

## 바이오디젤 구성성분에 따른 윤활성향상 효과

임영관<sup>†</sup> · 박소라 · 김종렬 · 임의순 · 정충섭

한국석유관리원 연구센터  
(2010년 8월 10일 접수, 2010년 9월 10일 채택)

### The Effect of Lubricity Improvement by Biodiesel Components

Young-Kwan Lim<sup>†</sup>, So-Ra Park, Jong-Ryeol Kim, EuiSoon Yim, and Choong-Sub Jung

Research Center, Korea Institute of Petroleum Management, Chung-buk 363-883, Korea  
(Received August 10, 2010; Accepted September 10, 2010)

동식물 유지의 주성분인 트리글리세라이드를 메탄올과 반응시켜 생산된 바이오디젤은 기존 석유디젤에 비해 윤활성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 대두유, 팜유, 들기름으로부터 합성된 식물성 바이오디젤과 우지, 돈지로부터 생산된 동물성 바이오디젤의 윤활성을 측정된 결과 대두유와 들기름으로부터 합성된 바이오디젤은 다른 바이오디젤보다 윤활성이 높게 측정되었다. 순수한 바이오디젤의 윤활성과 이들 바이오디젤의 구성분자 조성을 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용해 분석한 결과, 올레핀 함량이 높고 분자길이 긴 바이오디젤일수록 윤활성 향상효과가 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

Biodiesel produced from the reaction of methanol and triglyceride which is the main component of animal fats and vegetable oils is known for remarkable lubricity. In this study, the lubricity of 3 kinds of biodiesel came from vegetable oils such as soybean oil, palm oil, and perilla oil and 2 kind of biodiesel which were produced from beef tallow and pork lard were analyzed using HFRR (High frequency reciprocating rig). In HFRR test result, the lubricity of perilla and soybean's biodiesel was higher than other biodiesels. After analysis of biodiesel components by GC-MS and determination of the lubricity of pure biodiesel components using HFRR, it was found that a higher olefin content and long alkyl chaining biodiesel had an excellent lubricity property.

**Keywords:** biodiesel, lubricity, HFRR, olefin, molecular length

### 1. 서 론

연료의 공급장치는 자동차의 출력 및 연소와 밀접한 관계가 있으며, 연료의 효과적인 공급을 위해 무화(atomization), 분무(spray), 관통(penetration)의 연료 분사 3대 요소가 필요하다[1]. 기존의 기계식 연료분사장치는 윤활성 향상을 위해 다양한 윤활제를 직접 사용하였지만, 현재 연료분사 요소를 충족시키기 위해 고압에서 연료를 공급할 수 있는 분사장치, 특히 고압로터리펌프(common rail)를 이용하면서 특별한 윤활제를 사용하지 않기 때문에 과도한 기계적 마모방지를 위하여 연료의 윤활성이 요구된다[2].

자동차용 경유는 연료의 주성분인 파라핀 외에 황화합물, 다고리방향족(polyaromatics), 질소화합물, 산소화합물 같은 극성물질들을 포함하고 있으며, 실질적으로 이들 극성물질이 윤활작용을 하는 것으로 알려져 있다[3]. 하지만 대기환경개선 차원에서 경유연료 내 황함량을 전 세계적으로 규제하고 있으며, 우리나라에서도 경유 내 황함량을 10 mg/L 이하의 초저유황 경유(ULSD : ultra low sulfur diesel)로 생산, 유통시키고 있다[4]. 이러한 초저유황 경유를 제조하는 과정에서

황화합물 이외에 다고리방향족, 질소화합물, 산소화합물 같은 극성물질이 제거됨으로 인해 윤활막 형성이 어려워짐에 따라 새로운 질소, 산소화합물 형태인 액상윤활제(lubricating oil)를 첨가하게 되었다[5]. 하지만 이런 첨가제는 연료의 기능이 아닌 단지 윤활성향상제의 역할만을 하는 한계를 지니고 있다.

이러한 연료의 윤활문제를 해결하기 위한 방법으로 다양한 형태의 연료개발이 이루어지고 있으며, 특히 대체연료로서 윤활성이 뛰어난 바이오디젤(biodiesel)의 연구 및 사용이 전 세계적으로 확대되어지고 있다[6-8]. 바이오디젤은 Figure 1에 표현된 것처럼 식물성오일이나 동물성지방의 주성분인 트리글리세라이드(triglyceride)를 알코올과 전이에스테르화(transesterification)반응을 통해 얻은 지방산 알킬에스테르(fatty acid alkyl ester : FAME) 형태로, 이는 압축착화엔진(compression-ignition engine)에 이용되는 기존 석유디젤을 대체할 수 있는 바이오연료로 알려져 있다[9-12].

바이오디젤은 크게 식물성오일로부터 합성된 바이오디젤과 동물성 지방으로부터 합성된 바이오디젤로 구분될 수 있다. 대부분의 식물성 오일은 식용으로 사용되기 때문에 가격이 비교적 높은 반면, 동물성 지방은 육류의 가공과정에서 부산물형태로 나오기 때문에 가격이 저렴하다는 이점을 지니고 있다. 하지만 동물성지방으로부터 생산된 바

<sup>†</sup> 교신저자(e-mail: yklim92001@yahoo.co.kr)

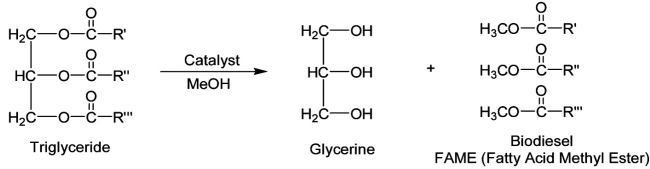


Figure 1. Synthetic method of biodiesel from triglyceride.

이오디젤은 포화탄화수소(saturated hydrocarbon) 형태이기 때문에 쉽게 고체화되는 단점을 지니고 있어 기온이 높은 지역에 한정, 사용되어지고 있다[13].

이러한 바이오디젤 내 불포화탄화수소 즉 올레핀(olefin)은 연료의 저온특성과 산화안정성에 큰 영향을 주며, Lee *et al.*은 올레핀 함량이 다른 원료별 바이오디젤을 블렌딩함으로써 바이오디젤의 저온특성과 산화안정성을 향상시키는 연구를 수행하였다[14].

Knothe *et al.*은 바이오디젤과 석유디젤의 성분에 대한 윤활성을 분석한 연구를 수행하였다. Knothe 그룹에서는 이들 성분으로서 OH, -SH, -NH<sub>2</sub>와 바이오디젤을 구성하고 있는 FAME와 바이오디젤 생산 과정에서의 부산물로서 글리세린(glycerine), 자유지방산(free fatty acid) 등에 대한 윤활성분석을 조사하였다[15].

하지만 바이오디젤의 구성분자 즉 올레핀 함량과 분자길이에 따른 윤활성 연구에 대한 보고는 현재까지 알려진 바가 없다.

본 연구에서는 3종류의 식물성오일로부터 합성된 바이오디젤과 구성분자의 조성, 특히 올레핀의 함량에 차이를 보이는 동물성유지로부터 합성된 2종류의 바이오디젤의 윤활성을 분석하였다. 또한 이들 바이오디젤의 조성을 가스크로마토그래피-질량분석기(Gas chromatography-Mass spectroscopy (GC-MS))를 이용하여 분석하였으며, 이들 바이오디젤 구성분자들의 조성과의 윤활성과의 상관관계를 찾아내었다.

## 2. 실험

본 실험에 사용된 바이오디젤 중 식물성 바이오디젤은 시중에 유통되고 있는 대두유, 팜유, 들기름로부터 전이에스테르화 반응(transesterification)을 통해 합성된 바이오디젤을 이용하였으며, 우지(beef tallow)와 돈지(pork lard)로부터 생산된 동물성 바이오디젤은 주식회사 넥센코에서 공급받았다. 순수한 바이오디젤의 구성분자인 지방산 메틸 에스테르(Fatty acid methyl ester, FAME)는 TCI사 제품을 이용하였다.

### 2.1. 바이오디젤의 합성

실온에서 10 L-round bottom flask에 식물성오일(대두유, 팜유, 들기름) 2 L, 메탄올 4 L, 촉매인 KOH를 10 g 넣은 후, mechanical stirrer와 reflux condenser를 장착한 뒤, 반응혼합물을 교반하면서 80 °C에서 환류(reflux)시켰다. 4 h의 반응과정 후, 반응혼합물을 실온으로 냉각한 뒤, 반응혼합물을 rotary vacuum evaporator를 이용해 메탄올을 제거한 뒤, separate funnel을 이용해 질은 갈색형태의 부산물인 glycerine을 제거하였다. 촉매(KOH)와 미량의 glycerine이 포함된 crude 바이오디젤을 실리카겔(230~400 mesh)이 충전된 컬럼크로마토그래피법(Hexane : EtOAc = 95 : 5)을 이용해 바이오디젤을 정제하였다. 투명한 액체형태의 바이오디젤은 86~96%의 수율을 보였다[16].

### 2.2. 밀도, 동점도, 운점, 유동점 분석

바이오디젤의 일반적 특성을 분석하기 위해 밀도는 ASTM D 4052 방법에 의한 Anton Parr사의 DMA 5000을 이용하였다. 측정방식은 시

료를 15 °C에서 진동식 U자관법을 이용하여 시료에 일정한 주파수 조건에서 진동주기의 변화를 측정하므로 밀도로 환산 처리되는 방식을 통해 시료의 밀도를 측정하였다.

동점도는 Cannon Instrument Company사의 CAV 2000 Series의 Cannon 1257 유리제 모세관식 튜브를 이용하여 40 °C에서 ASTM D 445 방법에 따라 측정하였다. 모세관식 튜브에는 3개의 벌브(bulb)가 있으며, 벌브사이에 온도센서가 있어 시료 약 15 mL를 흡입 상승시킨 뒤, 시료가 하강하는 시간을 온도센서로 감지함으로써 동점도가 측정된다.

운점(cloud point)과 유동점(pour point)은 ASTM D 2500 방법에 의해 TANAKA사의 MPC-602를 이용하여 측정하였다. 4 mL의 시료를 용기에 채운 뒤, 45 °C로 가온한 후, 분당 1 °C의 속도로 냉각하면서 시료내에 과파된 왁스와 고체상이 형성되기 시작하는 운점을 측정한다. 온도를 더 낮추어 시료가 유동하지 않는 유동점을 측정하였다.

### 2.3. 윤활성 측정

윤활성은 PCS Instruments사의 HFRR (high frequency reciprocating rig)를 사용하였으며, ISO 12156 방법에 준하여 수행하였다. 시료 2 mL를 60 °C에서 75 min동안 50 Hz의 주파수와 200 g의 하중을 이용해 금속원판(PCS Instrument사의 지름 1 cm 원판)과 시험구(PCS Instrument사의 외경 6 mm 금속구)를 왕복마찰시킴으로 시험구에 생성된 마모흔(MWSD : mean wear scar diameter)을 현미경(MEJJI TECHNO사의 Infinity 1)을 이용하여 측정하였다. 습도에 의해 마모흔 생성정도가 다를 수 있으므로, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 이용하여 HFRR 분석캐비닛 내의 습도를 ISO 표준방법에서 정하는 30~50%가 유지되도록 조절하였다. 마모흔은 시험구와 금속원판의 마찰로 생긴 흔적으로 그 크기가 클수록 시료의 윤활성이 떨어지는 것을 의미하며, 관찰된 마모흔으로부터 분석시 습도와 온도인자가 고려된 보정마모흔은 아래에 표현된 식으로부터 계산되었다.

$$MWSD = \frac{(x+y)}{2} \tag{1}$$

보정되지 않는 평균 마모흔 지름(MWSD)은 식 (1)에 의해 μm 단위로 산출되며, 여기서 x는 진동방향에 수직인 마모흔 치수이며, y는 진동방향에 수평인 마모흔 치수를 나타낸다.

$$AVP_1 = \frac{RH_1 - 10^V}{750} \tag{2}$$

Clausius-Clapeyron relation을 기초로 유추된 식 (2)의 Antoine equation으로부터 초기 절대증기압(AVP<sub>1</sub> : initial absolute vapour pressure)은 kPa 단위로 측정되며, RH<sub>1</sub>은 초기 상대습도(initial relative humidity, %)를 나타낸다.

$$V = \frac{8.017352 - 1705.984}{231.864} + T_1 \tag{3}$$

식 (3)의 T<sub>1</sub>은 초기온도(°C)이며, 초기 절대증기압과 같이 최종 절대증기압(AVP<sub>2</sub> : final absolute vapour pressure)은 식 (4)와 같이 구해진다.

$$AVP_2 = \frac{RH_2 - 10^V}{750} \tag{4}$$

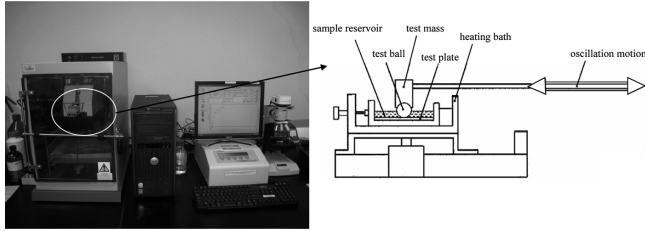


Figure 2. HFRR instrument and microscope.

Table 1. Determination of Fuel Properties for Biodiesels

Biodiesel	Density (g/mL, 15 °C)	Kin. Viscosity (mm <sup>2</sup> /sec) at 40 °C	Cloud point (°C)	Pour point (°C)
Soybean BD	0.8628	2.610	-5	-6
Palm BD	0.8624	3.459	10	10
Perilla BD	0.8893	3.405	-7	-10
Beef tallow BD	0.8774	4.652	13	13
Pork lard BD	0.8754	4.449	10	10

Table 2. Determination of Lubricity for Biodiesels

Biodiesel	Wear scar X (μm)	Wear scar Y (μm)	Wear scar Avg (μm)	Start temp/RH	Start temp/RH	Wear scar 1.4 (μm)
Soybean BD	219	146	182.5	20.8/55.5	22.0/69.1	171
Palm BD	260	254	257	24.4/43.7	25.6/47.9	254
Perilla BD	187	166	176.5	25.6/52.7	26.8/48.5	157
Beef tallow BD	254	252	253	24.6/43.9	26.8/46.6	247
Pork lard BD	239	187	213	26.3/46.8	26.6/48.0	199

식 (4)에서 RH<sub>2</sub>는 최종 상대습도(final relative humidity, %)이며, 식 (5)의 T<sub>2</sub>는 최종온도이다.

$$V = \frac{8.017352 - 1705.984}{231.864} + T_2 \quad (5)$$

식 (2)의 초기증기압과 식 (4)의 최종 증기압으로부터 평균 절대증기압(AVP)은 아래의 식 (6)과 같이 계산된다.

$$AVP = \frac{AVP_1 + AVP_2}{2} \quad (6)$$

최종 보정된 마모흔 지름(Ws1.4)은 아래 식 (7)과 같이 계산된다.

$$WS1.4 = MWSD + HCF(1.4 - AVP) \quad (7)$$

여기서 미지의 시료에 대한 HCF (humidity corrected factor)는 60이다. Figure 2는 실험에 사용된 HFRR를 보여준다.

2.4. 바이오디젤 구성분자 조성 분석

본 실험에 사용된 바이오디젤 내의 지방산 메틸에스테르(FAME)의 조성을 분석하기 위해 가스크로마토그래피-질량분석기(GC-MS)를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 가스크로마토그래피는 Agilent 7890A GC System을 이용하였으며, 질량분석기는 Agilent 5975C Inert XL EI/CI MSD 검출기를 이용하였다. 컬럼은 Agilent 190915-433 (30 m × 250 μm × 0.25 μm)을 이용하였으며, 이동상 기체로 헬륨(He)을 0.5 mL/min의 속도로 흘려 보냈다. 분석시료는 1 μL (200 : 1 split mode)를 주입하였으며, 오븐온도는 초기 50 °C에서 2 min간 유지 후, 5 °C/min의 속도로 280 °C까지 승온시킨 후 280 °C에서 5 min동안 유지시켰다. GC-MS로 분석된 물질은 Lilly library를 이용해 성분분석을 하였다.

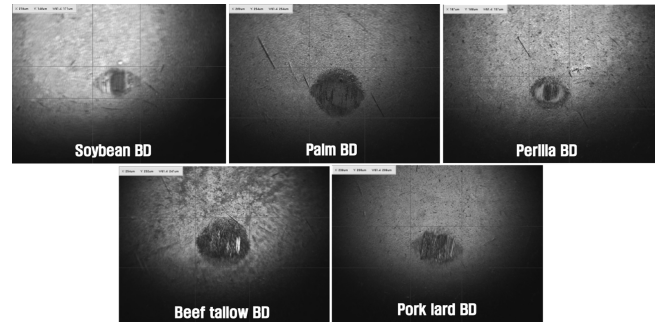


Figure 3. Analysis of lubricity for 5 kinds of biodiesel using HFRR.

3. 결과 및 고찰

3.1. 바이오디젤의 밀도, 동점도 및 저온특성 분석

본 연구에 사용된 5종의 바이오디젤의 윤활성을 분석하기 앞서 연료의 중요한 품질항목인 밀도와 동점도 및 저온특성을 분석하였다 (Table 1). 분석결과 동물성 바이오디젤은 식물성 바이오디젤보다 동점도가 높고 액체상에서 고체결정이 형성되기 시작하는 온도인 담점 (Cloud point)과 연료가 유동되지 않는 온도인 유동점(pour point)이 10 °C 이상의 높은 분석값을 보였다. 하지만 식물성 바이오디젤 중 팜유로부터 합성된 바이오디젤의 경우 동물성 바이오디젤과 유사한 높은 동점도, 담점, 유동점이 측정되었다. 이는 Moser 그룹에서 선행되어진 식물성 바이오디젤의 조성비 즉 바이오디젤 내에 함유된 올레핀 함량이 낮을수록 저온특성인 담점, 유동점 값이 높게 측정되는 경향과 일치하였다[17].

3.2. 바이오디젤의 윤활성 분석

식물성기름으로서 대두유, 팜유, 들기름으로부터 합성된 식물성 바이오디젤과 우지, 돈지로부터 생산된 동물성 바이오디젤의 윤활성을 HFRR을 이용하여 분석하였다(Table 2). 분석결과 대두유와 들기름으로부터 합성된 바이오디젤은 각각 171, 157 μm의 마모흔을 보임으로써 윤활성이 다른 원료물질로부터 제조된 바이오디젤보다 높은 것으로 확인되었다. 특히 팜유로부터 합성된 바이오디젤은 254 μm의 큰

**Table 3. Determination of Fatty Acid Methyl Ester Component in Biodiesel by GC-Mass**

Biodiesel	Soybean BD	Palm BD	Perilla BD	Beef tallow BD	Pork lard BD
Methyl dodecanoate (C12:0)	-	1.3	-	0.3	-
Methyl myristate (C14:0)	trace	2.7	-	5.8	4.1
Methyl pentadecanoate (C15:0)	-	-	-	1.0	trace
Methyl palmitate (C16:0)	17.1	35.3	15.0	21.4	24.1
Methyl palmitoleate (C16:1)	trace	0.3	-	5	5.1
Methyl heptadecanoate (C17:0)	-	-	-	0.6	1.0
Methyl <i>cis</i> -10-heptadecenoate (C17:1)	-	-	-	3	1.3
Methyl Stearate (C18:0)	13	12	1.1	17.2	16.2
Methyl oleate (C18:1)	16.9	38	12	37.6	42.9
Methyl linoleate (C18:2)	39	8	19	1.6	trace
Methyl linolenate (C18:3)	7.5	-	51	-	-
Methyl <i>cis</i> -10-nonadecenoate (C19:1)	-	-	-	0.6	0.4
Methyl arachidate (C20:0)	-	1	-	0.4	0.6
Methyl <i>cis</i> -11-eicosenoate (C20:1)	trace	trace	trace	0.9	2.3

**Table 4. Analysis of Lubricity for the Different Chain of Pure Fatty Acid Methyl Esters**

Biodiesel	Wear scar X (μm)	Wear scar Y (μm)	Wear scar Avg (μm)	Start temp/RH	Start temp/RH	Wear scar 1.4 (μm)
Methyl myristate (C14:0)	254	217	235.5	25.5/46.1	25.9/50.7	224
Methyl palmitate (C16:0)	249	234	241.5	26.0/53.6	27.7/47.9	218
Methyl stearate (C18:0)	232	224	228	26.0/48.3	26.9/47.6	213
Methyl arachidate (C20:0)	220	207	213.5	25.6/49.6	26.6/48.0	205
Methyl behenate (C22:0)	228	210	219	25.9/50.7	26.7/48.1	202

마모흔을 보이므로 본 연구에서 사용한 바이오디젤 중 윤활성이 가장 낮은 것으로 분석되었다.

Figure 3은 이들 원료별 바이오디젤의 윤활성을 HFRR로 실험한 후, 금속구에 형성된 마모흔을 보여주고 있으며, 팜유와 우지로부터 합성된 바이오디젤의 마모흔이 크게 형성됨으로써 다른 원료별 바이오디젤보다 윤활성이 낮은 것을 알 수 있다.

**3.3. 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용한 바이오디젤의 조성 분석**

바이오디젤의 윤활성이 원료별 상이한 값을 보이는 이유를 찾기 위해 이들 바이오디젤의 구성분자 구조 및 조성을 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용하여 분석하였다. 바이오디젤 내의 FAME 조성분석은 내부 표준물질(methyl heptadecanoate, C17:1)을 이용한 EN 14103 표준분석방법(가스크로마토그래피법)에 의해 정성, 정량분석이 가능하지만, 이 분석방법은 바이오디젤을 구성하고 있는 지방산 메틸에스테르 분자의 탄소수(14~22개)가 짝수형태인 식물성유지로부터 합성된 바이오디젤만 분석 가능하다. 본 연구에서는 홀수의 탄소사슬을 포함하는 동물성 바이오디젤도 같은 조건하에서 정성, 정량분석이 요구되기 때문에 가스크로마토그래피-질량분석기를 활용하였다. Table 3은 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용해 분석한 바이오디젤의 구성분자 조성을 나타내었다. 메틸 도데카노에이트(methyl dodecanoate)에서 표현된 C12:0은 탄소수가 12개이며 올레핀이 없는 분자구조를 의미한다.

분석결과 들기름으로부터 합성된 바이오디젤은 올레핀이 3개가 함유된 메틸 리놀리네이트(linolenic acid methyl ester)가 51%로 가장 많

은 비율을 차지하였으며, 팜유, 우지, 돈지로부터 합성된 바이오디젤은 올레핀이 한 개 함유된 메틸 올리에이트(methyl oleate)가 가장 많은 비율을 차지하고, 다음으로 포화탄화수소형태인 메틸 팔미테이트(methyl palmitate)의 비율이 높은 것으로 나타났다. 또한 동물성 바이오디젤의 경우, 식물성 바이오디젤에 함유되어지지 않은 홀수형태의 FAME인 methyl heptadecanoate, methyl *cis*-10-heptadecenoate, methyl *cis*-10-nonadecenoate가 포함되어져 있는 것을 알 수 있었다.

**3.4. 순수한 바이오디젤 구성분자의 윤활성 분석**

바이오디젤을 구성하고 있는 FAME의 올레핀 함량에 따른 저온특성과 산화안정도에 큰 영향을 미친다는 연구결과는 기존에 많이 보고되었지만, 윤활성에 미치는 영향에 대한 보고는 없기 때문에 먼저 바이오디젤을 구성하고 있는 순수한 FAME 성분의 윤활성을 HFRR을 이용하여 분석하였다. 올레핀이 함유된 물질은 실온에서 액체형태이지만 올레핀이 없는 포화 지방산 형태인 myristate, palmitate, stearate, arachidate, behenate 형태의 FAME는 흰색 고체형태이기 때문에 가열해 녹인 후, 2 mL를 취해 60 °C에서 윤활성을 측정하였다. 이들 포화 지방산형태의 FAME는 60 °C에서 모두 액체형태로 존재하기 때문에 HFRR을 이용한 윤활성 분석이 가능하였다.

먼저 바이오디젤을 구성하고 있는 FAME의 분자길이에 따른 윤활성 효과를 분석하였다. Table 4의 분석결과를 보면 알 수 있듯이 분자 길이가 길수록 윤활성 향상효과는 높아지는 것을 알 수 있었다. 이는 분자의 길이가 길어질수록 두 마찰면에서의 형성되는 마찰 스트레스를 넓은 표면적에서 효과적으로 분산시킬 수 있기 때문에 윤활성 향상효과가 높아졌을 것이라 판단된다.

Table 5. Effect of Lubricity by Olefin Contents in FAMES

Biodiesel	Wear scar X ( $\mu\text{m}$ )	Wear scar Y ( $\mu\text{m}$ )	Wear scar avg ( $\mu\text{m}$ )	Start temp/RH	Start temp/RH	Wear scar 1.4 ( $\mu\text{m}$ )
Methyl stearate (C18:0)	232	224	228	26.0/48.3	26.9/47.6	213
Methyl oleate (C18:1)	230	211	220.5	25.6/45.9	26.9/45.8	211
Methyl linoleate (C18:2)	188	177	182.5	25.2/43.9	26.0/49.4	175
Methyl linolenate (C18:3)	183	139	161.0	26.7/49.7	26.4/49.8	141

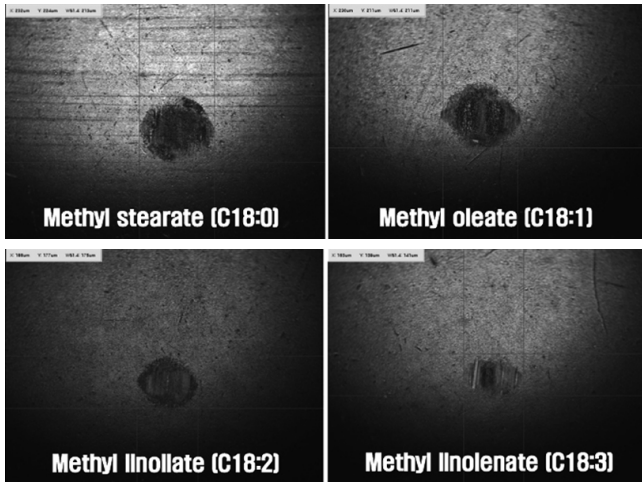


Figure 4. Effect of lubricity improvement by olefin content in biodiesel.

Table 5는 순수한 바이오디젤 구성분자 내 올레핀 함량에 따른 윤활성 향상효과를 분석한 결과이다. 분석결과 올레핀 함량이 높아질수록 마모흔이 작아짐으로 인해 윤활성이 증가되었음을 볼 수 있다. 이는 올레핀 함량이 높아질수록 분자의 극성이 높아지고 이로 인해 이들 분자가 두 마찰면을 효과적으로 코팅함으로써 두면의 마찰마모를 완화하는 작용을 했을 것이라 판단된다.

Figure 4는 올레핀 함량에 따른 윤활성 향상효과를 보여주는 HFRR 분석결과이며, 올레핀 함량이 높은 분자일수록 금속구에 형성된 마모흔이 작아짐으로서 윤활성 향상효과가 뛰어난 것을 보여주고 있다.

이는 앞선 실험 결과 3.2.에서 원료별 바이오디젤이 서로 다른 윤활성을 나타내는 원인과 연관시킬 수 있다. 윤활성이 가장 우수하였던 들기름과 대두유로부터 합성된 바이오디젤은 올레핀 함량이 높고 분자길이가 긴 methyl linoleate와 methyl linolenate의 비율이 높았으며, 팜유와 동물성 바이오디젤은 이들 분자의 조성이 낮기 때문에 윤활성이 들기름과 대두유로부터 합성된 바이오디젤에 비해 현저히 낮게 측정된 것으로 설명할 수 있다.

#### 4. 결 론

바이오디젤은 기존 석유디젤에 비해 친환경적이며, 재생 가능하다는 장점뿐만 아니라, 윤활성이 뛰어난 대체연료로 알려져 있다.

본 연구에서는 3종류의 식물성 바이오디젤과 2종류의 동물성 바이오디젤의 윤활성을 HFRR을 이용해 분석한 결과, 대두유와 들기름으로부터 합성된 바이오디젤이 다른 바이오디젤에 비해 윤활성이 월등히 우수하다는 결과를 얻었다.

이들 바이오디젤을 구성하고 있는 지방산 메틸에스테르 성분의 조

성을 가스크로마토그래피-질량분석기를 이용하여 분석한 후, 순수한 지방산 메틸에스테르의 윤활성을 분석한 결과 분자 내 올레핀 함량이 높을수록, 분자길이가 길수록 윤활성 향상효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 이는 대두유와 들기름으로 합성된 바이오디젤 내의 올레핀 함량이 높으면서 분자길이가 긴 형태의 methyl linolenate와 methyl linoleate의 조성이 높기 때문에 윤활성이 우수한 것으로 유추할 수 있다.

본 연구는 바이오디젤의 구성분자에 따라 저온특성과 산화안정성 뿐만 아니라 윤활성에도 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 밝혔으며, 이를 통해 향후 지방산 메틸에스테르 형태의 윤활성향상제 개발 및 연구에 있어 응용 가능하리라 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. C. S. Lee and S. W. Park, *Fuel*, **81**, 2417 (2002).
2. K. Jung, J. Choi, S. Moon, and K. Chung, *Journal of the KSTLE*, **24**, 264 (2008).
3. W. Danping and H. A. Spikes, *Wear*, **119**, 217 (1986).
4. Business act for quality standard, inspection method and inspection fee of petroleum product, Ministry of Commerce, Industry and Energy 2006-42.
5. S. Gryglewicz and F. A. Oko, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 1640 (2005).
6. A. M. Omer, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, **12**, 2265 (2008).
7. D. Antoni, V. V. Zverlow, and W. H. Schwarz, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **77**, 23 (2007).
8. C. S. Lee, S. W. Park, and S. I. Kwon, *Energy Fuels*, **19**, 2201 (2008).
9. Y. K. Lim, S. C. Shin, E. S. Yim, and H. O. Song, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**, 137 (2008).
10. Y. K. Hong and W. H. Hong, *Korean Chem. Eng. Res.*, **45**, 424 (2007).
11. N. M. Ribeiro, A. C. Pinto, C. M. Quintella, G. O. da Rocha, L. S. G. Teixeira, L. L. N. Guarieiro, M. D. C. Rangel, M. C. C. Veloso, M. J. C. Rezende, R. S. da Cruz, A. M. de Oliveira, E. A. Torres, and J. B. de Andrade, *Energy Fuels*, **21**, 2433 (2007).
12. F. Ma and M. A. Hanna, *Bioresour. Technol.*, **70**, 1 (1999).
13. <http://www.global-greenhouse-warming.com/biodiesel-from-tallow.html>
14. J. Y. Park, D. K. Kim, J. P. Lee, S. C. Park, Y. J. Kim, and J. S. Lee, *Bioresour. Technol.*, **99**, 1196 (2008).
15. G. Knothe and K. R. Steidley, *Energy Fuels*, **19**, 1192 (2005).
16. Y. K. Lim, D. Kim, and E. S. Yim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **20**, 208 (2009).
17. B. R. Moser, *Energy Fuels*, **22**, 4301 (2008).