

중유 대체연료로서 발전용 바이오중유의 품질특성 연구

장은정^{*,**} · 박조용^{*} · 민경일^{*} · 임의순^{*} · 하종한^{*} · 이봉희^{*,†}

^{*}한국석유관리원 석유기술연구소

^{**}충북대학교 화학공학과

(2014년 10월 2일 접수; 2014년 10월 30일 수정; 2014년 12월 15일 채택)

A Study on the Quality Characteristic of Power Bio-Fuel Oil for Alternative Fuel oil

Eun-Jung Jang^{*,**} · Jo-Yong Park^{*} · Kyung-il Min^{*} · Eui-Soon Yim^{*}
Jong-Han Ha^{*} · Bong-Hee Lee^{*,†}

^{*}Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,
Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea

^{**}Dept. of Chemical Engineering, Chungbuk National University,
Chungcheongbuk-do, 361-763, Korea

(Received October 2, 2014; Revised October 30, 2014; Accepted December 15, 2014)

요약 : 전 세계적으로 에너지원 다양화 및 온실가스 저감을 위한 다양한 신재생에너지 보급활성화 정책이 추진되고 있다. 국내에서도 500MW 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 신재생에너지 공급 의무화제도(Renewable Portfolio Standard(RPS))를 시행중이다. 발전사업자들은 의무공급량 이행을 위해 발전용 바이오중유를 사용하고 있다. 발전용 바이오중유란 동-식물성 유지, 지방산에스테르 및 그들의 혼합물로서 동점도, 유동점, 전산가 등의 품질특성을 만족해야 한다. 발전용 바이오중유는 원료물질에 의해 품질특성이 결정되었고, 중유와의 혼합비율이 증가할수록 유동점, 밀도, 황분 및 동점도는 감소하고 전산가, 요오드가, 산소함량은 증가하였다. 본 연구에서는 중유 대체연료로서의 발전용 바이오중유의 품질특성과 C 중유에 혼합 시, 혼합비율에 따른 물성 변화에 대해 검토하였다.

주제어 : 발전용 바이오중유, C 중유, 신재생에너지 공급의무화제도(RPS), 동-식물성 유지, 대체연료

Abstract : In these days, many countries carry out many renewable energy policies to increase the renewable energy portion and to reduce the GHG(Green House Gas). In Korea, RPS(Renewable Portfolio Standards) focused on over 500MW power producers is conducting. And they are using the bio-fuel oil to meet their RPS quota. The oil is a mixture of animal and vegetable fat or fatty acid ester of them and should satisfy some specifications to use the power generation such as viscosity, pour point, acid number. Depends on the raw materials, quality characteristics of power bio-fuel oil are changed. By adding the power bio-fuel oil, pour point, density, sulfur content and

[†]Corresponding author
(E-mail: bhlee@chungbuk.ac.kr)

viscosity are decreased and acid number, iodine number, oxygen content are increased. In this study, we test the quality characteristic of power bio-fuel oil and the property changes by the blending ratio of power bio-fuel oil & conventional fuel oil.

Keywords : Power bio-fuel oil, Fuel oil(B-C), Renewable Portfolio Standard(RPS), Animal and vegetable oil,

1. 서론

에너지 소비 증가에 따른 자원고갈 위기와 온실가스 배출 증가에 따른 자연 생태계 혼란으로 전 세계적으로 에너지원 다양화 및 온실가스 저감을 위한 신재생에너지 보급활성화 정책을 추진하고 있다. 대표적인 신재생에너지 보급활성화 정책으로는 발전부문에서의 신재생에너지 공급 의무화제도(Renewable Portfolio Standard(RPS)), 수송부문에서의 신재생에너지 연료 혼합의무화 제도(Renewable Fuel Standard(RFS)), 난방부문에서의 신재생열원 공급의무화 제도(Renewable Heat Obligation(RHO)) 등이 있다[1-6].

이 중, 신재생에너지 공급 의무화제도(RPS)란 일정규모(500MW) 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 총 발전량의 일정량 이상을 신재생에너지로 생산한 전력으로 공급하게 하는 의무화 제도이다. RPS제도 시행에 따라 발전사들이 의무공급량 이행을 위한 다양한 에너지원을 고려하면서 발전부문에서의 바이오연료 적용에 대한 검토가 이루어졌다[7].

선진 외국에서는 보일러 및 연소설비 제작자를 중심으로 바이오연료의 발전설비 적용을 위한 다양한 기술을 개발·적용시키고 있으며, 다양한 신재생연료에 대한 연소시스템 개발이 추진되고 있다. 핀란드의 선박용 엔진 및 산업용 발전설비 공급기업인 바르질라(Wartsila社)는 유지류를 디젤엔진 발전에 적용한 설비를 개발하여 자국과 이탈리아, 벨기에 등에서 실증 및 운영 중이다. 팜유, 유채유, 자트로파유 등 유지류 연료(Liquid Biofuels(LBF))에 대해 품질특성 등을 고려하여 적정 품질기준을 설정하고 일부 시설개조를 통해 디젤엔진 발전용으로 보급중이다[8]. 미국에서는 하와이 전기공사(Hawaiian Electric Company (HECO))가 카헤 발전소(Kahe Power Plant)에서 팜유 30 ~ 100% 혼합 중유에 대한 실증평가를 완료하여 연료 수급을 위한 품질기준 제정 및 운

영관리 하였으나 현재는 경제성 문제로 보급되지 않고 있다. 마우이 전기공사(Maui Electric Company)는 바이오디젤에 대해 마알라에아 발전소(Maalea Power Plant)에서 실증평가를 완료했으며, 현재는 셧다운(shutdown) 기간이나 기동유로 짧은 시간 가동하고 있다.

국내에서는 2012년부터 RPS제도가 시행되면서 발전부문에서의 바이오연료 보급필요성이 대두되어 발전용 바이오중유(bio-fuel oil)에 대한 검토가 시작되었다. 바이오중유는 온실가스 저감 효과까지 거둘 수 있는 신재생에너지로서 에너지 소비 세계 10위, 온실가스 배출량 세계 7위로 에너지의 97%를 해외에 의존하고 있는 열악한 국내 에너지 사정상 에너지 믹스를 보다 다양하게 가져갈 수 있는 이점이 있다.[7]

발전용 바이오중유 보급 관련 추진절차 및 품질기준(안) 등에 대한 정부 및 이해당사자간의 장기간 사전 협의를 통해 2013년 12월 ‘발전용 바이오중유 상용화 연구’ 추진단을 구성하였다. 추진단은 발전 5사(한국중부발전, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국지역난방공사)와 한국석유관리원으로 구성되어 있으며, 발전용 바이오중유 시범보급사업 운영관리와 상용화 법령개정(안) 마련을 위한 연구 사업을 동시에 2년 동안 진행하게 되었다.

2014년 1월부터 『발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시(산업부고시 2014-1호)』 및 『석유 및 석유대체연료 사업법』을 근거로 2년간 발전용 바이오중유 시범보급사업을 추진하고 있다. 현재 5개 발전사업자와 15개 생산업자가 산업통상자원부 장관으로부터 지정을 받아 시범보급사업을 수행 중이며, 2개 발전사업자는 바이오중유 원액을, 나머지 발전사업자들은 10~20%정도 중유에 혼합하여 발전용 연료로 사용 중이다. 발전사에서는 기존의 C중유를 바이오중유로 대체하여 생산하는 발전비율에 따라 가중치 1의 신재생에너지공급인증서(REC)를 획득하

게 된다[7].

국내에서 시범보급 되고 있는 발전용 바이오중유란 동·식물성 유지 원액이나 알코올을 유지와 반응시켜 만든 지방산에스테르, 또는 그 둘을 혼합·제조하여 품질기준에 맞게 생산한 연료를 말한다. Table 1과 같이 국내 발전용 바이오중유는 주로 팜 열매에서 추출된 기름 또는 착유공정 부산물인 팜 원유 및 팜 부산물 등과 동물성 유지 및 바이오디젤 또는 공정 부산물 등의 저가의 유지들이 원료로 사용되고 있다[8-18].

해외의 발전용 바이오연료 품질기준 사례 및 발전사업자와 생산업자 간의 의견조율을 거쳐 시범보급 고시에서 발전용 바이오중유의 품질기준을 설정하고 있다. 발전용 바이오중유는 탄화수소만으로 구성된 기존 중유와는 달리 원료특성상 트리글리세라이드, 지방산 등의 함산소 물질을 포함하고 있으며 점도와 발열량은 낮고 산가는 높으며 배출가스 저감장치 등에 영향을 주는 금속성분 등이 생산 및 유통공정 중에 혼합될 수 있다 [19-20].

이와 같이 중유 대비 발전용 바이오중유의 물성이 달라짐에 따라 연료의 산화 및 부식특성, 분무특성, 유동특성 및 연소특성 등도 다를 것으로 판단된다. 또한, 중유 대비 점도와 발열량이 낮으므로 발전용 바이오중유의 원액을 발전설비에 전소(全燒) 하려면 버너 팁이나 연료펌프 등 기존 설비 일부를 개조하고 운전변수를 조정해야 한다. 본 연구에서는 국내에서 중유 대체연료로서 생산된 발전용 바이오중유의 연료적 특성을 살펴보고자 한다. 또한, 발전용 바이오중유를 C중유에 10 부피%, 20 부피%, 50 부피%, 70 부피% 까지 혼합하여 국내 중유 대체연료로서의 품질특성을 분석하였다.

2. 실험

2.1. 실험시료

본 연구에 사용된 발전용 바이오중유는 국내 발전용 바이오중유 생산업체 3社에서 공급받았으

Table 1. Main materials of power bio-fuel oil

Palm oil series	Biodiesel series	Animal and vegetable oil series
Crude palm oil(CPO)	Biodiesel(BD100)	Tallow
Refined bleach deodorized palm oil (RBDPO)	Biodiesel pitch	Lard
Palm fatty acid distillate(PFAD)		Cashew nut shell liquid (CNSL)
Refined bleach deodorized stearin (Palm stearin)		
Palm acid oil(PAO)		

Table 2. Main materials of test sample

Plant bio-fuel oil(A)	Plant bio-fuel oil(B)	Plant bio-fuel oil(C)
Biodiesel pitch (50~70%)	Biodiesel pitch (10~30%)	Biodiesel pitch (15~30%)
Palm acid oil (10~20%)	Animal oil (10~20%)	Palm acid oil (10~20%)
Fatty acid methyl ester (10~20%)	Crude palm oil (30~60%)	Cashew nut shell liquid (30~50%)

며, C중유는 정유사에서 공급받았다. 또한, C중유에 바이오중유를 비율(10, 20, 30, 50, 70 부피%) 별로 혼합하여 품질 특성을 분석하였다.

2.2. 실험 장치 및 시험 방법

발전용 바이오중유 원액에 대한 연료적 품질특성에 대한 분석은 Table 3와 같이 시범보급고시에 제시된 국내 발전용 바이오중유 품질기준 20

개 항목을 분석하였다. 연료의 구성 원소(C, H, O) 분석을 위하여 원소분석기(Thermo社의 FLASH2000)를 적용하였으며, 분석조건은 Table 4와 같다. 또한, 바이오중유 혼합에 따른 연료조성 변화를 평가하기 위하여 적외선 분광광도계(Thermo社의 Nicolet 6700)를 적용하였다.

Table 3. The Quality standard and test method of power bio-fuel oil

Property	Limit	Test method	
Flash point (°C)	min. 70	KS M ISO 2592	
Viscosity (40°C, mm ² /s)	20 ~ 100	KS M ISO 3104	
Carbon residue (wt.%)	max. 10	KS M ISO 10370	
Sulfur (wt.%)	max. 0.1	KS M ISO 8754	
Ash (wt.%)	max. 0.10	KS M ISO 6245	
Copper strip corrosion (50°C, 3h)	max. 1b	KS M ISO 2160	
Pour point (°C)	max. 27.5	KS M 2016	
Density (15°C, kg/m ³)	max. 991	KS M 2002	
Water (wt.%)	max. 0.20	KS M 0010	
Acid number (mg KOH/g)	max. 25	KS M ISO 6618	
Alkali metal (mg/kg)	Na	max. 70	AAS
	Ca	max. 30	AAS
	K	max. 70	AAS
Iodine number (g/100g)	max. 120	EN 14111	
Nitrogen (wt.%)	max. 0.3	KS M 2112	
Vanadium(V) (mg/kg)	max. 50	ICP	
Gross heating value (kcal/kg)	min. 9,000	KS M 2057	
Water and sediment (vol.%)	max. 0.5	KS M ISO 9030	
Si + Al + Fe (mg/kg)	max. 200	ICP	
Phosphorus(P) (mg/kg)	max. 100	ICP	

Table 4. Element analyzer conditions

item	C, H analysis	O analysis
Furnace temp. (°C)	L : 900, R : 680	1060
Oven temp. (°C)	75	65
Carrier flow (mL/min)	140	130
Reference flow (mL/min)	100	100
Detector	TCD	TCD

3. 결과 및 고찰

3.1. 발전용 바이오중유의 품질특성

발전용 바이오중유는 Table 5에서 보는 바와 같이 『발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시(산업부고시 2014-1호)』 상의 품질기준에 준하여 품질평가를 하였으며, 『석유 및 석유대체연료 사업법』 상의 C중유 품질기준 중 발전용 바이오중유 품질기준에 포함되지 않은 50°C에서의 동점도를 추가로 평가하였다.

주로 동식물성 유지의 원액이나 지방산 에스테르 등으로 구성되어 있는 발전용 바이오중유는 원유의 정제과정 중의 증류잔유물인 C중유 대비 인화점(flash point)이 높았으며, 원료물질 중 동물성유지의 혼합비율이 높은 B 시료의 인화점이

더 높게 나타났다. 인화점은 유지를 가열하여 유증기에 불꽃을 접근시켰을 때 발화하는 최소 온도로서 동물성유지의 경우 일반적으로 285°C 이상으로 동물성유지 혼합비율이 높은 발전용 바이오중유가 인화점이 높다. 반면, 지방산에스테르는 순수 동식물성 유지 대비 낮은 인화점이 낮으므로, 혼합비율이 증가할수록 인화점이 낮아진다. 인화점은 연료의 수송 및 저장과정에서의 안정성과 관계된 품질기준 항목으로 인화점이 너무 낮으면 화재의 위험이 있다. 따라서 현 고시 상에서는 발전용 바이오중유의 인화점을 C중유와 동일하게 70°C이상으로 규정하고 있다.

동점도(viscosity)는 유체의 끈끈한 정도를 나타내는 물리적 특성으로 증력 하에서 유체의 흐름에 대한 저항으로 표현된다. 동점도는 연료의 분

Table 5. The physicochemical characteristics of fuel oil and power bio-fuel oil

Property	Fuel oil (B-C)	Power bio-fuel oil			
		A	B	C	
Flash point (°C)	164.0	182.0	252.0	174.0	
Viscosity @40°C (mm ² /s)	147.20	21.43	81.31	25.24	
Viscosity @50°C (mm ² /s)	86.67	15.72	72.17	16.36	
Carbon residue (wt.%)	5.43	0.11	0.86	0.86	
Sulfur (wt.%)	0.218	0.005	0.006	0.018	
Ash (wt.%)	0.007	0.039	0.003	0.020	
Copper corrosion (50°C, 3h)	1a	1a	1a	1a	
Pour point (°C)	25.0	12.5	7.5	0.0	
Density (15°C, kg/m ³)	932.7	908.9	947.7	915.2	
Water (wt.%)	0.188	0.162	0.190	0.193	
Acid number (mg KOH/g)	1.0	22.7	1.4	23.2	
Alkali metal (mg/kg)	Na	9	27	15	13
	Ca	8	12	1	2
	K	11	8	2	6
Iodine number (g/100g)	38	63	99	94	
Nitrogen (wt.%)	0.12	0.01	0.05	0.03	
Vanadium(V) (mg/kg)	3.052	0.058	0.148	0.152	
Gross Heating value (kcal/kg)	10,630	9,470	9,290	9,460	
Water and sediment (vol.%)	0.035	0.085	0.010	0.100	
Si + Al + Fe (mg/kg)	30	83	3	146	
Phosphorus(P) (mg/kg)	20	6	10	5	
Element contents (wt.%)	C	85.85	77.31	78.04	78.25
	H	12.46	12.30	11.78	12.12
	O	0.84	9.76	10.21	9.49

무성에 관련된 항목으로 점도가 너무 높으면 분무입자가 커져 불안전연소가 되기 쉽고, 점도가 너무 낮으면 펌프 및 분무노즐이 마모되거나 펌핑 불량률의 원인이 된다. 발전용 바이오중유의 동점도는 C중유 대비 낮게 측정되었으므로, 기존의 고점도 중유 연소설비에 적용 시 낮은 점도에 의한 펌핑 불량 및 분무패턴 변경 등이 우려된다. 따라서 발전용 바이오중유를 중유 연소설비에 적용할 경우 버너팁이나 연료펌프 등 일부설비의 개조와 분무조건 최적화가 필요하다. 동점도는 탄화수소의 탄소수가 증가할수록, 포화 탄화수소일수록 증가한다. 일반적으로 동물성 유지는 식물성 유지 대비 포화지방산 함량이 높으며, Table 5에서도 동물성유지 혼합비율이 높은 B시료가 높은 동점도를 나타내었다.

전산가(acid number)란 시료 1g 중에 함유되어 있는 산성 성분을 적정하는데 소요되는 염기의 수량으로 시료 1g 당 수산화칼륨의 mg 단위로 표시되므로 전산가가 크면 산화된 물질이 많다는 것을 의미한다. 발전용 바이오중유는 경제성 확보를 위해 저가의 고산가 유지나 공정부산물 등을 원료로 사용하기 때문에 C 중유 대비 전산가가 높았는데, 특히 고산가의 팜 산유(PAO)가 혼합된 바이오중유(A, C) 일수록 높은 산가를 나타내었다.

유동점(pour point) 시료가 유동하는 최저온도로 오일이 유동하지 않는 응고점보다 2.5°C 높은 온도를 말한다. 연료의 온도가 어느 온도이하로 떨어지면 굳어져 흐르지 않게 되어 저장, 수송, 취급에 지장을 주게 되는데 이 온도를 유동점이라고 한다. 일반적으로 발전용 바이오중유의 원료 물질들의 유동점은 0°C 이상으로 높은 편이나, 캐슈넛껍질오일(CNSL)은 예외이다. 캐슈넛껍질오일은 아나카르드산(anacardic acid), 카다놀(cardanol), 카르돌(cardol)과 같은 방향족 탄화수소가 주성분으로서, 포화 및 불포화 지방산으로 구성되어 있는 동식물성 유지 대비 유동점이 -5°C로 매우 낮다. 또한, 팜유로부터 나오는 다른 부산물에 비해서도 상당히 낮은 유동점을 가진다. Table 5에서도 캐슈넛껍질오일(CNSL)이 혼합된 바이오중유(C)의 유동점이 타 바이오중유(A, B) 대비 낮게 나타났다.

바이오중유의 금속분 함량(알칼리금속, 바나듐, Si+Al+Fe, 인)은 원료조성에 따라 다양한데, 팜산유(PAO)나 캐슈넛껍질오일(CNSL), 바이오디젤 피치(Biodiesel pitch)와 같은 저가의 유지들은 별

도의 금속분 제거 공정 없이 생산되거나 제조 공정상에서 금속분들이 혼합될 수 있기 때문에 원료물질로 사용한 경우(A, C)의 금속분 함량이 다소 높게 측정되었다. 연료 중의 알칼리금속 및 토금속 성분들은 회분(ash) 등을 생성시켜 연소기관 내에 침전물(deposit)을 형성시키거나 탈질설비 중 선택적 촉매환원장치(SCR, Selective Catalytic Reduction)의 촉매를 피독시키며, 특히 나트륨과 칼륨은 이온화 경향이 큰 금속분으로 연료 내 함량이 높은 경우 연소실 내 부식을 발생시킬 수 있다. 바나듐 및 실리콘, 알루미늄, 철도 연소실 내 부식이나 기기마모를 유발할 수 있으므로 엄격한 관리가 필요하다.

발전용 바이오중유 중의 인(P)은 주로 원료인 유지 중의 인지질에서 유래되는데, 동물성유지 함량이 높을수록 인 함량은 더욱 높아진다. 인 역시 탈질설비의 촉매를 피독시키거나 검질을 형성하여 연료분사노즐을 막히게 하는 원인이 될 수 있으므로 탈 검(gum)공정 등을 통해 품질기준 이하로 제거해야 한다. 바이오중유 B는 동물성유지를 원료로 사용했으나 탈 검 공정을 거쳤으므로 인 함량이 낮게 측정되었다.

연료별 원소함량을 살펴보면 바이오매스로부터 생산된 발전용 바이오중유는 화석연료인 C중유 대비 산소함량이 높아 연소성은 좋으나 중유 대비 쉽게 산화될 수 있으며, 탄소, 수소 함량은 낮으므로 발열량은 10% 정도 낮게 나타났다. 또한, C 중유 대비 황 및 질소 함량이 적어서 연소에 의한 황산화물(SOx) 및 질소산화물(NOx) 등의 배출가스 저감효과가 있다.

3.2. 발전용 바이오중유 혼합비율에 따른 품질 특성

발전용 바이오중유를 C중유에 비율별(10, 20, 30, 50, 70 부피%)로 혼합하여 국내 C중유 품질 기준을 만족하는지에 대한 품질 분석결과를 Table 6에 나타내었다. C중유 품질기준(인화점, 점도, 물과 침전물, 황 함량) 외에 몇 가지 주요 항목에 대해서도 분석하였다. 발전용 바이오중유는 신규 도입된 중유 대체연료로서 오랜 기간 품질이 최적화 되어 있는 중유 대비 다양한 항목에 대해 엄격하게 품질관리 되고 있으므로 발전용 바이오중유 100 부피%까지 『석유 및 석유대체 연료 사업법』 상의 C중유 품질기준을 모두 만족하였다.

Table 6. The physicochemical characteristics of power bio-fuel oil blends

Property	Fuel oil	Blend ratio of power bio-fuel oil					Power bio-fuel oil(A)	
		10%	20%	30%	50%	70%		
Flash point (°C)	164.0	166.0	168.0	170.0	172.0	176.0	182.0	
Viscosity @40°C (mm ² /s)	147.20	116.90	95.49	67.86	48.08	32.54	21.43	
Viscosity @50°C (mm ² /s)	86.67	65.79	52.22	42.59	29.30	21.01	15.72	
Water and sediment (vol.%)	0.06	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	
Sulfur (wt.%)	0.218	0.204	0.181	0.160	0.115	0.072	0.005	
Pour point (°C)	31.0	30.0	28.0	26.0	23.0	16.0	12.0	
Density @15°C (kg/m ³)	932.7	921.2	919.7	918.7	915.7	912.0	908.9	
Water (wt.%)	0.035	0.038	0.048	0.069	0.091	0.123	0.146	
Acid number (mg KOH/g)	1.0	6.4	9.9	11.6	14.2	17.2	22.7	
Iodine number (g/100g)	38	39	42	46	52	56	63	
Gross heating value (kcal/kg)	10,630	10,540	10,370	10,280	10,040	9,800	9,470	
Net heating value (kcal/kg)	9,960	9,870	9,700	9,610	9,370	9,140	8,800	
Element contents (wt.%)	C	85.85	85.59	84.22	83.69	82.91	80.48	77.31
	H	12.46	12.43	12.40	12.38	12.36	12.31	12.30
	O	0.84	2.66	2.89	3.45	5.24	7.56	9.76
	N	0.18	0.16	0.15	0.13	0.10	0.06	0.01

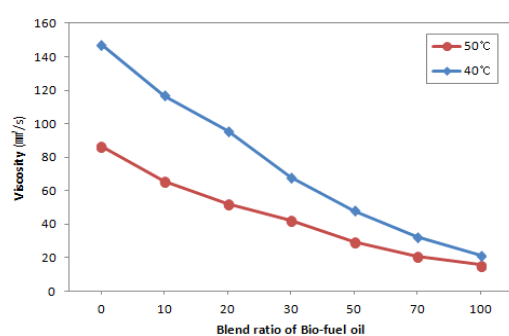


Fig. 1. The comparison of viscosity of power bio-fuel oil blends.

연료의 분무특성과 관계있는 동점도는 발전용 바이오중유 혼합량이 증가할수록 감소하였다(Fig.

1). C중유와 바이오중유 원액의 동점도 차이가 커서, 바이오중유를 30%만 혼합하여도 동점도는 절반 이하로 급감하였다. C중유의 경우, 송유 시에는 50 ~ 60°C로 가열하여 200 ~ 800 mm²/s, 분무 시에는 80°C 이상으로 가열하여 20 ~ 40 mm²/s의 동점도를 유지하여 발전용으로 사용하고 있다. 앞에서 언급했듯이 동점도가 너무 높게 되면 연료의 이송과 장치에 무리가 가게 되며 너무 낮은 경우에는 이상적인 분무가 되지 않아 연소 효율이 낮아질 수 있다. 따라서 기존 발전설비의 변경 없이 발전용 바이오중유를 사용하기 위해서는 적정 분무점도 범위인 20 ~ 40 mm²/s가 유지 되도록 혼합비율과 연료온도를 조절해야 한다.

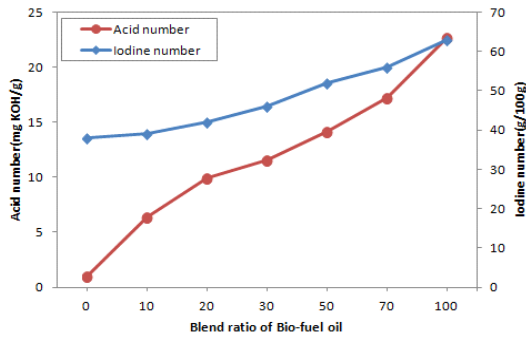


Fig. 2. The comparison of acid and iodine number of power bio-fuel oil blends.

전산가와 요오드가는 발전용 바이오중유 혼합량이 증가할수록 증가하였다(Fig. 2). 전산가가 증가할수록 연료 중의 산성 성분이 저장탱크 및 연료라인의 금속 및 고무재질에 부식을 유발시킬 위험이 커지며, 요오드가가 증가할수록 연료 중에 이중결합을 포함한 불포화 지방산의 함량이 높으므로 쉽게 산화되어 전산가를 향상시키고 검질 등의 산화 생성물을 형성시켜 연료흐름을 저해할 수 있다. 따라서 기존 중유 설비에 발전용 바이오중유 혼합연료를 안정적으로 사용하기 위해서는 적정 수준의 전산가 및 요오드가 관리가 필요하다.

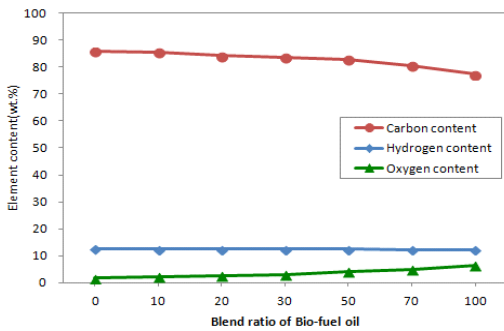


Fig. 3. The comparison of element content of power bio-fuel oil blends.

원소분석 결과를 살펴보면, 발전용 바이오중유 혼합량이 증가할수록 카르복시기(-COOH)를 가진 지방산 함량이 증가하므로 탄소, 수소 함량은 낮아지고 산소함량은 증가한다(Fig. 3). 탄소는 연료의 고유성분으로 발열량이 7,830kcal/kg 이며, 수소는 연료의 주요성분으로 발열량이

33,890kcal/kg으로 매우 높으나, 산소는 조연성 물질로 탄소나 수소와 결합하여 발열량을 감소시킨다. 따라서 발전용 바이오중유의 혼합량이 증가할수록 산소함량이 증가하여 발열량은 감소한다(Fig. 4).

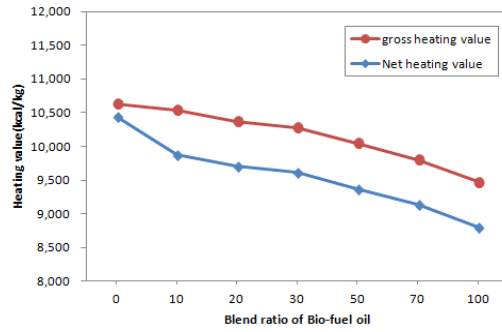


Fig. 4. The comparison of gross heating value of power bio-fuel oil blends.

바이오매스의 황 및 질소함량은 매우 낮기 때문에 발전용 바이오중유 혼합량이 증가할수록 황 및 질소 함량은 혼합비를 만큼 감소하였다. C중유 연소 시 배출가스의 환경 규제치 이하 운전을 위해서는 탈황 및 탈질설비를 가동해야 하나 발전용 바이오중유를 혼합사용 할 경우 황산화물(SOx) 및 질소산화물(NOx) 배출량은 크게 감소하며 바이오중유 100% 사용 시 탈황 및 탈질설비 가동 없이 환경 규제치 이하로 운전할 수 있어 경제적인 효과를 얻을 수 있다.

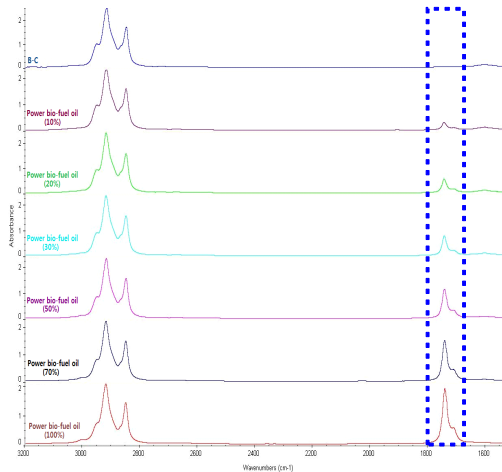


Fig. 5. The IR spectrum of power bio-fuel oil blends.

발전용 바이오중유 혼합량에 따른 연료의 FT-IR 분광결과를 Fig. 5에 나타내었다. 동·식물성유지의 주성분인 트리글리세라이드(triglyceride)는 주로 Palmitic acid(C_{16:0}), Stearic Acid(C_{18:0}), Oleic Acid(C_{18:1}), Linoleic Acid(C_{18:2}) 등과 같이 탄소수 16개에서 18개의 지방산 3분자가 결합되어 있으므로, C중유와 비교했을 때, 바이오중유는 1690~1760 cm⁻¹ 사이에 영역에서 C=O 피크가 나타났다. 발전용 바이오중유의 혼합량이 증가할수록 피크 강도도 선형적으로 증가하므로 석유제품 중의 발전용 바이오중유 정량·정성 분석이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 신재생에너지 공급 의무화제도(RPS)와 관련하여 의무공급량 이행방안으로 시범 보급 중인 발전용 바이오중유 원액 및 C중유 혼합 연료에 대하여 중유 대체연료로서의 품질특성을 평가하였다. 발전용 바이오중유는 팜유계열 유지 및 부산물, 동·식물성유지, 바이오디젤 또는 공정 부산물 등의 다양한 원료를 사용하며 그 함량에 따라 물성이 변하므로 품질기준에 맞는 원료의 혼합이 중요하다. 동·식물성 유지로부터 생산된 발전용 바이오중유는 C중유 대비 황분 및 질소함량이 매우 낮아 황산화물(SO_x)과 질소산화물(NO_x) 등 배출가스 저감효과가 클 것으로 생각되지만, 전산가가 높고 점도는 낮으며 산소함량이 높아 발열량도 낮기 때문에 기존 C중유 연소설비에 그대로 적용할 경우 펌핑 불량 및 분무패턴 변경 등이 우려된다. 따라서 발전용 바이오중유 원액 및 혼합연료를 기존 C중유 연소설비에 적용할 경우 버너 텃이나 연료펌프 등 일부 설비의 개조나 연료유량 등 분무조건 최적화, 금속재질에 대한 부식성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국중부발전, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국지역난방공사, 한국석유관리원으로 구성된 「발전용 바이오중유 상용화 연구 추진단」의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. J. K. Kim, E. S. Yim and C. S. Jung, Study on comparison of global biofuels mandates policy in transport sector, *New & Renewable Energy*, 7, 18 (2011).
2. C. Felix, M. Emily, M. Jan and E. Ottmar. Climate policies for road transport revised(I) : evaluation of the current frame work, *Energy policy*, 39, 2396(2011)
3. R. E. H. Sims, W. Mabee, K. N. Saddler and M. Raylor, An overviews of second generation biofuel technologies, *Bioresour. Technol*, 101, 1570 (2010)
4. S. K. Hoekman, Biofuels in the US.- challenge and opportunities, *Renewable Energy*, 34, 14 (2010)
5. S. N. Naik, V. V. Goud, P. K. Rout and A. K Dalai, Production of first and second generation biofuels : A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 578 (2010)
6. J. K. Kim, E. S. Yim, C. H. Jeon, C. S. Jung and B. G. Han , *Int. J. Automotives, Technology*, 13, 293 (2011)
7. J. H. Ha, "Demonstration project of bio-fuel oil in power plant - Current Status and problem", *KPetro Manage.*, 112, 80-83(2014).
8. McKendry P, Bioresource technology, Energy production from biomass(part 2) : conversion technologies, UK 2002
9. Demirbas A, Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, *Energy Conversion and Management*, 42, 1357-1378 (2001)
10. Anders Annger, Robert G, Graham, Liquid biofuel for diesel power production : A Techno-economic assessment, *Biomass for Energy and the Environment*, 1614-1619 (1996)
11. Liisa Saikkonen, Markku Ollikainenm Jussi Lankoski, Import palm oil for biofuels in the EU : Profitability, greenhouse gas emissions and social selfare effects, *Biomass*

- and Bioenergy, 68, 7–23 (2014)
12. Ishani Mukherjee, Benjamin K. Sovacool, Palm oil-based biofuels and sustainability in southeast Asia : A review of Indonesia, Malaysia, and Thailand, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 1–12 (2014)
 13. S.M. van Ruth, M.Rozijn, A. Koot, R.Perez Garcia, H. van der Kamp, R. Codony, Authentication of feeding fats : Classification of animal fats, fish oils and recycled cooking oils, *Animal Feed Science and Technology*, 155, 65–73 (2010)
 14. Ivana B. Bankobic-ilic, Ivan J. Stojkovic, Olicera S, Stamenkovic, Vlada B. Veljkovic, Yung-Tse Hung, Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 238–254 (2014)
 15. J.M. Encinar, N. Sanchez, G. Martinez, L. Garcia, Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content, *Bioresource Technology*, 102, 10907–10914 (2011)
 16. A. Velmurugan, M. Loganathan, e. James Gunasekaran, Experimental investigations on combustion, performance and emission characteristics of thermal cracked cashew nut shell liquid(TC-CNSL)-diesel blends in a diesel engine, *Fuel*, 132, 26–245 (2014)
 17. Shilpa Kammaradi Sanjeeva, Mitchell Preetham Pinto, Manoj Mulakkapurath Narayanan, Gopalakrishan Managalore Kini, Chandrasekhar Bhaskaran Nair, P.V. SubbaRao, Phani Kumar Pullela, Siva Ramamoorthy, Colin J. Barrow, Distilled technical cashew nut shell liquid (DT-CNSL) as an effective biofuel and additive to stabilize triglyceride biofuels in diesel, *Renewable Energy*, 71, 81–88 (2014)
 18. Piyali Das, Anuradda Ganesh, Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shell—a near fuel, *Biomass and Bioenergy*, 25, 113–117 (2003)
 19. Hans Jensen-Holm, Fransesco Castellino, T. Nathan White, SCR DeNOx catalyst considerations when using biomass in power generation, Haldor Topsoe, www.topsoe.dk
 20. Siva Sankar Reddy Putluru, Steffen Buus Iristensen, Johannes Due-Hansen, Anders Riisager, Rasmus Fehrmann, Alternative alkali resistant deNOx Catalysts, *Catalysis Today*, 184, 192–196 (2012)