

HFRR을 이용한 다양한 바이오디젤의 윤활성 분석연구

임영관[†] · 김동길 · 임의순

한국석유품질관리원 연구센터

The study of lubricity for various biodiesel using HFRR

Young-Kwan Lim[†], Dongkil Kim and EuiSoon Yim

Research Center, Korea Institute of Petroleum Quality, Chung-buk, 363-883, Korea
(Received January 28, 2009; Revised February 23, 2009; Accepted February 27, 2009)

Abstract – Biodiesel produced from triglyceride which is main component of animal fats and vegetable oils by methanolysis was known for excellent lubricity. In this study, the lubricity of 12 kinds of biodiesel come from vegetable oils were analyzed using HFRR (High frequency reciprocating rig). The biodiesel synthesized from soybean oil has best lubricity by 153 μm of wear scar in HFRR and used fried oil's biodiesel has slightly low lubricity by 299 μm . Also we have found that the lubricity of diesel was improved when mixing ratio of soybean biodiesel was increased in base diesel.

Key words – biodiesel, lubricity, HFRR, petrodiesel, base diesel

1. 서 론

기계적 메커니즘에 의한 힘의 전달 또는 방향을 전환할 때 상대적으로 움직이는 두 면에서 필연적으로 마찰이 발생하게 되며, 이때 생성된 마찰을 감소시키기 위해 윤활제를 사용하게 된다[1-3]. 자동차의 경우, 마찰부위에 따라 요구되는 윤활능력이 다르며, 이에 따른 적합한 윤활제를 사용하게 된다[4-5]. 기존의 기계식 연료분사장치는 윤활성 향상을 위해 다양한 윤활제를 사용하였지만, 현재 연료분사장치의 발전으로 인해 연료분사장치, 특히 고압로터펌프(common rail)에서는 특별한 윤활제를 사용하지 않는 대신에 과도한 마모방지를 위하여 연료의 윤활성이 요구된다[6].

자동차용 경유는 연료의 주성분인 파라핀 외에 황화합물, 다고리방향족(polyaromatics), 질소화합물, 산소화합물 같은 극성물질들을 포함하고 있으며, 실질적으로 이들 극성물질이 윤활작용을 하는 것으로 알려져 있다[7]. 자동차용 경유내 황은 연소시 입자상 물질(Particulate

Matter)을 증가시키고 함께, 황산화물(SOx)을 형성시킴으로 대기환경 오염과 자동차부품 부식을 야기시켜 1985년 CARB(California Air Resources Board)에서 처음으로 황 함량을 0.05 wt.% 이하로 규제를 강화하자[8], 주요 선진국에서도 그 규제를 강화하기 시작하여, 2009년에는 국내에서 생산, 유통되고 있는 자동차용 경유의 황 함량을 10 mg/kg 이하로 규제하기 시작하였다[9]. 초저유황 경유(ULSD ; ultra low sulfur diesel)를 제조하는 과정에서 황성분 이외에 다고리방향족, 질소화합물, 산소화합물 같은 극성물질이 제거됨으로 인해 윤활막 형성이 어려워짐에 따라 새로운 질소, 산소화합물 형태인 액상윤활제(lubricating oil)를 첨가하게 되었다[10]. 하지만 이런 첨가제는 연료보다는 단지 윤활성향상제의 역할만을 하는 한계를 지니고 있다.

이러한 연료의 윤활문제를 해결하기 위한 방법으로 다양한 형태의 연료개발이 이루어지고 있으며, 특히 대체연료로서 바이오디젤의 연구 및 사용이 전 세계적으로 확대되어지고 있다[11,12]. 국내의 경우, 2007년부터 석유디젤에 처음으로 0.5 부피%의 바이오디젤을 첨가하여 판매하였으며, 매년 0.5 부피%씩 증가되어 현재

[†]주저자 · 책임저자 : yklim92001@yahoo.co.kr

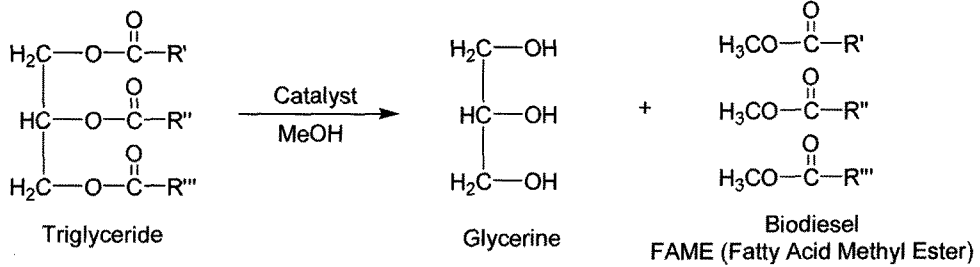


Fig. 1. Synthetic method of biodiesel from triglyceride.

(2009년) 경유에는 1.5 부피%의 바이오디젤이 함유되어 있으며, 2012년까지 3.0 부피%로 증가시킬 계획이다[13]. 바이오디젤은 Fig. 1에 표현된 것처럼 식물성오일이나 동물성지방의 주성분인 트리글리세라이드(triglyceride)를 알코올과 전이에스테르화(transesterification)반응을 통해 얻은 지방산 알킬에스테르(fatty acid alkyl ester)형태로, 이는 압축착화엔진(compression-ignition engine)에 이용되는 기존 석유디젤을 대체할 수 있는 바이오연료로 알려져 있다[14-17].

이러한 바이오디젤은 생분해성, 신재생, 독성가스의 배출저감과 같은 친환경적인 성격 외에 기존 석유디젤과 유사한 동점도, 세탄가, 총발열량, 높은 인화점을 지니며, 특히 윤활성이 높다는 장점을 지니고 있다[18].

바이오디젤은 석유디젤에 비해 극성물질인 함산소화합물, 즉 에스테르 분자형태이기 때문에 윤활성이 뛰어나며, 바이오디젤의 윤활성에 대한 지속적인 연구가 진행되어지고 있다[19-21]. Moser는 바이오디젤을 구성하고 있는 순수한 성분인 지방산 메틸에스테르(fatty acid methyl ester)를 이용하여 이들의 윤활성에 관한 연구를 수행하였다[22]. 하지만 연료로 사용되고 있는 바이오디젤은 다양한 트리글리세라이드로 이루어진 동식물의 유지로부터 생산된 지방산 메틸에스테르의 혼합물 형태이기 때문에 직접적인 바이오디젤의 윤활성에 대한 정보와 응용에 있어 제약을 받을 수 있다. Erhan et al.은 식물성유지로부터 생산된 바이오디젤의 윤활성에 관한 연구를 수행하였는데, 이들은 시중에 유통되고 있는 대표적인 대두유의 바이오디젤만을 대상으로 윤활성에 관해 조사하였다[23].

본 연구에서는 국내에서 판매되고 있는 12종류의 식물성오일로부터 기존 석유디젤을 대체할 수 있는 환경친화적인 연료의 기능뿐만 아니라, 윤활작용을 지니고 있는 다양한 종류의 바이오디젤을 합성한 뒤[24], 이들의 윤활성을 HFRR을 이용하여 분석하였을뿐만 아

니라, 국내에서 생산되고 있는 베이스경유에 일정비율로 혼합한 후, 자동차용 연료로서 윤활성을 조사하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 12종류의 바이오디젤은 시중에 유통되고 있는 식물성오일로부터 전이에스테르화반응을 통해 합성된 바이오디젤을 이용하였으며, 바이오디젤의 합성에 사용된 KOH와 메탄올은 TCI사의 99.5% 순도의 제품을 이용하였다. 본 실험에 사용된 경유는 현대오일뱅크(주) 직영주유소에서 판매되고 있는 일반경유를 이용하였으며, 바이오디젤과 윤활성향상제가 포함되어 있지 않은 베이스경유는 현대오일뱅크(주)로부터 공급받았다.

2-1. 바이오디젤의 합성

실온에서 100 mL-round bottom flask에 식물성오일 10 g, 메탄올 50 mL, 촉매인 KOH를 0.3 g 넣은 후, magnetic bar와 reflux condenser를 장착한 뒤, 반응혼합물을 교반하면서 80°C에서 환류시켰다. 4시간의 반응과정 후, 반응혼합물을 실온으로 냉각한 뒤, 반응혼합물에 100 mL의 물을 넣고, diethyl ether를 이용해 3번의 추출과정을 거쳐 유기용매층을 분리하였다. 바이오디젤이 포함되어있는 유기용매층에 무수 MgSO₄를 넣어 탈수시키고 MgSO₄ 수화물은 여과하여 제거하였다. 유기용매를 rotary vacuum evaporator를 통해 농축시킨 뒤, 농축액을 실리카겔(230~400 mesh)이 충전된 컬럼크로마토그래피(Hexane:EtOAc=95:5)법을 이용해 바이오디젤을 정제하였다. 투명한 액체형태의 바이오디젤은 86~96%의 수율을 보였다[24].

2-2. 윤활성 측정

윤활성은 PCS Instruments사의 HFRR (High

frequency reciprocating rig)를 사용하였으며, ISO 12156 방법에 준하여 수행하였다. 시료 2 mL를 60°C에서 75분동안 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, K₂CO₃를 이용하여 HFRR 분석케비넷 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 분석 시 습도와 온도인자가 고려된 보정마모흔은 아래에 표현된 식으로부터 계산되었다.

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

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

$$AVP = \frac{RH_1 - 10^f}{750} \tag{2}$$

Clausius-Clapeyron relation을 기초로 유추된 (2)식의 Antoine equation으로부터 초기 절대증기압(AVP₁; initial absolute vapour pressure)은 kPa 단위로 측정되며, RH₁은 초기 상대습도(initial relative humidity, %)를 나타낸다.

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

(3)식의 T₁은 초기온도(°C)이며, 초기 절대증기압과 같이 최종 절대증기압(AVP₂; final absolute vapour pressure)은 (4)식과 같이 구해진다.

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

(4)식에서 RH₂는 최종 상대습도(final relative humidity, %)이며, (5)식의 T₂는 최종온도이다.

$$V = \frac{8.017352 - 1705.984}{231.864} + T_2 \tag{5}$$

(2)식의 초기증기압과 (4)식의 최종 증기압으로부터 평균 절대증기압(AVP)은 아래의 (6)식과 같이 계산된다.

$$AVP = \frac{AVP_1 + AVP_2}{2} \tag{6}$$

최종 보정된 마모흔 지름(WS1.4)은 아래 (7)식과 같이 계산된다.

$$WS1.4 = MWSD + HCF(1.4 - AVP) \tag{7}$$

여기서 미지의 시료에 대한 HCF(humidity corrected factor)는 60이다.

Fig. 2는 본 실험에 사용된 HFRR을 보여준다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 일반경유와 베이스경유의 윤활성 측정

앞서 언급했듯이 세계적으로 환경오염방지와 신재생에너지의 사용확대 측면에서 자동차연료에 바이오 연료를 일정비율로 혼합하여 사용하고 있다. 국내에서

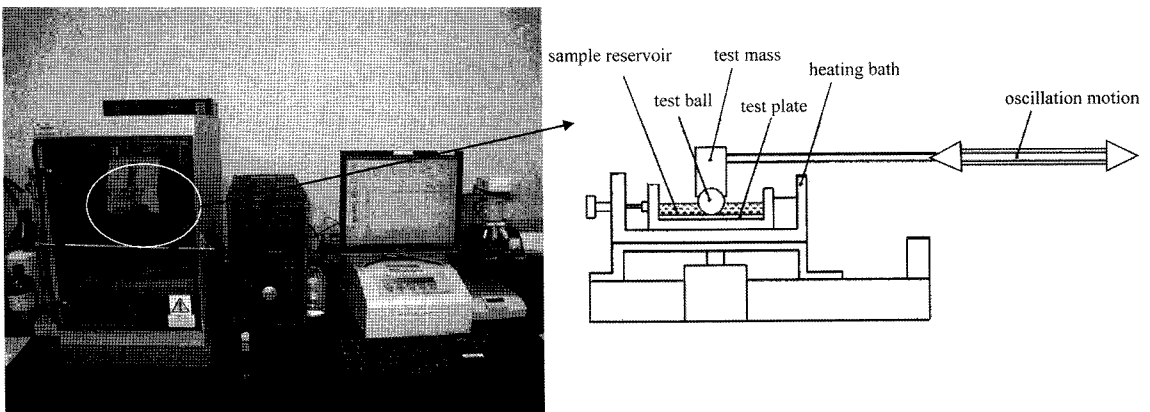


Fig. 2. HFRR instrument and microscope.

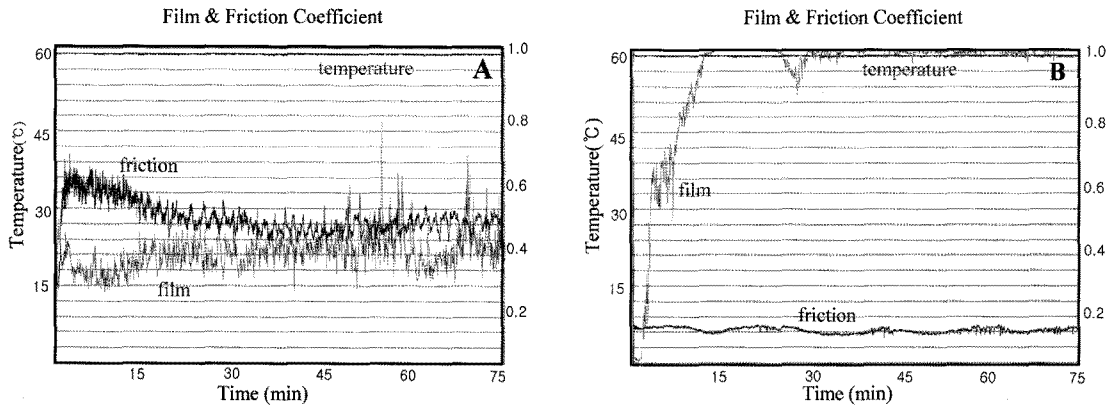


Fig. 3. Comparison of Film and Friction Coefficient for base diesels (A) and common diesel (B).

는 경유연료에 바이오디젤을 1.5 부피% 첨가시키고 있으며, 이로 인해 경유연료의 윤활성이 증가되어 각 정유사에서는 기존에 사용하였던 윤활성향상제의 농도를 점차 줄이고 있는 추세이다. 본 실험에서는 시중에 유통되고 있는 일반경유(바이오디젤과 윤활성향상제가 포함되어 있는 경유)와 베이스경유(첨가제 및 바이오디젤이 함유되어있지 않은 경유)의 윤활성을 비교하였다.

Fig. 3은 HFRR을 이용하여 베이스경유와 일반경유의 윤활성을 분석한 그래프이다. 측정 온도는 60°C에서 안정적으로 유지되었으며, 베이스경유는 마찰정도가 0.4~0.6으로 높게 측정되었으며, 전기적 신호인 접촉저항을 의미하는 필름값은 0.4로 낮음을 볼 수 있었다. 반면에 일반경유는 마찰정도가 0.2 이하로 낮으며, 필름값은 1.0 이상으로 높게 측정되었다.

그래프상으로 시료의 마찰정도를 어느정도 유추할 수 있으나, 첨가제의 종류 및 함량에 의해 전기적 신호인 필름값의 불규칙적인 변화를 야기시켜, 정확한 마모흔을 분석하기 위해 현미경을 이용하여 마모흔 크기를 측정하였다. Table 1은 측정된 마모흔 결과를 나타내고 있으며, 일반경유의 마모흔은 346 μm로 측정된 반면, 베이스경유는 518 μm로 측정되어 윤활성이 낮음을 확인하였다.

3-2. HFRR을 이용한 바이오디젤의 윤활성 측정

윤활성시험은 경유연료의 연료분사장치의 마모특성에 있어 중요한 인자로서, 연료의 윤활성이 떨어지면, 고압분사장치 계통에 심각한 마모현상을 초래하여 부품의 용착 및 비정상 연료분사로 인하여 안전 및 배

기기능에 심각한 문제를 야기시킬 수 있어, 경유연료의 윤활성은 현재(2009년) HFRR을 이용한 마모흔이 400 μm 이하가 되도록 법적으로 규제하고 있다[9].

Table 2는 12종류의 바이오디젤을 HFRR을 이용하여 윤활성을 측정한 결과를 보여주고 있으며, 대두유로부터 합성된 바이오디젤은 153 μm의 마모흔이 관찰됨으로써 가장 우수한 윤활성을 보였다. 반면에 폐식용유로부터 합성된 바이오디젤은 299 μm의 마모흔을 보여 실험에 사용된 바이오디젤 중 가장 낮은 윤활성을 보였으며, 이는 고온에서 장기간 사용된 폐식용유는 다른 바이오디젤의 원료보다 산화된 정도가 높으며, 이로부터 산화된 형태의 바이오디젤이 형성됨으로 윤활성이 떨어졌으리라 판단된다. 또한 바이오디젤은 고온에서 올레핀의 고리화반응(Diels-Alder reaction), 에스테르 그룹의 가수분해(hydrolysis), 그리고 긴 오일분자의 끊어짐으로 인한 짧은 알킬사슬 형성 등을 초래할 수 있으며, 이러한 부산물은 윤활성 변화를 야기시킬 수 있으며, 이에 대한 자세한 구조분석과 메커니즘의 규명이 요구된다.

Table 1. Determination of lubricity for common diesel and base diesel

	Wear Scar X (im)	Wear Scar Y (im)	Wear Scar Avg (im)	Start Temp/ RH	Finish Temp/ RH	Wear Scar 1.4 (im)
Common	353	305	329.0	21.9/38.4	22.5/45.3	346
Base	531	486	508.5	20.1/50.4	21.3/51.5	518

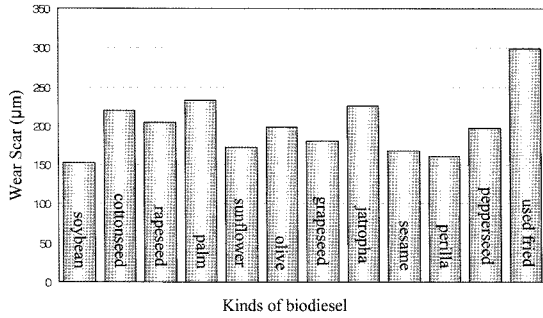


Fig. 4. Analyzed the wear scar for 12 kinds of biodiesel.

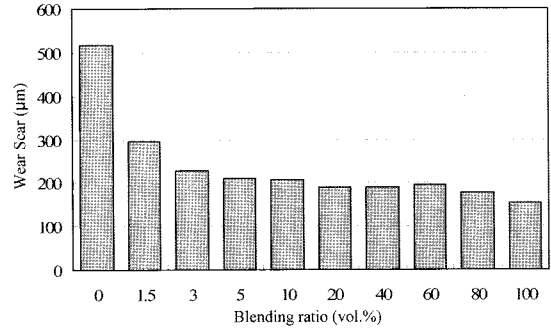


Fig. 5. Wear Scar of blended biodiesel.

3-3. 베이스경유에 바이오디젤 첨가에 따른 윤활성 변화 측정

윤활성이 가장 우수한 대두유로부터 합성된 바이오디젤을 베이스경유에 일정비율로 혼합한 뒤, 윤활성을 측정하였다. 현재 바이오디젤 첨가농도인 1.5 부피% 농도로 첨가했을 경우 297 µm의 마모흔이 관찰되었으며, 3 부피% 농도에서는 229 µm의 마모흔이 관찰되었다. Table 3은 베이스경유에 대두유로부터 합성된 바이오디젤을 일정 농도로 혼합한 후, 윤활성을 측정한 결과를 보여주고 있으며, 바이오디젤의 농도가 증가할수록 경유연료의 윤활성이 향상됨을 볼 수 있었다.

Fig. 5는 Table 3의 실험결과를 그래프로 표현한 것으로, 베이스경유에 미량(1.5 부피%)의 바이오디젤이 첨가되어도 법적기준인 마모흔이 400 µm이하로 충분한 윤활성 향상효과를 보였다. 또한 베이스경유 내 바이오디젤 3 부피%까지는 윤활성이 크게 증가되는 반

면, 바이오디젤의 비율이 3 부피% 이상의 경우, 윤활성은 증가되나 증가의 폭이 다소 완화된 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6는 Table 3에서 얻어진 결과의 마모흔 사진을 보여주고 있다. 베이스경유는 마모흔 정도가 매우 크게 생성되었으며, 대두유로부터 합성된 바이오디젤이 포함된 경유와 바이오디젤 원액의 경우 마모흔이 작은 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

화석연료 고갈에 따른 새로운 에너지원 개발은 국가 에너지안보 차원에서 매우 중요한 과제이며, 바이오디젤과 같은 바이오연료는 친환경적이며, 재생가능하다는 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 석유디젤을 대체할 수 있는 바이오디젤을 원료별 식물성오일로부터 합성한 뒤, 이들의 윤활성을 측정하였다.

Table 3. Analysis of lubricity for blended diesels with soybean's biodiesel

Fuel	Wear Scar X (µm)	Wear Scar Y (µm)	Wear Scar Avg (µm)	Start Temp/RH	Finish Temp/RH	Wear Scar 1.4 (µm)
0	531	486	508.5	20.1/50.4	21.3/51.5	518
1.5	285	278	281.5	20.1/43.9	20.9/50.4	297
3	228	200	214.0	20.7/43.3	22.2/46.5	229
5	218	179	198.5	19.7/48.6	20.5/53.0	211
10	217	168	192.5	18.0/52.8	19.9/51.2	208
20	201	152	176.5	19.8/44.6	20.9/53.0	190
40	205	144	174.5	20.1/44.7	20.7/52.2	189
60	210	142	176.0	19.8/42.6	20.8/50.1	194
80	194	131	162.5	20.3/48.5	20.4/49.9	176
100	191	139	165.0	20.8/55.5	22.0/69.1	153



Fig. 6. Compare to the wear scar of common and base diesel.

HFRR을 이용하여 바이오디젤의 윤활성을 측정할 결과 대두유로부터 합성된 바이오디젤이 153 μm 의 마모흔이 관찰됨으로 가장 우수한 윤활성을 보였으며, 폐식용유로부터 합성된 바이오디젤은 마모흔이 299 μm 로 다소 윤활성이 떨어지는 것을 확인하였다. 본 실험에서 윤활성이 가장 우수한 대두유의 바이오디젤을 바이오디젤과 윤활성첨가제가 함유되어있지 않은 베이스 경유에 일정비율로 혼합하여 윤활성을 측정할 결과, 바이오디젤의 농도가 증가할수록 윤활성이 향상됨을 확인하였으며, 특히 1.5 부피%의 낮은 바이오디젤 첨가에도 법적 제한 기준을 충분히 만족하는 297 μm 의 마모흔이 관찰되었다.

본 연구는 원료별 바이오디젤의 합성을 통해 국내 원료물질의 다양성을 보였으며, 이들 바이오디젤의 윤활성 분석결과를 보여줌으로서 자동차의 연료분사장치 및 기계마모현상과 연관시킬 수 있을 것이라 기대된다.

참고 문헌

1. 최웅수, “윤활제 및 첨가제의 응용”, 유체기계저널, Vol. 9, No. 5, pp. 42-49, 2006.
2. K. Jung, J. Choi, S. Moon and K. Chung, “A Study on Friction and Wear Characteristics of Nano-size Carbon”, *Journal of the KSTLE*, Vol. 24, No. 5, pp. 264-268, 2008.
3. J. H. Kim, S. C. Kang, K. W. Jung, W. Cho and D. Han, “A Study on Synthesis and Wear Characteristics of Mo-DTP as Lubricant Additive” *Journal of the KSLE*, Vol. 5, No. 1, pp. 57-63, 1989.
4. W. D. Kim, D. K. Kim and Y. J. Chung, “Extreme Pressure Characteristics of Molybdenum Di-n-butoxydithiophosphate”, *J. Korean End. Eng. Chem.*, Vol. 13, No. 2, pp. 162-165, 2002.
5. 小俣, 達雄, 吉村, 匡史, 菅野, 秀昭, 那須野, 一八, 関本, 正則, 縷害の潤滑性に影響を及ぼす成分”, *Sekiyu Gakkaishi*, Vol. 41, No. 1, pp. 29-36, 1998.
6. I. H. Cho, “Lubricity of Diesel”, *Transportation Fuels Technology*, Vol. 27, No. 2, pp. 37-44, 2005.
7. W. Danping and H. A. Spikes, “The Lubricity of Diesel Fuels”, *Wear*, Vol. 119, pp. 217-235, 1986.
8. 정도근, “초저유황 경유가 엔진에 미치는 영향”, 한국자동차공학회, 1995년도 추계학술대회
9. 산업자원부고시 제2006-42호, “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”
10. S. Gryglewicz and F. A. Oko, “Synthesis and Biosynthesis of Oligomeric Sebacates as Lubricant Oils”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 44, pp. 1640-1644, 2005.
11. A. M. Omer, “Energy, Environment and Sustainable Development”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, pp. 2265-2300, 2008.
12. D. Antoni, V. V. Zverlow and W. H. Schwarz, “Biofuels from microbes”, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 77, pp. 23-55, 2007.
13. S. S. Kim, K. H. Kim, S. C. Shin and E. S. Yim, “Current Status of Policy and Market”, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 18, No. 5, pp. 401-406, 2007.
14. Y. K. Lim, S. C. Shin, E. S. Yim and H. O. Song, “The effective Product Method of Biodiesel”, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 19, No. 2, pp. 137-144, 2008.
15. Y. K. Hong and W. H. Hong, “Biodiesel Production Technology and Its Fuel Properties”, *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 45, pp. 424-432, 2007.
16. 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, “The Role of Additives for Diesel and Diesel Blended (Ethanol or Biodiesel) Fuels: A Review”, *Energy & Fuels*, Vol. 21, pp. 2433-2445, 2007.
17. C. S. Lee, S. W. Park and S. I. Kwon, “An Experimental Study on the Automization and Combustion Characteristics of Biodiesel-Blended Fuels”, *Energy & Fuels*, Vol. 19, pp. 2201-2208, 2008.
18. F. Ma and M. A. Hanna, “Biodiesel Production: A Review”, *Bioresour. Technol.*, Vol. 70, pp. 1-15, 1999.
19. B. R. Moser, S. C. Cermak and T. A. Isbell, “Evaluation of Castor and Lesquerella Oil Derivatives as Additives in Biodiesel and Ultralow Sulfur Diesel Fuels”, *Energy & Fuels*, Vol. 22, pp. 1349-1352, 2008.
20. G. Knothe, “Desiner” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties”, *Energy & Fuels*, Vol. 22, pp. 1358-1364, 2008.
21. M. G. Kulkarni, A. K. Dalai and N. N. Bakhshi, “Transesterification of canola oil in mixed methanol/ethanol system and use of esters as lubricity additive”, *Bioresource Technology*, Vol. 98, pp. 2027-2033, 2007

22. B. R. Moser, "Influence of Blending Canola, Palm, Soybean, and Sunflower Oil Methyl Esters on Fuel Properties of Biodiesel", *Energy & Fuels*, Vol. 22, pp. 4301-4306, 2008.
23. P. A. Z. Suarez, B. R. Moser, B. K. Sharma and S. Z. Erhan, "Comparing the lubricity of biofuels obtained from pyrolysis and alcoholysis of soybean oil and their blends with petroleum diesel", *Fuel*, Vol. 88, pp. 1143-1147, 2009.
24. Y. K. Lim, D. Kim and E. S. Yim, "Synthesis of biodiesel from vegetable oil and their characteristic in low temperature", *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 20, pp. 208-212, 2009. accepted.