

บทที่ 2

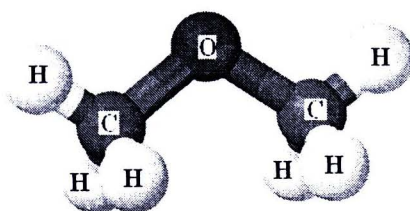
เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ใช้ในสำหรับทดสอบในเครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยนี้ โดยเสนอภาพรวมที่สำคัญ อาทิเช่น กระบวนการผลิต, โครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิง DME ที่ใช้ในการทดสอบ, คุณสมบัติ แนวโน้มในการนำ DME มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอนาคต ผลจากการนำเชื้อเพลิง DME มาผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล รวมถึงภาพลักษณะในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้มีด้วยกันทั้งสิ้น 3 ชนิดคือ

- เชื้อเพลิงไดเมทิลอีเทอร์
- น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผลิตโดยบริษัท บางจากไบโอฟูเอล จำกัด
- เชื้อเพลิงดีเซล

2.1 รายละเอียดของเชื้อเพลิงไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether, DME)

ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether) มีชื่อย่อเป็น DME หรือชื่ออื่นๆ เช่น methoxymethane, oxybismethane, methyl ether หรือ wood ether เป็นก๊าซกลุ่มอีเทอร์ไร้สีและมีกลิ่นอ่อนๆ สามารถละลายน้ำได้ มีสูตรทางเคมีเป็น CH_3OCH_3 หรือเขียนเป็น $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ มีการเรียงตัวในโมเลกุลดังรูปที่ 2-1 ซึ่งทรงกลมตรงกลางแทนอะตอมออกซิเจน สีเทาเข้มด้านข้างสองลูกแทนอะตอมคาร์บอนและสีขาวแทนอะตอมของไฮโดรเจน ถือได้ว่า DME เป็นสารประกอบอีเทอร์โมเลกุลเล็กที่สุด DME ปรากฏอยู่ในอุตสาหกรรมกลุ่มการทำสเปย์แบบแอโรซอล ซึ่งถูกนำมาแทนที่การใช้สารกลุ่มซีเอฟซี (CFC; Chlorofluorocarbons) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2506 เพื่อให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและบรรยากาศของโลกมากขึ้น นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติที่เป็นก๊าซเย็นนี้เอง DME จึงมักจะถูกนำไปใช้ในการทดลองและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับวัสดุที่อุณหภูมิต่ำมาก (Cryogenic) อีกด้วย



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของโมเลกุลของ DME

DME เป็นพลังงานที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน หรือสารชีวภาพต่างๆ ได้ โดยผ่านกระบวนการเคมีเพื่อสังเคราะห์เมทานอล หลังจากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการแยกน้ำ (Dehydration) เพื่อให้ได้ DME ต่อไป

ในปี พ.ศ. 2538 ที่การประชุมสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ (Society of Automotive Engineering: SAE) สหรัฐอเมริกาได้มีการนำเสนอแนวทางการนำ DME มาใช้ในเครื่องยนต์ของรถยนต์ รวมทั้งการศึกษอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการผลิต ผลที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม นับเป็นการเริ่มต้นการศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ในการใช้ DME เป็นพลังงานทางเลือกอย่างชัดเจน นับจากนั้นเป็นต้นมาได้มีการทำการศึกษาและทดลองติดตั้งเครื่องยนต์ที่ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์เป็นอันมาก ทั้งในยุโรปและเอเชีย โดยการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งไปที่รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ในระบบขนส่งมวลชนของรัฐและรถบรรทุกขนส่งขนาดใหญ่ ประกอบกับปัญหาราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเป็นไปอย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น เพราะ DME เป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่สามารถผลิตได้ทั้งจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และวัตถุดิบอื่นๆ

การศึกษาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ DME พบว่า DME เป็นสารประกอบอินทรีย์กลุ่มระเหยง่าย (Volatile Organic Compound) แต่ไม่เป็นพิษ ไม่มีผลต่อการก่อมะเร็งและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต ครึ่งชีวิตของการสลายตัวของ DME ในชั้นบรรยากาศเป็นเวลาสั้นมาก เมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกตัวอื่นๆ เช่น CO_2 หรือมีเทน เป็นต้น [2]

นอกจากนี้การศึกษาในแง่การเผาไหม้ของก๊าซ DME ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้จะสะอาด คือ ปราศจากเขม่าและมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์น้อยมากอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในโครงสร้างของโมเลกุลมีลักษณะเป็นพันธะเดี่ยว ซึ่งไม่มีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอน โดยมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนสองอะตอม ปริมาณออกซิเจนจึงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ นอกจากนี้ลักษณะพันธะของโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวระหว่างธาตุคาร์บอนและออกซิเจน พลังงานของการเกิดปฏิกิริยาจึงมีค่าต่ำ ทำให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้อย แต่สามารถปลดปล่อยพลังงานเคมีที่อุณหภูมิต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ จึงมีความเป็นไปได้ในการลดปริมาณความร้อนที่สูญเสียลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าปริมาณพลังงานที่ปลดปล่อยต่อปฏิกิริยามีค่าน้อยกว่าน้ำมันหรือเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน นั่นคือ หากต้องการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ต้องใช้มวลเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ [3]

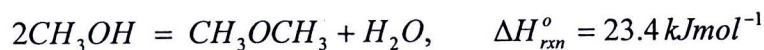
2.1.1 กระบวนการผลิต DME

โดยทั่วไปการผลิต DME ถูกผลิตขึ้นด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน โดยจะเริ่มต้นกระบวนการจากการแปรรูปวัตถุดิบชนิดก๊าซสังเคราะห์หรือ syngas (synthesis gas) ไปเป็นเมทานอล จากนั้นนำเมทานอลผ่านเข้าสู่กระบวนการดีไฮเดรชัน (dehydration) จะได้เป็น DME ซึ่งเขียนเป็นปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้ [2]

Methanol synthesis:



Methanol dehydration:



Water-gas shift:

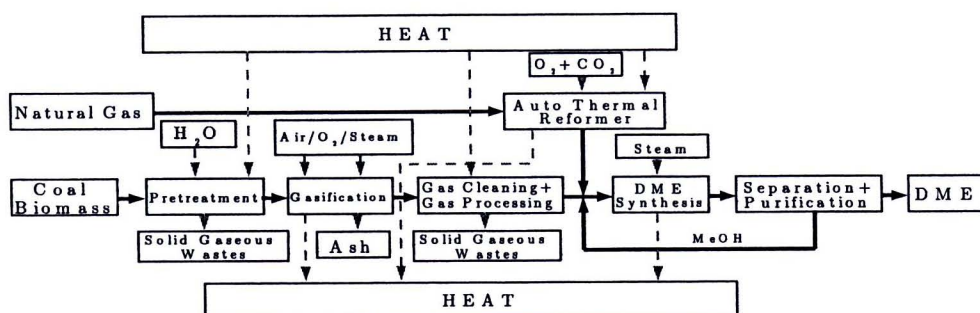


Net reaction:



Syngas ที่เป็นตัวตั้งต้นของปฏิกิริยานอกจากจะผลิตมาจากก๊าซธรรมชาติแล้ว ยังสามารถผลิตได้จากถ่านหินและมวลสารชีวภาพได้อีกด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่า DME เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นหลายชนิด การผลิตจึงไม่ขึ้นกับแหล่งการผลิตแหล่งใดแหล่งหนึ่งเพียงอย่างเดียว จึงมีความสามารถในการควบคุมราคาการผลิตได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

สำหรับการผลิต DME จากสารตั้งต้นที่เป็นของแข็ง เช่น มวลสารชีวภาพ หรือ ถ่านหิน ต้องมีกระบวนการเพื่อทำให้วัตถุดิบกลายเป็นก๊าซสังเคราะห์ก่อน จากนั้นต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาดก๊าซที่ได้ก่อนที่จะเข้ากระบวนการสังเคราะห์ DME ต่อไป ซึ่งรูปที่ 2-2 ได้แสดงกระบวนการโดยสรุปในการผลิต DME ทั้งจากสารตั้งต้นที่เป็นก๊าซและของแข็ง



รูปที่ 2-2 กระบวนการผลิต DME

จากปฏิกิริยาดังกล่าวสังเกตได้ว่าการผลิต DME สามารถผลิตได้ค่อนข้างง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่ต้องมีการลงทุนสูงในการสร้างหอกลั่นมาก นอกจากนี้หลังจากการผลิต DME สามารถเก็บรักษาและขนส่งในลักษณะเดียวกันกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว

2.1.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของ DME

สมบัติทางกายภาพของ DME มีความใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลว เช่น โพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) มีค่าซีเทนอยู่ในช่วง 55-60 ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย การเผาไหม้ของ DME จึงดีกว่าดีเซล DME จะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ในการนำ DME ไปใช้งานสามารถทำให้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -25°C ที่ความดันบรรยากาศ หรือเมื่อถูกอัดที่ความดันประมาณ 6 เท่าของความดันบรรยากาศ (6 bar) ที่อุณหภูมิห้อง สำหรับค่าความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆของ DME แสดงไว้ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ความดันไอของ DME ที่อุณหภูมิต่างๆ [3]

T (K)	P (kPa)
264.30	193.5
274.63	281.6
280.50	342.4
290.14	465.4
295.12	540.1
307.86	773.2
312.92	880.9
326.76	1245.9
327.44	1267.1
333.81	1467.9
334.79	1504.9
340.67	1712.0
354.66	2297.8
361.18	2620.5
376.03	3463.4
383.17	3950.7
390.42	4486.5
394.44	4812.1
397.46	5083.6

โดยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเชื้อเพลิงไดเมทิลอีเทอร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-2

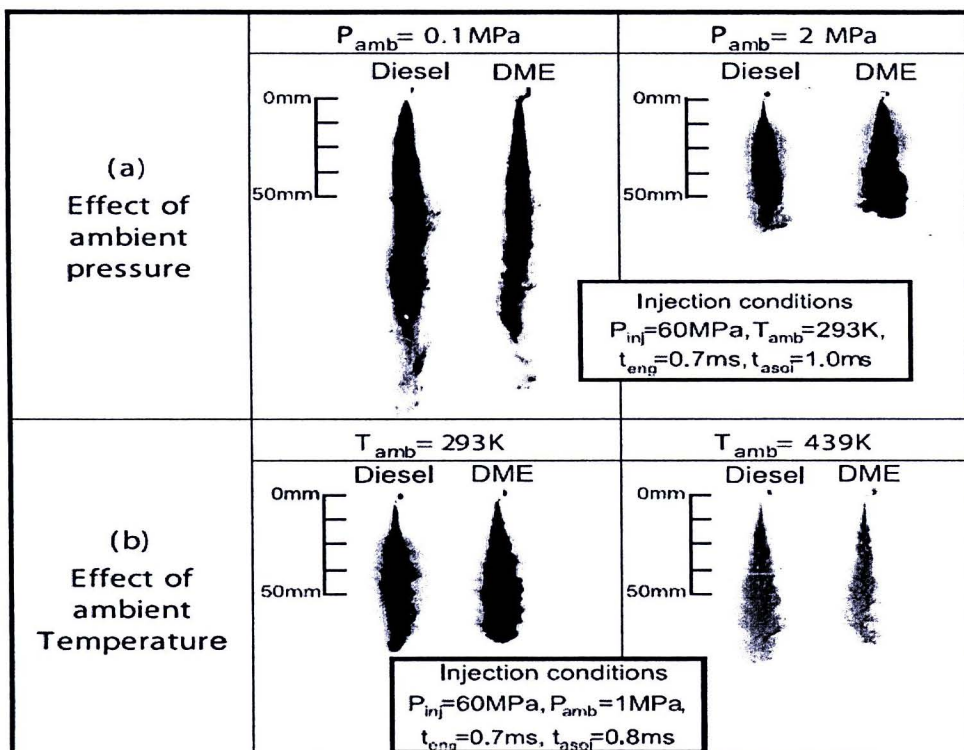
ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ DME [4]

Property	DME
Chemical formula	CH_3OCH_3
Mole weight [g/mol]	46.07
C ratio [%wt]	52.2
H ratio [%wt]	13
O ratio [%wt]	34.8
S ratio [%wt]	0
Stoich. A/F ratio	9 : 1
Boiling Point [°C]	-24.9
Explosion limit in air [vol.%]	3.4~17
Auto Ignition temperature [°C]	235
Liquid Viscosity [cP]	0.15
Liquid density at 20°C [kg/m ³]	668
Lower Heating Value [kJ/kg]	28430
Latent heat of evaporation [kJ/kg]	460
Vapor pressure @ 20°C [MPa]	0.51
Cetane Number	55-60

2.1.3 คุณสมบัติของสเปรย์

สมบัติในการกระจายตัวเมื่อเกิดการสเปรย์ของ DME เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลนั้น จากการศึกษา [5] พบว่า เชื้อเพลิงดีเซลจะให้สเปรย์ที่กว้างและยาวกว่าของ DME ในทุกเงื่อนไขการฉีด ดังที่แสดงในรูปที่ 2-3 เมื่อเพิ่มความดันของบรรยากาศบริเวณที่ฉีดสเปรย์ พบว่าในกรณีของ DME นั้น การเพิ่มความดันบรรยากาศจะได้สเปรย์ที่สั้นลงและกว้างยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่า DME จะมีรูปร่างสเปรย์ที่เล็กกว่าของดีเซล แต่เนื่องจากความสามารถในการกลายเป็นไอที่ดีของมัน ทำให้การระเหิดตัวหลังจากการฉีดสเปรย์ทำได้ดีกว่าของดีเซล

นอกจากนี้สำหรับ DME เมื่อทำการวัดขนาดละอองของสเปรย์ พบว่ามีขนาดที่สม่ำเสมอ และการกระจายตัวที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับสเปรย์ดีเซลที่สภาวะการฉีดเดียวกัน พบว่าดีเซลจะมีขนาดของละอองแตกต่างกันมาก สามารถสรุปได้ว่า DME มีสมบัติในการแตกเป็นละอองฝอย (atomization) ได้ดีกว่าดีเซล และเมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของละอองสเปรย์พบว่า สเปรย์ของดีเซลสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าของ DME อันเนื่องมาจากละอองของดีเซลมีโมเมนต์มากกว่า



รูปที่ 2-3 การเปรียบเทียบลักษณะของสเปรย์ของดีเซลและDME [5]

2.1.4 การเผาไหม้ของ DME

ในกระบวนการเผาไหม้ ออกซิเจนในอากาศจะเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ส่วนประกอบอื่นๆ ในอากาศ เช่น อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนจะไม่เข้าร่วมทำปฏิกิริยาดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ DME กับอากาศ จึงจะนิยามไนโตรเจนบรรยากาศ (atmospheric nitrogen) หรือไนโตรเจนที่ปรากฏ (apparent nitrogen) ขึ้น ซึ่งจะประกอบด้วยไนโตรเจนและก๊าซอื่นๆ ในอากาศที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยาเผาไหม้ ดังนั้นในการคำนวณจะพบว่าในปริมาณอากาศประกอบด้วยก๊าซ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยา คือ ออกซิเจน และส่วนที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา คือ ไนโตรเจนบรรยากาศ โดยอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ที่ผสมในอากาศแห่งนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ส่วนประกอบของอากาศแห้ง [6]

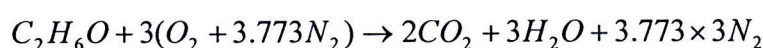
ก๊าซ	ppm โดยปริมาตร	มวลโมเลกุล	เศษส่วนโมล	อัตราส่วนโดยโมล
O ₂	209,500	31.998	0.2095	1
N ₂	780,900	28.012	0.7905	3.773
Ar	9,300	38.948		
CO ₂	300	44.009		
Air	1,000,000	28.962	1.0000	4.773

สามารถคำนวณมวลโมเลกุลของไนโตรเจนบรรยากาศได้โดยใช้หลักการว่าอากาศแห้งประกอบด้วยก๊าซ 2 ส่วน แต่ละส่วนมีปริมาณตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2-3 เมื่อคิดเทียบอัตราส่วนจะได้ว่า

$$M_{aN_2} = \frac{M_{air} - x_{O_2} M_{O_2}}{x_{aN_2}}$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าจะได้ว่ามวลโมเลกุลของไนโตรเจนบรรยากาศ (aN₂) เป็น 28.16 g/mol

สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ DME สามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้คือ



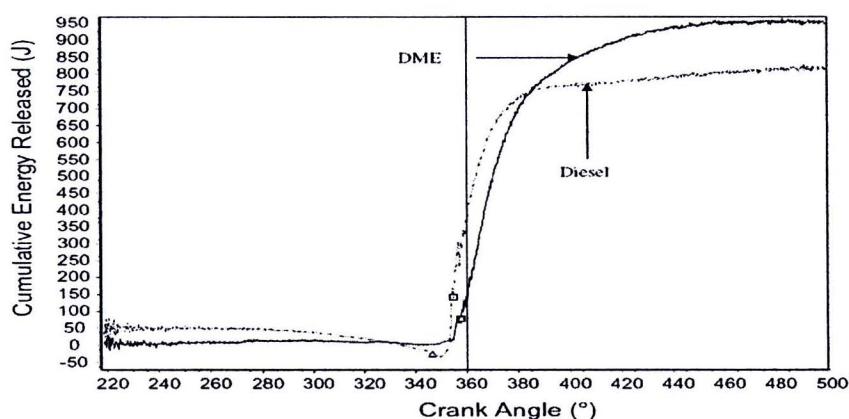
และสามารถคำนวณอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศได้ คือ

$$\left(\frac{F}{A}\right)_s = \frac{M_{C_2H_6O}}{M_{air}} = \frac{(2 \times 12) + 6 + 16}{3 \times ((2 \times 16) + (3.773 \times 2 \times 14))} = 0.111$$

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของดีเซล (มีค่าประมาณ 0.0690-0.0697) และแก๊สโซลีน (มีค่าประมาณ 0.0685) จะเห็นได้ว่าต้องใช้ส่วนผสมมากกว่าสำหรับการผสมที่ส่วนผสมพอดี (Stoichiometric Mixture) หรือกล่าวอีกทางหนึ่งได้ว่า ในปริมาณเชื้อเพลิงเดียวกัน DME สามารถเผาไหม้ได้ดีในที่ที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า นี่เป็นเหตุผลแรกที่สนับสนุนว่าทำไม DME จึงเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับค่าส่วนผสมที่จะทำให้ DME ติดไฟได้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.0555 (ส่วนผสมบาง) ไปจนถึง 0.294 (ส่วนผสมหนา)

จากการศึกษาต่อไป พบว่านอกจากจะสามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์โดยให้ค่าปริมาณเขม่าคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำมากแล้ว การปล่อยมลพิษอื่นๆ ก็น้อยตามไปด้วย เช่น การปล่อยก๊าซกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) อยู่ในปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ดีเซล เนื่องจากอุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้มีค่าต่ำกว่า และนอกจากนี้ เนื่องจาก DME ไม่มีการเจือปนของธาตุกำมะถัน (sulfur) ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงไม่มีก๊าซกลุ่มซัลเฟอร์ออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ ก๊าซมลพิษที่กล่าวถึงทั้งสองกลุ่มนี้เป็นก๊าซที่เมื่อรวมตัวกับไอน้ำในอากาศแล้วจะได้เป็นไอกรด ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดฝนกรดได้ หรือไอของก๊าซมลพิษทั้งสองกลุ่มนี้จะมีผลโดยตรงต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะเนื้อเยื่ออ่อนบริเวณโพรงจมูกและดวงตา การลดปริมาณก๊าซทั้งสองจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก และเชื้อเพลิง DME จึงเป็นตัวเลือกที่ดีตัวหนึ่ง เมื่อพิจารณาถึงประเด็นของการเกิดมลภาวะและความเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ในแง่การปลดปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้โดยพิจารณาผลทดสอบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล [7] พบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในห้องเผาไหม้มีค่า 2040.9 K และ 2151.9 K จากการทดสอบใช้ DME และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงตามลำดับ ในกรณีของ DME มีค่าต่ำกว่ากรณีของน้ำมันดีเซลประมาณ 100°C ทำให้ผลต่างอุณหภูมิระหว่างก๊าซในห้องเผาไหม้และผนังของห้องเผาไหม้มีค่าลดลงจนทำให้การสูญเสียจากการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยลงมาก เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในช่วงท้าย (ช่วง expansion process) พบว่าในกรณีของ DME มีค่าสูงกว่าในกรณีของน้ำมันดีเซลเล็กน้อย และยังมีอัตราการปล่อยเชื้อเพลิงที่รวดเร็วและต่อเนื่องมากกว่าด้วย ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-4

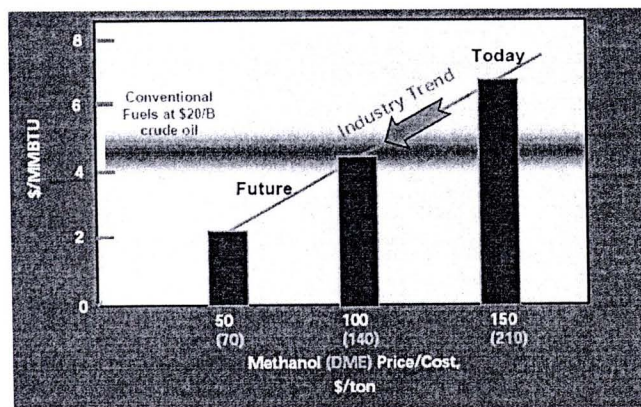


รูปที่ 2-4 อัตราการปล่อยพลังงานเปรียบเทียบระหว่าง DME และ ดีเซล ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm ที่ภาระการทำงาน 45 Nm ของเครื่องยนต์ CI ขนาด 1330 cm^3 อัตราส่วนกำลังอัด 16.5:1 [7]



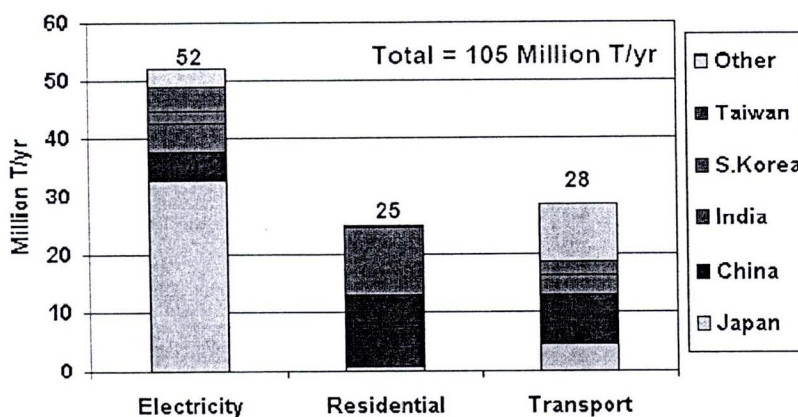
2.1.5 แนวโน้มในการผลิตและการใช้งานในอนาคต

ปัจจุบันปัญหาเรื่องปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงถือเป็นเรื่องเร่งด่วนสำหรับทุกประเทศทั่วโลก ถ้าทุกคนยังคงใช้เชื้อเพลิงในอัตราที่เป็นอยู่ในปัจจุบันสักวันเชื้อเพลิงต้องหมดไปจากโลก แต่สิ่งที่จะหมดไปก่อนเชื้อเพลิงคือ อากาศที่เราจะใช้หายใจ ซึ่งภัยนี้ร้ายแรงกว่าภัยการก่อการร้ายเสียอีก นี่คือเหตุผลที่ทำให้เราต้องมีเชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อแก้ปัญหาวิกฤตพลังงาน มลภาวะและการเสื่อมถอยของนิเวศวิทยา ซึ่งหนึ่งในทางแก้เหล่านั้นคือการนำ DME มาใช้ซึ่งทำให้ในอนาคตการผลิต DME มีแนวโน้มที่จะผลิตมากขึ้น มีราคาถูกลงและมีการนำไปใช้ในด้านต่างๆ มากมาย



รูปที่ 2-5 แนวโน้มราคา DME ในอนาคต

ในด้านแนวโน้มของความต้องการ DME ในอนาคตนั้นสดใสเนื่องจากมีความต้องการสูงขึ้นเรื่อยโดยสามารถดูได้จากกราฟแสดงความต้องการใช้ DME ในปี 2010 ของประเทศต่างๆ



รูปที่ 2-6 แนวโน้มความต้องการใช้ DME ในอุตสาหกรรมต่างๆ



2.1.6 การผลิต DME ในต่างประเทศ

ปัจจุบันประเทศต่างๆ ได้มีการโครงการเกี่ยวกับผลิต DME มากมาย ทำให้อนาคตของ DME นั้นมีอนาคตที่สดใส เนื่องจากเมื่อผลิตเป็นจำนวนมากประกอบกับสามารถแปรรูปได้จากเชื้อเพลิงราคาถูกอย่างถ่านหิน ทำให้ราคามีแนวโน้มที่จะถูกลงกว่าที่เป็นอยู่ตอนนี้ โดยในประเทศต่างๆ ได้มีโครงการเกี่ยวกับ DME ดังนี้

ประเทศจีน

ปัจจุบันประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนมีความสามารถในการผลิต DME 1 ล้านตันต่อปี โดยมีโรงงานกระจายอยู่ตามมณฑลต่างๆ วัตถุประสงค์หลักที่โรงงานใช้จะมาจากเมทานอลและถ่านหิน สามารถสรุปกำลังการผลิตในปัจจุบันได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 กำลังการผลิต DME จากมณฑลต่างๆ ในประเทศจีน

	Province	Feed –stock	Capacity (พันตันต่อปี)	Start-up
1	Guangdong	Methanol	8	1994
2	Henan	Coal	10	1994
3	Shaanxi	Natural Gas	10	1998
4	Shanxi	Methanol	10	2000
5	Sichuan	Natural Gas	10	August 03
			100	December 05
6	Shandong	Coal	150	May 05
7	Shanghai	Coal	5	December 05
8	Anhui	Methanol	20	December 05
9	Hubei	Methanol	100	May 07
10	Shandong	Methanol	10	May 07
11	Henan	Methanol	100	July 07
12	Jiangsu	Methanol	50	August 07
13	Guangdong	Methanol	300	September 07
14	Niingxia	Coal	210	May 07
			1093	

นอกจากนี้ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนยังมีโครงการที่จะเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 4,510 ล้านตันต่อปีในอนาคตโดยแสดงไว้ในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 โครงการเพิ่มกำลังการผลิต DME ในแต่ละมณฑลของจีน

	Province	Feed –stock	Capacity(พันตันต่อปี)
1	Jiangsu	Methanol	200
2	Jiangsu	Methanol	300
3	Yunnan	Coal	160
4	Guangdong	Methanol	200
5	Anhui	Methanol	100
6	Guizhou	Coal	180
7	Shangdong	Methanol	250
8	Shanghai	Coal	50
9	Chongqing	Coal	80
10	InnerMongolia	Coal	3000
			4510

ประเทศญี่ปุ่น

โครงการนิโอกาตะซึ่งตั้งขึ้นเมื่อปี 1981 เป็นโครงการที่ผลิต DME โดยใช้เมทานอลจากกระบวนการแยกน้ำ (dehydration) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อสนับสนุนให้ใช้ DME ผสมกับ LPG และใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีบริษัทต่างๆ อย่างเช่น Toyota Tsusho ให้ความร่วมมือ โดยมีกำลังการผลิต 100,000 ตันต่อปี

ประเทศเกาหลีใต้

โครงการ MOCIE ซึ่งเริ่มประกาศใช้เมื่อปี 2007 โดยวางแผนที่จะนำ DME ใช้ในวงการธุรกิจภายในปี 2012 โดยแบ่งได้เป็น 3 ช่วง

- 2007-2008 - สร้างโรงงานผลิต DME ซึ่งจะแล้วเสร็จในปี 2008 โดยมีกำลังการผลิต 10 ตันต่อวัน
- จัดตั้งมาตรฐานและกฎระเบียบขึ้น
- 2009 - ริเริ่มโครงการต้นแบบ
- 2010-2012 - มีแผนขยายกำลังผลิตเป็น 3000 ตันต่อวัน

ประเทศอียิปต์

ในปัจจุบันประเทศอียิปต์ได้มีการสร้างโรงงานผลิต DME ซึ่งมีกำลังการผลิต 1.3 ล้านตัน เพื่อใช้ในการผสมกับ LPG

ประเทศอิหร่าน

ประเทศอิหร่านมีการผลิต DME จาก methanol โดยกระบวนการ dehydration และ fixed-bed reactor โดยมีกำลังการผลิต 8 แสนตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีโครงการผลิต DME ในประเทศอื่นๆอีกมาก เช่นประเทศสวีเดน ประเทศรัสเซีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศอิตาลี ประเทศในกลุ่ม EU และประเทศบราซิล

2.1.7 การใช้ DME ในปัจจุบัน

สำหรับในส่วนการนำ DME ไปใช้ ได้มีโครงการนำไปใช้หลายโครงการดังนี้

1. การผสม DME 20% กับก๊าซหุงต้มโดยจากการศึกษาพบว่า แม้ว่าการทำอย่างนี้จะทำให้ค่าความจุความร้อนลดลงแต่ผู้บริโภคก็ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้และการทำแบบนี้จะทำให้มีก๊าซปิโตรเลียมเหลวตกค้างถึงน้อยกว่าด้วย

2. การใช้แทนเชื้อเพลิงดีเซลในรถบรรทุกขนาดต่างๆ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า มีการปล่อยมลพิษ NO_x น้อยกว่าและเครื่องยนต์เดินเรียบเงียบกว่า

3. การใช้ในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า บริษัท GE และบริษัท Siemens Westinghouse มีการใช้ DME ในเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบกังหันก๊าซซึ่งมีประสิทธิภาพและมลพิษต่ำ

2.1.8 ภาพลักษณ์ในการใช้ DME

2.1.8.1 ข้อดีในการใช้ DME

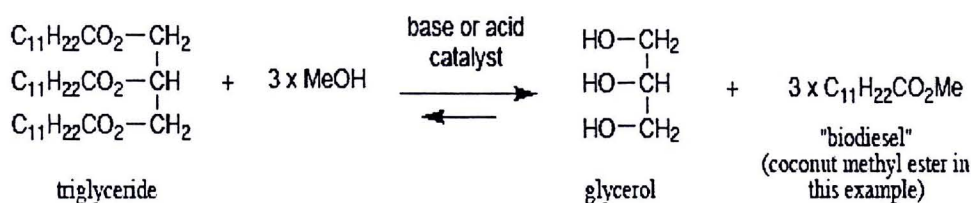
ข้อดีของการใช้ DME แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ CI ประกอบไปด้วยการลดลงของ ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสีย เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของ DME มีออกซิเจน (O_2) เป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่างคาร์บอนด์ คาร์บอนด์จึงไม่ได้จับยึดกันโดยตรง ดังนั้นการเผาไหม้ของ DME จะไม่เกิดเขม่า (soot) หรือฝุ่นละออง (particulate matters หรือ PM) นอกจากนี้ DME ไม่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิด SO_x และไม่มีควันดำ (black smoke) จากการทดสอบกระบวนการเผาไหม้ของ DME พบว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการเผาไหม้ของดีเซล จึงทำให้ NO_x ลดลง ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ DME กับเครื่องยนต์ CI ชนิดฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง จะให้เสียงที่เกิดจากการทำงานที่เงียบกว่าการใช้ conventional diesel

2.1.8.2 ข้อเสียในการใช้ DME

เนื่องจากค่าความร้อนของ DME มีค่าต่ำกว่าของเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้นพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของ DME ก็จะมีค่าต่ำกว่า ซึ่งส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองปริมาณเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น และความหนืดของ DME ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ก่อให้เกิดการรั่ว (leakage) ที่ปั๊ม (pumps) และหัวฉีด (fuel injectors) ต้องมีการเติมสารหล่อลื่นเข้าไปผสมกับ DME เพื่อป้องกันการสึกกร่อนและการขัดข้องของปั๊ม (pumps) และหัวฉีด (fuel injectors) มีการนำสารปรุงแต่ง (Additive) มาช่วยเพิ่มการหล่อลื่นให้กับ DME โดยปกติจะใช้สารปรุงแต่ง (Additive) ที่มีการพัฒนามาจาก reformulated diesel

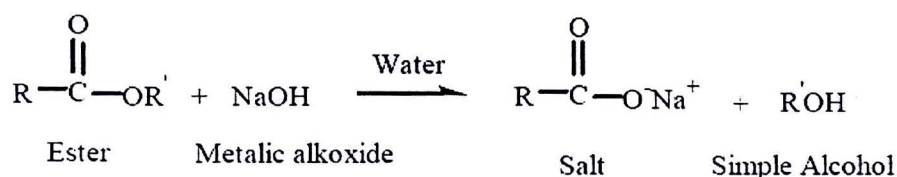
2.2 ปาล์มไบโอดีเซล

ปาล์มไบโอดีเซล (Palmitic Methyl Ester) หรือมีชื่อย่อว่า PME นั้นเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนที่กำลังเป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน ปาล์มไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งได้มาจากผลปาล์มน้ำมัน ผ่านปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification)



Crude Palm oil + Alcohol [+Catalyst] $\rightarrow$ Glycerol + Fatty-acid ester
(Biodiesel)

ซึ่งจะได้ปฏิกิริยาข้างเคียงเป็นปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันจากเอสเทอร์ (Saponification from ester)

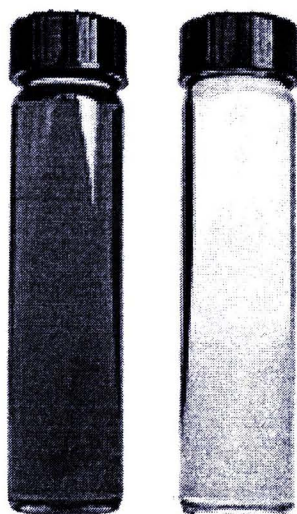


สำหรับกระบวนการผลิตปาล์มไบโอดีเซลที่กำลังศึกษานี้จะใช้เมทานอล และน้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ และใช้กระบวนการผลิตแบบกะ (Batch Process) โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นปาล์มไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยในที่นี้จะผลิตปาล์มไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 ซึ่งปาล์มไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับน้ำมันดีเซลปกติ ทั้งนี้เพราะปาล์มไบโอดีเซลมีออกซิเจน อยู่ในเนื้อเชื้อเพลิง จึงให้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล ไอเสียมีคุณภาพดีกว่า ให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีคาร์บอนมอนอกไซด์ น้อยกว่า และเนื่องจาก มีกำมะถัน ในไบโอดีเซลน้อยมาก จึงไม่มีปัญหาเรื่องสารซัลเฟตนอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อยจึงไม่ทำให้เกิดการอุดตัน ของระบบไอเสียได้

2.2.1 คุณสมบัติปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

ปาล์มไบโอดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในตลอดการทดสอบมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) [8] ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549 ตารางที่ 2-6 ซึ่งเป็นไปตามกำหนดของ และมาตรฐานที่ใช้กับน้ำมันไบโอดีเซล EN และ ASTM มีรวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 2-7

ในการนำปาล์มไบโอดีเซลมาใช้ในการทดสอบ ปาล์มไบโอดีเซลอ้างอิงมีลักษณะเป็นของเหลวใสตลอดทั้งการทดลองมีสีแดงดังแสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 รูปน้ำมันที่ใช้ในการวิจัย เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล(ภาพซ้าย) และน้ำมันดีเซล(ภาพขวา)

ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติของปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

Properties	Units	Test method	Specification	Result
1. Ester content	% wt	EN 14103	min 96.50	98.77
2. Density (15°C)	kg/m ³	ASTM D 4052	860 - 900	874.90
3. Kinematic Viscosity @(40°C)*	cSt	ASTM D 445	3.5 - 5.0	4.41
4. Flash point	°C	ASTM D 93	min 120	142.00
5. Sulfur Content	ppm	ASTM D 5453	max 10.0	2.0
6. Carbon Residue	% wt	ASTM D 4530	max 0.30	0.0900
7. Cetane Number	-	ASTM D 613	min 51	74.80
8. Sulfated Ash Content	%wt	ASTM D 874	max 0.02	<0.005
9. Water content	ppm	EN ISO 12937	max 500	310.03
10. Total Contamination	ppm	EN 12662	max 24	1.30
11. Copper Strip corrosion	-	ASTM D 130	max No.1	1a
12. Cloud point	°C	ASTM D 2500	max 16	13.0
13. Oxidation stability at 110 °C	hours	EN 14112	min 10	24.23
14. Acid Value	mg KOH/g	ASTM D 664	max 0.50	0.42
15. Iodine Value	g I ₂ /100g	EN 14111	50-120	51.67
16. Linolenic Acid Methyl Ester Content	% wt	EN 14103	max 12	0.06
17. Methanol Content	% wt	EN 14110	max 0.20	0.06
18. Monoglyceride Content	% wt	EN 14105	max 0.80	0.3742
19. Diglyceride Content	% wt	EN 14105	max 0.20	0.0336
20. Triglyceride Content	% wt	EN 14105	max 0.20	0.0466
21. Free glycerin Content	% wt	EN 14105	max 0.02	0.0155
22. Total glycerin Content	% wt	EN 14105	max 0.25	0.1207
23. Distillation: 90% vol. Recovered, °C	-	ASTM 1160 - 03	360 max	364
24. Specific gravity	kg/m ³	ASTM D 1298		880
25. Heating value	MJ/kg	ASTM D 611		39.872
26. Phosphorus	mg/kg	ASTM D 4951	max 10.0	Nil

ตารางที่ 2-7 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

Properties	BS EN 14214:2003		ASTM D 6751	
	Unit	Limits	Unit	Limits
Ester content	% mass	96.5	-	-
Density (15°C)	kg/m ³	860-900	-	-
Viscosity (15°C)	mm ² /s	3.5-5.0	mm ² /s	1.9-6.0
Flash point	°C	120 min	°C	130 min
Sulfur content	mg/kg	10 max	% mass	0.05 max
Carbon residue	% mass	0.3 max	% mass	0.05 max
Cetane number		51 min		47 min
Sulfated ash	%mass	0.02 max	% mass	0.02 max
Water content	mg/kg	500 max	% volume	0.05 max
Total contamination	mg/kg	24 max	-	
Copper strip corrosion	rating	class1	-	No.3 max
Cloud point	-	-	°C	report
Oxidation stability	hour	6.0 min	-	report
Acid value	mgKOH/g	0.5 max	mgKOH/g	0.8 max
Iodine value	g/100g	120 max	-	-
Linilenic acid ME	% mass	12 max	-	-
Polyunsat ME	% mass	1 max	-	-
Methanol content	% mass	0.20 max	-	-
Monoglyceride	% mass	0.80 max	-	-

ตารางที่ 2-7 (ต่อ) มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

Properties	BS EN 14214:2003	ASTM D 6751		
	Unit	Limits	Unit	Limits
Triglyceride	% mass	0.20 max	-	-
Free glycerol	% mass	0.20 max	% mass	0.02
Total glycerol	% mass	0.25 max	% mass	0.24
Group I metals	mg/kg	5.0 max	-	-
Group II metals	mg/kg	5.0 max	-	-
Phosphorus content	mg/kg	10.0 max	% mass	0.001 max
Distillation T90	-	-	°C	360 max

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถได้มาจากหลายแหล่ง มีสมการเคมีที่ต่างกันตามแต่แหล่งที่มา น้ำมันปาล์มอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำมันที่ได้จากปาล์ม หรือที่เรียกว่าปาล์มเมทิลเอสเตอ์ (Palmitic methyl ester, PEM) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีแสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมัน (Fatty Acid) ที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆที่นำมาทำปาล์มไบโอดีเซล [9]

Fatty Acid Name	No. Of Carbons & Double Bonds	Chemical Structure (= denotes double bond placement)
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

ตารางที่ 2-9 ค่าซีเทนที่ได้จากน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากวัตถุดิบต่างๆ [9]

Reference	Fuel	Cetane number
36	Palmitic acid methylester	74.3
37	Palmitic acid methylester	74.5
36	Stearic acid methylester	75.6
37	Stearic acid methylester	86.9
38	Stearic acid ethylester	76.8
38	Oleic acid methylester	55.0
38	Oleic acid ethylester	53.9

น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากสารชีวภาพส่วนใหญ่มีค่าซีเทนัมเบอร์ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันดีเซลจะมีค่าซีเทนัมเบอร์ประมาณ 47 และปาล์มเมทิลเอสเตอ์มีค่าซีเทนัมเบอร์ที่สูงกว่า โดยมีค่าอยู่ที่ 74.3 และ 74.5 ดังแสดงในตารางที่ 2-9

2.2.3 ภาพลักษณ์ในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

2.2.3.1 ข้อดีในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากพืชจึงสามารถปลูกทดแทนได้ ไม่เป็นพิษ
2. การใช้ไบโอดีเซลสามารถทดแทนการใช้น้ำมันปิโตรเลียม และพลังงานที่ใช้ในการผลิตวัตถุดิบของไบโอดีเซลใช้พลังงานต่ำกว่าในขั้นตอนการผลิตของการเจ่าน้ำมันดิบ ยกตัวอย่างเช่น พลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล จากถั่วเหลือง ใช้พลังงานเพียง 31% (เปรียบเทียบกับพลังงานเมื่อใช้ดีเซล) ซึ่งเป็นการใช้พลังงานที่ได้จากปิโตรเลียมอย่างมีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์ทางอ้อมคือการยืดอายุการชุดเจาะปิโตรเลียมที่มีอยู่อย่างจำกัด
3. การใช้ไบโอดีเซลให้ลดมลพิษต่ำกว่าการใช้น้ำมันปิโตรเลียม อันจะช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน โดยจากวัฏจักรชีวิตของน้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดต่ำกว่าวัฏจักรชีวิตของการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 78% และน้ำมันไบโอดีเซลผสม 20% (B20) สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรชีวิตได้ 15.6% และสามารถลดปริมาณเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ (Particulate Matter) และปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ถูกเผาไหม้ (Unburn Hydrocarbon) และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ได้อีกด้วย ซึ่งการลดมลพิษนี้เกิดจากการที่ไบโอดีเซลที่เป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนผสมอยู่ ถึง 11% โดยมวล ช่วยให้การสันดาปสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
4. กลิ่นที่ได้จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล เหมือนกับกลิ่นที่ได้จากการทำอาหาร และไม่เหม็น รำคาญเหมือนกลิ่นไอเสียจากน้ำมันดีเซล
5. การใช้น้ำมันไบโอดีเซลยังมีเขม่าที่ได้จากการเผาไหม้ และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ถูกเผาไหม้ต่ำกว่าดีเซล โดยผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลได้ถูกยืนยันจากหลายๆการวิจัยโดย Bureau of Mines Center for Diesel Research ของมหาวิทยาลัย Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รายงานไว้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100% (B100) สามารถลดมลภาวะทางอากาศได้ถึง 90% และ B20 สามารถลดได้ 20% ถึง 40% และจาก Department of Energy ประเทศสหรัฐอเมริกา, University of Idaho, Southwest Research Institute และ Montana Department of environment Quality ได้มีผลยืนยันผลเช่นเดียวกัน อีกทั้ง The National Biodiesel Bound ได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพจากมาตรฐาน Tier I และ Tier II ก็ให้ผลการวิจัยที่สอดคล้องและสนับสนุนการวิจัยผ่านๆมา

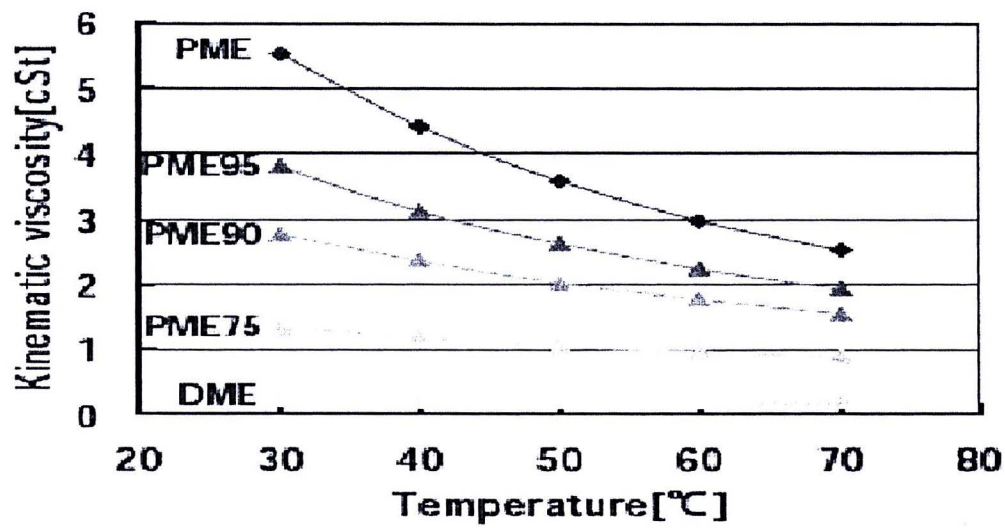
6. การเติมน้ำมันไบโอดีเซลเป็นสารผสมกับน้ำมันดีเซลในปริมาณที่น้อย 1 – 2% สามารถเพิ่มความสามารถของการหล่อลื่นของน้ำมันดีเซล ซึ่งมาจากผลของการที่ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่า Lubricity ที่สูง ซึ่งส่งผลต่อชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในเครื่องยนต์โดยเฉพาะปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง และหัวฉีด
7. น้ำมันไบโอดีเซลชนิด B20 และต่ำกว่า สามารถเติมไปในถังน้ำมันเชื้อเพลิง และปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงเดิมได้เลยโดยไม่ต้องมีการดัดแปลง

2.2.3.2 ข้อเสียในการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

1. น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด โดยคิดจากร้อยละโดยมวลแล้วไบโอดีเซลมีค่าพลังงานที่ต่ำกว่าดีเซลท้องตลาดประมาณ 10%
2. คุณสมบัติการไหลเทของไบโอดีเซลในสภาวะอุณหภูมิต่ำ จะเกิดการแข็งตัวเป็นเมือกก่อให้เกิดการอุดตันของกรองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ทำให้ไม่สามารถปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงได้อีกต่อไป
3. มลพิษจาก NO_x เพิ่มขึ้น จากการใช้ไบโอดีเซล B20 ในสภาวะภาระสูงและรอบต่ำ แต่การทดสอบของ National Renewable Energy laboratory พบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 เกิดสารที่เป็นมลพิษที่เป็น NO_x เป็นบางกรณีเท่านั้น และในบางกรณี ยังทำให้อัตรา NO_x อีกด้วย จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่ามีการเพิ่มขึ้นของ NO_x เนื่องจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

2.3 ผลจากการผสม DME ลงในปาล์มไบโอดีเซล

ผลจากการนำ DME มาผสมกับปาล์มไบโอดีเซลนั้น ช่วยลดจุดไหลเทและความหนืดที่สูงของปาล์มไบโอดีเซลลง ดังแสดงรูปที่ 2-8 เนื่องจาก DME มีจุดไหลเทและความหนืดที่ต่ำ โดยจุดไหลเทและความหนืดมีค่าลดลงตามสัดส่วนของ DME ที่เพิ่มขึ้นในปาล์มไบโอดีเซล การผสม DME ลงในปาล์มไบโอดีเซลยังเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงช่วยลดเขม่าลงได้อีกด้วย เนื่องมาจากการที่ DME มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่างคาร์บอน จึงไม่มีการยึดจับตัวระหว่างคู่อะตอมคาร์บอนโดยตรง ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้ของ DME-PME จึงเกิดเขม่าจากการเผาไหม้น้อย โดยปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้จะลดลงตามสัดส่วนของ DME ที่เพิ่มขึ้นในปาล์มไบโอดีเซล แต่การผสม DME ลงในปาล์มไบโอดีเซลมีผลทำให้สมรรถนะแรงบิดและกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ลดลงไปตามสัดส่วนของ DME ที่เพิ่มขึ้นในปาล์มไบโอดีเซลด้วยเช่นกัน เนื่องจาก DME มีค่าความร้อนที่ต่ำ

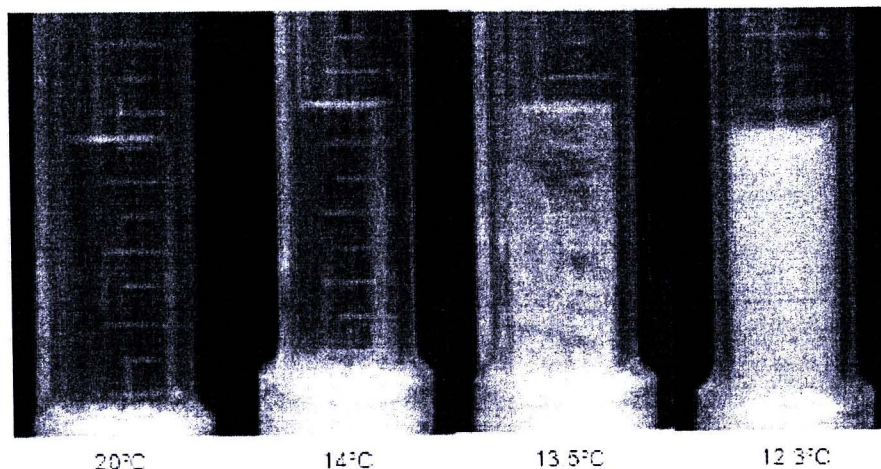


รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดคิเนมาติกกับอุณหภูมิของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

การผสม DME ลงในปาล์มไบโอดีเซลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

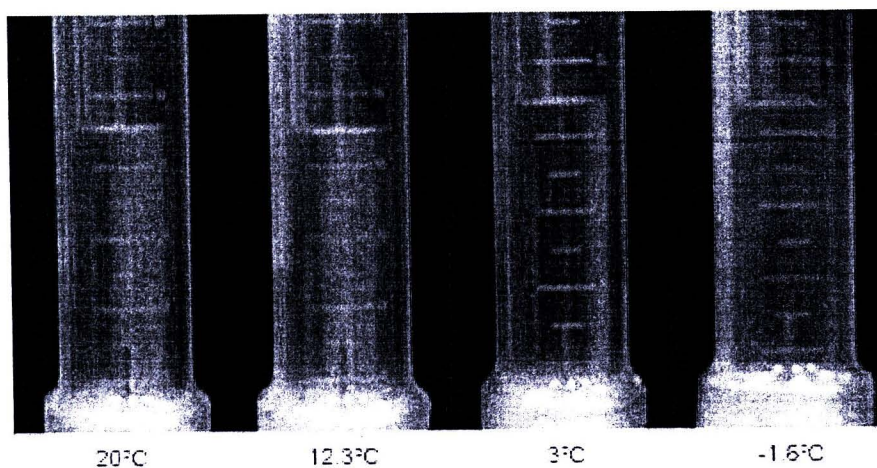
1. เติมปาล์มไบโอดีเซลลงในถังความดันตามสัดส่วนที่กำหนด
2. ถ่าย DME จากถังบรรจุซึ่งมีความดัน 6 บาร์อากาศเข้าไปผสมกับปาล์มไบโอดีเซลในถังความดัน จนกระทั่ง DME ผสมเข้ากับปาล์มไบโอดีเซลจนเต็มถึงความดัน

ก่อนการผสมเชื้อเพลิง DME ลงใน ปาล์มไบโอดีเซล จะพบว่า ปาล์มไบโอดีเซลจะเริ่มเป็น
ไขที่อุณหภูมิ 13.5 °C ดังที่แสดงในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ตัวอย่างเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิต่างๆพบว่าจะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 13.5 °C

หลังการผสม DME กับปาล์มไบโอดีเซลในถึงความดัน พบว่าลักษณะของเชื้อเพลิงที่ผสม
แล้วจะไม่เป็นไขและมีความเป็นเนื้อเดียวกันภายใต้ความดัน 5.1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 ตัวอย่างเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซลหลังการผสมที่สัดส่วน 50% DME, 50%
ปาล์มไบโอดีเซล โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 5.1 บาร์ ที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งพบว่ามีความ
เป็นเนื้อเดียวกันแม้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ -1.6 °C

2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วย

2.4.1 เลขซีเทน (Cetane Number)

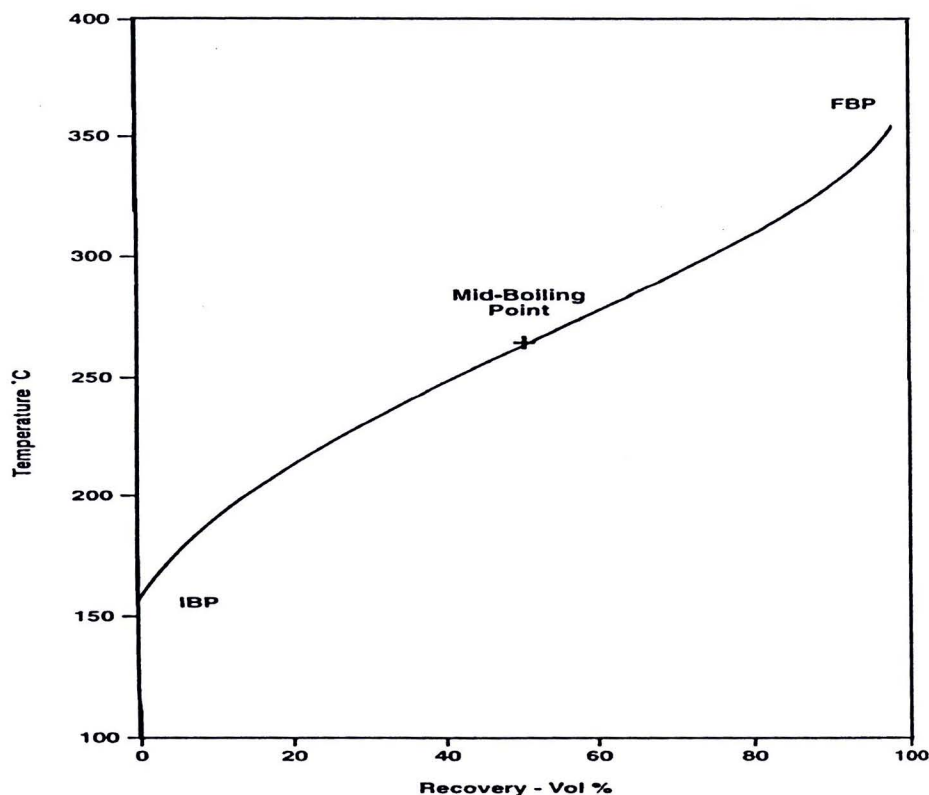
การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ เลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ Cetane (n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin ที่มีกิ่งสาขามาก มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{Cetane number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ heptamethyl nonane}) \quad (2-1)$$

แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ Cetane index (CCI) ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ mid-boiling temperature (50 % evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

2.4.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการระเหยกลายเป็นไอของเชื้อเพลิง ได้แก่ Initial boiling point (IBP), end point (EP) หรือ final boiling point (FBP), percent of condensate recovered และ percent residue of nonvolatile matter โค้งการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 โค้งการกลั่น (Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป [10]

Volatility (การกลั่น หรือช่วงการระเหยของเชื้อเพลิง) มีผลจะทำให้เกิด vapor lock แต่อย่างไรก็ตาม volatility ที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงหรือ Volatility ที่ต่ำ อาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน ซึ่งภายในช่วง 350 °C ถึง 400 °C ผลของ Volatility ที่ต่ำต่อไอเสียจะมีค่าน้อย อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควันโดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิงและใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนกรณี Volatility สูงในช่วงเริ่มต้นการระเหย (low end) จะช่วยปรับปรุงการติดเครื่อง ขณะเย็น และการอุ่นเครื่อง ในขณะที่กรณี volatility ต่ำในช่วงปลายการระเหย (high end) มีแนวโน้มจะเพิ่มการสะสมรวมตัว, คว้น และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2.4.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบของปริมาณมวลต่อหน่วยปริมาตรมีอิทธิพลต่อปริมาณมวลของเชื้อเพลิงที่ฉีด บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะ หรือ API gravity

2.4.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของของไหลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องจากมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง, การกระจายเชื้อเพลิง และ การพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) ก็จะลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่งๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่าการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ Penetration ของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการ wet ที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

2.4.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยทดสอบด้วยวิธี High frequency reciprocating rig (HFRR) ตามวิธีการทดสอบของ CEC F-06-A-96 น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีจะช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานในชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง

2.4.6 จุดหมอกควัน (Cloud Point)

เชื้อเพลิงดีเซล อาจประกอบด้วย Heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง Paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข (wax) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เย็นเพียงพอ ซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การเกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่างๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

2.4.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือ ความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาการเก็บรักษาไม่เกิดการก่อตัวของตะกอนระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ในโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงดีเซลมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดแล้วทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียวๆ (gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและการทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

2.4.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ Total particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซลคือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) กระบวนการเผาไหม้ กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide (SO_2) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม นำไปสู่มลภาวะทางอากาศ SO_2 ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีปริมาณออกซิเจนมาก และเกิดเป็น sulphur trioxide

(SO₃) อุณหภูมิไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา SO₃ ไว้ในสถานะไอ ซึ่งกำมะถันมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาคายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการกัดกร่อน เป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ Liners ของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อน ขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง อย่างไรก็ตามกำมะถันมีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการลดกำมะถันในเชื้อเพลิงจะทำให้ค่า Lubricity ของเชื้อเพลิงลดลง

สำหรับในประเทศไทยค่ามากที่สุดของกำมะถันในดีเซลถูกกำหนดไว้คือ 0.035% และหากต้องการผลิตเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันน้อยกว่า 50 ppm และปริมาณ aromatic 5% โดยปริมาตร (ตามที่ระบุสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล class 1) จำเป็นที่จะต้องใช้สภาวะ hydro-processing ที่รุนแรงขึ้นหรือเทคโนโลยี hydro-processing ที่แตกต่างออกไป

2.4.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)

ส่วนประกอบ Aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตาม aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

2.4.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมด เนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของราและแบคทีเรีย การปนเปื้อนจุลินทรีย์ทำให้เกิดปัญหาสำคัญกับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเชื้อเพลิง เช่นเกิดการอุดตันที่ไส้กรอง

ตะกอนที่พบในเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์โดยกำเนิด เช่น สนิม, อนุภาคโลหะ และฝุ่นละออง บางส่วนสามารถเป็นสารอินทรีย์จากการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ไม่เสถียร การกระทำของแบคทีเรียที่รอยต่อของน้ำมัน-น้ำ หรือ ไขจากเชื้อเพลิง ตะกอนสามารถนำไปสู่การอุดตันไส้กรองในยานพาหนะ และน้ำยังช่วยเพิ่มสภาวะกรดทำให้เกิดปัญหาเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความสึกหรอในเครื่องยนต์และระบบฉีดเชื้อเพลิง การทดสอบมาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำและตะกอนทำได้โดยวิธีการเหวี่ยง

2.4.11 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟคือการวัดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการมาตรฐาน จุดวาบไฟนี้จะมีผลต่อเชื้อเพลิงในการพิจารณาด้านการขนส่ง, รูปแบบการจัดเก็บ และการระมัดระวังดูแลรักษา