การวิเคราะห์มลพิษไอเสีย

(Emission Analyzer)

1. ผู้รับผิดชอบปฏิบัติการ

ว่าที่ร้อยตรีสมเกียรติ หมายถมกลาง

2. รายละเอียดปฏิบัติการ

ปฏิบัติการวิเคราะห์มลพิษไอเสีย (Emission Analyzer) เป็นปฏิบัติการที่ทำการศึกษาและตรวจวัดมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยเครื่องตรวจวัดก๊าซไอเสีย โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ประเภทจุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งทำการทดสอบกับเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน (เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ : เอทานอล ความบริสุทธิ์ต่ำ 95%) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมภาระกรรม และมลพิษไอเสียที่ทำการตรวจวัดจะประกอบไปด้วยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และเขม่าควันดำ (Smoke)

3. หนังสือที่ใช้สำหรับการเรียน

W. Addy Majewski and Magdi K. Khair, "*Diesel Emissions and Their Control*", 2006

John B. Heywood (1998). Internal Combustion Engine Fundamentals. Singapore: McGrawHill.

Willard W. Pulkrabek (1997). Engineering Fundamentals of Internal Combustion Engine: Pearson Education.

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันความต้องการพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกๆ ปี เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรนำไปสู่การปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมที่มากขึ้น น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่จะประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆ และมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนประมาณ 8-20 อะตอม (C_8-C_{20}) และอุณหภูมิการเดือดอยู่ในช่วง 130 – 370 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ มลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการสันดาปของรถยนต์และเครื่องยนต์สันดาปภายในอื่นๆ

ที่เป็นมลพิษในอากาศและถูกควบคุมประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of Nitrogen) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) และเขม่าควันดำ (Particulate Matter/Smoke/Soot) มลพิษเหล่านี้สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษไอเสียคือการที่เครื่องยนต์สันดาปไม่สมบูรณ์ การแตกตัวของไนโตรเจนและสิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงประสงค์ในเชื้อเพลิงและอากาศ

มลพิษเครื่องยนต์ดีเซล

ไนโตรเจนออกไซด์ (*Nitrogen Oxides*, NO_X)

ไนโตรเจนออกไซด์ 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:

$$N_2 + O_2 = 2NO - 182.4 \text{ kJ/mol} \tag{4.1}$$

ค่าความร้อนที่มีผลเป็นลบแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาแบบดูดกลืนความร้อนของไนตริกออกไซด์เกิดขึ้นดังสมการที่ 4.1 ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่สภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ทั้งนี้ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำการสมดุลเคมีแตกออกได้ดังด้านซ้ายมือของสมการที่ 4.1

ทั้งนี้ ไนโตรเจนออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศส่วนใหญ่ โดยไนตริกออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายปฏิกิริยาในระหว่างการเผาไหม้หรือสิ้นสุดการเผาไหม้ทันที ตัวอย่างเช่น

$$O + N \longrightarrow NO + N \tag{4.2}$$

$$N + O \longrightarrow NO + O \tag{4.3}$$

$$N + OH \longrightarrow NO + H \tag{4.4}$$

ไนตริกออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

$$NO + H_2O \longrightarrow NO_2 + H_2 \quad (4.5)$$

$$N + O_2 \longrightarrow NO_2 + O \quad (4.6)$$

กลไลที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์จากการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลไก ดังนี้

1. การเกิด Prompt NO_X เกิดจากโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนเมื่อมีการเผาไหม้ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ที่ส่วนผสมเชื้อเพลิงที่หนา

2. การเกิด Fuel NO_X เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น แต่ในการเกิดไนโตรเจนออกไซด์จากเชื้อเพลิงจะมีปริมาณที่น้อยมาก

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

กลไกการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ตามที่กล่าวมาข้างต้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ เช่น ความดัน อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เป็นต้น นอกจากนี้ การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ภายในห้องเผาไหม้จะเกิดขึ้นไม่เท่ากันด้วย

ไฮโดรคาร์บอน (*Hydrocarbons*, HC)

ไฮโดรคาร์บอน (HC) พบในสถานะแก๊สในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ ที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันหล่อลื่น โดยเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนมีคุณลักษณะที่เป็นคาร์บอนชนิดโซ่สั้น ในทางตรงกันข้ามไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นประกอบไปด้วยโลหะหนัก ซึ่งทั่วไปแล้วไฮโดรคาร์บอนจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น C_nH_m โดย n คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอน และ m คือ จำนวนอะตอมของไฮโดรเจน

มาตรฐานมลพิษไอเสียในเครื่องยนต์ ไฮโดรคาร์บอนโดยปกติแล้วเกิดขึ้นจากสารประกอบของเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้หรือมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่แตกตัวจากโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ถูกเผาไหม้แต่เผาไหม้ไม่หมด ไฮโรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมและรูปร่างที่แตกต่างกัน สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ประมาณ 20 ถึง 300 ppm สาเหตุการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนมาจากหลายแหล่งดังนี้

1. ภายในห้องเผาไหม้ที่มีซอกหรือช่องแคบๆ ที่เชื้อเพลิงหรือไอดีสามารถเข้าไปอยู่ตามซอกต่างๆ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะการอัด ความดันในกระบอกสูบจะดันให้เชื้อเพลิงเข้าไปติดตามซอกหรือช่องต่างๆ เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงในส่วนนี้จะไม่เกิดการเผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2. บริเวณผนังกระบอกสูบเมื่อเปลวไฟลามไปถึงผนังสูบกระบอกสูบ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากอยู่ใกล้ระบบระบายความร้อนจึงส่งผลให้เปลวไฟดับ ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้

3. ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากสารหล่อลื่นสามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ เป็นผลให้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนนั้นไม่สามารถเผาไหม้ได้

ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจะส่งกลิ่นและทำให้อวัยวะต่างๆ ในร่างกายเกิดการระคายเคือง อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศเกิดเป็นหมอกควัน

คาร์บอนมอนอกไซด์ (*Carbon Monoxide*, CO)

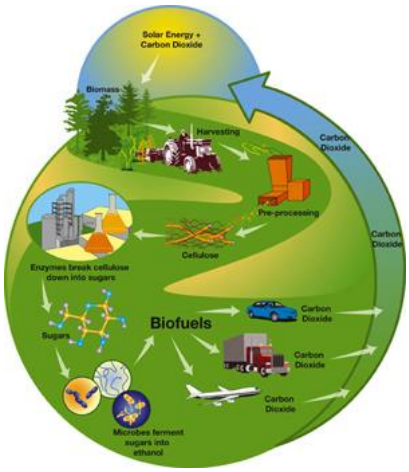
คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซพิษ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้เมื่อมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งส่งผลให้คาร์บอนไม่สามารถทำปฏิกิริยาให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกเผาไหม้และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ สำหรับในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงบาง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

เขม่าควันดำ (*Smoke*)

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการปล่อยเขม่าหรือฝุ่นละออง ซึ่งก็คือละอองของคาร์บอนที่อยู่ในสถานะของแข็ง เขม่าที่ออกมาจากท่อไอเสียสามารถเห็นได้ในรูปควันที่มีสีดำและจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เขม่าจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีเชื้อเพลิงผสมหนา (Rich Combustion) ขณะเผาไหม้ เนื่องจากเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบของคาร์บอน ละอองคาร์บอนนี้จะมีความเข้มข้นสูงเมื่อเครื่องยนต์มีภาระการทำงานที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากเครื่องยนต์มีการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มากขึ้น

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

เชื้อเพลิงทางเลือก (ไบโอแอลกอฮอล์)



รูปที่ 4.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ

ไบโอแอลกอฮอล์หรือแอลกอฮอล์ชีวภาพ (Bioalcohol) คือ แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากกระบวนการทางชีวภาพ ไบโอแอลกอฮอล์ได้รับความสนใจในการพัฒนามาเป็นพลังงานทดแทน เนื่องจากสามารถนำมาดัดแปลงหรือใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยตรง เพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในรูปน้ำมันเชื้อเพลิงผสม ซึ่งไบโอแอลกอฮอล์สามารถผลิตได้จากการหมักคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล แป้ง และเซลลูโลส ที่มีอยู่ในพืชชนิดต่างๆ ได้แก่ ซังข้าวโพด ขี้เลื่อย เศษไม้ ชานอ้อย รวมทั้งของเหลือทิ้งประเภทแป้ง และน้ำตาลจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งของเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม เพื่อเป็นสารตั้งต้นให้จุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ ไบโอแอลกอฮอล์ที่มีความสำคัญสำหรับการนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ได้แก่ เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) โพรพานอล (Propanol) และบิวทานอล (Butanol) โดยนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซลเรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นสารเติมแต่งหรือใช้เป็นสารเคมีเพิ่มค่าออกเทนให้แก่เครื่องยนต์เป็นทดแทนการใช้สารตะกั่ว อย่างไรก็ตามไบโอแอลกอฮอล์ได้รับความนิยมนำมาใช้มากขึ้นสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นกลับไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากค่าจำนวนซีเทนที่ต่ำและปัญหาด้านการจุดระเบิดด้วยการอัด

ในปัจจุบันเชื้อเพลิงไบโอแอลกอฮอล์ที่ได้รับความสนใจในอุตสาหกรรมยานยนต์และในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลมีอยู่ 2 ประเภท คือ ไบโอเอทานอลและไบโอบิวทานอล โดยใช้ระบบเชื้อเพลิงสองชนิดสำหรับการเผาไหม้ร่วมกันของแอลกอฮอล์และน้ำมันดีเซล ซึ่งวิธีที่นิยมใช้คือ การฉีดเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ในบริเวณใกล้กับวาล์วไอดีของเครื่องยนต์และการฉีดเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง ทั้งนี้สำหรับปฏิบัติการนี้จะนำมาใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อทดสอบการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย โดยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญของไบโอแอลกอฮอล์ที่จะกล่าวถึงแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอแอลกอฮอล์

Properties	Diesel	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol
Molecular formula	C_XH_Y	CH_3–OH	C_2H_5–OH	C_3H_7–OH	C_4H_9–OH
Molecular weight (Kg/kmol)	190–211.7	32.04	46.07	60.09	74.12
C (%wt)	86.13	37.48	52.14	59.96	64.82
H (%wt)	13.87	12.48	13.02	13.31	13.49
O (%wt)	0	49.93	34.73	26.62	21.59
Solubility (g/L)	Immiscible	Miscible	Miscible	Miscible	77
Lubricity (μm corrected wear scar)	315	1100	1057	922	591
Cetane number	52	5	8	12	17
Self-ignition temperature (°C)	254–300	463	420	350	345
Density (kg/m^3) at 15°C	835	791.3	789.4	803.7	809.7
Viscosity at 40 °C (mm/s^2)	2.72	0.58	1.13	1.74	2.22
Lower heating value (MJ/Kg)	42.49	19.58	26.83	30.63	33.09
Latent heat of evaporation (kJ/kg)	270–375	1162.64	918.42	727.88	581.4
Vapor pressure (mmHg)	0.4	127	55	20	7
CFPP [b] (°C)	17	o51	o51	o51	o51
Boiling point (°C)	180–360	64.7	78.3	97.1	117.5
Flash point (°C)	455	11–12	17	11.7	35–37

5. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

1) เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine : CI Engine) ที่ใช้สำหรับการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 4 สูบ ขนาด 2.449 ลิตร แบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์แสดงดังตารางที่ 5.1

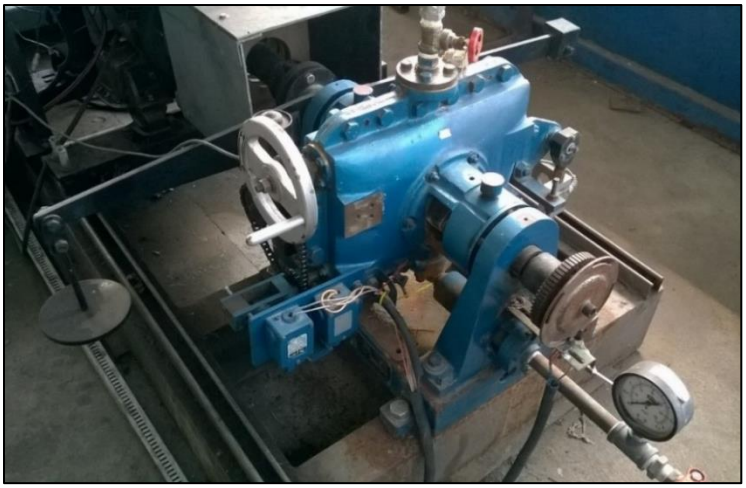
รูปที่ 5.1 เครื่องยนต์สำหรับใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

Engine	**Specification**
Engine model	ISUZU 4JA1
Engine type	4-Stroke, 4 - Cycle, Water Cooled, Direct Injection
Number of cylinder – Bore x Stroke	4 – 93.0 x 92.0 mm. (3.66 x 3.62 in.)
Total piston displacement	2.449 (152.4)
Compression ratio	18.4
Fuel injection timing (BTDC)	14 Degrees-
Rated power	64.9 kW @4000 rpm
Max.Torque	171.5 N-m @2000 rpm

2) ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบเครื่องยนต์เป็นแบบของเหลวหรือไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรม (Water Brake) ดังรูปที่ 5.2 มีระบบการทำงานโดยอาศัยแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิคหรือน้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้แก่เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์

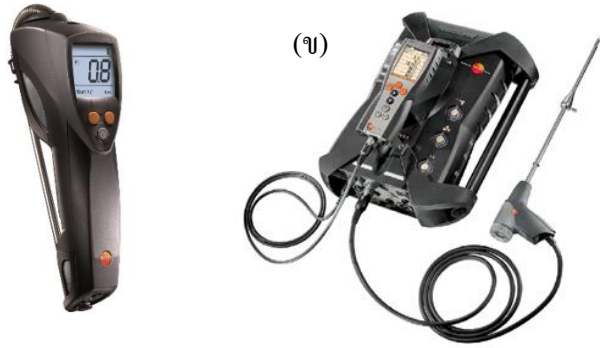
ตารางที่ 5.2 ข้อมูลจำเพาะของไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์

Dynamometer	
Make	SAJ Group
Type	Hydraulic
Capacity	160 HP
Load	Water
Load Cell	
Model	614
Type	M
Range	300 kg

3) เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Flue Gas Analyzer) สำหรับการทดสอบจะใช้ประกอบด้วยเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON และเครื่องมือวัดดัชนีเขม่า TESTO รุ่น TESTO 308 โดยรายละเอียดข้อมูลเครื่องมือวัดดังนี้

(ก) (ข)



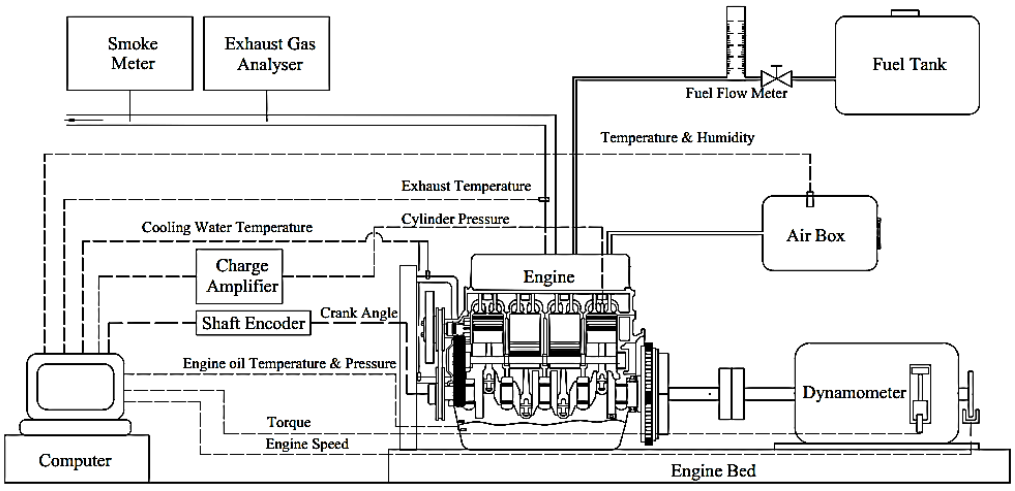
รูปที่ 5.3 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer)
(ก) เครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 308
(ข) เครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350

รูปที่ 5.4 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L

รูปที่ 5.5 เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON

6. ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะและตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ โดยทำการทดสอบกับน้ำมันดีเซล สำหรับใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงและเปรียบเทียบผลกับการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้



รูปที่ 6.1 ผังการติดตั้งเครื่องยนต์

1) ทำการติดเครื่องยนต์แล้วปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบา จนเครื่องยนต์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ (อุณหภูมิน้ำมันเครื่องอยู่ที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส)
2) เริ่มทำการทดสอบด้วยการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 1,600 รอบต่อนาที แล้วปรับการจ่ายภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ที่ 27 นิวตันเมตร ซึ่งเมื่อจ่ายภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ความเร็วรอบจะลดลง จึงต้องเร่งปรับความเร็วให้คงที่ตามที่กำหนด
3) ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยการจับเวลาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ปริมาตรในการวัดที่ 50 มิลลิลิตร
4) ทำการตรวจวัดมลพิษไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ณ บริเวณปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์ (ในส่วนการวัดเขม่าควันดำจะทำการเร่งเครื่องยนต์จนสุดจำนวน 3 ครั้ง)
5) บันทึกข้อมูลผลการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
6) ทำการทดสอบตามขั้นตอนการปฏิบัติที่ 3 ถึง 7 โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ทดสอบเป็น 1,800 , 2,000 และ 2,200 รอบต่อวินาที ตามลำดับ และทำการทดสอบเช่นเดียวกันนี้กับน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบชนิดอื่นๆ โดยในปฏิบัติการนี้ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอลความบริสุทธิ์ต่ำที่ 10 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร (DE10)

เอกสารแนบท้ายปฏิบัติการ

k (1/m)	Trübung (%)	k (1/m)	Trübung (%)
0,1	4,21	5,6	91,00
0,2	8,24	5,7	91,38
0,3	12,10	5,8	91,74
0,4	15,80	5,9	92,09
0,5	19,35	6	92,42
0,6	22,74	6,1	92,74
0,7	25,99	6,2	93,05
0,8	29,11	6,3	93,34
0,9	32,09	6,4	93,62
1	34,95	6,5	93,89
1,1	37,69	6,6	94,15
1,2	40,31	6,7	94,39
1,3	42,82	6,8	94,63
1,4	45,23	6,9	94,85
1,5	47,53	7	95,07
1,6	49,74	7,1	95,28
1,7	51,86	7,2	95,48
1,8	53,88	7,3	95,67
1,9	55,82	7,4	95,85
2	57,68	7,5	96,02
2,1	59,46	7,6	96,19
2,2	61,17	7,7	96,35
2,3	62,81	7,8	96,51
2,4	64,37	7,9	96,65
2,5	65,87	8	96,79
2,6	67,31	8,1	96,93
2,7	68,68	8,2	97,06
2,8	70,00	8,3	97,18
2,9	71,26	8,4	97,30
3	72,47	8,5	97,41
3,1	73,63	8,6	97,52
3,2	74,74	8,7	97,63
3,3	75,80	8,8	97,73
3,4	76,82	8,9	97,82
3,5	77,80	9	97,91
3,6	78,73	9,1	98,00
3,7	79,63	9,2	98,09
3,8	80,49	9,3	98,17
3,9	81,31	9,4	98,24
4	82,09	9,5	98,32
4,1	82,85	9,6	98,39
4,2	83,57	9,7	98,46
4,3	84,26	9,8	98,52
4,4	84,92	9,9	98,58
4,5	85,56	10	98,64
4,6	86,17	10,1	98,70
4,7	86,75	10,2	98,75
4,8	87,31	10,3	98,81
4,9	87,84	10,4	98,86
5	88,35	10,5	98,91
5,1	88,84	10,6	98,95
5,2	89,31	10,7	99,00
5,3	89,76	10,8	99,04
5,4	90,19		
5,5	90,61		