

## 다양한 원료에 따른 발전용 바이오중유의 윤활 특성 연구

<sup>1</sup>김재곤<sup>†</sup> · <sup>1</sup>장은정 · <sup>1</sup>전철환 · <sup>1,2</sup>황인하 · <sup>2</sup>나병기<sup>†</sup>

<sup>1</sup>한국석유관리원 석유기술연구소, <sup>2</sup>충북대학교 화학공학과  
(2018년 11월 19일 접수: 2018년 11월 12일 수정: 2018년 11월 17일 채택)

### Study on the Lubricity Characteristics of Bio-heavy Oil for Power Generation by Various feedstocks

<sup>1</sup>Jae-Kon Kim<sup>†</sup> · <sup>1</sup>Eun-Jung Jang · <sup>1</sup>Cheol-Hwan Jeon · <sup>1,2</sup>In-Ha Hwang · <sup>2</sup>Byung-Ki Na<sup>†</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University

(Received November 19, 2018; Revised November 12, 2018; Accepted November 17, 2018)

**요약** : 바이오중유란 다양한 동·식물성 유지, 지방산 메틸에스테르, 지방산 에틸에스테르 및 그 부산물을 혼합하여 제조된 제품이며, 국내 기력 중유발전기의 연료(B-C)로 사용되고 있다. 그러나 이러한 바이오중유의 원료 조성 때문에 발전기의 보일러로 이송되는 연료펌프, 유량펌프, 인젝터 등의 연료 공급시스템에서 마찰마모를 유발할 경우 심각한 피해를 초래 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 발전용 바이오중유의 다양한 원료들의 연료특성과 이에 따른 윤활성을 평가하고, 발전기의 마찰마모 저감을 위한 발전용 바이오중유의 연료 구성 방안을 제시하였다. 발전용 바이오중유 원료물질의 윤활성(HFRR)은 평균 137  $\mu\text{m}$ 이며, 원료물질에 따라 차이가 있으나 60  $\mu\text{m}$  ~ 214  $\mu\text{m}$  분포를 보이고 있다. 이 중 윤활성이 좋은 순서는 Oleo pitch > BD pitch > CNSL > Animal fat > RBDPO > PAO > Dark oil > Food waste oil이다. 발전용 바이오중유의 원료 물질 3종으로 구성된 바이오중유 평가시료 5종에 대한 윤활성은 평균 151  $\mu\text{m}$ 이며, 101  $\mu\text{m}$  ~ 185  $\mu\text{m}$  분포를 보이고 있다. 이 중 윤활성이 좋은 순서는 Fuel 1 > Fuel 3 > Fuel 4 > Fuel 2 > Fuel 5이다. 바이오중유 평가시료(평균 151  $\mu\text{m}$ )는 C중유(128  $\mu\text{m}$ ) 대비 낮은 윤활성을 나타내었다. 이는 발전용 바이오중유가 지방산 물질로 구성되어 있어 C중유보다 파라핀, 방향족 성분 함량이 낮아 점도가 낮고, 산가가 높기 때문에 산성 성분에 의한 윤활막 형성 저해에 따른 것으로 판단된다. 따라서, 적정 수준의 마찰마모 저감을 위해 윤활성을 증가 시킬 수 있는 바이오중유의 원료로서 Oleo pitch, BD pitch를 60% 이상 함유할 경우 연료 제조 시 윤활성 증가가 예상된다.

**주제어** : 바이오중유, 바이오연료, 바이오디젤, 동·식물성유지, 윤활성

**Abstract** : Bio-heavy oil for power generation is a product made by mixing animal fat, vegetable oil and fatty acid methyl ester or its residues and is being used as steam heavy fuel(B-C) for power

<sup>†</sup>Corresponding author

(E-mail: jkkim@kpetro.or.kr, nabk@chungbuk.ac.kr)

generation in Korea. However, if the fuel supply system of the fuel pump, the flow pump, the injector, etc., which is transferred to the boiler of the generator due to the composition of the raw material of the bio-heavy oil, causes abrasive wear, it can cause serious damage. Therefore, this study evaluates the fuel characteristics and lubricity properties of various raw materials of bio-heavy oil for power generation, and suggests fuel composition of biofuel for power generation to reduce frictional wear of generator. The average value of lubricity (HFRR abrasion) for bio-heavy oil feedstocks for power generation is 137  $\mu\text{m}$ , and it varies from 60  $\mu\text{m}$  to 214  $\mu\text{m}$  depending on the raw materials. The order of lubricity is Oleo pitch > BD pitch > CNSL > Animal fat > RBDPO > PAO > Dark oil > Food waste oil. The average lubricity for the five bio-heavy oil samples is 151  $\mu\text{m}$  and the distribution is 101  $\mu\text{m}$  to 185  $\mu\text{m}$ . The order of lubricity is Fuel 1 > Fuel 3 > Fuel 4 > Fuel 2 > Fuel 5. Bio-heavy oil samples (average 151  $\mu\text{m}$ ) show lower lubricity than heavy oil C (128  $\mu\text{m}$ ). It is believed that bio-heavy oil for power generation is composed of fatty acid material, which is lower in paraffin and aromatics content than heavy oil(B-C) and has a low viscosity and high acid value, resulting in inhibition of the formation of lubricating film by acidic component. Therefore, in order to reduce friction and abrasion, it is expected to increase the lubrication of fuel when it contains more than 60% Oleo pitch and BD pitch as raw materials of bio-heavy oil for power generation.

*Keywords : Bio-heavy oil for power generation, Lubricity, biofuels*

## 1. 서론

신·재생에너지 시장 확대의 필요성은 화석연료 고갈로 인한 유류가격 급등에 대한 대안, 지구적 환경문제인 온실가스 감축 필요성 등으로 그 중요성이 점차 강조되고 있으며, 이러한 이유로 각 국 정부는 바이오에너지 등을 포함한 신재생에너지 보급 확대를 위한 다양한 제도와 정책적 지원을 하고 있다[1-5]. 국내에서는 2011년까지는 신·재생에너지 발전에 의하여 공급한 전기의 전력거래가격이 산업통상자원부 장관이 고시한 기준가격보다 낮은 경우 그 차액을 지원해주는 발전차액지원제도(Feed-In Tariff, FIT)중심으로 신·재생에너지 산업을 성장시키고 확대·보급하였다. 그러나 정부의 재정적 부담이 커져 예산상의 제약이 발생하고 정부 지원 의존도가 높아지면서 기술개발촉진 기능이 미흡해지는 문제 등으로 2012년부터는 시장원리에 따른 기업 간의 경쟁을 통해 산업 성장 및 확대·보급이 이루어질 수 있는 신·재생에너지 공급의무화제도 (Renewable Portfolio Standard, RPS)를 도입하였다.

2012년부터 시행된 RPS 제도는 발전 사업자가 총 발전량의 일정 비율을 신재생에너지로 공급하는 것을 의무화하는 제도이다. 따라서 발전사에서는 의무공급량 이행을 위해 다양한 에너지원을

활용하고 있으며 그의 일환으로 C-중유를 대체할 수 있는 바이오중유를 검토하고 있다. 이를 위해 발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시(산업통상자원부 고시 2014-1호)가 2014년 1월에 공포되어 이와 관련된 연구와 시범보급사업이 활발히 진행되고 있다[6,7]. 해외에서도 이미 바이오연료의 발전설비 적용을 위한 기술을 개발하고 있다. 예를 들면 미국 HECO (Hawaiian Electric Company)사는 팜유를 이용하여 Kahe Power Plant에서 30 ~ 100% 혼합연료에 대한 실증평가를 완료하였는데 전반적인 환경 특성이 혼소율 증가에 따라 양호하게 개선되는 것으로 평가되었으며, 핀란드 바르질라 (Wartsila)사는 팜유나 유채유 등의 바이오연료를 일부 설비를 개조한 디젤 엔진 발전용으로 활용하고 있다[8].

바이오중유란 동·식물성 유지, 지방산 메틸에스테르, 지방산 에틸에스테르 및 그 부산물을 혼합하여 제조된 제품이다[9-11]. 바이오중유의 원료로는 주로 팜 열매로부터 기름을 추출하고 남은 공정 부산물류와 동·물성유지류, 바이오디젤류 및 폐오일류로 구분할 수 있다(Table 1)[12-15]. 바이오중유의 원료로 사용되는 성분들은 트리글리세라이드나 지방산 형태로 이루어져 적당한 윤활 특성을 가지고 있다[16-24]. 그러나, 구조적으로

Table 1. Feedstocks of bio-heavy oil for power generation[11]

Palm oil series	Animal and vegetable oil series	Biodiesel series	Waste oil series
Crude Palm Oil (CPO)	Tallow	Biodiesel(BD)	Food waste oil
Refined Bleach Deodorized Palm Oil (RBDPO)	Lard	Biodiesel Pitch (BD Pitch)	Dark oil
Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)	Cashew Nut Shell Liquid (CNSL)		
Refined Bleach Deodorized Stearin (Palm Stearin)	Oleo pitch <sup>1)</sup>		
Palm Acid Oil (PAO)			

<sup>1)</sup>Residues of oleo-chemical processes made from vegetable or animal fats

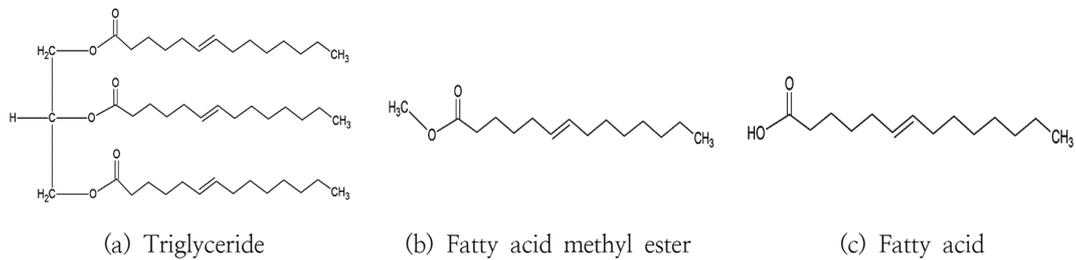


Fig. 1. Example of general component chemical structures of bio-heavy oil for power generation.

불포화 지방산의 이중결합으로 인해 낮은 산화안정도를 갖거나 포화 지방산으로 인해 낮은 저온 특성을 가지는 단점을 가지고 있기도 하다(Fig.1). 바이오중유는 국내 기력 증류발전기의 연료로 B-C 연료를 100% 대체하여 전소하거나 일정비율(10 ~ 80%)로 혼합하여 혼소하여 사용하고 있으며, 발전기의 보일러로 이송되는 연료펌프, 유량펌프, 인젝터 등의 연료 공급시스템에서 마찰마모를 유발할 경우 심각한 피해를 초래할 수 있다. 따라서, 바이오중유 연료가 다양한 종류의 지방산 유지들을 혼합하여 사용하므로 기존 B-C 연료 수준의 적정 순환성을 유지함으로써 연료 공급시스템의 마찰마모를 억제할 필요가 있다 [16].

따라서 본 연구에서는 발전용 바이오중유의 다양한 원료들의 연료특성과 이에 따른 순환성을 평가하고, 발전기의 마찰마모 저감을 위해 발전용 바이오중유의 연료 구성 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 평가용 연료 제조

본 연구에 사용된 발전용 바이오중유와 원료물질인 동-식물성 유지들은 국내 발전용 바이오중유 생산업체로부터 공급받았으며, B-C 연료는 정유사에서 황 함량 0.3 무게% 규격으로 공급받았다. 동-식물성 유지들 중 팜 원유(CPO), 정제 팜유(RBDPO), 팜 부산물(PFAD), 팜 산유(PAO)는 동남아 지역의 수입제품이며, 바이오디젤, 피치, 동물성 유지는 국내 생산 제품이다. 구매한 바이오중유의 원료들은 수분제거, 금속함량 제거 등의 전처리 후 제조되었다. 본 실험에 대조군으로 사용된 발전용 바이오중유는 국내 바이오중유 생산사들이 현재 공급 중인 연료들을 사용하였으며, B-C 연료도 국내 발전사에서 사용 중인 연료를 구매하여 사용하였다. Fig. 1에서 본 연구에 사용된 바이오중유 원료들의 주요 성분들을 예로 제시하였고, Table 1은 제조된 원료시료와 Table

2는 국내 바이오중유 생산사에서 실제로 많이 사용되고 있는 바이오중유 원료물질 3종을 최적 비율로 혼합하여 평가시료 5종을 제조 하였다. 바이오중유의 원료물질들의 혼합비율은 실제 바이오중유 생산사들이 제조하여 공급하고 비율을 참고하여 적용하였다.

Table 2. Test sample of feedstocks in bio-heavy oil for power generation

No #	Test sample
1	RBDPO
2	PAO
3	Oleo pitch
4	Animal fat
5	Biodiesel pitch
6	Dark oil
7	CNSL
8	Food waste oil

## 2.2. 연료특성 분석

발전용 바이오중유 및 원료물질에 대한 연료적 품질특성은 『발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시(산업통상자원부 고시 2016-226호)』상의 품질기준 9개 항목에 대해 분석 하였으며, 본 실험에서 적용한 발전용 바이오중유 품질기준과 시험방법은 Table 4에 나타내었다[6].

## 2.3. 윤활성 분석

바이오중유의 원료와 그 원료 혼합물에 따른 발전용 바이오중유 연료에 대한 윤활성은 PCS instrument(영국)사의 HFRR(High frequency reciprocating rig)를 사용하였으며, KS M ISO 12156 방법에 따라 시료 2 mL를 60 °C에서 75 분 동안 50 Hz의 주파수와 200 g의 하중을 이용하여 금속원판(PCS Instrument사의 지름 1 cm 원판)과 시험구(PCS Instrument사의 외경 6 mm 금속구)를 왕복마찰에 의해 시험구에 생성된 마모흔(MWSD, Mean Wear Scar Diameter)을 현미경(MEJI TECHNO사의 Infinity1)을 사용하여 측정하였다(Fig. 2).

Table 3. Test sample of bio-heavy oil for power generation

Fuel 1	Fuel 2	Fuel 3	Fuel 4	Fuel 5
Oleo pitch 60%	RBDPO 60%	BD pitch 80%	BD pitch 60%	PAO 40%
BD pitch 30%	BD pitch 30%	Dark oil 10%	Dark oil 30%	CNSL 30%
Animal fat 10%	Animal fat 10%	CNSL 10%	CNSL 10%	Food waste oil 30%

Table 4. The quality standard and test method

Properties	Limit	Test method
Flash point (°C)	min. 70	KS M ISO 2592
Viscosity (40°C, mm <sup>2</sup> /s)	15 ~ 80	KS M ISO 3104
Sulfur (wt.%)	max. 0.05	KS M ISO 8754
Pour point (°C)	max. 27	KS M 2016
Density (15°C, kg/m <sup>3</sup> )	max. 991	KS M 2002
Acid number (mg KOH/g)	max. 25	KS M ISO 6618
Iodine number(g/100 g)	max. 25	EN 14111
V(mg/kg)	max. 50	ASTM D 7111
Si+Al+Fe(mg/kg)	max. 200	ASTM D 7111

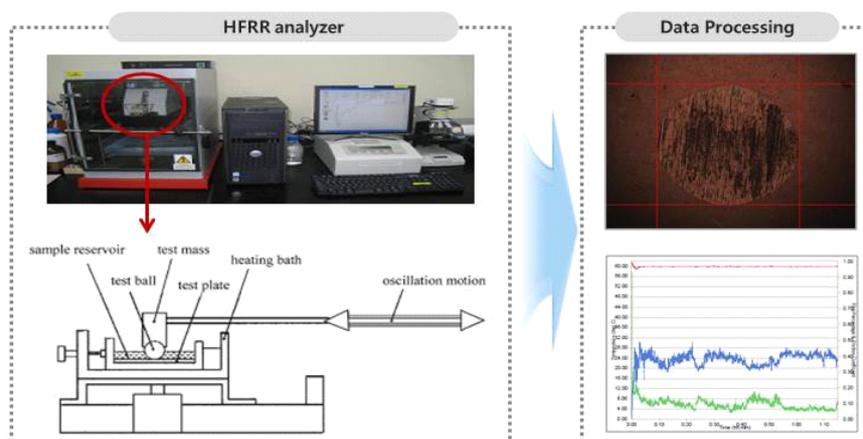


Fig. 2. High frequency reciprocating rig(HFRR) instrument and microscope

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 바이오중유의 원료 물성특성

발전용 바이오중유의 원료물질 8종에 대한 품질평가를 수행하여 연료특성을 Table 5에 나타내었다. 인화점은 321 °C ~ 181 °C의 분포를 보이고 있으며, 고비점인 트리글리세라이드 성분을 주로 많이 함유하고 있는 RBDPO가 321 °C로 제일 높았으며, 유리지방산을 많이 함유하고 있는 음폐유(Food waste oil)가 181 °C로 제일 낮았

다. 동점도는 바이오디젤 생산 중 증류공정의 잔존물인 바이오디젤 피치가 가장 높았는데, 이는 고온에서 이합체 등 높은 고비점 지방산을 함유하고 있기 때문이다. 황 함량은 거의 0.03 wt.% 이하 수준으로 나타났으며, 연료의 저온성능을 가지고 있는 유동점은 CNSL만 영하 온도인 -36 °C를 보였다. 밀도는 899 kg/m<sup>3</sup> ~ 965 kg/m<sup>3</sup>의 분포를 보이며, 전산가는 PAO, dark oil가 다른 원료보다 높았는데, 이는 유리지방산(free fatty acid)를 많이 함유하고 있기 때문이다. 지방산 오

Table 5. The physicochemical characteristics of feedstock materials in bio-heavy oil for power generation

Property	RBDPO	PAO	Oleo pitch	Animal fat	BD pitch	Dark oil	Food waste oil	CNSL
Flash point (°C)	321	195	214	301	265	202	181	212
Viscosity (40°C, mm <sup>2</sup> /s)	40	84	51	45	118	32	25	33
Sulfur (wt.%)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.03	0.02
Pour point (°C)	26	42	8	29	12	9	3	-36
Density (15°C, kg/m <sup>3</sup> )	901	899	918	918	965	926	920	949
Acid number (mg KOH/g)	2	181	54	3	6	76	19	14
Iodine number (g/100 g)	52	40	61	42	97	99	91	222
V(mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0.02
Si+Al+Fe(mg/kg)	6	35	210	6	23	34	116	26

일의 이중결합의 수를 알 수 있는 척도인 요오드가는 dark oil, BD pitch, food waste oil이 높았다. 금속 성분 중 바나듐은 검출되지 않았으며, Si, Al, Fe은 Oleo pitch가 가장 높게 나타났다.

### 3.2. 평가용 연료 품질특성

Table 3의 비율로 제조한 윤활성 실험용 바이오중유 연료 5종에 대한 품질평가를 수행하여 연료특성을 Table 6에 나타내었다. 윤활성 평가 대상 바이오중유 5종은 『발전용 바이오중유 시범 보급사업 추진에 관한 고시(산업통상자원부 고시 2016-22호)』상의 9개 평가항목의 품질기준을 모두 만족하였다. 인화점은 162 °C ~ 254 °C으로 비교 대상 B-C 연료 보다 평가시료인 바이오중유 5종 중 4종이 높았으며, 동점도는 평가 연료 모두 비교 대상 연료인 B-C 연료 보다 낮았으며, 황 함량은 거의 0.04 wt.% 이하 수준으로 나타났다. 유동점은 시료 모두 비슷한 경향을 보이나, 주로 팜유계열(시료 1, 2 및 5) 원료가 혼합 될 때 더 높게 나타났다. 밀도는 B-C 연료 보다 낮은 915 kg/m<sup>3</sup> ~ 935 kg/m<sup>3</sup>의 분포를 보이며, 전산가는 평가 시료 5종이 5 ~ 22 mg KOH/g 사이로 비교대상 B-C 연료 보다 높은 경향을 보였다. 요오드가는 평가시료 중 시료 5가 매우 높았다. 금속 성분 중 바나듐은 평가시료가 0.06 mg/kg 이하로 B-C 연료 3 mg/kg 보다 매우 낮았으며, Si, Al, Fe은 평가시료 5가 가장 높게 나타났다.

### 3.2. 바이오중유의 원료물질의 윤활특성

Table 7에 발전용 바이오중유의 원료물질 8종에 대한 윤활성 평가 결과를 나타내고 있는데, 평균값은 137 μm을 나타내었으며, 원료물질에 따라 차이가 있으나 60 μm ~ 214 μm 분포를 보이고 있다. Fig. 3는 윤활성 측정 후 바이오중유 평가시료 5종에 대한 마찰마모의 그림을 보여 주고 있으며, Fig. 4에서는 각 시료의 윤활성(마모흔)을 비교하였다. 이중 윤활성이 좋은 순서는 Oleo pitch > BD pitch > CNSL > Animal fat > RBDPO > PAO > Dark oil > Food waste oil이다. 이는 바이오중유의 원료물질 중 식물성유지나 바이오디젤 제조 공정의 잔존물로 생기는 pitch 계열이 열적산화 등으로 인해 고분자성 물질이 윤활성을 향상 시켜주며, CNSL은 방향족 지방산유지로 구성되어 이로 인해 방향족이 윤활막을 형성하여 마모를 감소 시켜주기 때문에 윤활성이 다소 좋은 것으로 판단된다. 한편, 바이오중유 원료물질인 PAO와 Dark oil은 산가 높아 산성 성분에 의한 윤활막의 형성을 저해하여 윤활성 다른 원료물질과 비교 시 좋지 않은 것으로 분석되었다. 이는 일반적인 동·식물성유지 기반의 물질에서 보여주는 결과와 비슷한 경향을 보여 주고 있다[22].

Table 6. The physicochemical characteristics of bio-heavy oil for power generation

Property	B-C	Fuel 1	Fuel 2	Fuel 3	Fuel 4	Fuel 5
Flash point (°C)	168	165	254	171	162	188
Viscosity (40°C, mm <sup>2</sup> /s)	149	35	42	21	29	48
Sulfur (wt.%)	0.20	0.02	0.01	0.04	0.04	0.02
Pour point (°C)	29	18	19	13	11	17
Density (15°C, kg/m <sup>3</sup> )	945	915	920	918	925	935
Acid number (mg KOH/g)	2	22	5	6	19	21
Iodine number (g/100 g)	35	85	45	69	78	98
V(mg/kg)	3	0.02	0.01	0.06	0.03	0.02
Si+Al+Fe(mg/kg)	23	58	15	41	56	96

Table 7. Determination of lubricity of feedstocks in bio-heavy oil for power generation

Sample	Wear Scar X ( $\mu\text{m}$ )	Wear Scar Y ( $\mu\text{m}$ )	Wear Scar Avg ( $\mu\text{m}$ )
B-C	265	187	128
RBDPO	181	109	140
PAO	205	214	147
Oleo pitch	99	69	61
Animal fat	182	135	137
BD pitch	150	113	109
Dark oil	241	142	171
Food waste oil	277	203	214
CNSL	180	105	120

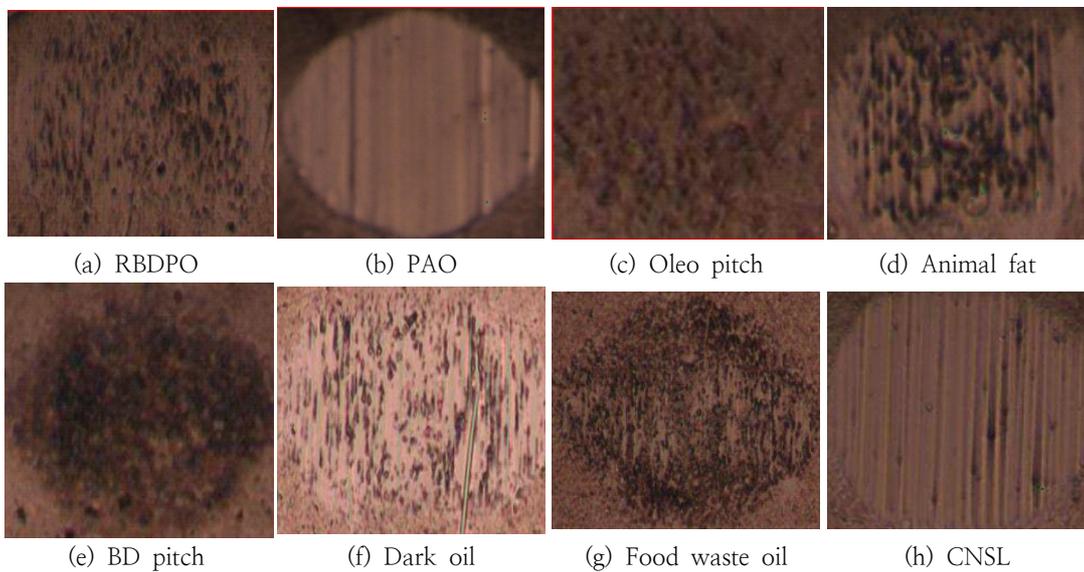


Fig. 3. Lubricity image of feedstocks in biofuel for power generation.

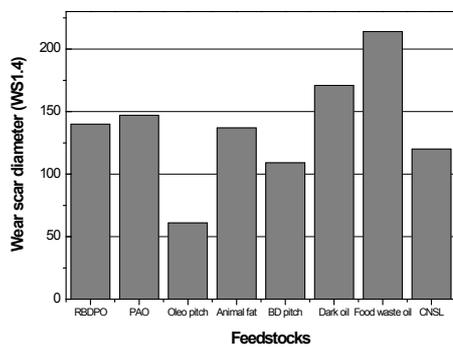


Fig. 4. Lubricity comparison of feedstocks in bio-heavy oil for power generation.

### 3.3. 바이오중유의 평가시료의 윤활특성

Table 8에 발전용 바이오중유의 원료물질 3종으로 구성된 바이오중유 평가시료 5종에 대한 윤활성 평가 결과를 나타내고 있는데, 평균값은  $151 \mu\text{m}$ 이고,  $101 \mu\text{m} \sim 185 \mu\text{m}$  분포를 보이고 있다. Fig. 5는 윤활성 측정 후 바이오중유 평가시료 5종에 대한 마찰마모의 그림을 보여주고 있으며, Fig. 6에서는 각 시료의 윤활성(마모흔)을 비교하였다. 이 중 윤활성이 좋은 순서는 Fuel 1 > Fuel 3 > Fuel 4 > Fuel 2 > Fuel 5이다. 앞서 바이오중유 원료물질의 윤활성 결과에서 보았듯이 평가시료에 원료물질 중 윤활성 좋은 Oleo pitch, BD pitch, CNSL의 원료를 포함하거

Table 8. Determination of lubricity of bio-heavy oil for power generation

Sample	Wear Scar X ( $\mu\text{m}$ )	Wear Scar Y ( $\mu\text{m}$ )	Wear Scar Avg ( $\mu\text{m}$ )
B-C	265	187	128
Fuel 1	125	95	101
Fuel 2	201	139	168
Fuel 3	175	139	142
Fuel 4	195	158	159
Fuel 5	235	253	185

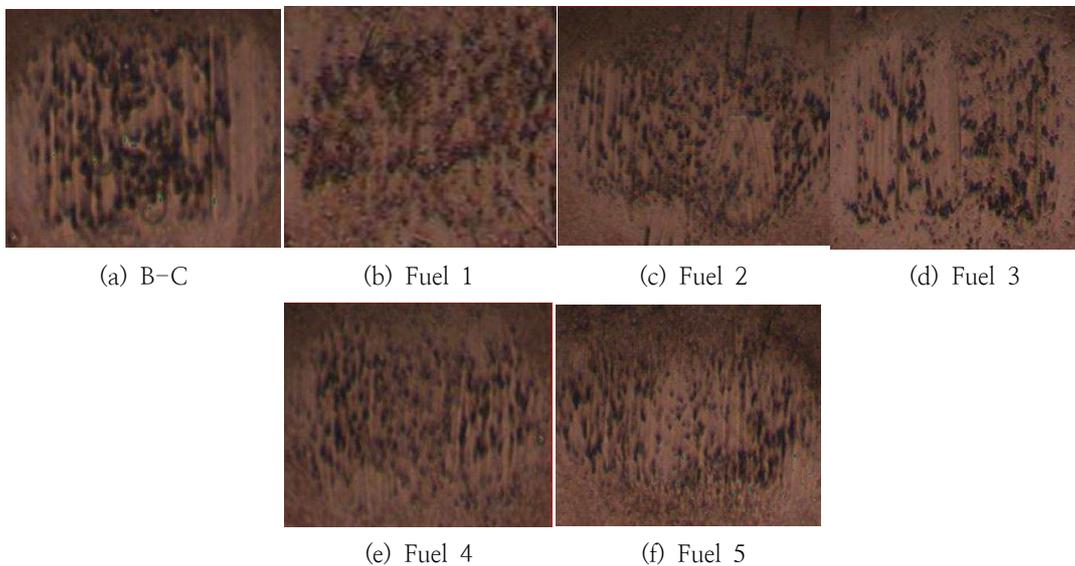


Fig. 5. Lubricity image of bio-heavy oil for power generation.

나 함량이 높을 경우 윤활성 좋은 것으로 나타났다. 한편, 바이오중유 평가시료 중 금속물질(Si, Al, Fe)이 많이 함유된 Fuel 5가 마모흔을 증가시켜 윤활성 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 바이오중유 평가시료(평균  $151 \mu\text{m}$ )는 B-C 연료( $128 \mu\text{m}$ ) 대비 낮은 윤활성을 나타내었는데, 이는 발전용 바이오중유가 지방산 물질로 구성되어 있어 B-C 연료 보다 파라핀, 방향족 성분 함량이 낮아 점도가 낮고, 산가가 높기 때문에 산성 성분에 의한 윤활막의 형성 저해에 따른 것으로 판단된다.

바이오중유 연료가 다양한 종류의 지방산 유지를 혼합하여 사용하므로 발전기 연료공급시스템의 마찰마모를 감소시킬 수 있도록 기존 B-C 연료 수준의 적정 윤활성을 유지할 필요가 있다. 따라서 적정 수준의 마찰마모 저감을 위해 윤활성을 증가시킬 수 있는 바이오중유의 원료로서 Oleo pitch, BD pitch를 60% 이상 함유할 경우 연료 제조 시 윤활성 증가가 예상된다.

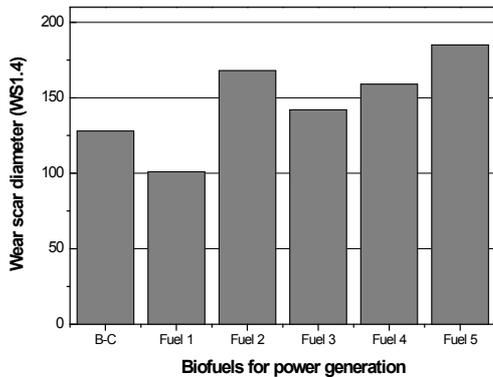


Fig. 6. Lubricity comparison of feedstocks in bio-heavy oil for power generation.

## 5. 결론

바이오중유란 동·식물성 유지, 지방산 메틸에스테르, 지방산 에틸에스테르 및 그 부산물을 혼합하여 제조된 제품이다. 이러한 바이오중유의 원료로 사용되는 성분들은 트리글리세라이드나 지방산 형태로 이루어져 적당한 윤활특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 바이오중유의 원료 조성 때문에 발전기 보일러로 이송되는 연료펌프, 유량펌프, 인젝터 등의 연료 공급시스템에서 마찰마모를 유발할 경우 심각한 피해를 초래 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 발전용 바이오중유의 다양한 원료들의 연료특성과 이에 따른 윤활성을 평가하고, 발전기의 마찰마모 저감을 위한 발전용 바이오중유의 연료 구성 방안을 제시하였다.

발전용 바이오중유 원료물질의 윤활성(HFRR 마모흔) 분석결과, 원료물질에 따라 차이가 있으나  $60\mu\text{m} \sim 214\mu\text{m}$  분포를 보이고 있다. 이중 윤활성이 좋은 순서는 oleo pitch > BD pitch > CNSL > Animal fat > RBDPO > PAO > Dark oil > Food waste oil이다. 바이오중유의 원료 물질 3종으로 구성된 바이오중유 평가시료 5종에 대한 윤활성은 평균  $151\mu\text{m}$ 이며,  $101\mu\text{m} \sim 185\mu\text{m}$  분포를 보이고 있다. 이중 윤활성이 좋은 순서는 Fuel 1 > Fuel 3 > Fuel 4 > Fuel 2 > Fuel 5이다. 바이오중유 평가시료(평균  $151\mu\text{m}$ )는 B-C 연료( $128\mu\text{m}$ ) 대비 낮은 윤활성을 나타내었는데, 이는 발전용 바이오중유가 지방산 물질로 구성되어 있어 B-C 연료보다 점도가 낮고, 산가가 높기 때문에 산성 성분에 의한 윤활

막의 형성 저해에 따른 것으로 판단된다.

따라서, 적정 수준의 마찰마모 저감을 위해 윤활성을 증가 시킬 수 있는 바이오중유의 원료로서 Oleo pitch, BD pitch를 60% 이상 함유할 경우 연료 제조 시 윤활성 증가가 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국중부발전, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국지역난방공사 및 한국석유관리원으로 구성된 「발전용 바이오 중유 상용화 연구 추진단」의 연구비 지원에 의하여 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. IEA, World Energy Outlook, International Energy Agency, (2017).
2. J. -K. Kim, E. S. Yim, C. S. Jung, "Study on comparison of global biofuels mandates policy in transport sector", *New & Renewable Energy*, Vol.7, pp. 18-29, (2011).
3. C. Felix, M. Emily, M. Jan, E. Ottmar, "Climate policy for road transport revised(I) : evaluation of the current frame work", *Energy policy*, Vol.39, pp. 2396-2406, (2011).
4. R. E. H. Sims, W. Mabee, K. N. Saddler, M. Raylor, "An overview of second generation biofuel technologies", *Bioresour. Technol*, Vol.101, pp. 1570-1580, (2010).
5. S. N. Naik, V. V. Goud, P. K. Rout, A. K Dalai, "Production of first and second generation biofuels : A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.14, pp. 578-597, (2010).
6. Notification on the pilot dissemination projects of biofuel for power generation, Notification No. 2016-226 of the Ministry of Trade, Industry & Energy.
7. J. H. Ha, "Demonstration project of bio-fuel oil in power plant-Current Status and problem", *K-Petro Magazine*, Vol.112,

- pp. 80–83, (2014).
8. <https://www.hawaiielectric.com/clean-energy-hawaii/clean-energy-facts/renewable-energy-sources/biofuels> (accessed on 15 November 2018).
  9. E. J. Jang, J. Y. Park, K. I. Min, E. S. Yim, J. H. Ha, B. H. Lee, A Study on the Quality Characteristics of Power Bio-Fuel Oil for Alternative Fuel oil, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.* Vol.31, No.4, pp. 564–569, (2014).
  10. J.-H. Ha, C.-H. Jeon, Y.-C. Kwon, “A Study on the Emission Characteristics for Blended Power Bio-Fuel Oil”, *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol.26, No.5, pp. 484–492, (2015).
  11. E. J. Jang, M. E. Lee, J. Y. Park, K. I. Min, E. S. Yim, J. H. Ha, B. H. Lee, “A Study on the Quality Characteristics of feedstocks for Power Bio-Fuel Oil”, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.* Vol.32, No.1, pp. 137–147, (2015).
  12. B. B. Ivana, J. S. Ivan, S. S. Olivera, B. Veljkovic, Y. Hung, “Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production”, *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol.132, 238–254, (2014).
  13. A. Ertan, C. Mustafa, S. Huseyin, “Biodiesel production from vegetable oil and waste animal fats in a pilot plant”, *Waste Management.* Vol.34, pp. 2146–2154, (2014).
  14. S. Mekhilef, S. Siga, R. Saidur, “A review on palm oil biodiesel as a source of renewable fuel”, *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol.15, pp. 1937–1949, (2011).
  15. J.-K. Kim, J.-Y. Park, “Fuel properties of various biodiesel derived vegetable oil”, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.* Vol.30, pp. 45–48, (2013).
  16. A. Z. Syahir, N. W. M. Zulkifli, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, A. Alabdulkarem, M. Gulzar, L. S. Khuong, M. H. Harith, “A review on bio-based lubricants and their applications”, *J. Clean. Prod.* Vol.168, pp. 997–1016, (2017).
  17. S. Jain, M. P. Sharma, “Stability of biodiesel and its blends: a review”, *Renew Sustain Energy Rev.* Vol.14, pp. 667–678, (2010).
  18. Z. Yaakob, Z. B. N. Narayanan, S. Padikkaparamil, K. S. Unnu, P. M. Akbar P, “A review on the oxidation stability of biodiesel”, *Renew Sustain. Energy Rev.* Vol.35, pp.136–153, (2014).
  19. G. Knothe, “Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters”, *Fuel Process Technol.* Vol.86, pp.1059–70, (2005).
  20. H. Fang, R. L. McCormick, “Spectroscopic study of biodiesel degradation pathways”, *SAE Technical Paper No. 2006-01-3300*, (2006).
  21. M. H. Mosarof, M. A. Kalam, H. H. Masjuki, A. Arslan, I. M. Monirul, A. M. Ruhul, S. A. Shahir and L. S. Khuong, “Analysis of thermal stability and lubrication characteristics of *Milletia pinnata* oil”, *RSC Adv.* Vol.6, pp. 81414–81425, (2016).
  22. H. A. Abdulbari, M. Y. Rosli, H. N. Abdurrahman, M. K. Nizam, M. “Lubricating grease from spent bleaching earth and waste cooking oil: tribology properties”, *Int. J. Phys. Sci.* Vol.6, pp. 4695–4699, (2011).
  23. A. Adhvaryu, S. Z. Erhan, J. M. Pere, “Tribological studies of thermally and chemically modified vegetable oils for use as environmentally friendly lubricants”, *Wear*, Vol.257, pp. 359–367, (2004).
  24. B. Bongfa, A. A. Peter, A. Barnaba, M. O. Adeotic, “Comparison of lubricant properties of castor oil and commercial engine oil”, *J. Tribol.* 5, 1–10, (2015).