

중유화력발전소에서 바이오연료 혼합연소가 연료소비량에 미치는 영향

홍상필*, 유호선**†

*한국동서발전(주), **† 숭실대학교 기계공학과

Effect of Fuel Mixing Ratio on Fuel Consumption in a Oil Fired Power Plant

Sangpil Hong*, Hoseon Yoo**†

*KOREA EAST-WEST POWER CO., LTD, Ulsan 44543, Korea

**† Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea

ABSTRACT : Each of fuel consumption per hour was measured at the 320 MW and 380 MW generator output while changing mixing ratio of bio fuel oil to 50%, 80% and 100%. Fuel consumption per hour was increased from 11.0% to 20.4% as mixing ratio of bio fuel oil was changed from 50% to 100% at the 320 MW generator output comparing with fuel consumption per hour in case of bunker-C oil single firing. Fuel consumption per hour was also increased from 12.0% to 21.1% as mixing ratio of bio fuel oil was changed from 50% to 100% at the generator output 380 MW. Furthermore, it was confirmed that plant efficiency was decreased as mixing ratio of bio fuel oil was increased from 50% to 100% as a result that plant efficiency was calculated using the measured fuel consumption per hour, the generator output and the gross heating value.

초록 : 기존 벙커C유에 바이오중유 혼합비율을 50%, 80% 및 100%로 변화시키면서, 발전기 출력 320 MW, 380 MW 일 때 각각의 시간당 연료소비량을 측정하였다. 벙커C유 전소일 때의 시간당 연료소비량과 비교한 결과 발전기 출력 320 MW 에서 바이오중유 혼합비율이 50%부터 100%까지 높아짐에 따라 시간당 연료소비량이 11.0%에서 20.4%까지 증가함을 알 수 있었다. 또한 발전기 출력 380 MW에서는 바이오중유 혼합비율이 50%부터 100%까지 높아짐에 따라 시간당 연료소비량이 12.0%에서 21.1%까지 증가함을 알 수 있었다. 더 나아가 측정된 시간당 연료소비량과 발전기 출력, 연료의 고위발열량을 이용하여 발전효율을 산출하였고, 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 모두 바이오중유 혼합비율이 50%부터 100%까지 높아지면서 발전효율은 감소함을 확인하였다.

Key words : Renewable Portfolio Standard(신재생에너지 공급의무화제도), Bio Fuel Oil(바이오중유), Mixed Combustion(혼합연소), Mixing Ratio(혼합비율), Plant Efficiency(발전효율)

- 기호설명

H : 연료의 고위발열량 (kcal/ℓ)
 P : 발전기 출력 (kW)

W : 연료소비량 (ℓ/h)
 η : 발전효율 (%)

1. 서론

신재생에너지의 보급 확대 및 온실가스 저감을 위하여 500 MW 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 총

† Corresponding author
E-mail address: hsyoo@ssu.ac.kr

발전량의 일정비율 이상을 신재생에너지를 이용하여 공급하도록 의무화한 신재생에너지 공급의무화제도(renewable portfolio standard, RPS)가 시행^[1]되고 있다. 공급의무자는 2016년도 기준으로 한전 발전자회사 6개사, 지역난방공사, 수자원공사 그리고 민간발전사 10개사 등 총 18개사가 해당^[2]된다. 해당 공급의무자는 2016년 기준으로 총 발전량의 3.5%를 신재생에너지로 공급해야 하며, 2024년에는 10%까지 신재생에너지 공급비율을 늘려야 하는^[3] 상황이다. 중유화력발전소를 소유한 화력발전사들은 의무공급량 이행을 위한 다양한 에너지원을 고려하는 가운데 중유화력발전소에 신재생에너지 연료를 도입하는 방안이 검토되었는데 그 중 저 등급의 바이오중유를 발전연료로 상용화하는 방안이 대두^[4]되었고, 신재생에너지 의무공급량 이행 만족은 물론이고 노후 중유발전소의 이용률 제고에도 효과가 있는 방안으로 평가되어 관련 연구의 제안 및 착수가 신속하게 이루어졌다.^[4]

2013년 12월에 발전용 바이오중유 보급 관련 추진절차 및 품질기준안 등에 대한 정부 및 이해당사자간의 장기간 사전 협의를 통해 발전용 바이오중유 상용화 연구 추진단을 구성^[5]하였다. 추진단은 한국남부발전, 한국동서발전, 한국서부발전, 한국중부발전, 한국지역난방공사 등 발전 5사와 한국석유관리원으로 구성되어 있으며, 발전용 바이오중유 시범보급사업 운영관리와 상용화 법령 개정안 마련을 위한 연구 사업을 동시에 2년 동안 진행^[5]하게 되었다. 2014년 1월에 발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시^[6] 및 석유 및 석유대체연료 사업법^[7]을 근거로 2년간 발전용 바이오중유 시범보급사업을 추진하는 것으로 결정^[5]되었다. 해당 고시는 2015년 8월에 개정되어 시범보급사업이 2016년까지 연장되었다. 발전용 바이오중유 시범보급사업 대상 발전사업자는 한국남부발전, 한국동서발전, 한국서부발전, 한국중부발전, 한국지역난방공사 등 5개 회사이다. 발전기는 시범보급사업 대상 발전사업자가 직접 운영하는 자사 소유의 1개 발전기로 한정하였다. 한국동서발전의 시범보급사업 대상 발전기는 울산화력 기력 6호기로 선정되었고, 시범보급사업 초기에는 바이오중유 혼합비율 10%로 시작하였다. 기존 벙커C유를 바이오중유로 대체하여 전력을 생산함에 따라 가중치 1의 신재생에너지 공급인증서(renewable energy certificate, REC)를 획득하게 된다.

신재생에너지 공급인증서 획득을 목적으로 바이오중유

를 도입하기로 하였지만 벙커C유 대비 낮은 발열량으로 인한 연료소비량 증가가 예상되었다. 이에 본 연구에서는 바이오중유 혼합연소에 의한 신재생에너지 공급인증서 획득과 연료소비량 증가 간의 손익 분석에 기초자료를 제공하기 위하여 바이오중유 혼합연소로 인한 연료소비량 변화를 실증실험을 통하여 분석하였다. 기존 벙커C유에 바이오중유를 각각 50%, 80% 및 100% 혼합하여 연소하였을 때, 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 각각 시간당 연료소비량을 측정하였다. 측정된 연료소비량의 변화를 분석하기 위하여 벙커C유 전소일 때의 연료소비량과 비교하였다. 더 나아가 측정된 시간당 연료소비량과 발전기 출력, 연료의 고위발열량을 이용하여 산출하는 직접법^[8]으로 발전효율을 산출하여 분석하였다.

2. 연구대상 발전소

2.1 설비의 구성

연구대상 발전소인 울산화력 기력 6호기는 설비용량 400 MW로 국내 중유발전소 중 최대 용량이다. 제4차 경제개발계획의 일환으로 수립된 제4차 전원개발계획에 따라 급증하는 영남지역의 전력수요를 충족하기 위하여 1979년 4월 착공하여 1980년 12월 준공되었고, 1981년 1월에 상업운전을 개시한 이후 35년 이상 전력을 생산 중이다. 2015년에 수립된 제7차 전력수급기본계획에 의해 2021년 발전소 폐지가 예정되어 있다.

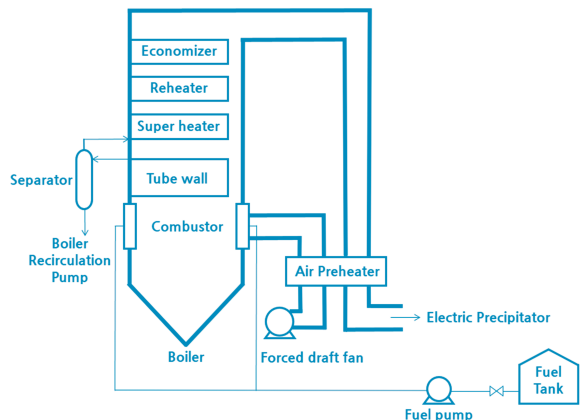


Fig. 1 Schematic diagram of Ulsan oil fired powerplant

중유화력발전소에서 바이오연료 혼합연소가 연료소비량에 미치는 영향

울산화력 기력 6호기는 보일러, 터빈, 발전기 등 주기와 그 외 부속설비들로 구성되어 있다. 그 중 보일러는 독일의 L&C Steindmuller사가 제작한 반옥외형의 관류형, 재열식, 대향류 연소방식, 벙커C유 전소식이다. Fig. 1은 연구대상 발전소의 보일러 개략도이다. 전열면으로 수냉벽(tube wall), 과열기(super heater), 재열기(reheater), 절탄기(economizer)가 설치되어 있고, 기수 분리기(separator), 보일러 재순환펌프(boiler recirculation pump), 강제 통풍기(forced draft fan), 연소실 등으로 구성되어 있다. 연료저장탱크에 저장되어 있는 연료유는 연료펌프를 통하여 연소실로 이송된다. 연소용 공기는 공기 예열기(air preheater)로 예열되며, 연소된 폐열가스는 전기집진기(electric precipitator)에서 비회(fly ash)가 제거된 후 탈황설비를 거쳐 굴뚝으로 배출된다. 이 때 필요한 연소공기는 강제 통풍기에 의해 공급된다.

발전연료로는 점화 및 기동용으로 경유를 사용하고 정상 부하운전 시는 벙커C유를 사용하도록 되어 있다. 버너는 한 층에 4개씩 4층에 걸쳐 모두 16개가 설치되어 있다. 각 버너마다 전기 점화기가 설치되어 있고, 연료량의 조절은 각 층마다 이루어지며 한 개의 조절밸브가 4개의 버너에 연료량을 조절한다. 단, 버너마다의 연료소비량은 따로 기록이 된다.

2.2 정상 운전조건

Table 1은 울산화력 기력 6호기의 주요 사양이다. 벙커C

Table 1 Main specifications of Ulsan oil-fired power plant

Item	Specification	
Capacity	400 [MW]	
Superheat steam condition	Pressure	187.5 [kgf/cm ²]
	Temperature	541 [°C]
	Flow	1183.6 [t/h]
Reheat steam condition	Pressure	43.85 [kgf/cm ²]
	Temperature	541 [°C]
	Flow	1078.6 [ton/h]
Fuel consumption	at 320 MW	70,000 ℓ /h
	at 380 MW	82,000 ℓ /h

유 전소 시 정격출력 400 MW에서 주증기 압력, 온도, 유량은 각각 187.5 kgf/cm², 541°C, 1183.6 t/h이고, 재열증기 압력, 온도, 유량은 각각 43.85 kgf/cm², 541°C, 1078.6 t/h이다. 또한 벙커C유 전소일 때 시간당 연료소비량은 320 MW에서 70,000 ℓ /h, 380 MW에서 82,000 ℓ /h이다. 벙커C유 전소일 때, 즉 바이오중유 혼합비율 0%일 때의 연료소비량은 바이오중유 혼합연소에 의한 연료소비량 및 발전효율 변화를 분석할 때 참고치로 사용되었다.

3. 혼합연소 실험

3.1 설정 운전조건

바이오중유 혼합비율별 연료소비량을 측정하기 위하여 혼합비율별 동일한 운전조건을 적용해야한다. 실험 발전기 출력은 320 MW와 380 MW로 혼합비율별로 각각 고정시킨 후 시간당 연료소비량을 측정하였고, 출력별 연료소비량 측정 시간은 2시간으로 동일하게 설정하였다. 320 MW에서 연료소비량 측정을 마치고 380 MW로 출력 증가 시 정상운전 기준인 4 MW/min 대비 2 MW/min로 제한하여 실험 중 설비 안정을 기하였다. 또한 바이오중유를 연소 시에는 복사 열전달 구역에 배치되어 있는 전열면인 증발기 및 과열기에서의 열흡수량은 감소되는 반면 그 이후에 위치한 대류 전열면에서의 열흡수량은 증가되는 경향^{5,9)}이 나타나기 때문에 대류 전열면인 재열기 튜브 손상 방지를 위한 운전 상한온도를 550°C로 설정하고 상한온도 이상에서 2시간 이상 운전을 금지하였다. 이러한 연소특성이 나타나는 이유는 바이오중유가 벙커C유와 비교하여 수소 대비 탄소 비율이 낮고 그을음 발생이 적으며 화염의 강도가 낮아 보일러 내에서 복사 열전달이 감소되는 효과^{5,9)}가 있기 때문이다.

3.2 연료 혼합조건

바이오중유라는 용어는 학술적으로 명확히 정의된 용어는 아니며, 중유발전소에 저급 바이오오일을 적용하기 위한 정부의 시범보급사업을 추진하는 과정에서 붙여진 명칭이다.⁴⁾ 발전용 바이오중유는 폐식용유를 제외한 동·식물성 유지나 메탄올 또는 에탄올을 동·식물성 유지와 반

Table 2 Analysis result of test fuel

Property	50 %	80 %	100 %	bunker-C (reference)
Gross heating value [kcal/ℓ]	9,768	9,682	9,386	min. 10,000
Kinematic Viscosity [40°C, mm ² /s]	68.9	43.2	35.6	max. 540
Sulfur [wt.%]	1.05	0.46	0.02	max. 2.5

응시켜 만든 지방산메틸에스테르 또는 지방산에틸에스테르를 원료로 고품질수분 및 수분제거, 혼합공정 등을 통해 발전용 바이오중유 품질기준에 맞게 생산한 제품을 말한다. 동·식물성 유지와 두 가지 지방산에스테르의 혼합물을 원료로 하기도 한다.^[6]

Table 2는 혼합비율별 실험연료 물성치이다. 바이오중유 혼합비율 50%에서 고위발열량(gross heating value)은 9,768 kcal/ℓ, 동점도(kinematic viscosity)는 68.9 mm²/s, 황분(sulfur)은 1.05%이고, 바이오중유 혼합비율 80%에서 고위발열량은 9,682 kcal/ℓ, 동점도는 43.2 mm²/s, 황분은 0.46%이다. 또한 바이오중유 혼합비율 100%에서 고위발열량은 9,386 kcal/ℓ, 동점도는 35.6 mm²/s, 황분은 0.02%이다.

동점도는 유체의 끈끈한 정도를 나타내는 물리적 특성으로서 연료의 이송과 버너에서의 분무성에 관련된 중요 항목이다. 동점도가 너무 높으면 분무입자가 커져 불완전연소가 되기 쉽고, 너무 낮으면 펌프 및 분무노즐이 마모되거나 펌핑 불량량의 원인이 된다. 바이오중유는 중유에 비해 동점도가 낮기 때문에 바이오중유의 동점도에 최적화된 연료 공급 펌프와 연료 분무의 효율성을 높이기 위한 분무 노즐의 조정도 필요^[1]하다. 연료 중에 황 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 황산염이 된다. 이때 황산염과 결합한 수분은 미립자의 탄소핵 주변에 유착되어 입자상 물질의 양을 증가시킨다. 바이오중유는 중유 대비 연료의 황 함량이 매우 낮아 입자상 물질 배출도 적다.^[1]

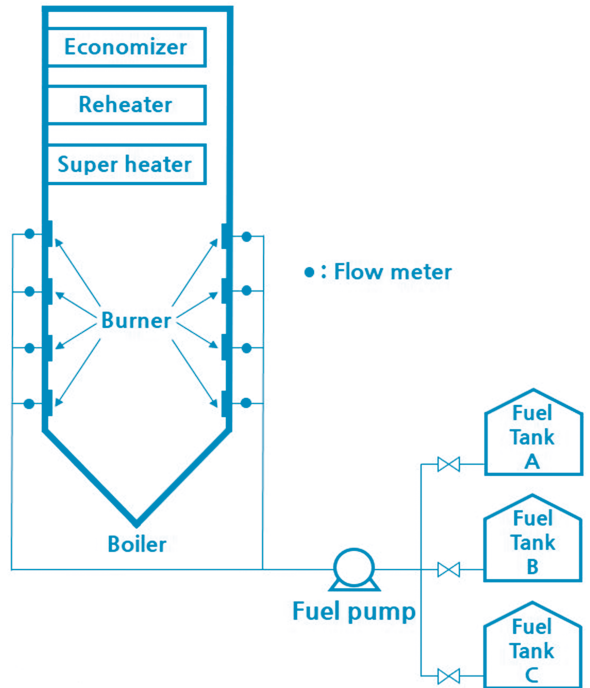


Fig. 2 Schematic diagram of mixed fuel combustion test

혼합연소 실험을 위하여 실험용 바이오중유 약 7,300 kℓ를 확보하였다. Fig. 2는 연소실험 개략도이다. 연료저장 탱크 A, B 및 C에 각각 실험연료로 사용할 바이오중유 50% 혼합유, 바이오중유 80% 혼합유 그리고 순수 바이오중유를 분리하여 저장하였다. 한 층에 4개씩 4층에 걸쳐 설치되어 있는 총 16개의 버너를 통하여 실험연료가 공급되었고, 연료소비량은 각각의 버너 전단에 설치되어 있는 유량계의 측정량을 합산하여 산정하였다.

실험연료는 연소실험 일주일 전 연료탱크에 연료혼합 후 교반기 운전을 실시하였고, 실험 전일까지 탱크 내 침전물을 안정화시켰다. 혼합연소 실험 시 연료첨가제는 주입하지 않고, 벙커C유 대비 낮은 동점도로 인한 펌핑 불량이 예상되어 연료유 저장탱크 가열온도를 기존 60°C에서 50°C로 하향 조정하였다. 1일차에 바이오중유 50% 혼합연소 실험, 2일차에 바이오중유 80% 혼합연소 실험 그리고 마지막 3일차에 바이오중유 100% 혼합연소 실험을 실시하였다. 1일차 바이오중유 50% 혼합연소 실험 종료 후 2일차 바이오중유 80% 혼합연소 실험 실시 전 혼유 방지를 위하여 연료이송배관 내의 이전 실험연료를 충분히 제거하

중유화력발전소에서 바이오연료 혼합연소가 연료소비량에 미치는 영향

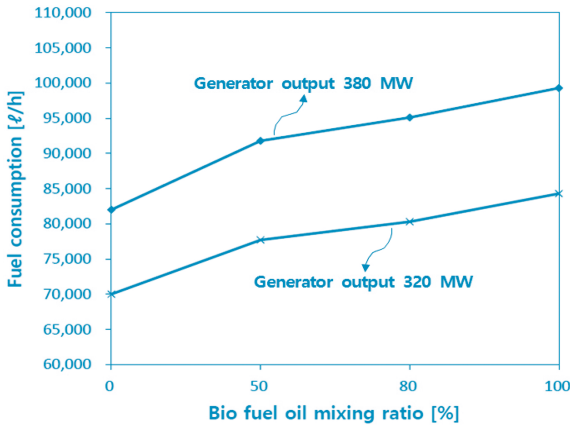


Fig. 3 Fuel consumption by fuel mixing ratio

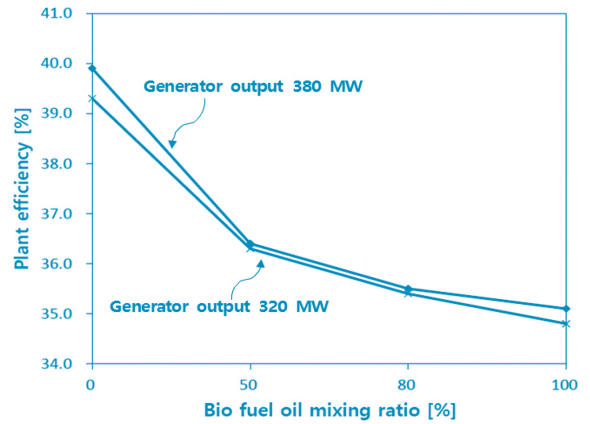


Fig. 4 Plant efficiency by fuel mixing ratio

는 운전을 실시하였고, 3일차 실험 실시 전에도 동일한 사전준비를 실시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 혼합연소에 따른 연료소비량

Fig. 3은 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 각각 바이오중유 혼합비율에 따른 시간당 연료소비량 변화를 나타내었다. 일정한 실험조건 하에서 혼합연소 실험을 실시한 결과 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 모두 바이오중유 혼합비율이 높아질수록 시간당 연료소비량이 증가하였다.

발전기 출력 380 MW에서 바이오중유 혼합비율이 50%, 80% 및 100%로 높아질수록 시간당 연료소비량은 77,700 l/h, 80,300 l/h 및 84,300 l/h로 증가하였고, 발전기 출력 320 MW에서는 바이오중유 혼합비율이 50%, 80% 및 100%로 높아질수록 시간당 연료소비량은 91,800 l/h, 95,100 l/h 및 99,300 l/h로 증가하였다.

4.2 연료소비량 변동에 따른 고찰

병커C유 대비 바이오중유의 낮은 발열량으로 인하여 바이오중유 혼합비율이 높아질수록 동일한 발전기 출력을 내기 위하여 연료소비량이 증가함을 확인하였다. 증가량 분석을 위하여 병커C유 전소일 때의 시간당 연료소비량과

비교한 결과 발전기 출력 320 MW에서 바이오중유 50% 혼합연소 시 11.0%, 바이오중유 80% 혼합연소 시 14.7% 그리고 바이오중유 100% 연소 시 20.4% 연료소비량이 각각 증가함을 알 수 있었다. 발전기 출력 380 MW에서는 바이오중유 50% 혼합연소 시 12.0%, 바이오중유 80% 혼합연소 시 16.0% 그리고 바이오중유 100% 연소 시 21.1% 연료소비량이 각각 증가함을 알 수 있었다.

더불어 측정된 시간당 연료소비량을 이용하여 발전효율을 분석하였다. 발전효율은 발전설비의 성능을 나타내는 대표적인 성능변수로서 비교적 간단한 방법으로 구할 수 있다. 발전효율 산정은 발전소 내 소비전력을 어떻게 취급하는지에 따라 발전단 발전효율과 송전단 발전효율로 나누어지며^[10], 발생 전력량에서 발전소 내 소비전력을 제하지 않은 발전단 발전효율을 산정하여 고찰하였다. 발전효율은 혼합연소 실험 결과 측정된 시간당 연료소비량과, 혼합비율별 연료의 고위발열량, 발전기 출력을 직접법에 의한 산출 방법으로 계산하였다. 직접법에 의한 발전단 발전효율은 발전기 출력과 시간당 연료소비량, 연료의 고위발열량을 이용하여 식(1)에 의해 산정된다.

$$\eta = \frac{P}{WH} \quad (1)$$

여기서 P는 발전기 출력, W는 시간당 연료소비량, H는 연료의 고위발열량이다.

Fig. 4는 산출된 바이오중유 혼합비율별 발전효율 변화를 나타낸 것이다. 산출된 발전효율은 발전기 출력 320

MW에서 바이오중유 50% 혼합연소 시 36.3%, 바이오중유 80% 혼합연소 시 35.4% 그리고 바이오중유 100% 연소 시 34.8%이다. 발전기 출력 380 MW에서는 바이오중유 50% 혼합연소 시 36.4%, 바이오중유 80% 혼합연소 시 35.5% 그리고 바이오중유 100% 연소 시 35.1%이다. 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 모두 바이오중유 혼합비율이 높아질수록 발전효율은 감소함을 알 수 있다.

바이오중유 혼합비율이 높아질수록 연료소비량 증가와 발전효율 저하가 확인되었지만, 바이오중유 혼합연소로 인해 1 MWh 당 1 REC를 획득할 수 있고 REC 미확보 시 발생하는 과징금이 1.5배인 점을 감안하여 종합적인 경제성 평가를 통한 운영방안을 수립해야 한다. 더불어 바이오중유 혼합연소 시 연료소비량 감소를 위한 발열량 품질기준 강화가 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 고유황 병커C유 전소 발전소인 400 MW 급 울산화력 기력 6호기를 대상으로 바이오중유 혼합연소로 인한 연료소비량 변화를 알아보고자 기존 병커C유에 바이오중유 혼합비율을 각각 50%, 80% 및 100%로 변화시키면서, 발전기 출력 320 MW, 380 MW일 때 각각의 시간당 연료소비량을 측정하였다. 더 나아가 측정된 시간당 연료소비량 및 발전기 출력, 연료의 고위발열량을 이용하여 발전효율을 산출하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 모두 바이오중유의 혼합비율이 높아지면서 시간당 연료소비량이 증가하였다. 병커C유 전소일 때의 시간당 연료소비량과 비교한 결과 발전기 출력 320 MW에서 바이오중유 혼합비율이 50%부터 100%까지 높아짐에 따라 시간당 연료소비량이 11.0%에서 20.4%까지 증가함을 알 수 있었다. 또한 발전기 출력 380 MW에서는 바이오중유 혼합비율이 50%부터 100%까지 높아짐에 따라 시간당 연료소비량이 12.0%에서 21.1%까지 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 측정된 시간당 연료소비량과 발전기 출력, 연료의 고위발열량을 이용하여 발전효율을 산출한 결과 발전기 출력 320 MW, 380 MW에서 모두 바이오중유 혼합비율이 50%부터 100%까지 높아지면서 발전효율은

감소함을 확인하였다. 바이오중유 혼합비율이 높아질수록 연료소비량 증가와 발전효율 저하가 확인되었지만, 바이오중유 혼합연소로 인해 1 MWh 당 1 REC를 획득할 수 있고 REC 미확보 시 발생하는 과징금이 1.5배인 점을 감안하여 종합적인 경제성 평가를 통한 운영방안을 수립해야 한다. 더불어 바이오중유 혼합연소 시 연료소비량 감소를 위한 발열량 품질기준 강화가 필요하다.

참고문헌

1. JONG-HAN HA, CHEOL-HWAN JEON, YONG-CHAI KWON, 2015, 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.
2. 한국에너지공단 신재생에너지센터 인터넷 사이트, www.knrec.or.kr
3. 산업통상자원부, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제12조의5 및 동 시행령 제18조의3, 제18조의4.
4. Sehyun Baek, Hoyoung Park, Young Joo Kim, Tae Hyung Kim, Hyunhee Kim, Sung Ho Ko, 2014, The Demonstration Test Result of 100% Bio Heavy Oil Combustion at the 75 MWe Oil Fired Power Plant, Journal of The Korean Society of Combustion Vol. 19, No. 2, pp. 28-36.
5. Eun-Jung Jang, Mi-Eun Lee, Jo-Yong Park, Kyung-II Min, Eui-Soon Yim, Jong-Han Ha, Bong-Hee Lee, 2014, A Study on the Quality Characteristics of Feedstocks for Power Bio-Fuel Oil, J. of Korean Oil Chemists' Soc., Vol. 31, No. 4, pp. 562-571.
6. 산업통상자원부, 2014, 발전용 바이오중유 시범보급 사업 추진에 관한 고시.
7. 산업통상자원부, 석유 및 석유대체연료 사업법 제2조 제11호 및 동 시행령 제5조 제9호.
8. Y. S. Kwon and J. S. Suh, 2003, A Study on the Selection of Maximum Plant Efficiency through the Performance Test in Super-Critical Power

중유화력발전소에서 바이오연료 혼합연소가 연료소비량에 미치는 영향

- Plant, The Korean Society of Mechanical Engineers' Symposium Journal, pp. 402-407.
9. Sehyun Baek, Hyunhee Kim, Hoyoung Park, Young Joo Kim, Tae Hyung Kim, Sung Ho Ko, 2015, The Four Power Plants Field Demonstration Research on Combustion Characteristic of the Bio Oil for Fuel Switching, Journal of The Korean Society of Combustion, Vol. 20, No. 1, pp. 15-23.
10. 송길영, 2016, 최신 발전공학, 동일출판사, 서울, pp. 236-238. 