บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งมีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซิน มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด โดยมากเป็น โดเดเคน$C_{12}H_{26}$ และผสมกับสารอีกบางชนิด เพื่อเพิ่มคุณภาพ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีมูลฐานการทำงานแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศอย่างมากภายในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้

เครื่องยนต์ดีเซลในสมัยแรกๆนั้นมีขนาดใหญ่โตมาก เพราะต้องการให้ทนกับความร้อนและแรงอัดสูงๆได้ ในสมัยก่อนก็นำไปใช้เป็นเครื่องต้นกำลัง เช่น ใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในเรือ ต่อมาได้มีการพัฒนาสร้างเครื่องยนต์ให้มีขนาดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องมืออุปกรณ์หลายชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น รถไฟ รถบรรทุก รถยนต์ รถแทรกเตอร์ เรือประมง เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานแตกต่างกันไป

2.2 ชนิดของน้ำมันดีเซล

ตามมาตรฐานต่างๆทั่วโลกมีการกำหนดชนิดของน้ำมันดีเซลมากมายแตกต่างกันไป เช่น มาตรฐาน ASTM แบ่งเป็น 3 ชนิด, FS แบ่งเป็น 4 ชนิด, USBM แบ่งเป็น 4 เกรด เป็นต้น

สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

2.2.1 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว (Automotive diesel oil) หรือที่เรียกกันติดปากว่าโซล่าใช้กับเครื่องยนต์ที่ทำงานที่รอบสูง เช่น รถยนต์ รถโดยสาร เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เป็นต้น น้ำมันดีเซลชนิดนี้ถือว่ามีคุณภาพสูงกว่าอีกชนิดหนึ่ง

2.2.2 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า (Industrial diesel oil) เรียกอีกอย่างว่าน้ำมันขี้โล้ ใช้กับเครื่องยนต์ที่ทำงานรอบต่ำๆ เครื่องยนต์ขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ใช้เผาทำความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงเรือประมง หรือเรือขนาดใหญ่ ซึ่งน้ำมันดีเซลชนิดนี้ถือว่ามีคุณภาพต่ำ เพราะใช้ที่รอบต่ำจึงไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพสูงเท่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

น้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันมีหลายบริษัท เช่น ป.ต.ท. เอสโซ่ เชลล์ ฯลฯ ซึ่งมีจำหน่ายทั้ง 2 แบบ รวมทั้งมีชนิดพิเศษใช้ในกรณีพิเศษ เช่น Special Diesel Fuel Oil ของ ป.ต.ท.

2.3 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่ควรคำนึงถึงมีดังนี้

2.3.1 สีของน้ำมันดีเซล ตามธรรมชาติแล้วในสภาวะปกติน้ำมันดีเซลจะมีสีขาอ่อนๆ แต่บางครั้งอาจเปลี่ยนไป เนื่องจากแหล่งน้ำมันดิบหรือกระบวนการกลั่นแตกต่างกัน

2.3.2 การติดไฟ(Ignition quality) คุณสมบัตินี้จะแสดงถึงความสามรถในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาไหม้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้อาจแสดงออกมาเป็นค่าดัชนีซีเทนหรือค่าจากซีเทนนัมเบอร์(cetane number)

2.3.3 ความสะอาด (Cleanliness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ น้ำมันดีเซลจะต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น จะต้องมีตะกอน น้ำ กากถ่าน หรือเขม่าน้อยที่สุดที่จะทำได้ เนื่องจากระบบเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้ปั๊มและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

2.3.4 การกระจายเป็นฝอย (Fluidity-automization) คุณสมบัติอันนี้อยู่ที่ความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้การกระจายเป็นฝอยได้ดี ในขณะที่หัวฉีดได้ฉีดน้ำมันในช่วงเริ่มการเผาไหม้ และความหนืดของน้ำมันดีเซลมีผลต่อระบบปั๊มของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย เพราะน้ำมันจะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบปั๊ม (Plunger) ไปในตัวด้วย

2.3.5 การระเหยตัว (Volatility) ความสามรถในการระเหยตัวของน้ำมันจะมีผลต่อจุดเดือด (Boiling point) จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) ของน้ำมันดีเซลด้วย ช่วงจุดเดือดของน้ำมันดีเซลโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 280-725 ºF (138-385 ºC)

2.3.6 อัตราซีเทน (Cetane number) หรือดัชนีซีเทนนั่นเอง ซึ่งแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข ความหมายคือ ค่าที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำมันดีเซลในด้านของคุณสมบัติการติดไฟ โดยแสดงเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเช่น 60 เป็นต้น ค่าซีเทนนัมเบอร์ควรให้สูงมากเพียงพอกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์ติดได้ง่าย ไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์ และเป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงด้วย ยิ่งค่าซีเทนมีค่าสูงก็จะทำให้การควบคุมการเผาไหม้ได้ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น

2.3.7 ดัชนีดีเซล (Diesel index; DI) เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบคุณภาพน้ำมันคล้ายกับซีเทนนัมเบอร์ ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันดีเซลได้เช่นกันโดยเทียบกับค่าซีเทนก่อน และมีวิธีการหาค่าได้สะดวก ซึ่งนับว่าเป็นค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่พอเชื่อถือได้

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ต้องใช้เวลาเล็กน้อยในการระเหยและผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ก่อนเกิดการลุกไหม้ด้วยตัวเอง ช่วงเวลานี้เรียกว่า Ignition delay ทำให้ในช่วงนี้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้จึงมีการเผาไหม้อย่างรุนแรงทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีลดช่วงเวลาดังกล่าวนี้ให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งกระทำได้โดยการเลือกความดันของหัวฉีดน้ำมันและการออกแบบห้องเผาไหม้ที่เหมาะสม และสิ่งสำคัญคือคุณภาพและคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

2.4 ลักษณะจำเพาะที่ต้องคำนึงเมื่อน้ำมันดีเซลมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2.4.1 จุดวาบไฟ (Flash point) คืออุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ และเมื่อไอนี้ถูกเปลวไฟจะลุกวาบไฟขึ้น การเกิดการวาบไฟนี้จะเกิดเมื่อน้ำมันดีเซลถูกทำให้ร้อน ในทางปฏิบัตินั้น จุดวาบไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการเก็บรักษาและใช้งานเท่านั้น ไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียสขึ้นไป

2.4.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) คืออัตราความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่มีปริมาตรเท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน ในการซื้อขายน้ำมันเชื่อเพลิงนั้นมีความถ่วงจำเพาะมาตรฐานค่าหนึ่งนั่นคือ ความถ่วงจำเพาะมาตรฐาน API ซึ่งจะคิดที่ 60 ºF โดยการแปลงความถ่วงจำเพาะแบบปกติ เป็นตัวเลขที่อ่านได้สะดวกตามสมการ

$$\text{ความถ่วงหรือองศา API} = \frac{141.5}{S.G.at 60°F} - 131.5$$

ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลนั้น จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากปริมาตรที่ขยายเพิ่มขึ้นนั่นเอง

2.4.3 ความหนาแน่นและความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความข้นใสของน้ำมันดีเซลมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีด ถ้าน้ำมันมีความข้นใสสูงการฉีดเป็นฝอยละอองจะไม่ดี ละอองน้ำมันจะมีขนาดใหญ่ และจะพุ่งไปไกลซึ่งจะพุ่งเป็นสายแทนที่จะกระจายเป็นฝอยเล็กๆ ทำให้น้ำมันรวมตัวกับอากาศไม่ดี การเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง และถ้าเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กแล้ว น้ำมันเชื้อเพลิงอาจพุ่งไปกระทบกระบอกสูบได้ เป็นการชะล้างฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นลงสู่ก้นอ่างทำให้เครื่องยนต์สึกหรอเร็ว และน้ำมันเครื่องสกปรกเร็ว แต่ถ้าน้ำมันดีเซลมีความข้นใสต่ำเกินไปจะทำให้การฉีดฝอยน้ำมันละเอียดดี แต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้ก็จะไม่ดีนัก และอาจทำให้มีการรั่วกลับในตัวปั๊มหัวฉีดมาก ภายใต้สภาพการณ์เช่นนี้อาจทำให้น้ำมันที่ผ่านหัวฉีดออกไปมีปริมาณลดลงทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงได้

เช่นกัน นอกจากนี้แล้ว การสึกหรอของชิ้นส่วนในระบบเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันใสเกินไปทำให้การหล่อลื่นอุปกรณ์เช่นปั๊มหัวฉีดไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะในปั๊มแบบโรตารีที่อาศัยการหล่อลื่นจากน้ำมันดีเซลเท่านั้น ด้วยเหตุนี้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วโดยทั่วไปจะกำหนดค่าความข้นใสอยู่ระหว่าง 1.5-5.0 เซนติสโตรก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

2.5 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำมันดีเซลทำให้คุณสมบัติหลายประการเปลี่ยนแปลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เช่น ความถ่วงจำเพาะ ปริมาตร ความหนาแน่น ความหนืดหรือความข้นใส ซึ่งจะส่งผลต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลอย่างแน่นอน ดังเมื่อเราสังเกตเห็นได้เมื่อขับรถที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น ฤดูหนาวกับฤดูร้อน หรือ กลางวันกับกลางคืน ซึ่งน้ำมันที่อยู่ในถังน้ำมันจะมีอุณหภูมิแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิภายนอกอยู่ตลอดเวลา

ในกรณีที่น้ำมันดีเซลถูกทำให้เพิ่มอุณหภูมิ หรือ ถูกอุ่น(Warmed) ทั้งโดยธรรมชาติ หรือโดย Heater จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

2.5.1 น้ำหนักจำเพาะกับความหนาแน่น ลดลง สาเหตุเพราะว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำมันดีเซลเกิดการขยายตัวดังเช่นกับของเหลวทั่วไป ปริมาตรเพิ่มขึ้นในขณะที่มวลยังคงเท่าเดิม ซึ่งมีผลทำให้อัตราการไหลเชิงมวลมีแนวโน้มลดลง หรือมีการถ่ายเทมวลน้อยลง อันจะส่งผลไปถึงกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งจะให้กำลังออกมาน้อยลง นั่นคือมีสมรรถนะลดลงนั่นเอง กรณีที่ความถ่วงจำเพาะลดลงนี้ ไม่กระทบต่อค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงแต่อย่างใด แต่จะส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลเป็นสำคัญ ซึ่งอาจจะมีลักษณะการไหลแตกต่างเล็กน้อยจากปกติ เนื่องจากความหนาแน่นลดลง แต่ก็สรุปไม่ได้ว่ามีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันมากหรือน้อยกว่าอุณหภูมิปกติ เพราะต้องพิจารณาให้อยู่ในรูปความสิ้นเปลืองน้ำมันเชิงมวลต่อพลังงานที่ให้ออกมาเสียก่อน จึงจะสามารถเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองระหว่างน้ำมันดีเซลอุณหภูมิปกติกับน้ำมันดีเซลที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิ

2.5.2 ความหนืดหรือความข้นใสลดลง ตามทฤษฎีทั่วไปของของเหลว ความหนืดจะมีค่าลดลงเมื่อของเหลวนั้นๆมีอุณหภูมิเพิ่มสูงมากขึ้น น้ำมันดีเซลก็เช่นกัน ปกติแล้วน้ำมันดีเซลมีความหนืด สูงกว่าน้ำมันเบนซิน แต่ก็ถือว่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งไม่ต่ำจนเกินไปเพราะต้องทำหน้าที่หล่อลื่นปั๊มหัวฉีด ไปในตัวในขณะที่ไหลผ่าน ผลดีที่เห็นได้ชัดก็คือการแตกตัวเป็นฝอยละเอียดมากขึ้นเมื่อฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ละอองขนาดเล็กกว่าอุณหภูมิปกตินั้น สามารถผสมกับอากาศได้รวดเร็ว เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้น การเผาไหม้จะให้พลังงานความร้อนออกมามากขึ้น รวมทั้งระยะเวลา Ignition delay ก็ลดน้อยลงด้วย แต่ก็มีปัญหาตามมาด้วยหากความข้นใสลดต่ำลง ในกรณี

นี้จะทำให้ระยะการสเปรย์จะอยู่เพียงวงเล็กเพราะเป็นละอองเล็กเกินไป การเผาไหม้ก็จะจำกัดเพียงบริเวณเดียวไม่กระจายทั่วกระบอก สูบอย่างที่ควรจะเป็น เป็นผลทำให้สมรรถนะลดลง และปัญหาที่สำคัญคือปัญหาที่เกิดกับอุปกรณ์ เช่นระบบปั๊มฉีดน้ำมันดีเซลที่ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลงตามความข้นใส มีโอกาสที่จะเกิดความฝืดเพิ่มขึ้นได้ทำให้อายุการใช้งานลดลง รวมทั้งหัวฉีดที่มีโอกาสที่จะเกิดการรั่วไหลย้อนกลับของละอองน้ำมันดีเซลและอากาศบางส่วน ซึ่งจะทำให้หัวฉีดสึกหรอโดยง่าย

2.5.3 น้ำมันดีเซลจะระเหยเร็วขึ้น ซึ่งเป็นผลเสียที่ไม่ค่อยส่งผลต่อประสิทธิภาพหรือความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากนัก เพราะอัตราการระเหยของน้ำมันดีเซลนั้นต่ำ เพียงแต่เกิดความเสี่ยงต่อการลุกติดไฟได้หากอุณหภูมิสูงประมาณจุดวาบไฟ รวมทั้งผลเสียทางด้านมลพิษทางอากาศ เพราะมีไฮโดรคาร์บอนปล่อยออกสู่บรรยากาศในอัตราเพิ่มสูงขึ้น และหากน้ำมันที่กำลังอุ่นอยู่ในภาชนะปิดก็จะทำให้เกิดความดันสูงขึ้น อาจทำให้เกิดการระเบิดหรือทำให้ภาชนะบรรจุชำรุดเสียหายได้ ความสำคัญของข้อนี้ เป็นประเด็นถึงความปลอดภัยและสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก