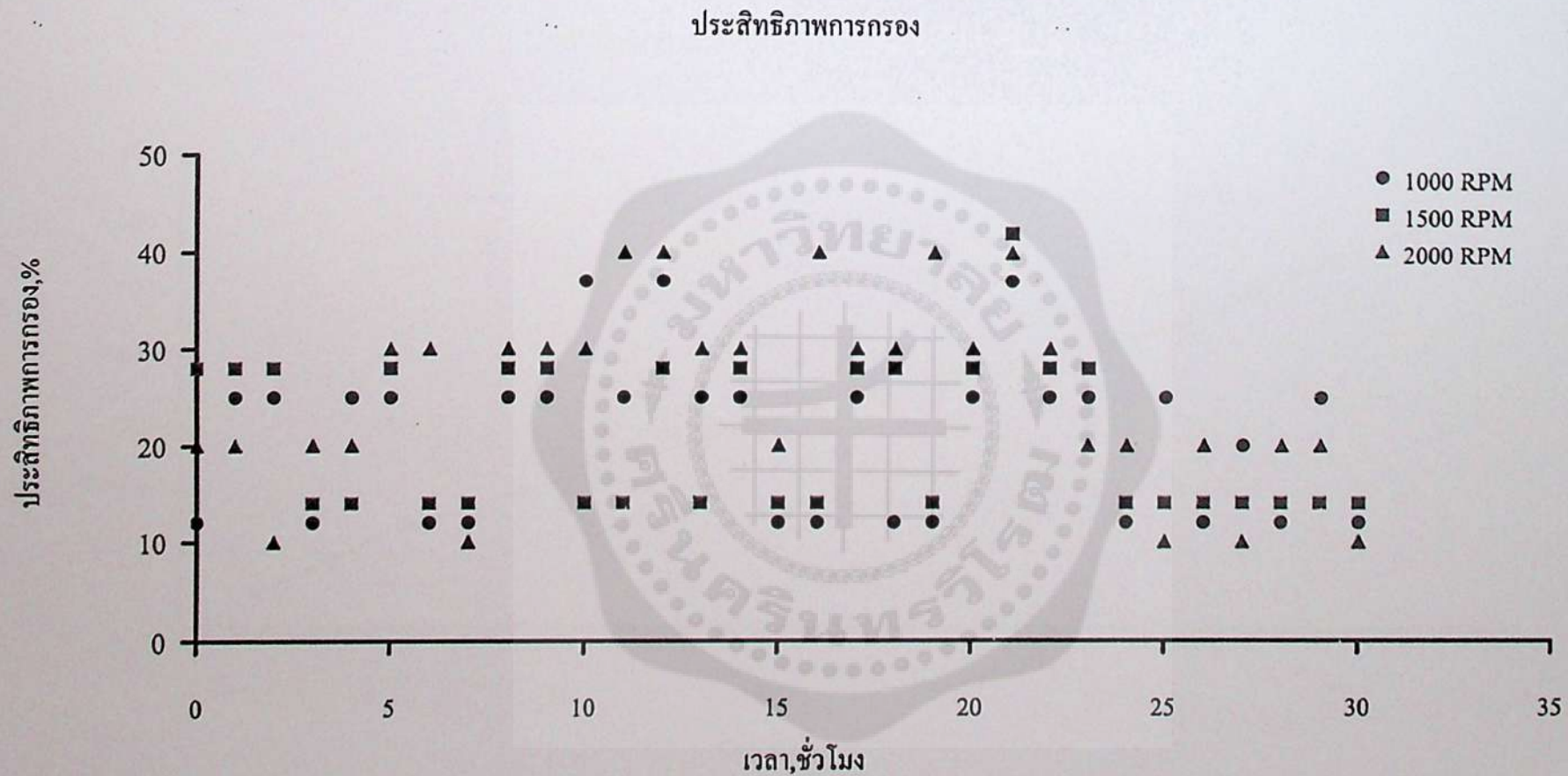


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความดันย้อนกลับ ที่ 1000,1500และ2000

ปริมาณควันท่ำหลังการกรอง

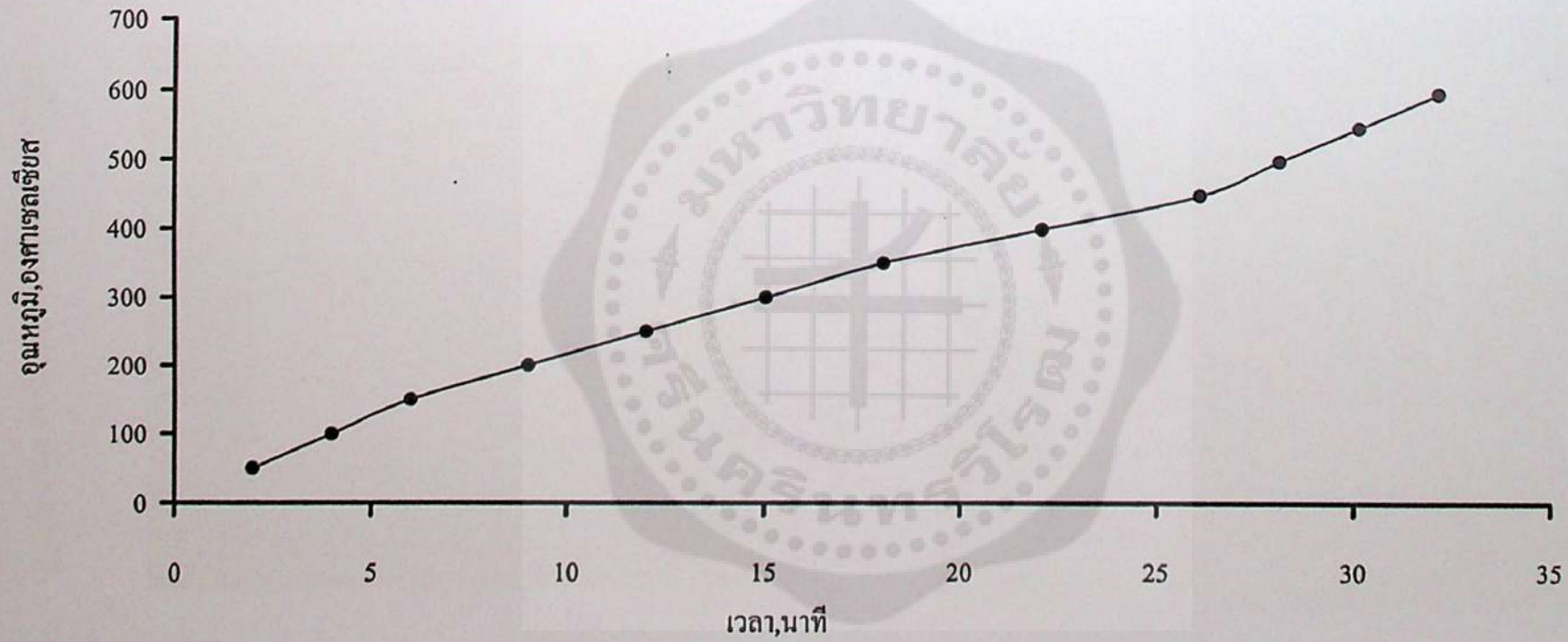


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณควันท่ำหลังการกรองในความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกรองของอุปกรณ์กรองควันดำ

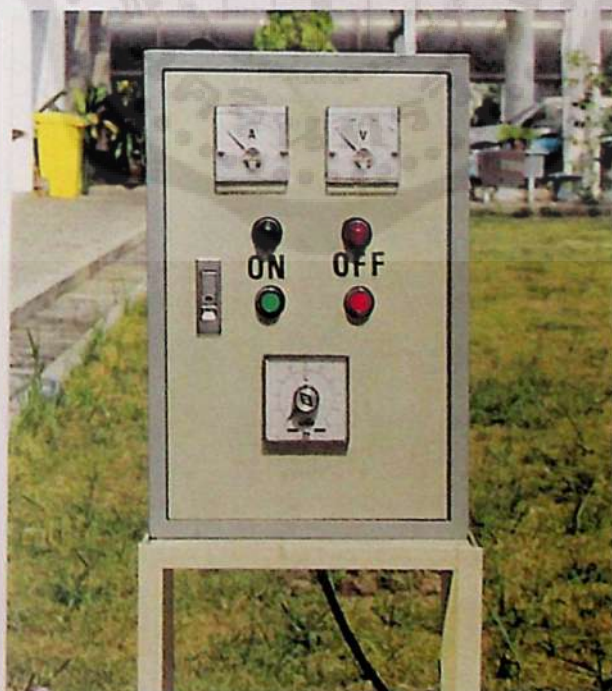
ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของขดลวด



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการเผาไหม้



รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องวัดควันท่ำ TECHNO TEST รุ่น 49



รูปที่ 4.10 แสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.11 แสดงรูปของไขกรองเซรามิก



รูปที่ 4.12 แสดงชุดทดสอบความดันย้อนกลับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทำโครงการ

การทดลองหาค่าความดันย้อนกลับ ในท่อไอเสียรถยนต์ ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำเข้าไป จะทำให้ความดันย้อนกลับเพิ่มสูงขึ้นและค่าความดันย้อนกลับจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น แต่ในการติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำนั้น สามารถลดปริมาณควันดำลงได้พอสมควร

จากการทดลองหาค่าความดันย้อนกลับจะเห็นว่าก่อนทำการติดตั้งอุปกรณ์กรองควันดำนั้นจะมีความดันที่ท่อไอเสียน้อยมากซึ่งต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

ที่ 1,000 รอบต่อนาที จะได้ความดัน เท่ากับ -1 mmAQ

ที่ 1,500 รอบต่อนาที จะได้ความดัน เท่ากับ -7 mmAQ

ที่ 2,000 รอบต่อนาที จะได้ความดัน เท่ากับ -10 mmAQ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความดันจะลดลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยิ่งมากขึ้นทำให้ความดันของท่อไอเสียยิ่งลด และจะเห็นได้ว่า เมื่อวัดปริมาณควันดำก่อนติดตั้งกรองจะได้

ที่ 1,000 รอบต่อนาที เปอร์เซนต์ควันดำ เท่ากับ 8% HRT

ที่ 1,500 รอบต่อนาที เปอร์เซนต์ควันดำ เท่ากับ 7% HRT

ที่ 2,000 รอบต่อนาที เปอร์เซนต์ควันดำ เท่ากับ 10% HRT

หลังจากนั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยิ่งมากขึ้น ทำให้ปริมาณควันดำยิ่งมากขึ้น จะเห็นได้ว่าในช่วง 1,000 รอบต่อนาที ปริมาณควันดำจะมากกว่าที่ 1,500 รอบต่อนาที นั่นก็ถือในช่วง 1,000 รอบต่อนาทีที่ส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศยังไม่พอดีทำให้เกิดปริมาณควันดำมาก แต่ที่ 1,500 รอบต่อนาที ปริมาณควันดำจะลดลงเนื่องจากในช่วงผสมมีปริมาณพอดี แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นจะทำให้ปริมาณควันดำยิ่งมากขึ้น

ในขณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดควันท้า ถ้าพิจารณาความดันที่ย้อนกลับจะเห็นว่า ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องชนิดและระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง โดยถ้ารอบของเครื่องชนิดยิ่ง สูงมากขึ้น ทำให้ความดันย้อนกลับมากขึ้นและที่ความเร็วรอบเดียวกัน ถ้าระยะเวลาในการกรอง ต่างกันทำให้ความดันย้อนกลับต่างกันคือ ถ้าใช้เวลาในการกรองมากจะทำให้ความดันย้อนกลับยิ่ง มากขึ้นด้วยแต่เมื่อความดันย้อนกลับที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาทีมีค่าเท่ากับ 35 mmAQ นั้นก็คือเมื่อทดสอบไปประมาณ 10 ชั่วโมง ก็ทำการเผาไหม้ไส้กรองซึ่งทำให้ความดันย้อนกลับ ลดลงใกล้เคียงกับชั่วโมงแรกในการทดลอง

ถ้าพิจารณาประสิทธิภาพในการลดควันท้าของเครื่องชนิดจะเห็นว่าในชั่วโมงแรก จะมีประสิทธิภาพในการกรองมากแต่เมื่อผ่านไป 6 – 7 ชั่วโมง ประสิทธิภาพก็จะลดลงและถ้า ความดันย้อนกลับสูงสุดทำให้ประสิทธิภาพของกรองน้อยลงด้วย แต่เมื่อเริ่มทำการเผาไหม้ไส้ กรองแล้ว ทำให้ประสิทธิภาพของกรองใกล้เคียงกับค่าในชั่วโมงต้นๆ นั่นคือเมื่อเผาไหม้ไส้กรอง ทำให้ความดันย้อนกลับลดลง ประสิทธิภาพในการกรองมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบจะแบ่งสาเหตุที่ทำให้ได้ผลการทดลองที่ไม่แม่นยำมากนักเนื่องมา จากสาเหตุใหญ่ๆ มีด้วยกัน 3 สาเหตุ

1. สาเหตุเนื่องจากสภาพเครื่องชนิดที่มีสภาพในการทดสอบน้อยมาก เครื่องชนิด สึกหรอมมาก และมีอายุการใช้งานนานถึงประมาณ 15 ปี ซึ่งมีปริมาณน้ำมันหล่อลื่นออกทางท่อไ อเสียในปริมาณมากกว่าปกติซึ่งเป็นผลทำให้กรองเมื่อโดนน้ำมันหล่อลื่นทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป ทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลง ทำให้ความดันย้อนกลับมากขึ้นและทำให้อายุการใช้งานลด น้อยลง

2. สาเหตุเนื่องจากเครื่องวัดปริมาณควันท้า ที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากบางขั้นตอนไม่สามารถทำได้หรือยังไม่พร้อมที่จะใช้

3. ระยะเวลาในการทดสอบยังใช้ระยะเวลามากเท่าไรจึงได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง เชื่อถือได้มากเท่านั้น แต่ในการทดลองนี้ระยะเวลาในการทดลองที่ตั้งเอาไว้ส่วนหนึ่งต้องใช้ ในการซ่อมเครื่องชนิดให้พร้อมที่จะทดสอบ เนื่องจากเครื่องชนิดมีอยู่จำกัด

บรรณานุกรม

1. พูลพร แสงบางปลา. ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม, กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537
2. ปราโมทย์ อ่อนประไพ. เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541
3. วงศ์พันธ์ ลิ้มปาสินัยและคณะ. มลภาวะอากาศ, กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
4. สมศักดิ์ กิ่วฉวีเศรษฐ์. เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น):
พิมพ์ครั้งที่ 6
5. Colin R. Ferguson Internal combustion engines, Purdue university : John Wiley & Sons, 1985
6. Noelde Nevers. Air polotion control engineering, Mc Graw-Hill



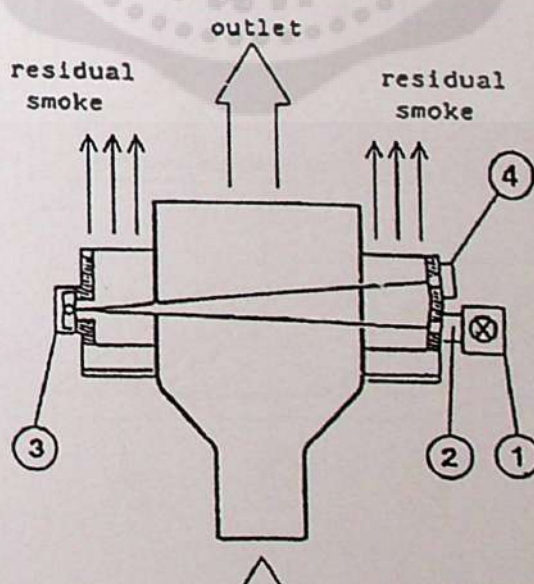


ส่วนประกอบของเครื่องวัดควันดำ

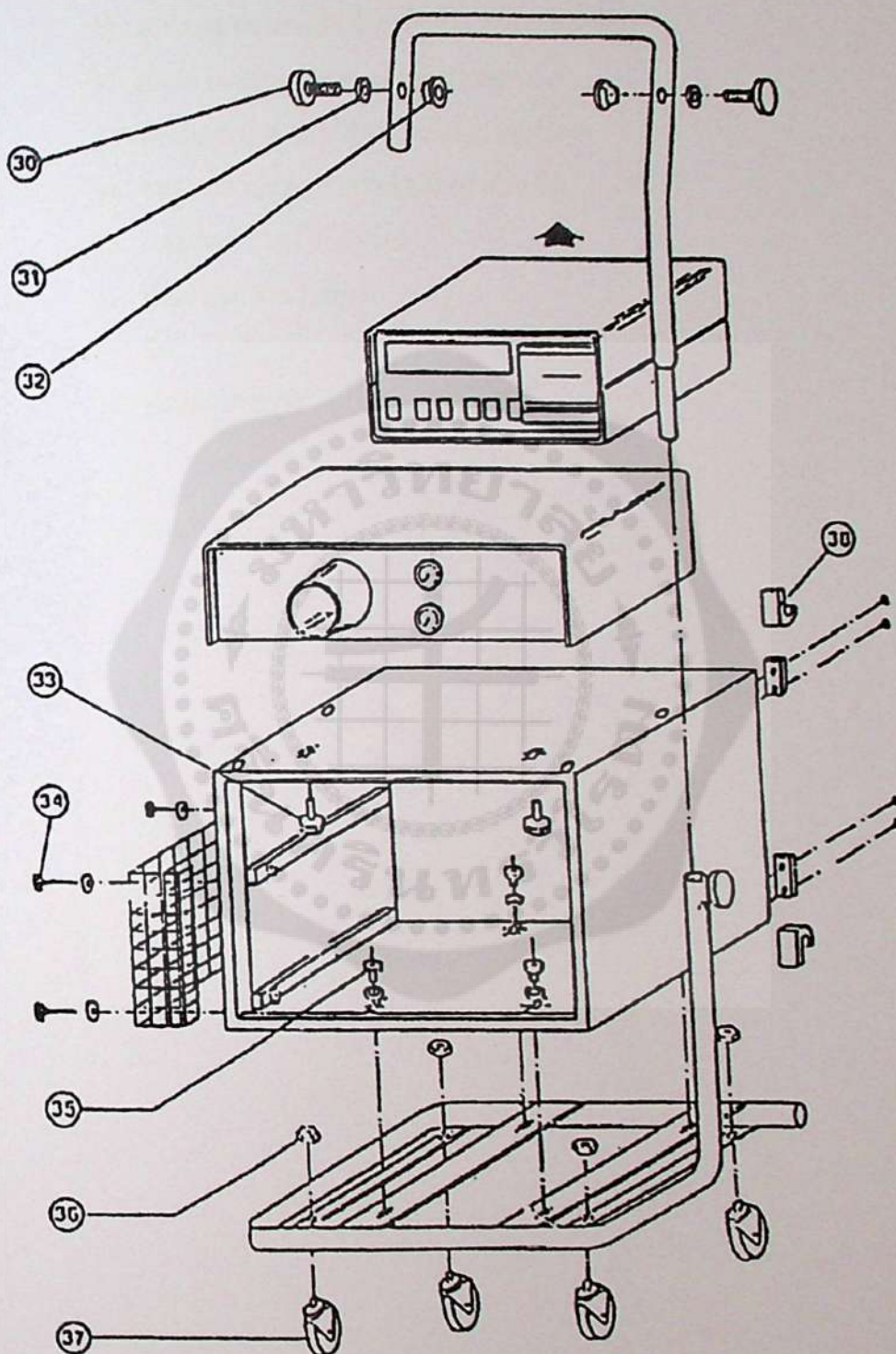
1. หน่วยวัดควันดำ
2. หน่วยแสดงผล
3. เครื่องควบคุมการทำงานระยะไกล (รีโมทคอนโทรล)
4. ท่ออ่อนสำหรับดูดควันไอเสียจากท่อรถยนต์
5. แท่นเครื่องพร้อมล้อ
6. สายไฟฟ้าสำหรับต่อเข้ากับแบตเตอรี่ยาว 8 เมตร

หลักการทำงานของเครื่อง

หลอดไฟฟ้า (1) ทำหน้าที่ให้กำเนิดแสงไฟส่องผ่านชุดเลนส์รวมแสง (2) ให้เข็มและฟุ้งไปยังลำแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร ลำแสงนี้จะพุ่งผ่านห้องวัดควันดำไปยังกระจกหมายเลข (3) แล้วสะท้อนกลับไปยังตาไฟฟ้า (4) ระยะทางที่ลำแสงเคลื่อนที่ที่มีผลต่อการวัดค่าควันดำจะประมาณ 40 cm. คือ ห้องวัดควันดำกว้าง 20 cm. ด้านข้างห้องวัดควันดำมีช่องว่างระบายอากาศด้วยพัดลมเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากควันดำเข้าไปเกาะติดบนกระจก หลอดไฟฟ้าและตาไฟฟ้า ซึ่งถ้ามีสิ่งสกปรกจากควันดำเข้าไปเกาะติดอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้ผลของการวัดไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง นอกจากนี้แล้วยังมีแผ่นสไลด์ใส ๆ ป้องกันสิ่งอื่น ๆ เข้าไปในอุปกรณ์ดังกล่าวอีกด้วย



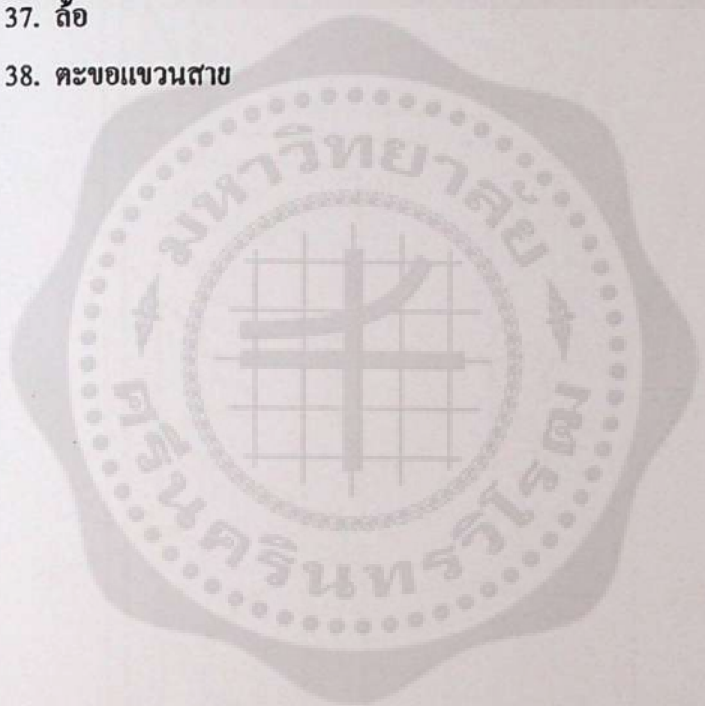
รูปภาคผนวกที่ 1.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดควันดำ

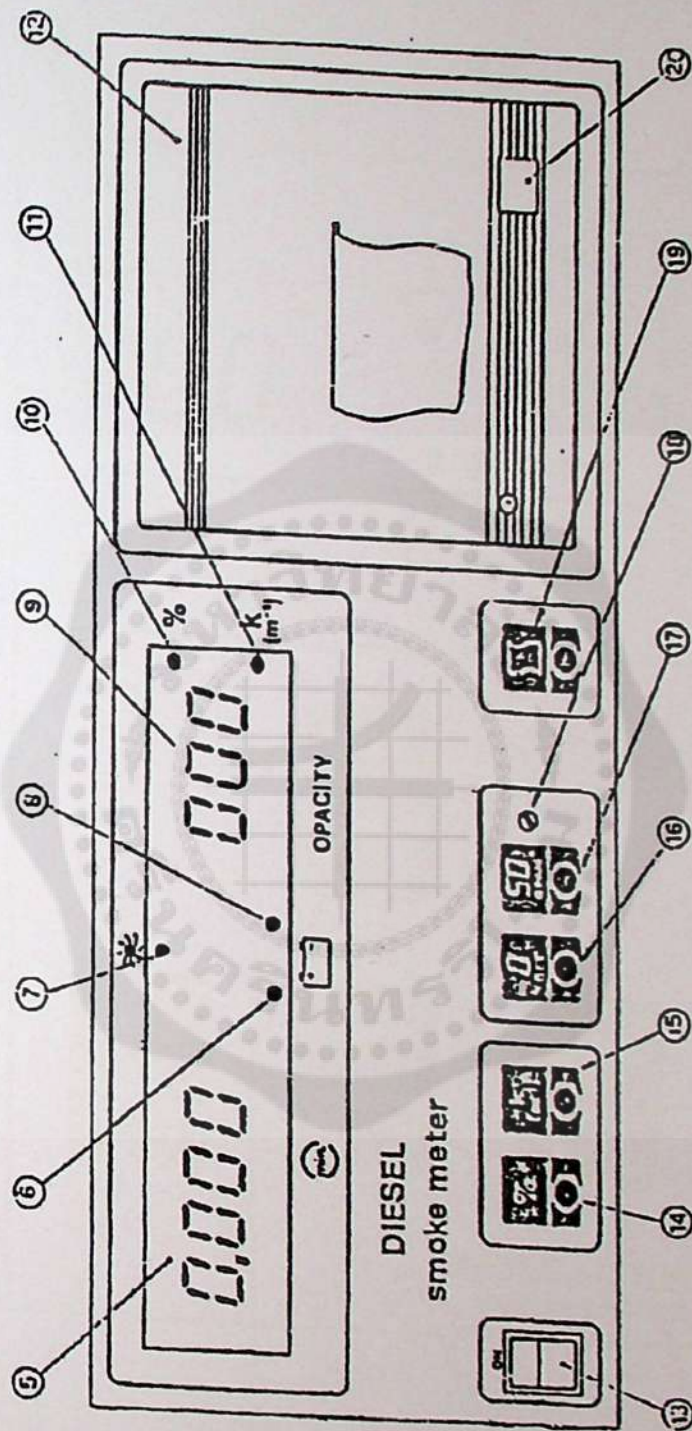


รูปภาคผนวกที่ 1.2 แสดงภาพส่วนประกอบของเครื่องวัดควันท่ำ

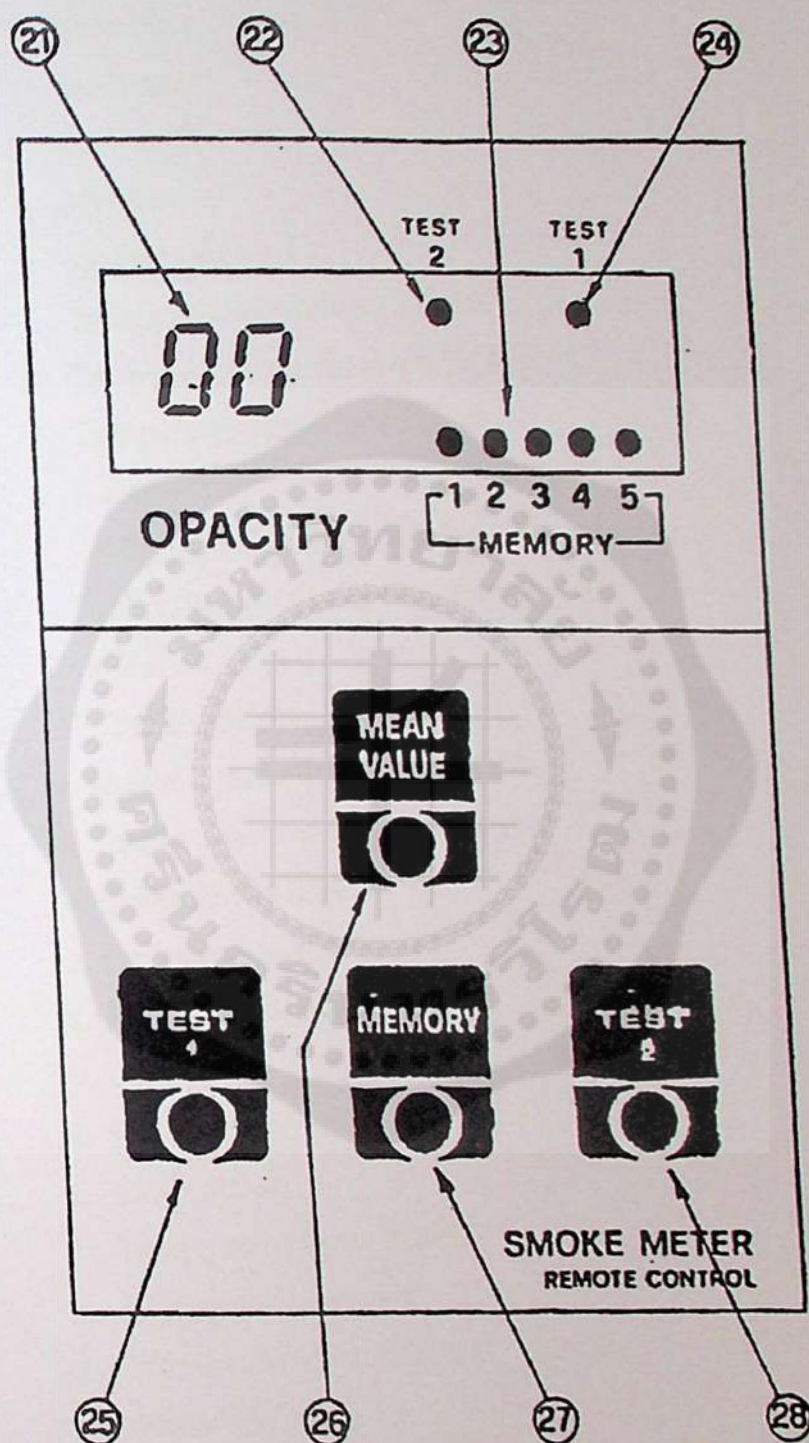
ส่วนประกอบของเครื่องดังรูปภาคผนวกที่

30. มือหมุนขนาด M8 สำหรับยึดอิเล็กทรอনিโมดูล
31. แหวนรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. (สองชั้น)
32. แหวนรองพลาสติกสำหรับล็อกโมดูล
33. มือหมุนขนาด M4 สำหรับยึดห้องวัดควันท่ำ
34. สกรูเกลียวปล่อย สำหรับยึดตะกร้าด้านข้าง
35. สกรู M4 สำหรับยึดกล่อง
36. น็อต M8 สำหรับยึดล้อ
37. ล้อ
38. ตะขอแขวนสาย





รูปภาคผนวกที่ 1.3 แสดงส่วนประกอบของจอแสดงผล



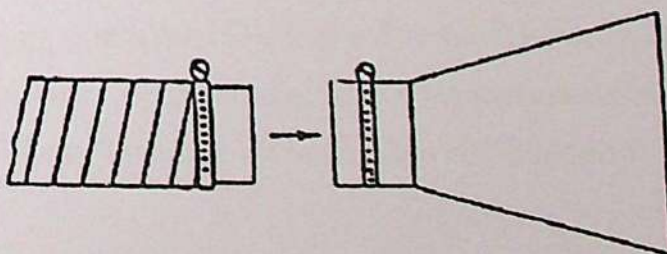
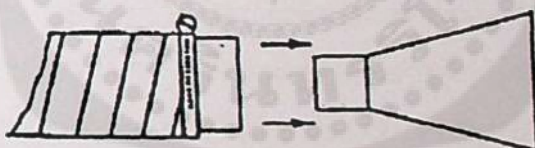
รูปภาคผนวกที่ 1.4 แสดงส่วนประกอบของเครื่องควบคุมระยะไกล

ส่วนประกอบของจอแสดงผลและเครื่องควบคุมระยะใกล้ ดังรูปภาคผนวกที่ 1.3 และ 1.4

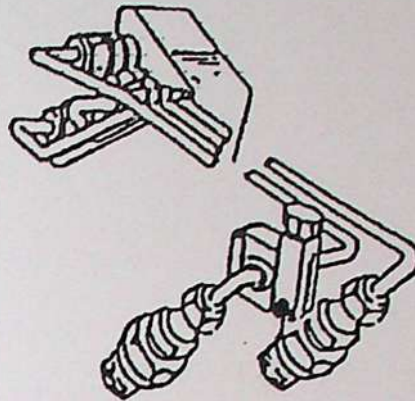
1. หลอดไฟฟ้า
2. เลนส์รวมแสง
3. กระจกสะท้อนแสง
4. ตาไฟฟ้า
5. แสดงรอบเครื่องชนิด
6. ไฟสัญญาณเบตเตอร์สูงสุด (ปกติดับ)
7. ไฟสัญญาณการทำงานของพัลลัม (ปกติดับ)
8. ไฟสัญญาณเบตเตอร์ต่ำสุด (ปกติดับ)
9. แสดงค่าวันคำ
10. ไฟสัญญาณกำลังใช้ระบบการแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์
11. ไฟสัญญาณกำลังใช้ระบบการแสดงผลเป็นค่า log
12. เครื่องพิมพ์
13. สวิตช์ปิด-เปิดไฟฟ้า
14. ปุ่มเลือกระบบการแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์
15. ปุ่มเลือกระบบการแสดงผลเป็นค่า log
16. ปุ่มตั้งค่าศูนย์อัตโนมัติ
17. ปุ่มทดสอบความเฉียบไว
18. ปุ่มปรับความเฉียบไว
19. ปุ่มพิมพ์ข้อมูล
20. ปุ่มโอนกระดาษ
21. แสดงค่าวันคำ
22. ไฟสัญญาณการทำงาน "TEST 2"
23. ไฟสัญญาณหน่วยความจำ
24. ไฟสัญญาณการทำงาน "TEST 1"
25. ปุ่มทำงานอัตโนมัติ
26. ปุ่มแสดงค่าเฉลี่ย
27. ปุ่มจำค่าที่วัดได้
28. ปุ่มทำงานปกติ

การเตรียมการใช้งาน

1. ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันดังรูป
2. ต่อสายแคลมป์เข้ากับแบตเตอรี่ 12 โวลท์
3. เปิดสวิตช์แล้วรอประมาณ 5 นาทีเป็นเป็นอย่างน้อยเพื่อเป็นการอุ่นเครื่องก่อนทำงาน
4. ตรวจสอบไฟสัญญาณ (6) และ (8) ต้องไม่ติดทั้งคู่ (แบตเตอรี่ใช้ได้)
5. ตรวจสอบไฟสัญญาณ (7) ต้องดับ (พัดลมทำงาน)
6. กดปุ่ม "0" (16) จะปรากฏข้อความ "CAL" บนจอด้านขวามือเครื่องจะปรับตั้งค่าศูนย์ให้โดยอัตโนมัติ
7. กดปุ่ม "50 SPAN" (17) แล้วตรวจสอบผลที่ปรากฏบนจอว่าเป็น 50% หรือ 1.7 m. หรือไม่ถ้าใช่ให้ปรับปุ่ม (18) ให้ได้ค่าที่ถูกต้อง
8. สอดท่ออ่อนเข้ากับท่อไอเสียรถยนต์ เลือกขนาดท่อยางที่ปลายท่ออ่อนให้เหมาะสมกับขนาดท่อไอเสียรถยนต์ตามรูปภาคผนวกที่ 5
9. การวัดความเร็วเครื่องยนต์วัดได้โดยต่อ แคลมป์เหนี่ยวนำเข้ากับท่อน้ำมันของหัวฉีดกระบอกสูบที่ 1 บริเวณที่เป็นท่อใกล้หัวฉีดความยาว 3 cm. เป็นอย่างต่ำ แล้วล็อกสกรูให้แน่นด้วยความระมัดระวัง



รูปภาคผนวกที่ 1.5 แสดงการสอดท่อเข้ากับท่อไอเสียรถยนต์



รูปภาคผนวกที่ 1.6 แสดงการต่อแกลมปีเหนี่ยวนำ

10. ขณะนี้เริ่มทดสอบหรือวัดค่าวันดำเสร็จแล้ว
11. เครื่องจะทำงานไปตามหน้าที่ของปุ่มที่เลือกกด คือ ปุ่ม “TEST 1” หรือ “TAST 2” เมื่อสตาร์ทเครื่องยนต์จะปรากฏค่าวันดำบนจอ แต่ค่าที่ปรากฏนี้ เครื่องจะยังไม่จดจำค่าไว้ ทั้งนี้ก็เพื่อความสะดวกในการให้เครื่องจดจำค่าจากการทดสอบให้เป็นไปตามบทบัญญัติของกฎหมายแล้วคำนวณค่าเฉลี่ยที่ออกมาโดยการใช้นุ่ม (27) และ ปุ่ม (26) ในการควบคุมให้เครื่องจดจำค่าวันดำและคำนวณค่าวันดำเฉลี่ยออกมา
12. ปุ่ม “TEST 1” ใช้เลือกกดเพื่อทดสอบวันดำ ตามบทบัญญัติของ EEC ส่วนปุ่ม “TAST 2” ใช้เลือกกดเพื่อทดสอบวันดำตามบทบัญญัติของกฎหมาย ยังสามารถใช้ทดสอบให้สอดคล้องกับ บทบัญญัติของกฎหมายอื่นๆ ได้อีกด้วย เพราะการจดจำค่าวันดำ ของเครื่องและยังสามารถ พิมพ์ค่าวันดำ ลงกระดาษได้อีกด้วย

หมายเหตุ อย่าปล่อยให้ไอเสียของเครื่องยนต์เข้าไปในเครื่องวัดควันดำ ขณะเครื่องวัดควันดำไม่ได้ทำงาน เพราะขณะเครื่องวัดควันดำหยุดทำงานจะไม่มีพัดลมระบายอากาศบริเวณแผ่นสไลด์ ทำให้แผ่นสไลด์สกปรกได้ง่ายเครื่องวัดค่าได้จะไม่เที่ยงตรง

.. TECNOTEST ..

. SMOKE METER MOD. 490 .

. HOMOLOGATION: .

. 3631/4103/82 .

. 921/4103/8-L .

... ..

1)	87	%	
2)	37	%	
3)	63	%	*
4)	59	%	*
5)	64	%	*

OPAC. MED.

62 %

CAR:

DATE:

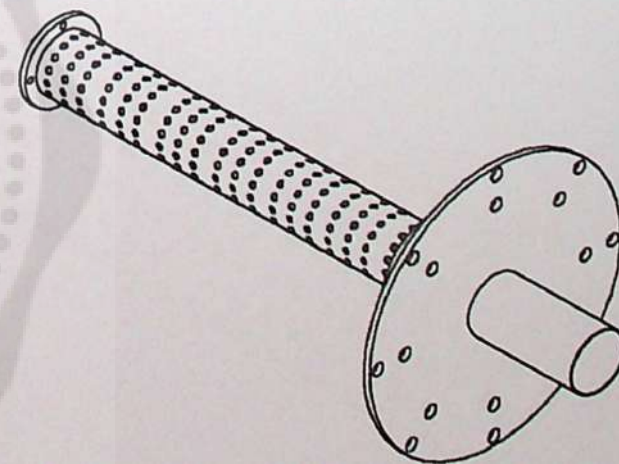
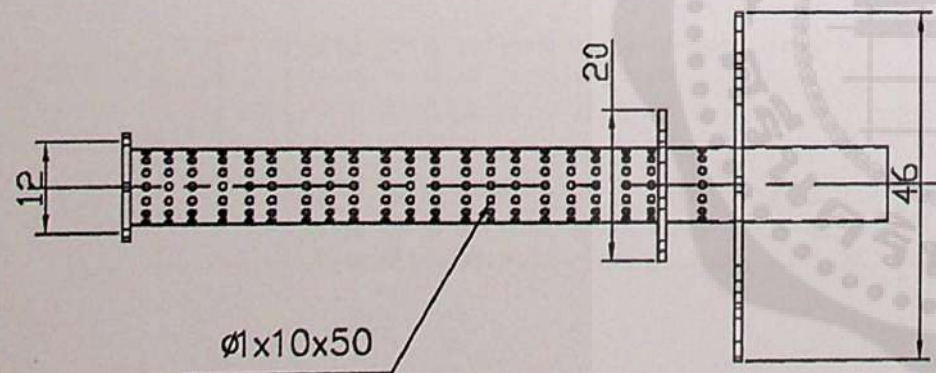
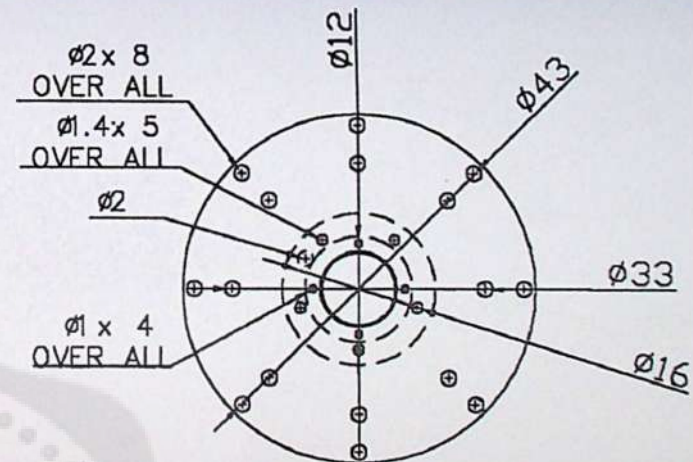
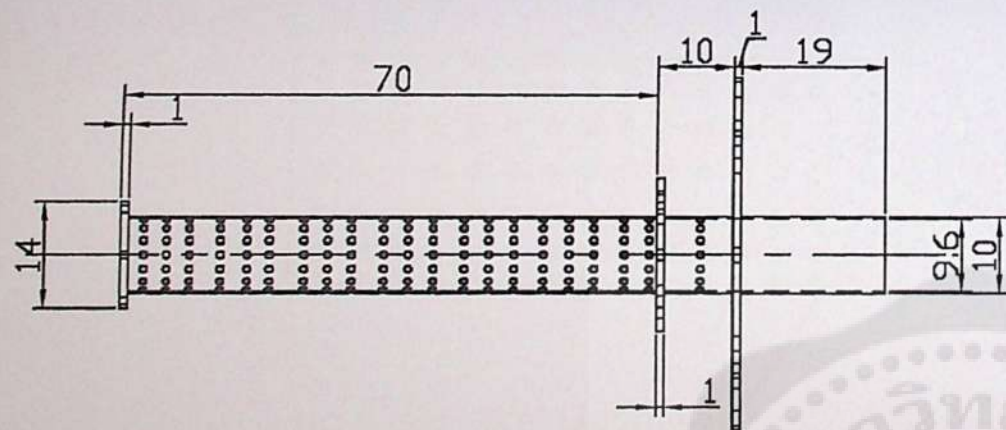
... GARAGE ...

รูปภาคผนวกที่ 1.7 แสดงตัวอย่างกระดาษแสดงผลการทดสอบจากเครื่องวัดควันดำ

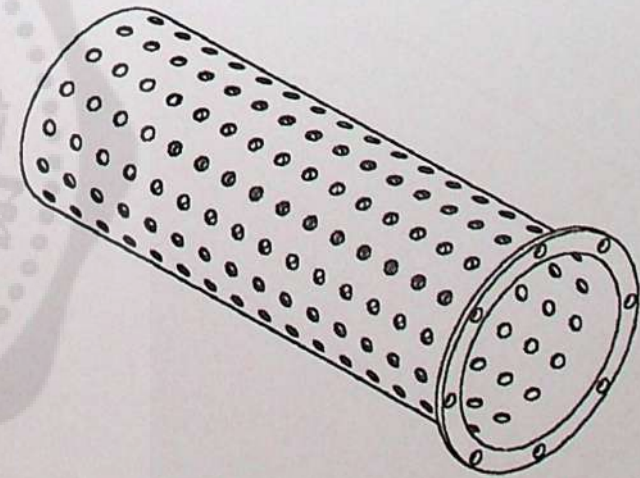
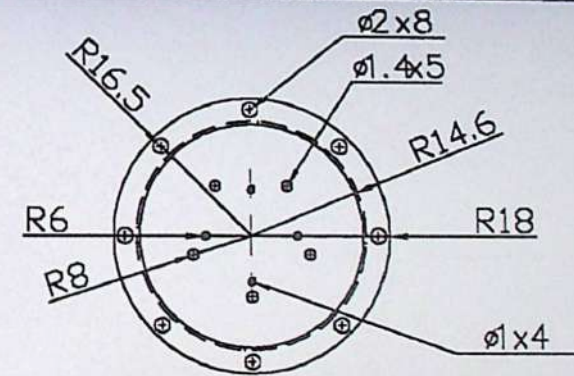
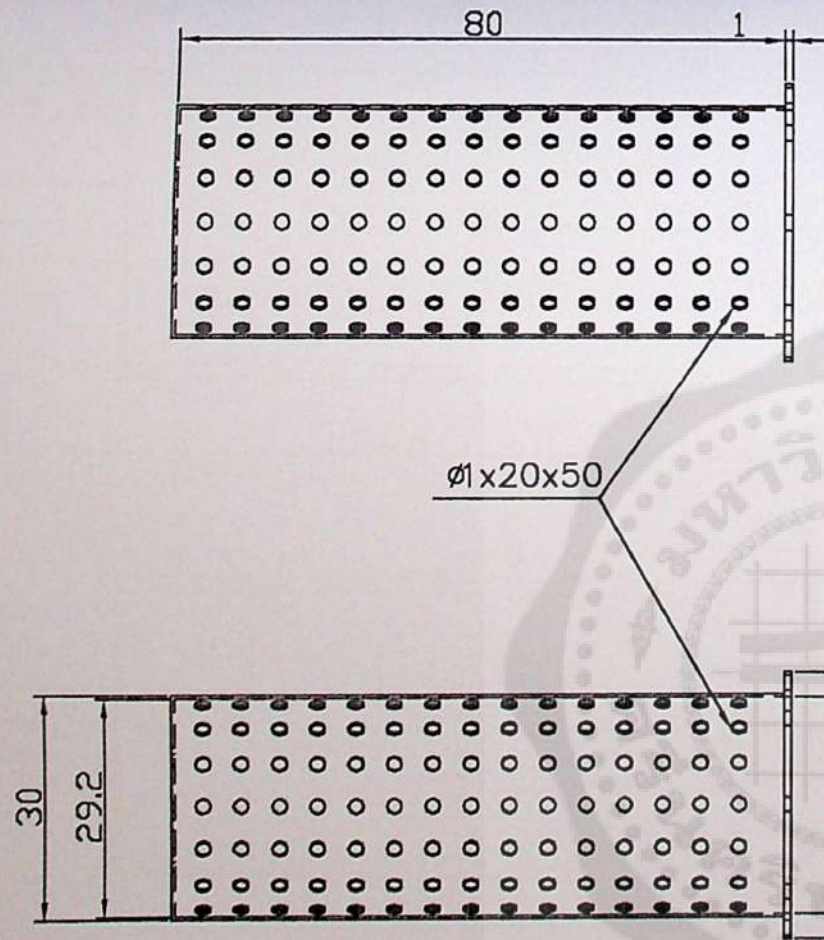


ตารางภาคผนวกที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ

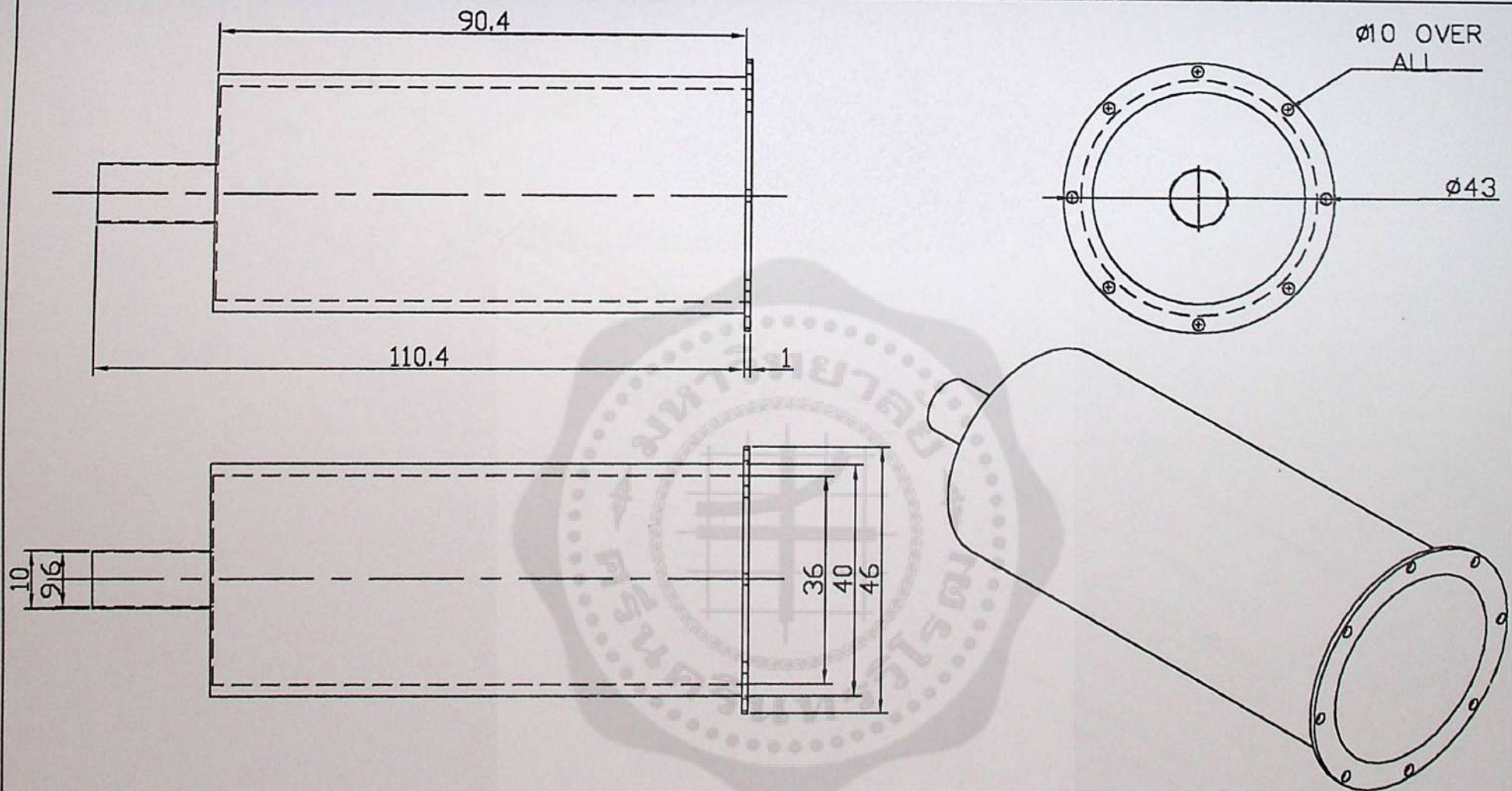
โลหะ	จุดหลอมละลายอุณหภูมิ ที่ 20 ° C	คุณสมบัติ ที่ 20 ° C			
		ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg °C)	k (W/m.C)	α (m ² /s) $\times 10^5$
เหล็ก	1537				
C=0.5%		7833	0.465	54	1.474
C=1.0%		7801	0.473	43	1.47
C=1.5%		7753	0.486	36	0.970
เซรามิก	1260	16	0.835	0.043	-



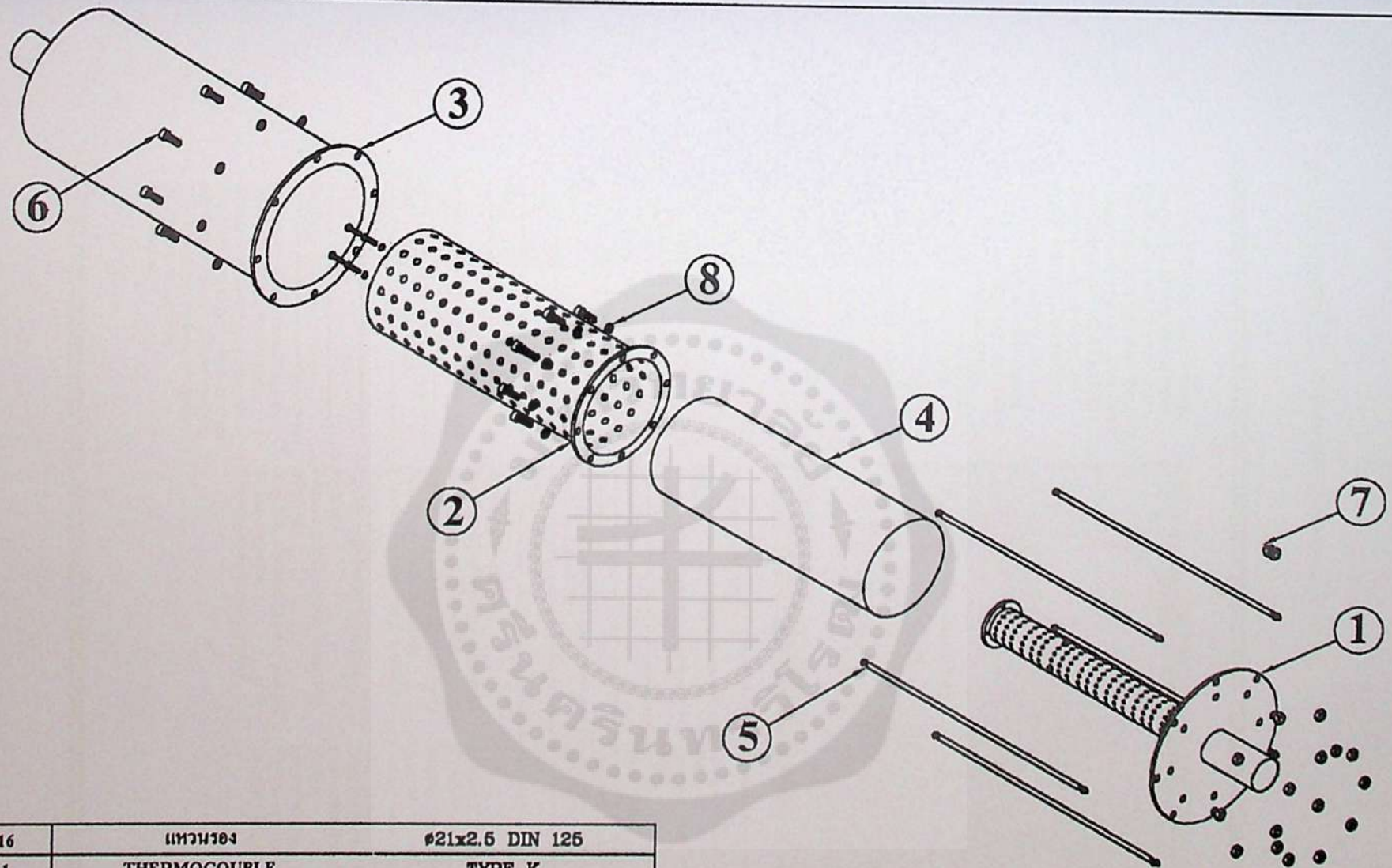
1	1	ชุดท่อไอเสีย				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,ขนาด,วัสดุ			มาตราส่วน 1 : 5	
ผู้เขียน ปัญญาวงศ์สุวรรณ		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ		วันที่ 16/04/44	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อโรงงาน		
				ชุดท่อไอเสีย		
				หมายเลขแบบ	No.01	แก้ไขครั้งที่
						แผ่นที่ 1



2	1	ชุดกรองด้านใน			มาตราส่วน 1 : 5	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, ขนาด, วัสดุ			วันที่	
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ			16/04/44	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อชิ้นงาน ชุดกรองด้านใน			
			หมายเลขแบบ	No.02	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 2



3	1	ชุดกรองด้านนอก				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,ขนาด,วัสดุ			มาตราส่วน 1:5	
ผู้เขียน ปัญญาวงศ์สุวรรณ		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่ 16/04/44		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อชิ้นงาน	ชุดกรองด้านนอก		
			หมายเลขแบบ	No.03	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 3



8	16	แหวนรอง	Ø21x2.5 DIN 125
7	1	THERMOCOUPLE	TYPE K
6	16	NUT - BOLT	M10x30 DIN 931,934
5	5	HEATER แบบแท่ง(400 W)	Ø8x300
4	1	ไส้กรองเซรามิก	1000x1500x3 ไส้เซรามิก
3	1	ชุดกรองด้านนอก	Ø250x480 St 37
2	1	ชุดกรองด้านใน	Ø200x410 St 37
1	1	ท่อไอเสีย	Ø70x510 St 37
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ,ขนาด,วัสดุ	

ผู้เขียน ปัญญาวงศ์สุวรรณ	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	วันที่ 16/04/44	มาตราส่วน 1 : 8
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อชิ้นงาน DETAIL	
			หมายเลขแบบ No.04	แก้ไขครั้งที่ แผ่นที่ 4

ตารางภาคผนวกที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติต่างๆของใยกรอง

Fiterfrax® Durablanket is a strong, light weight, flexible blanket made from long Fiberfrax ceramic fibres. The fibres are cross locked through a unique forming process to produce a blanket with unexcelled handling strength. There are no organic binders added to Durablanket.

Durablanket is a highly efficient insulator having low heat storage capacity and complete resistance to damage from thermal shock.

Durablanket is unaffected by most chemicals except hydrofluoric and phosphoric acids and concentrated alkalis. It wet by water, steam or oil, and retains its thermal and physical properties when wet; unaffected after drying.

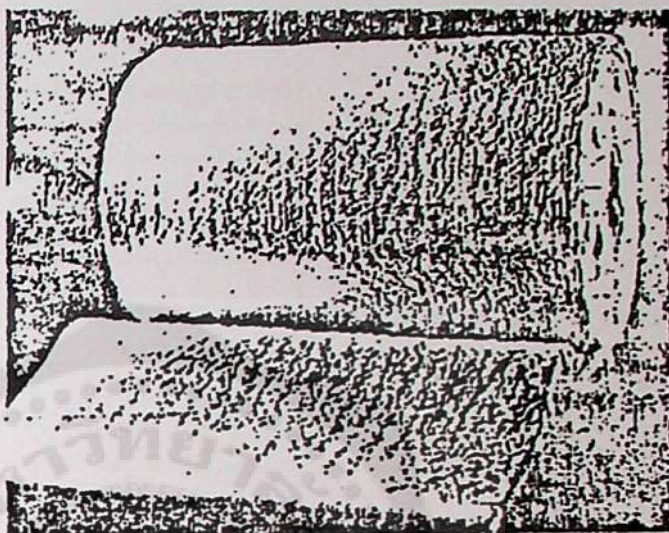
Durablanket has the following outstanding characteristics:

- Excellent Cold Handling Strength
- Excellent Hot Strength
- Low Thermal Conductivity
- Low Heat Storage
- Light Weight
- Resiliency
- Thermal Shock Resistance
- Excellent Thermal Stability
- High Heat Reflectance
- Good Sound Absorption
- Excellent Corrosion Resistance

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

Al ₂ O ₃	47.9%
SiO ₂	51.7%
Fe ₂ O ₃	0.04%
	0.002%
K ₂ O	0.01%
CaO	0.02%
Na ₂ O	0.1%
Trace Inorganics	0.2%
Leachable Chlorides	<10 ppm

Durablanket is available in 13mm, 25mm and 38mm thicknesses. Standard roll lengths are 10m, 5m and 3.3m, respectively. The standard roll width is 600mm. Different widths and lengths can be supplied subject to quantity and delivery requirements.



การวิเคราะห์ทางเคมี

Colour	White
Continuous Use Limit	1260°C
Melting Point	Above 1760°C
Fibre Diameter	2-3 microns (mean)
Specific Heat (1100°C)	1130 J/Kg°C
Specific Gravity	2.62

Typical Applications:

Investment Casting Mold Wrappings
Furnace, Kiln and Boiler Linings
Removable Insulating Blankets for Field Stress Relieving Yields
Reusable Insulation for Steam and Gas Turbines
Flexible High Temperature Pipe Insulation
Pressure and Cryogenic Vessel Fire Protection
High Temperature Kiln and Furnace Backup Insulation
Furnace Door Linings and Seals

Soaking Pit Seals
Furnace Repairs
Thermal Reactor Insulation
Expansion Joint Seals
Primary Reformers Header Insulation
High Temperature Gasketing
Glass Furnace Crown Insulation
Incineration Equipment and Stack Linings
Annealing Cover Seals
High Temperature Filtration
Nuclear Insulation Applications

ตารางคุณสมบัติที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติต่างๆทางความร้อน

Acoustic Insulation

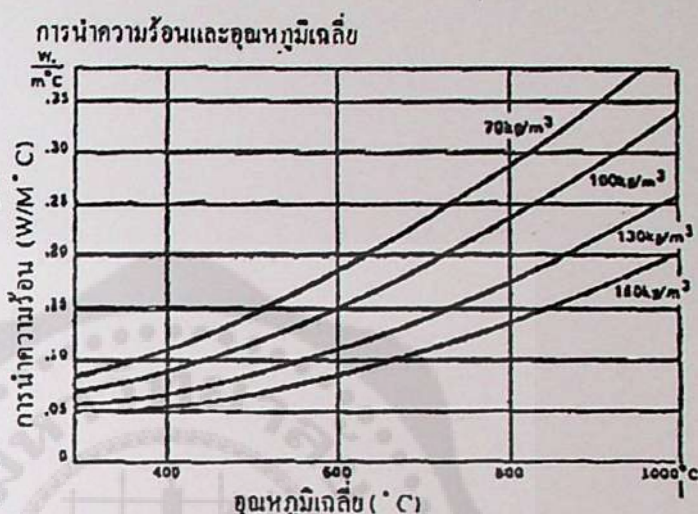
Durablanket acts as an efficient acoustic barrier at all temperatures up to its maximum use limit.

The absence of chemical binding agents enables Durablanket to function as acoustic insulation in high temperature applications such as gas ducts or turbine exhausts.

It is commonly used as a low temperature acoustic barrier in situations where it can perform a secondary function as a fire barrier. The sound absorption co-efficient and sound transmission loss curves are for 130kg/m³ Durablanket as shown typical below.

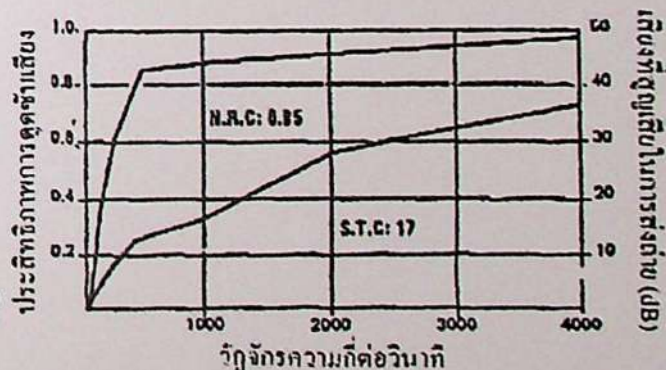
Linear Firing Shrinkage

982°C	1.5%
1093°C	2.0%
1260°C	3.1%



Hot Face °C	Cold Face Temperature — °C					
	Insulation Thickness — mm					
	13	25	38	50	75	100
650	187	129	103	88	72	62
760	226	153	126	107	86	74
870	266	187	150	128	102	87
980	305	217	175	149	119	101
1090	344	248	201	172	137	117
1200	382	279	227	195	158	132
1260	401	294	240	207	166	141

The above table gives a general indication of the effectiveness of Durablanket as an insulator when used as the sole insulation on a steel shell. The shell must be free to radiate heat to the surroundings. This table does not apply where the blanket is to be used to the extent of an existing refractory structure.



รณาสอินซูเลชั่น จำกัด
INSULATION CO LTD
เลขที่ 10 ถนนพหลโยธิน แขวงจตุจักร กรุงเทพฯ 10110
โทร 639 4088



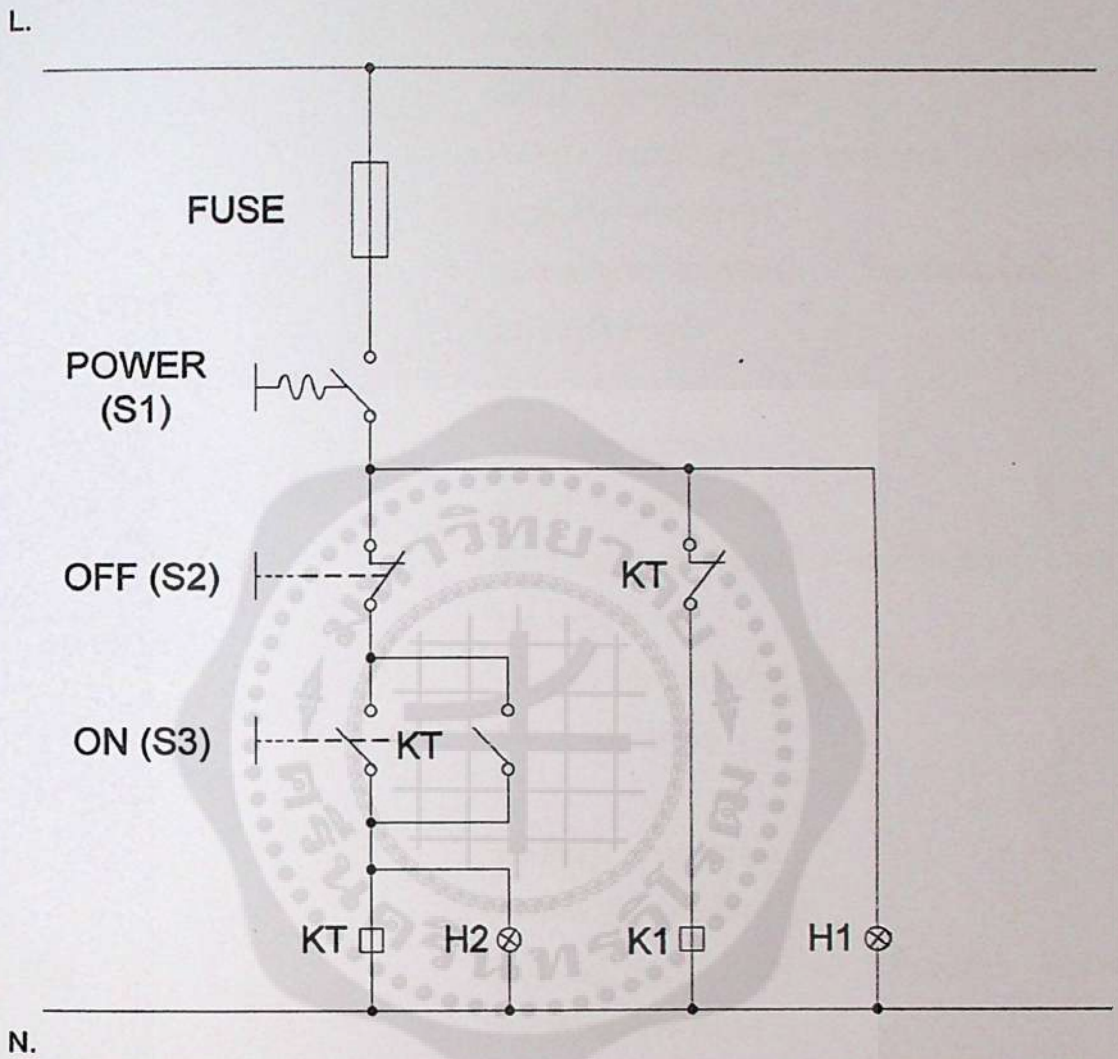
การออกแบบชุดควบคุมและวงจรไฟฟ้า

การออกแบบชุดควบคุมต้องกำหนดวิธีการ และขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเผาไหม้ ไล่กรอง มีขั้นตอนดังนี้ เมื่อกดสวิตช์ Main Power ไปตำแหน่ง ON กระแสไฟฟ้าเข้าระบบชุดควบคุมอุณหภูมิ

1. ทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการเผาไหม้ ของชุดควบคุมอุณหภูมิ
2. ทำการกดปุ่ม ON จะมีไฟสัญญาณสีเขียวสว่าง
3. โวลต์มิเตอร์ และ แอมป์มิเตอร์จะทำงาน
4. แท่ง Heater จะเริ่มให้ความร้อน เมื่อถึงอุณหภูมิที่ให้อยู่ Heater จะดับและจะมีไฟสัญญาณที่ตัวควบคุมอุณหภูมิจะติดและมีเสียงดัง
5. ใดกระแสไฟฟ้าเมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการโดยกดปุ่มสัญญาณไฟสีแดง
6. บันทึกผลการทดลอง และในการทดลองของอุณหภูมิ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

1. โวลต์มิเตอร์ (V)
2. แอมป์มิเตอร์ (A)
3. หลอดสัญญาณไฟ สีแดง
4. หลอดสัญญาณไฟ สีเขียว
5. สวิตช์ Start
6. สวิตช์ Stop
7. ชุดควบคุมอุณหภูมิ



รูปภาคผนวกที่ 3.1 แสดงวงจรควบคุมการทำงาน

ประวัติผู้จัดทำ

- ชื่อ นายเกรียงศักดิ์ นรารัตนานุกูล
เกิดวันที่ 11 พฤศจิกายน 2520
- ที่อยู่ 213 หมู่ 1 ตำบลพนางตุง อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง
93150 โทร. (074) 685193
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง
สาขาเทคนิคการผลิต
- ชื่อ นายมนต์ชัย แสงวงผล
เกิดวันที่ 6 กันยายน 2520
- ที่อยู่ 49/3 ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000
โทร. (02) 9791714
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
สาขาเทคนิคการผลิต
- ชื่อ นายสัญญา วงศ์สุวรรณ
เกิดวันที่ 31 กรกฎาคม 2518
- ที่อยู่ 65/2 หมู่ 5 ตำบลเกล็ดขน อำเภอสิชล จังหวัด
นครศรีธรรมราช 80120
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สาขาเครื่องกลเรือ
- ชื่อ นายเอกภพ อ่อนอุไร
เกิดวันที่ 21 สิงหาคม 2520
- ที่อยู่ 4 ถนนเทพประชาเหนือ ตำบลบ้านพรุ อำเภอหาดใหญ่
จังหวัดสงขลา 90250 โทร. (074) 438491
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สาขาช่างโลหะ