

발전용 바이오중유의 혼합비율에 따른 배출가스 특성 연구

하종한^{1,2} · 전철환¹ · 권용재^{2†}

¹한국석유관리원 석유기술연구소, ²서울과학기술대학교 에너지환경대학원 신에너지공학과

A Study on the Emission Characteristics for Blended Power Bio-Fuel Oil

JONG-HAN HA^{1,2}, CHEOL-HWAN JEON¹, YONG-CHAI KWON^{2†}

¹Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,
Chungcheongbuk-do, 28115, Korea

²Department of Chemical Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro,
Nowon-gu, Seoul, 01811, Korea

Abstract >> As our government is actively introducing the RPS (Renewable Portfolio Standards) as a national renewable energy obligation policy, power producers are using the various renewable energy to meet the RPS supply quota since 2012. Recently, it is applying to use power bio-fuel oil in bio-fuel oil demonstration project with power companies. In general, power bio-fuel oils are composed of mixture products of vegetable oil, animal fat, fatty acid ester and waste oil. It is already developing for a power plant as a renewable energy abroad. In Korea, it is studying a 100% combustion and blended combustion of heavy fuel oil and bio-fuel oil. In this study, we investigated fuel characteristics of mixed power bio-fuel oil and its emission performance. Especially, it was reduced emissions of bio-oil in industrial boilers due to bio-fuel properties as compare with fuel oil.

Key words : Power bio-fuel oil(바이오중유), Renewable Portfolio Standard(RPS)(신재생에너지 공급 의무화제도), Feedstock(원료물질), Palm oil(팜유), Animal and vegetable oil(동식물성 유지)

1. 서 론

2012년부터 시행된 신재생에너지 공급의무화제도(RPS, Renewable Portfolio Standard)는 일정규모(500 MW) 이상의 발전 설비를 보유한 사업자가 총 발전량의 일정량 이상을 신재생에너지로 공급하는 것을 의무화한 제도이다. 이에 발전사에서는 RPS 의무공급량 이행을 위해 다양한 에너지원을 활용하고 있으며 그 가운데 바이오중유의 도입도 활발히 검토되고

있다. 발전용 바이오중유는 시범보급사업 추진에 관한 고시(산업부고시 2014-1호)가 2014년 1월에 공포되어 관련된 연구와 시범보급 사업이 이미 진행되고 있다¹⁾. 바이오중유는 신재생에너지로서 발전사에서는 기존의 중유를 바이오중유로 일부 대체하여 생산하는 발전 비율에 따라 신재생 에너지 공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate)를 받게 된다.

바이오중유는 식물성 또는 동물성 유지와 지방산 에스테르 및 부산물 등을 혼합하여 생산한 제품이다. 주요 원료 물질은 팜 오일 계통으로 팜 열매에서 착유한 팜 원유(CPO), 팜 원유를 물리적으로 탈검, 탈색, 탈취하여 정제한 정제 팜유(RBDPO), 팜 지방산

[†]Corresponding author : kwony@seoultech.ac.kr

Received : 2015.10.6 in revised form : 2015.10.22 Accepted : 2015.10.30

Copyright © 2015 KHNES

(PFAD), 정제 팜유의 저온 분리공정을 통해 생산한 팜 스테아린, 팜 원유의 화학적 정제과정 중의 탈검 및 염기 중화 후 분리된 비누분을 산처리 한 팜 산유 (PAO)가 사용된다. Table 1에 바이오중유의 원료 물질을 나타내었다²⁻⁵⁾.

발전용 바이오중유 시범보급 사업은 발전용 바이오중유 상용화 연구 추진단이 구성되면서 시작되어 발전용 바이오중유 상용화 기반 마련 연구를 통하여 시범보급과 법령개정안을 마련하며, 발전용 바이오중유 발전소 적용 기술 개발 연구를 통하여 발전 설비 영향성 평가 및 운전 가이드 등을 개발하는 것이 세부 연구 사업으로 추진된다. 연구추진단은 한국중부발전, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국지역난방공사 등 5개사로 구성되며 연구수행은 한국석유관리원과 한전전력연구원이 전담한다²⁾.

해외에서도 이미 바이오 연료의 발전 설비 적용을 위한 기술을 개발하고 있다. 예를 들면 미국 HECO (Hawaiian Electric Company)사는 팜유를 이용하여 Kahe Power Plant에서 30~100% 혼합 연료에 대한 실증평가를 완료하였는데 전반적인 환경 특성이 온소율 증가에 따라 양호하게 개선되는 것으로 평가되었으며, 핀란드 바르질라(Wartsila)사는 팜유나 유채유 등의 바이오 연료를 일부 설비를 개조한 디젤 엔진 발전용으로 활용하고 있다.

정부는 최근, 12월 출범 예정인 新기후체제를 앞두고 국가 온실가스 감축 목표를 2030년 배출전망치

(BAU, Business as usual) 대비 37%로 적극적인 목표를 정하였다. 국제적인 책임과 에너지 신산업 혁신의 기회로 이를 적극 활용한다는 계획인 것이다. 또한, 2014년에 발표한 제2차 에너지기본계획에서는 신재생에너지 보급목표를 2035년까지 11%로 설정하였고, 같은 해 발표된 제4차 신재생에너지 기본계획은 신재생에너지 연료 혼합 의무화 제도(RFS) 추진을 위한 바이오디젤의 혼합의무비율 로드맵을 설정하였다. 이와 같이 신재생에너지 연료의 중요성은 점차 증가되고 있어, 정책 목표 수용을 위한 적극적인 연구와 노력이 수반되어야 한다.

본 연구에서는 중유와 바이오중유 100%, 또한 중유에 바이오중유를 10%, 30%, 50% 혼합한 연료의 품질 특성과 산업용 보일러에서의 연소 후 배출되는 배출가스의 특성을 비교 연구하였다.

2. 실 험

2.1 평가용 연료 및 품질분석

평가용 연료는 발전사에서 사용하고 있는 황 함량 0.3 무게% 이하의 규격 제품인 석유계 중유(B-C유)와 발전용 바이오중유를 평가용 연료로 정하였다. 중유와 발전용 바이오중유의 연료 성분 구성은 Table 2와 같다.

평가용 연료에 대한 품질 분석은 발전용 바이오중유 시범보급 고시 상의 품질 기준 전 항목에 대하여 Table 3의 국내외 표준 시험방법을 적용하여 분석하였다. 그 외 보일러 연소효율과 밀접한 관계가 있는 발열량과 탄소 등의 원소분석(C, H, O)은 원소분석

Table 1 The raw materials of bio fuel oil

Palm Oil based	<ul style="list-style-type: none"> • Crude Palm Oil(CPO) • Refined Bleach Deodorized Palm Oil(RBDPO) • Palm Fatty Acid Distillate(PFAD) • Refined Bleach Deodorized Stearin (Palm Stearin) • Palm Acid Oil(PAO)
Biodiesel based	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiesel(BD100) • Biodiesel Pitch(BD Pitch)
Animal oil based	<ul style="list-style-type: none"> • Tallow • Lard

Table 2 Main materials of test sample

Fuel oil	B-C(sulfur 0.3%)
Power bio-fuel oil	<ul style="list-style-type: none"> • Palm oil(40~45%) • Animal oil(15~20%) • Free Fatty Acid(20~25%) • Biodiesel pitch(15~20%)

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	

기(Thermo社의 FLASH2000)를 이용하여 추가로 분석하였다³⁻⁵⁾.

2.2 평가용 보일러

평가용 보일러는 시간당 수증기 발생량이 3 톤인 노통연관식 보일러(한신보일러사, HNP 705)를 사용하였으며 Table 4에 보일러 제원을 나타내었다. 보일러의 버너는 수평 로터리식 버너(홍국공업주식회사, RBS-2.5)로서 용량은 2,500×10³ kcal/h이다.

본 연구에서는 증유 및 혼합 바이오증유가 보일러에서 연소될 때 배출되는 배출가스의 농도 변화를 조사하였다. 배출가스 분석 시험은 대기오염공정시험기준에 준하여 대기환경보전법 시행규칙 별표 8의 ‘일반보일러’에 대한 대기오염물질의 배출허용기준에 명시된 먼지, 황산화물(SO₂) 및 질소산화물(NO₂)

Table 4 Specifications of test boiler

Item	Unit	Specification(Type)
Boiler Type	-	Horizontal Cylinder
Combustion Gas Flow	-	3 Pass Type
Draft System	-	Forced Draft
Burner Type	-	Rotary Type
Forced Draft Fan	-	Turbo Fan Type
Capacity (Steam Generation)	kg/h	3,000
Heat Transfer Area	m ²	54.5
Maximum Steam Pressure	kg/cm ²	10
Oil Consumption (Heavy Oil, B-C)	kg/h	25 ~ 250
Boiler Drum Full Capacity	kg	6,420
Force Draft Fan Capacity	m ³ /h	60
Boiler Weight	kg	9,600
Stack Diameter	mm	600

과 일산화탄소, 이산화탄소를 추가적으로 측정하였다⁵⁾.

2.3 보일러 운전조건

시험에 사용된 중유와 바이오중유는 원활한 연료 공급을 위해 서비스 탱크에서 약 90°C 정도로 가온하여 평가용 보일러에 공급하였다. 보일러의 부하율은 50%로 설정하였는데 이는 시간당 3 톤의 수증기를 발생시킬 수 있는 보일러가 시간당 1.5 톤의 수증기를 발생시킬 수 있게 연료를 공급하여 연소시키는 조건이다. 발생한 수증기량은 무게를 측정하기가 용이하지 않기 때문에 공급된 보일러수의 양으로 부하율을 측정하였다. 이때 수증기는 모두 대기 중으로 방출하여 보일러를 연속적으로 운전하였다. 소모된 중유와 혼합 바이오중유의 연료량과 실제 부하율을 Table 5에 나타내었으며, 보일러가 안정화되었을 때의 보일러 작동조건을 Fig. 1에 나타내었다.

Table 5 Amount of steam generation per hour and actual load

	Oil Consumption(L/h)	Steam Generation(kg/h)	Actual Load(%)
B-C	129.4	1.500	50.0
Bio Oil (10%)	135.8	1.560	52.0
Bio Oil (30%)	135.7	1.509	50.3
Bio Oil (50%)	138.7	1.509	50.3
Bio Oil (100%)	152.8	1.518	50.6

2.4 배출가스 중의 먼지 농도 측정

보일러 배출가스 중의 먼지 농도는 대기환경보전법에 따른 대기오염공정시험기준에 의해 측정하였다. 먼지는 연료가 연소할 때 배출가스 중에 포함되어 있는 액체나 고체 상태의 입자상 물질(Particulate matter)이며 수분을 제거한 것으로서 먼지 농도는 표준상태(0°C, 760 mmHg)의 건조 배출가스 1 Sm³ 중에 포함된 먼지의 중량(mg)으로 표시된다. 본 연구에서의 배출가스 먼지 포집은 반자동식 채취기에 의한 방법을 사용하였다. 또한 먼지 농도 측정을 위한 배출가스 시료는 집진 장치에 의한 분석 오차를 배제하기 위해 집진 장치 앞쪽에 위치한 측정공에서 채취하였다.

먼지 포집은 실리카 섬유제 골무형 여과지(WhatmanTM, GE사, CAT No. 2812-259)를 사용하였다. 먼지 포집용 여과지는 110°C에서 3 시간 동안 건조한 후 실리카겔이 들어 있는 데시케이터에서 실온까지 방랭한 후 0.1 mg까지 무게를 재고, 여과지 홀더에 넣어 결합한 후 흡인관을 측정공 안으로 삽입하였다. 흡인관에 결합되어 있는 S자형 피토관과 연결된 경사마노미터로 배출가스의 동압을 측정하고 측정된 동압으로 배출가스의 유속을 구하여 배출가스 유속과 동일한 속도, 즉 등속 흡인으로 시료가 채취될 수 있도록 진공펌프에 연결된 오리피스 압력을 조정하였다. 배출가스의 동압 측정, 등속 흡인 등을 위한 장치는 CleanAir[®] Express Method 5 Sample Train (CleanAir사, 미국)을 이용하였다.

먼지 시료는 20 분간 등속으로 흡인하여 채취하고 같은 연료에 대해서는 5회씩 시료를 채취하였다. 먼지 시료를 채취하는 동안 배출가스의 온도, 동압, 정압, 건식 가스미터 압출구 온도 및 진공 게이지압 등을 기록하였으며, 시료 채취가 끝난 다음 채취된 건식 가스량을 계산하여 등속흡인계수(isokinetic sampling rate)를 산출하였다. 등속흡인계수는 100일 경우가

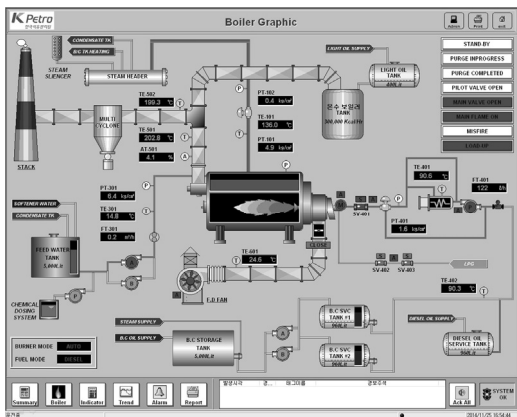


Fig. 1 The monitoring screen of boiler operating

Table 6 Average isokinetic sampling rate

	B-C	blending ratio of Power bio-fuel(vol%)			Power bio-fuel
		10	30	50	
I (%)	100.21	99.39	100.47	100.68	100.43

Table 7 Average oxygen concentration in exhaust gas

Average oxygen concentration (%)				
B-C	blending ratio of Power bio-fuel(vol%)			Power bio-fuel
	10	30	50	
4.63	4.47	5.01	4.82	5.34

가장 이상적이며, 100 미만이면 배출가스보다 낮은 유속으로 샘플 시료를 채취한 것이고, 100을 초과할 경우에는 배출가스보다 높은 유속으로 시료를 채취했다는 것을 의미한다. 대기환경보전법에 따르면 등속흡인계수가 95~105% 범위의 값이 유효한 시험 값으로 인정된다. 같은 연료에 대해 5회 실시한 먼지 시료 포집 시의 평균 등속흡인계수를 Table 6에 나타내었다.

먼지 시료 채취가 끝나면 흡인관에서 먼지가 포집된 여과지를 분리하여 보관병에 넣고 110°C로 조정된 오븐에서 3 시간 건조한 후 실리카겔이 채워진 데시케이터에서 실온까지 방랭한 다음 무게를 0.1 mg 까지 측정하였다. 여과지에 포집된 먼지는 대기오염 공정시험기준에 따라 건조 배출가스 1 Sm³ 중에 포함된 먼지의 중량으로 환산하였다.

2.5 보일러 배출가스 중의 SO_x, NO_x 농도 측정

시험용 연료가 보일러에서 연소한 후 배출되는 가스 중 유해한 물질인 황산화물(SO_x)과 질소산화물(NO_x) 농도를 측정하였다. 배출가스 분석은 보일러 집진 장치 전단에 위치한 연도의 한 지점에서 포집하여 관을 통해 연결된 분석기로 실시간 분석하였다. 배출가스분석기는 비분산적외선 분광광도계(Photon II, Madur사, 오스트리아)를 사용하였다. 배출가스 분

석기로는 배출가스 중의 산소, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물 및 황산화물 농도를 2초 단위로 분석하고 먼지 농도 측정 시간 동안의 값으로 평균하였다.

2.6 표준 산소농도 보정

보일러 연소 시 배출되는 연소 가스 중의 먼지 및 배출가스 농도는 연소 공기량 조절에 따라 달라질 수 있기 때문에 대기환경보전법에서는 대기오염물질 별로 농도 계산 보정에 필요한 배출가스 중의 산소 농도를 규정하고 있다. 일반 보일러에 대한 먼지, 황산화물 및 질소산화물 등은 배출가스 중의 산소 농도를 4%일 때로 보정하게 되어 있기 때문에 본 연구에서는 보일러의 연소 공기량을 조절하여 배출가스 중의 산소 농도가 4~5%인 조건으로 보일러를 운전하였으며, 먼지 및 배출가스 농도 분석 후 산소 농도 4%로 보정하여 계산하였다. 각 연료별 보일러 연소 시 배출되는 배출가스 중의 실제 산소 농도를 Table 7에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 평가용 연료 품질특성

평가용 중유와 바이오중유의 품질특성 분석 결과를 Table 8에 종합하였다.

인화점(Flash point)은 연료의 보관 및 수송 과정에서 안전성과 관련 있는 중요 항목으로 바이오중유의 인화점은 석유계 중유에 비하여 높게 분석되었다. 이는 바이오중유의 주요 성분이 트리글리세라이드(triglyceride)이기 때문이다.

점도(Viscosity)는 유체의 끈끈한 정도를 나타내는 물리적 특성으로서 연료의 이송과 버너에서의 분무성에 관련된 중요 항목이다. 바이오중유는 중유에 비해 점도가 낮기 때문에 바이오중유의 점도에 최적화된 연료 공급 펌프와 연료 분무의 효율성을 높이기

Table 8 The physicochemical characteristics of fuel oil and bio-fuel oil

Property	Fuel oil (B-C)	blending ratio of Power bio-fuel(vol%)			Power bio-fuel	
		10	30	50		
Flash point (°C)	134	146	160	172	218	
Viscosity @40°C (mm ² /s)	164.1	131.4	77.59	53.78	29.4	
Carbon residue (wt.%)	5.7	5.6	4.6	3.3	0.3	
Sulfur (wt.%)	0.27	0.25	0.19	0.14	0.03	
Ash (wt.%)	0.018	0.014	0.009	0.003	0.002	
Copper corrosion (50°C, 3h)	1a	1a	1a	1a	1a	
Pour point (°C)	30	29	23	14	6	
Density (15°C, kg/m ³)	936.5	933.4	926.0	921.7	912.2	
Water (wt.%)	0.03	0.04	0.07	0.08	0.13	
Acid number (mg KOH/g)	3.18	5.38	7.31	13.39	22.66	
Alkali metal (mg/kg)	Na	0	0	0	2	
	Ca	12	11	10	5	
	K	0	0	0	0	
Iodine number (g/100g)	31.66	36.38	42.36	47.24	63.04	
Nitrogen (wt.%)	0.21	0.16	0.12	0.08	0.01	
Vanadium(V) (mg/kg)	9	8	7	7	0	
Gross Heating value (kcal/kg)	10,572	10,432	10,234	9,931	9,403	
Net heating value (kcal/kg)	9,879	9,736	9,521	9,224	8,703	
Water and sediment (vol.%)	1.4	0.1	0.1	0.1	0.1	
Si + Al + Fe (mg/kg)	27	23	17	15	9	
Phosphorus(P) (mg/kg)	43	41	35	33	8	
Element contents (wt.%)	C	86.10	85.19	83.09	80.70	76.09
	H	12.70	12.90	12.69	12.27	12.35
	O	1.19	1.90	4.18	7.03	11.56

위한 분무 노즐의 조정도 필요하다⁶⁻⁷⁾.

잔류탄소분(Carbon residue)은 연료를 열분해 시켰을 때 발생하는 코크스상 탄화물의 비율을 나타낸 것으로서 연료의 고비점 성분은 탄화물을 생성하기 쉽다. 잔류탄소분은 연소성을 가늠하는 척도로서 특히 연소실에서 생기는 카본 양과 관계가 있으며 바이오중유의 잔류탄소분이 중유보다 낮다.

연료 중에 황(Sulfur) 성분은 연소실 내부에서 연소하여 SO₂, SO₃ 등의 황산화물로 배출된다. SO₂는 일광산화에 의해서 SO₃로 전환되며 SO₃ + H₂O → H₂SO₄ 형태로 산성비를 내리게 하고 연소기의 부식을 유발한다. 바이오중유는 황 함량이 낮아 배출가스

중에 황산화물이 거의 발생되지 않는다. 연료가 연소될 때 황분은 SO₂를 형성하며, 이 가운데 일부는 산화되어 황산염(SO₄)이 된다. 이때 황산염과 결합한 수분은 미립자의 탄소핵 주변에 유착되어 입자상 물질(PM)의 양을 증가시킨다⁸⁾. 바이오중유는 중유 대비 연료의 황 함량이 매우 낮아 입자상 물질배출도 적은 것으로 분석되었다.

회분(Ash content)은 연료를 연소시켰을 때 남아있는 재 성분이다. 연소 시 연료 성분 가운데 유기물은 이산화탄소와 물 등으로 산화되어 제거되고 남은 무기 잔류물이 재(Ash)이다. 회분이 많을 경우 보일러 내부의 재의 축적으로 인해 유지 관리 문제가 생기고

재로 인한 입자상 물질(PM)의 배출도 증가될 수 있다. 바이오중유는 중유보다 회분이 낮게 분석되었다.

연료가 산화되어 생성된 산성 물질이나 연료 중에 존재하는 황 화합물 및 산(지방산 등) 등은 연료 계통의 금속의 부식을 초래할 수 있다. 금속 부식의 척도는 동판부식(Copper strip corrosion) 시험을 통해서 알 수 있다.

전산가(Acid number)는 연료에 산화된 물질이 많으면 높아진다. 바이오연료에는 불포화 이중결합이 존재하기 때문에 파라핀계 탄화수소를 주성분으로 하는 석유제품보다 산화반응이 일어나기 쉽다. 저장 중 산화에 의해 유리 지방산 함유량이 많게 되면 연료 공급계통의 재질을 부식시키며 동점도의 상승 등 연료의 품질을 악화시켜 산화반응을 더욱 촉진하기 때문에 산가는 낮을수록 좋다. 바이오중유는 경제성 확보 등을 위해 산가가 높은 저급의 동식물성 유지류를 원료로 사용하므로 전산가 관리가 더욱 중요하다.

원소 분석 결과 발열량과 밀접한 관계가 있는 탄소와 수소 함량이 바이오중유가 중유보다 낮고 산소 함량은 높게 분석되었다. 이는 탄소와 수소는 연료의 주요 성분으로 발열량을 높이나, 산소는 조연성 물질로 탄소 및 수소와 결합하여 발열량을 감소시키는 데 기인한 것이다. 바이오중유의 산소함량은 약 10 무게%로 참발열량 역시 중유 대비 약 10% 감소하였다. 혼합 바이오중유에서도 혼합을 증가에 따라 발열량이 점차 감소하는 것을 확인하였다.

3.2 보일러 배출가스 특성

Fig. 2에 각 연료의 보일러 연소 시 먼지 농도와 배출가스 농도를 나타내었다. 바이오중유 및 혼합 바이오중유가 중유보다 먼지, 황산화물, 질소산화물 등의 유해배출가스가 적게 배출되는 특성을 보였다. 산성비의 원인이 되는 대표적인 대기오염 물질인 황

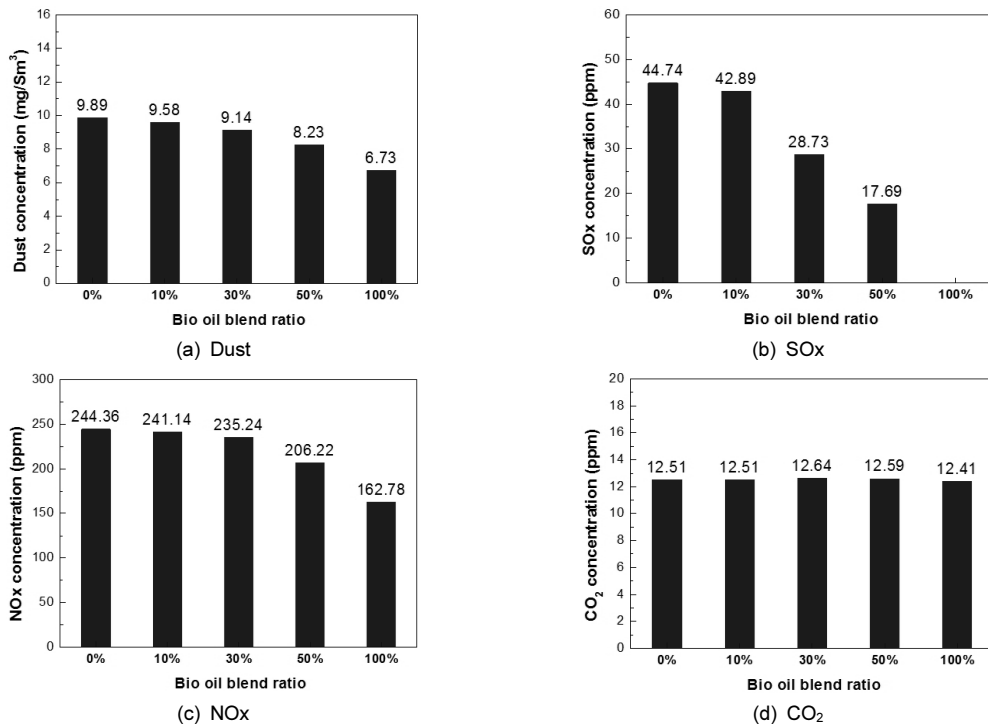


Fig. 2 Dust and exhaust gas concentration for B-C and B-C/Bio oil blends

산화물이 바이오중유에서는 전혀 배출되지 않았고 혼합 연료에서도 바이오중유의 비율이 높아질수록 반비례하여 배출가스가 점차 저감되었다. 또한, 폐기 중 및 호흡기 질환의 원인이 되는 질소산화물도 바이오중유에서는 낮아지는 특성을 보였고, 대표적인 유해물질인 먼지도 감소되었다.

배출가스 중의 먼지의 발생은 연료의 품질기준 가운데 잔류탄소분과 점도와 밀접한 관계가 있으며 휘발유, 경유 같은 경질유보다 중유 같은 중질유에서 더 많이 발생하는 경향이 있다. 또한, 점도는 중유가 바이오중유보다 최대 4배 정도 높아 보일러에서 연료를 버너로 분무시키기 위해 연료와 공기를 잘 혼합하여 적당한 입자 크기와 분산특성을 갖게 미립화시키는데 점도가 높을수록 미립화가 어렵고 분무입자 직경이 크게 되므로 이로 인한 불완전 연소와 그늘음이 발생한다.

대체로 바이오연료는 질소산화물이 석유계 연료에 비해 많이 배출되는 경향이 있는데 바이오중유의 경우 적게 나오는 이유는 바이오중유 혼합비율이 증가함에 따라 질소함량은 감소하고(0.21 wt.% → 0.08 wt.%(Table 8), 보일러의 화염 온도가 중유 보다 다소 낮기 때문에 온도에 의해 발생 농도가 크게 좌우되는 질소산화물 발생이 다소 줄어든 것으로 보인다. Thermal NO_x는 연소공기 중에 있는 질소와 유리된 산소와의 반응으로 생성되는데 이는 연소실 온도에 크게 의존하는 반응속도와 관련이 있다. 대체로 Thermal NO_x의 생성은 온도가 높고 산소 농도가 높을 때, 고온 영역에서 연소 가스의 체류시간이 길 때 많이 생성된다⁹⁾. 이는 중유발전소 실증 연구를 통해서도 보일러 내 버너 지역의 최대 화염온도가 다소 낮은 원인으로 질소산화물이 저감되는 것을 확인한 바 있다⁹⁾.

또한, 연료중의 황 성분이 낮기 때문에 황산화물도 거의 배출되지 않아 바이오중유로 사용으로 인해 유해 배출가스 저감 효과가 클 것으로 판단된다. 따

라서 바이오중유를 사용하면 중유와는 달리 배출가스의 환경 규제치 만족을 위한 후처리방식의 탈황 및 탈질 설비의 운전을 저감할 수 있어 이에 따른 경제적인 효과를 거둘 수 있다^{7,10)}.

4. 결 론

본 연구에서는 일반 중유와 바이오중유, 그리고 혼합 바이오중유의 연료품질 특성 및 산업용 보일러에서의 연소 후 배출되는 먼지, 유해배출가스의 특성을 비교 연구하였다.

연구결과 환경성과 관련이 있는 품질기준 항목인 황분, 잔류탄소분, 회분 등은 바이오중유 및 혼합바이오중유가 낮게 분석되어 배출가스 저감에 영향을 미친 것으로 보인다. 또한 연료의 이송 및 분무성과 관련된 주요 특성인 동점도는 바이오중유와 혼합연료가 중유보다 대체로 낮아 발전용 보일러에서는 분무에 필요한 온도 설정의 조정과 연료 공급펌프의 토출량의 보강이 필요하다. 산업용 보일러를 통한 바이오중유의 배출가스 특성을 평가한 결과 바이오중유 및 혼합 바이오연료를 사용할 경우 먼지, 질소산화물은 점차 감소하였으며, 황산화물은 거의 배출되지 않거나 저감되는 등 유해배출가스가 현저히 감소되는 것이 밝혀졌다. 바이오중유는 팜 오일 및 동물성 유지와 바이오디젤 및 피치 등이 주요 원료로 사용되는데 동물성 유지와 바이오디젤 피치는 주로 국내 생산품이 활용된다. 따라서 자원이 부족한 국내 에너지 사정상 경제성 있는 원료물질의 확보는 매우 중요하며, 향후 안정된 원료 수급을 통해 일관된 품질의 연료 제품이 공급된다면 사업의 취지와 맞는 친환경적인 바이오연료 보급이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 2014년부터 한국중부발전, 한국서부발

전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국지역난방공사 및 한국석유관리원으로 구성된 「발전용 바이오중유 상용화 연구 추진단」의 연구비 지원에 의하여 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Notification on the pilot dissemination projects of bio-fuel oil, Notification No. 2014-1 of the Ministry of Trade, Industry & Energy.
2. J. H. Ha, "Demonstration Project of Bio-fuel Oil in Power Plant - Current Status and problem", K Petro Magazine, Vol. 112, 2014, pp. 80-83.
3. E. J. Jang, J. Y. Park, K. I. Min, E. S. Yim, J. H. Ha, and 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, 2014, pp. 564-569.
4. E. J. Jang, M. E. Lee, J. Y. Park, K. I. Min, E. S. Yim, J. H. Ha, and B. H. Lee, "A Study on the Quality Characteristics of Feedstocks for Power Bio-Fuel Oil", J. of Korean Oil Chemists' Soc., Vol. 32, 2015, p. 137.
5. J. H. Ha, E. J. Jang, and Y. C. Kwon, "A Study on the Performance Evaluation and Quality for Power Bio-fuel Oil", J. of Korean Oil Chemists' Soc., Vol. 32, 2015, pp. 588.
6. S. Baek, H. Kim, H. Park, Y. J. Kim, T. Kim, and S. H. Ko, "The Four Power Plants Field Demonstration Research on Combustion Characteristic of the Bio Oil for Fuel Switching", J. Korean Soc. Combust., Vol. 20, No. 1, 2015, pp. 17-22.
7. S. Baek, H. Park, Y. J. Kim, T. H. Kim, T. Kim, and S. H. Ko, "The Demonstration Test Result of 100% Bio Heavy Oil Combustion at the 75 MWe Oil Fired Power Plant", J. Korean Soc. Combust., Vol. 19, No. 2, 2014, pp. 29-35.
8. ACEA, AUTO ALLIANCE, CMG, JAMA, World Wide Fuel Charter, 2013.
9. K. Lee, J. Lee, B. Son, and K. Oh, "Control Technique of Nitrogen Oxides from Combustion Fuel Gases", Dongwha Technology, 2011.
10. W. G. Lim, J. W. Doe, I. H. Hwang, J. H. Ha, and S. S. Lee, "CO₂ Emission Characteristics of Bunker C Fuel Oil by Sulfur Contents", J. of Korean Society for Atmospheric Environment. Vol. 31, 2015, pp. 377.