

75 MWe급 중유 발전소 보일러에 대한 바이오중유 100% 전소 실증 연소실험 결과

백세현^{**} · 박호영^{*} · 김영주^{*} · 김태형^{*} · 김현희^{*} · 고성호^{**}

^{*}한전전력연구원 · ^{**}충남대학교

The Demonstration Test Result of 100% Bio Heavy Oil Combustion at the 75 MWe Oil Fired Power Plant

Sehyun Baek^{**}, Hoyoung Park^{*}, Young Joo Kim^{*}, Tae Hyung Kim^{*}, Hyunhee Kim^{*} and Sung Ho Ko^{**}

^{*}KEPRI, ^{**}Chungnam University

(Received 15 May 2014, Received in revised form 8 June 2014, Accepted 9 June 2014)

ABSTRACT

Bio fuel oil combustion experiments were successfully demonstrated at the 75 MWe oil-fired power plant without major equipment retrofit and 100% bio-fuel oil combustion was possible without big problems. The experimental data error correction was conducted and numerical model-based analysis technique was applied for the evaluation of the results. Incase of bio fuel oil combustion, heat absorption of radiative heat transfer section was reduced while convection section has opposite trend. The furnace exit gas temperature tends to rise slightly. Environment emissions such as NO_x and SO_x concentrations showed a tendency to decrease during the bio fuel oil combustion period. On the other hand, boiler efficiency was slightly underestimated.

Key Words : Bio heavy oil, Boiler, Process analysis

1. 서론

최근 국내 화력발전회사들은 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS) 시행에 따른 의무공급량 이행에 따라 2014년 현재기준으로 발전용량의 3%를 신재생에너지로 공급해야 하며 2022년에는 10%까지 점유율을 증가시켜야 하는 부담을 가지고 있다[1]. 이에 따라 지속적으로 태양광, 풍력, 소수력 및 연료전지 등 신재생 발전설비 도입을 증가시키고는 있으나, 이들 설비는 단위용량이 적어 의무공급량 이행에 어려움을 겪고 있으며 미 이행분에 대한 많은 과징금이 부과되고 있다[2].

따라서 회사별로 보유하고 있는 중유전소 발전소에 신재생에너지 연료를 도입하는 방안이 검토되었는데, 그 중 저 등급의 바이오중유를 발전연료로 상용화하는 방안이 대두 되었다.

상기방안은 신·재생에너지 의무공급량 이행만족은

물론이고 노후 중유발전소의 이용률 제고에도 효과가 있는 방안으로 평가되어 관련 연구의 제안 및 착수가 신속하게 이루어졌다.

이에 따라 현재 한전전력연구원은 ‘바이오중유의 발전연료 상용화를 위한 기술개발 과제’를 수행하고 있으며, 하와이에 위치한 KAHE 발전소에 이어서 2014년 상반기에는 세계 2번째로 실제 중유 화력 발전소에서 바이오중유를 10% 혼소에서 100%전소까지 최대 발전부하에서 성공적으로 실증실험 연소하는 성과를 얻었다.

본 논문에서는 상기 실증실험 결과 중 75 MWe 급 발전소의 최대 발전출력 부하에서 측정한 운전 data를 활용하여 연소열성능해석 모델 기반의 결과 분석을 통해 바이오 중유의 연소특성 및 발전소 보일러에 미치는 영향을 요약하여 제시하고자 한다.

2. 바이오중유의 일반특성

바이오 중유라는 용어는 학술적으로 명확히 정의된 용어는 아니며, 중유발전소에 저급바이오 오일을

† Corresponding Author, magenta@kepco.co.kr



Fig. 1. The raw materials and main components Bio heavy oil.

적용하기 위한 시범 보급 사업을 정부에서 추진하는 과정에서 붙여진 명칭이다. 바이오중유는 Fig. 1과 같이 팜 열매의 과육부분으로부터 추출한 오일의 찌꺼기 등 식물성유지 그리고 돈지, 우지 등 동물성유지 및 바이오매스 등을 기반으로 생산한 원료로 제조하며 주성분은 triglyceride이다[3].

따라서 메탈올과 동물성물 유지 등을 이용해 제조한 지방산 메틸에스테르 혼합물로서 자동차용 내연기관 등에 상용화된 바이오디젤과는 다른 저 등급의 연료로 분류할 수 있다.

한편 2014년 2월 14일부터 시행된 발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2014-1호)에 명시된 품질기준과 국내 P 발전소에서 적용하고 있는 중유의 구매규격을 비교하면 Table 1과 같다[4].

바이오중유의 발열량은 약 9,000 kcal/kg 이상으로서 중유의 발열량 약 10,000 kcal/kg 이상과 비교시 약 10% 정도까지 낮게 나타나고 있다.

따라서 기존 중유 연소시와 동일한 발전출력을 유지하기 위해서는 연료 공급량이 약 10% 증가되어야 하며 이를 위한 탱크, 연료펌프, 버너노즐 및 무화설비 등 연료공급 계통에 대한 설비보강이 필요할 것이다.

또한 바이오중유는 동점도가 낮기 때문에 연료 공급펌프의 토출량 보강이 필요하고, 온도에 따른 점도변화가 민감하므로 탱크저장, 배관이송, 가압펌핑 및 분무시 단계별로 정밀한 온도 제어가 필요할 것으로 판단된다.

환경 배출물 측면에서는 바이오 중유는 유황분(무게 0.1% 이하) 및 질소(무게 0.3% 이하)의 함량이 낮기 때문에 SOx 및 NOx 등 배출은 기존 중유보다 유리한 점이 있을 것으로 예상할 수 있다.

한편 고유한 성상과 반응성이 다른 바이오중유와 중유를 혼합하는 경우에 두 가지 연료가 완전 혼합이 가능한지 여부 및 혼합연료의 성상이 각각의 연료 혼합물의 가중 평균과 유사할지의 여부는 장기간의 실증실험을 통해야 알 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. bunker-C purchase specification of domestic 'P' power plant and quality Standards for bio heavy oil

항 목	구 분	중유 (A발전사기준)	바이오중유 품질기준(안)
인화점(°C)		Min. 66	Max. 70
동점도 (40°C, mm ² /s)		Max. 540	21(50°C) 이상 100(40°C) 이하
잔류탄소분(wt %)		Max. 10	Max. 10
황분(wt %)		Max. 2.59	Max. 0.5
회분(wt %)		Max. 0.1	Max. 0.1
동판부식(50°C, 3 h)		-	1b
유동점(°C)		Min. 27.5	Max. 27.5
밀도(15°C, kg/m ³)		-	Max. 991
수분(wt %)		-	Max. 0.20
전산가(mg KOH/g)		-	Max. 25
알칼리금속 (mg/kg)	(Na+K)	-	Max.100(Na)
	(Ca+Mg)	-	Max.30(Ca)
칼륨(mg/kg)			Max. 70
인(mg/kg)			Max. 100
바나듐(mg/kg)		Max. 100	Max. 50
발열량(kcal/kg)		-	Min. 9,000
실리콘+알루미늄+ 철(mg/kg)		-	Max. 200
요오드가(g/100 g)		-	Max. 120
물과침전물(부피 %)		Max. 0.5	Max. 0.5
질소(wt %)		-	Max. 0.3

바이오 중유의 발전연료 상용화에 관련된 해외 선 행연구는 2011년에 미국의 EPRI가 하와이의 KAHE 발전소에서 세계 최초로 바이오중유 실증연소실험을 시행하는 과정 중 발간된 보고서 있다. 상기 보고서에 따르면 바이오 중유는 점도가 낮고 온도에 따른 점도변화가 민감하여 분무장치설계 변경이 필요하며, 중유와 비교시 화로내에서의 복사강도가 약하기 때문에 증발기의 열흡수는 저하되고 대류 전 열면의 열흡수가 증가되는 현상이 있는 것으로 제시

되었다[5].

국내의 경우에는 2012년 한전전력연구원에서 바이오중유에 대한 발전연료화 가능성에 대한 예비 검토 차 연료샘플 분석 및 발전소 열성능 해석을 시행한 사례가 있었다.

Fig. 2는 당시 한전전력연구원에서 Table 2와 같은 성상의 중유1종 및 바이오중유 3종에 대하여 시행한 열중량분석(TGA, Thermo gravimetric analyzer) 결과이며, Fig. 3은 동일한 시료에 대한 시차열분석(DTA, Differential thermal analysis) 결과이다[6].

열중량분석 실험결과에 따르면 바이오 중유는 중유보다 낮은 온도에서 반응이 시작되어 질량이 감소되고 있으며 조기에 반응이 종료되고 있다.

시차열분석실험 결과에서도 바이오중유 시료 1, 3이 중유보다 낮은 온도에서 반응이 시작되어 기준

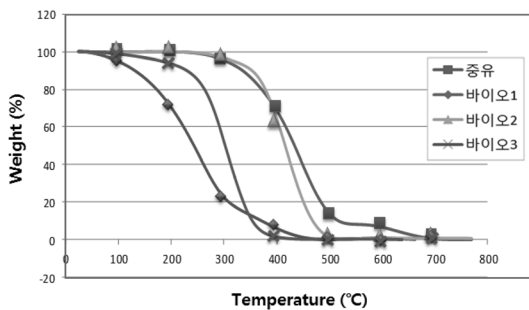


Fig. 2. Thermo gravimetric analysis result.

Table 2. Tested oil sample specification

항 목	중유	바이오중유			
		유종1	유종2	유종3	
원소 분석 (wt%)	C	86.10	72.82	77.08	76.98
	H	12.10	11.92	12.74	17.59
	O	0.82	14.93	9.49	5.30
	N	0.18	0.22	0.01	0.01
	S	0.30	0.01	0.04	0.04
	잔류물	0.50	0.10	0.64	0.08
발열량(kcal/kg)	10,288	9,348	9,280	9,374	

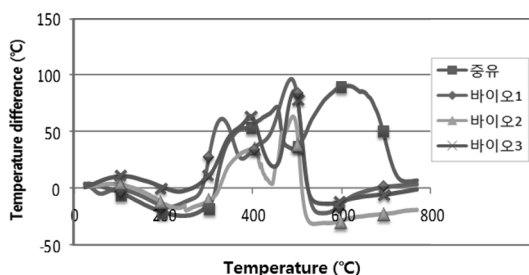


Fig. 3. Differential thermal analysis result.

온도와외 온도차가 나타나고 있으며 반응종료도 바이오중유 3종 모두가 중유보다 조기에 완료된 것으로 보인다. 따라서 바이오 중유를 발전소에 적용시에는 이러한 반응특성에 차이를 반영한 버너설계 및 운전변수를 적용해야 할 것이다.

한편 바이오중유와는 다르지만, 바이오디젤의 경우에는 많은 선행연구를 찾아 볼 수 있었다.

그러나 대부분 경유와 바이오디젤에 연소특성에 대한 내용으로서, 바이오중유의 발전연료 상용화 연구에 참고하여 적용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단되었다.

그중 바이오 오일의 연료특성으로 참고할 내용을 살펴보면, 목질계 바이오매스를 급속 열분해하여 제조한 액상의 바이오오일과 경유를 혼합하여 연소 실험한 결과 NOx가 저감되는 사례가 있었으며[7], 분무특성의 경우 바이오 디젤의 분무각이 디젤의 분무각에 비해 작게 나타나고 분사 압력이 커질수록 그 편차는 작아진다는 실험결과가 제시된 사례가 있었다[8]. 그리고 soot의 특성연구에서는 디젤의 soot가 바이오디젤 보다 graphitic 한 구조를 더 지니고 있으며 입사광으로부터 더 많은 에너지를 흡수한다고 제시되었다[9].

향후 바이오중유의 특성 연구에는 중유와의 비교 관점에서의 연료특성, 연소특성 및 분무특성 연구가 필요하며 특히 발전소 적용성에 대한 면밀한 검토가 필요할 것이다.

3. 현장실증실험 및 분석방법

3.1. 실증실험 대상발전소 개요

실증실험 발전소의 정격 전기출력은 75 MWe 이고 보일러 형식은 Fig. 4와 같이 아임계압 드럼형 1단 재열 평형통풍식이다[10].

송풍기를 통해 대기에서 흡입된 공기는 공기예열기에서 예열된 후 보일러의 화로내 각 코너에 설치된 윈드박스를 통해 tangential firing 형식으로 설치된 2개층의 증기분무식 버너에 공급된다. 연소가스는 Evaporator 및 Superheater 2에서는 주로 복사열전달에 의해 열교환이 이루어지고 그 이후에는 대류열전달이 주 열전달 수단이 된다.

급수가열기를 거쳐 보일러에 유입된 급수는 Economizer에서 예열된 후 Evaporator에서 증발된다. 그 후 Superheater 1, Superheater 2 및 Superheater 3에서 과열증기가 되어 고압터빈에 공급된다. 고압터빈에서 배출된 저온증기는 보일러의 Reheater에서 재가열되어 중압터빈으로 공급된다.

증기온도의 제어는 버너의 상하분사각도 조절, 재

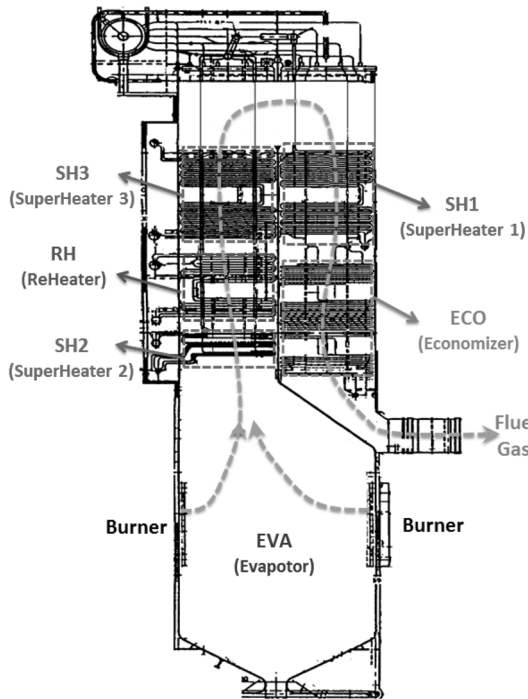


Fig. 4. Layout drawing of boiler.

순환가스 유량(절탄기 출구가스 일부를 화로부위로 재순환시킴) 및 과열저감기를 통해 이루어진다.

3.2. 실증실험준비

실증 실험시 적용한 연료들의 성상은 Table 3과 같다.

중유와 바이오중유는 반응특성이 다르고 탄소, 수소, 산소 등 원소조성이 다소 차이가 있기 때문에 연소에 소요되는 공기량 및 열전달 특성에 변화가 발생되는바, 부하별 보일러 운전제어 설정의 재조정이 필요하다.

따라서 바이오중유의 연소 실증실험 중에도 발전

출력 및 보일러 내부 각각의 전열면 별 운전특성을 기존 중유연소시의 조건과 최대한 유사하게 유지하기 위하여, 사전에 1차원 연소열성능 수치해석 모델링 및 시뮬레이션을 시행하였다.

이를 통해 바이오중유 연소시 변경되어야할 연료 공급량, 급수량, 연소용 공기량, 과잉공기기준치 및 재순환 가스량 운전 기준을 도출하였고 발전소 보일러 운전제어 계통에 반영하였다.

또한 바이오 중유는 발열량이 낮아 동일한 발전 출력을 내기 위해서는 각 버너의 연료 분사량이 증가되어야 하고, 점도특성의 차이에 따라 분무특성이 다르기 때문에, 버너 분무노즐이 직경, 각도 및 형상을 새로 설계하였다. 그 외 연료공급설비 및 화염 감지기 등 보조기기에 대한 보완방안을 적용 하였다.

한편 일반적으로 기존의 중유에 비해 질소 함량이 낮아 NOx 발생이 감소될 것으로 예상되어 탈질 설비운전은 별도의 조치를 하지 않았고, 낮은 유황분을 고려하면 SOx 배출량 측면에서 유리할 뿐만 아니라, 공기에열기 후단의 냉단부 부식 경향이 낮아지므로 배기가스 온도를 추가로 낮출 수 있는 여지는 있었으나 실험의 목적상 동일한 운전 변수를 적용 하였다.

3.3. 결과분석 방법론

현실적으로는 노후 발전소에서 기존 설치된 계측기를 통해 얻을 수 있는 data는 극히 제한되며 신뢰도 역시 만족스럽지 못한 경우가 많다.

예를 들면 일반적으로 고온부 가스온도 및 증기 유량은 계측자체가 불가하여 data를 취득할 수 없으며, 송풍기들의 유량은 오차가 매우 크다.

그리고 발전출력을 고정한 상태에서도 여러 기기들의 운전 상태는 미세하게는 연속적으로 변화되고 있기 때문에 측정된 순시 값들은 많은 불확실성을 포함하고 있다.

반면 보일러에 유입되는 급수의 유량 및 전열면 각 부위의 입 출구 증기온도, 그리고 배출가스에 포함된 O₂ 농도는 비교적 신뢰도 있게 측정이 가능하다.

따라서 data 측정은 최대한 발전소의 운전상태가 변동되지 않는 평형점에서 시행되어야 하며, 현장에서 측정된 data에 대한 오류검증을 시행하여야 한다. 그 이후 신뢰도가 확보된 측정 data를 활용하여 질량 및 에너지평형 계산을 함으로써 불확실도가 있거나 측정이 불가한 data들을 순차적으로 역 계산 및 검증하는 방법을 사용하여야 한다.

이번 실증실험에 대한 결과분석에는 한전전력연구원에서 연소 및 열성능 해석에 활용하는 SGE(Steam-Gen Expert) 코드를 사용하였다

Table 3. Fuel analysis result

항 목	중유	바이오중유	
원소분석 (wt%)	C	86.10	76.95
	H	12.10	12.27
	O	0.82	10.77
	N	0.18	0.001
	S	0.30	0.006
	잔류물	0.50	0.003
발열량(kcal/kg)	10,288	9,456	
유동점(°C)	18	7.5	
밀도(kg/m ³ @15°C)	929	906	

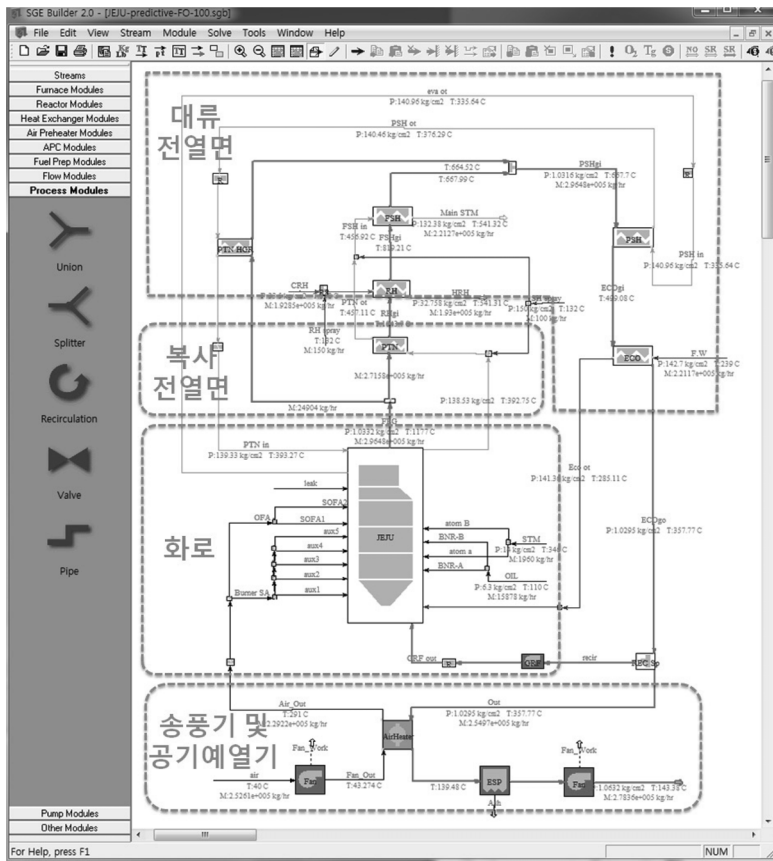


Fig. 5. Heat & mass balance analysis and thermal performance analysis model for boiler system of demonstration plant.

실증실험 운전 data 분석을 위한 기준모델 구축을 위하여 Fig. 5와 같이 실증실험 보일러에 포함된 화로, 과열기, 재열기, 절탄기, 과열저감기, 공기에열기, 송풍기 및 버너 등 계통전반에 대한 수치해석 모델링을 수행하였으며, 발전소 기술규격서의 운전 data book 및 최근 성능시험 자료를 기반으로 기준조건 해석결과 검증 및 튜닝을 하였다.

현장운전 data와 수치해석 모델을 병행 활용하는 개략적인 평가 절차는 Fig. 6과 같다.

주증기측 유량은 발전소에서 측정된 급수유량을 기반으로 하며, 중간에 가감되는 유량은 (과열저감수 등) 측정된 온도, 압력을 입력값으로 하는 열평형 계산을 통해 도출하여 최종단 증기유량 까지 계산하였다. 한편 재열기측 유량은 주증기 유량에서 각종 누설유량을 삭감하고, 고압터빈에서 급수가열기 공급되는 추가유량을 열평형 계산을 통해 산출하여 삭감함으로써 얻을 수 있다.

공기 및 가스유량은 배기가스에 포함된 O₂ 농도와 연료 data를 기반으로 역계산하며 공기에열기 누설을 자료와 송풍기의 운전 전류값 등을 고려하여 신뢰도를 상호 비교검증 한다.

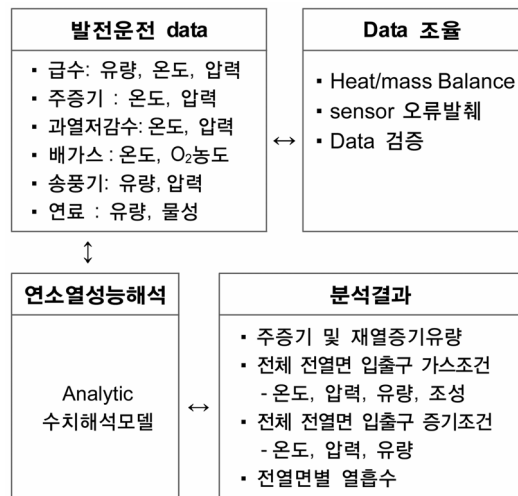


Fig. 6. Experimental data analysis procedures.

그리고 보일러 각 전열면 위치별 가스온도는 보일러 출구가스온도 및 유량 계산 값을 기초로 열량을 계산한 후 각각의 전열면의 증기측에서 흡수한 열량을 순차적으로 삭감하는 방법을 적용하는데, 이

런 접근 방법은 측정이 불가능한 고온부 단면의 평균 가스온도를 실질적으로 알아내는데 유용하다.

마지막으로 연료유량 및 발열량에 대한 검증은 현장에서 설치된 연료 탱크의 유위 높이변화, 유량계 지시 값, 연료분석 자료, 발전소 출력 등 실측 자료를 열평형 계산결과 및 보일러 성능계산결과와 비교하여 최종 확인하는 방법을 적용한다.

4. 실증실험 결과고찰

4.1. 비교 분석대상

바이오중유 실험에 대해서는 급전계통 관리기관인 전력거래소의 승인을 받아 79 MWe 출력점에서 고정하여 실증 실험을 시행하였고, 운전이 정상상태로 안정된 시점에서 data 취득을 하였다.

그러나 중유연소 실험은 전력계통의 수급 여건상 72 MWe 출력점만 승인되어 해당시점을 base line data로 취득하였다. 또한 발전소 운영여건상 실험시점별 보조기기 취출량, 터빈계통 운전조건 및 보조기기 동력 소비 등 운전조건이 정확히 일치하지는 않았다. 그러나 연료변화에 따른 보일러설비 운전특성의 비교 분석목적상에는 별 무리는 없는 것으로 판단된다.

각각의 실험에 적용된 주요운전 조건은 Table 4와 같다.

4.2. 분석결과

중유와 바이오중유에 대하여 발전소 열전달, 환경 배출물 및 성능특성 비교를 위하여 Fig. 7과 같이 주요 평가대상 전열면의 스팀측 및 가스측 입출구 위치를 선정하고 각각의 위치에서의 열흡수율, 가스 온도, 증기온도, 환경배출물 및 성능을 비교하는 방법을 적용하였다.

Fig. 8은 연료조건에 따른 보일러 주요 전열면별 열 흡수율 점유율을 비교한 결과이다.

바이오중유를 연소시에는 복사열전달 구역에 배치 되어있는 전열면인 evaporator 및 superheater2에서의 열흡수량은 감소되는 반면 그 이후에 위치한

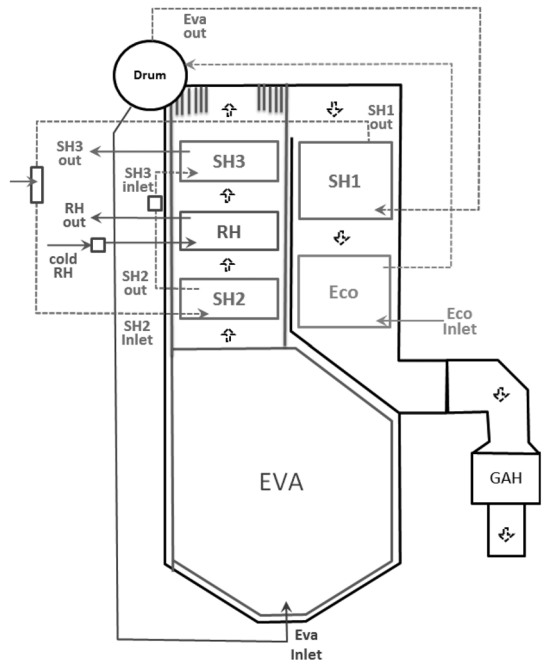


Fig. 7. The heating surface arrangement & the major analysis point for steam & gas side of boiler system.

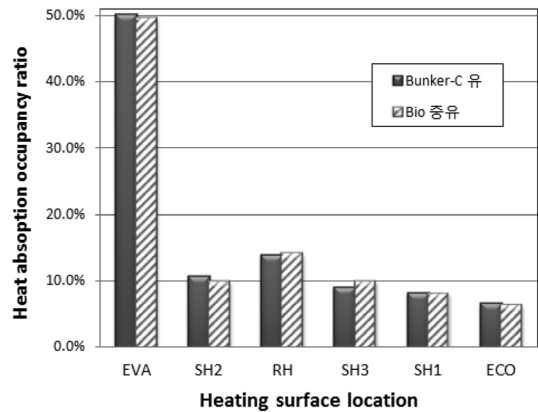


Fig. 8. The effect of fuel type on heat absorption pattern of each surface.

대류 전열면에서는 증가되는 경향이 나타났다. 그 이유는 바이오 중유는 중유대비 탄소/수소 비율이 낮고 soot 발생이 적으며 화염의 강도가 낮아 화로내에서 복사열전달이 감소되는 효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

이런 결과는 미국 하와이의 KAHE 발전소에서의 실험 결과와도 유사하다.

일반적으로 보일러의 어떤 전열면에서 열흡수율이 크게 증가하면 상기 전열면 보일러 튜브의 금속의 온도 구배역시 증가되므로, 보일러 튜브의 수명

Table 4 major operation variable status

구 분	중유	바이오중유
발전출력(MWe)	72	79
연료유량(t/h)	15.9	19.2
보일러duty(Kwth)	198051	217643
연소공기유량(t/h)	245.7	263.9
재순환유량(t/h)	68	54
배가스O ₂ (%)	1.75	2.15

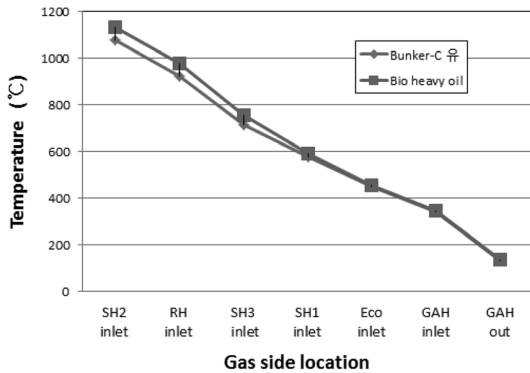


Fig. 9. The effect of fuel type on flue gas temperature of each surface inlet side.

측면에서의 검토가 필요하다고 알려져 있다. 그러나 이번 운전자료 분석결과에서 열흡수량 증가분이 크지는 않으므로 설비에 미치는 영향이 크지는 않을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 연료 조건별 주요위치에 대한 연소가스 온도 비교결과 이다.

바이오중유 연소시는 SH2, RH, SH3 등 고온 구역에 위치한 전열면 입구측의 가스온도 조건이 중유연소시보다 다소 상승되는 것으로 나타났다.

이런 현상의 주원인은 Fig. 8에 나타난 복사열전달 구역의 열흡수율 저하 현상에 따른 것으로서 증발기 벽면에서의 열흡수율이 낮아짐에 따라 화로의 연소가스가 상대적으로 고온 상태로 유지되기 때문이다.

한편 후부전열면으로 갈수록 연료별 온도편차가 감소하여 SH1 이후의 전열면들은 연료의 종류에 관계없이 일정한 가스온도 조건이 유지되었다.

고온부 연소가스의 온도는 보일러 튜브 금속의 creep 수명은 물론이고, 낮은 융점을 가지는 바나듐 산화물에 의한 고온부식에 영향을 미치므로 과도한 온도상승이 발생되지 않도록 지속적인 감시 및 운전변수 조정에 의한 완화가 필요할 것이다.

단 본 결과는 실험중 발전출력이(중유 : 72 MWe, 바이오중유 : 79 MWe) 다르기 때문에 향후 보정하여 검토할 필요성이 있다.

발전소 보일러에서 증기측의 경우 발전출력 변화에 따라, 증기유량은 변동시키지만 각 전열면 각 위치별 증기온도는 일정하게 유지하며, 압력은 운전방식에 따라 변압 또는 정압운전을 선택하여 적용한다. 반면 가스측은 발전출력 변화에 따라, 증기측의 조건을 맞추기 위하여 연료량, 공기량 및 과잉공기율을 변화시키는데 일반적으로 발전출력이 증가할수록 동일위치에서의 가스온도는 약간씩 증가 된다.

따라서 바이오중유와 중유를 동일한 발전출력에서 평가한다면 온도편차가 현재상태보다 약간은 완

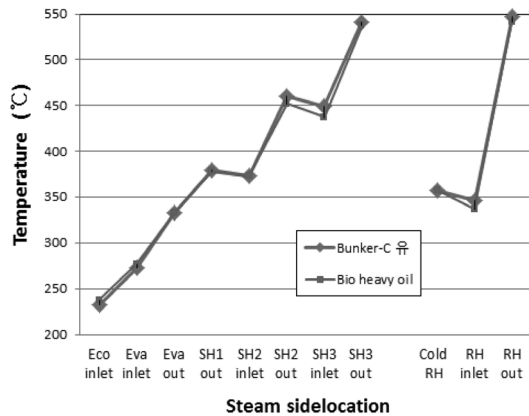


Fig. 10. The effect of fuel type on water & steam temperature of each heating surface.

화되어 평가될 것으로 추정할 수 있다.

종합적으로 판단하면 본 실증발전소 보일러에서 바이오중유를 연소하면 중유 연소시 보다 고온구역의 전열면들은 입구측 가스온도가 상승되는 경향이 나타나지만 설비에 심각한 영향을 미칠 정도로 변화의 폭이 크지는 않은 것으로 보인다.

Fig. 10은 연료조건별 주요위치의 급수 및 증기온도를 비교한 결과이다.

각 전열면의 입출구 증기온도는 발전소에 설치된 제어설비에 의하여 버너분사각도 조절, 과열 저감기 유량 및 재순환가스 유량에 의해 조절되기 때문에, 연료의 변화에도 불구하고 전반적으로 큰 변화 없이 안정되게 유지되고 있었으며, 터빈성능에 영향을 미치는 최종과열기 및 최종 재열기 출구온도도 적절한 운전범위로 유지할 수 있었다.

Fig. 11은 연료조건별 배기 가스에 포함된 환경 배출물 농도를 비교한 결과이다.

평가대상 위치는 보일러 economizer 출구에서 공기에열기로 연결되는 덕트이며, 상기위치에서의 배

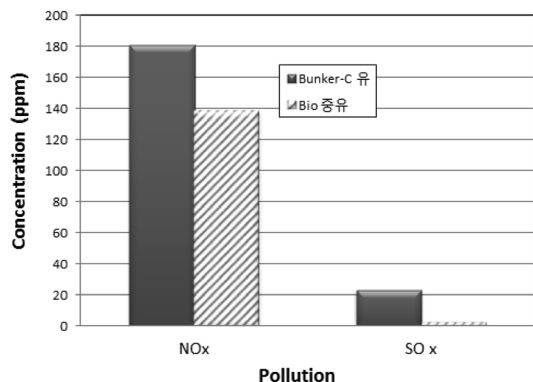


Fig. 11. The effect of fuel type on NOx & SOx concentration at economizer outlet.

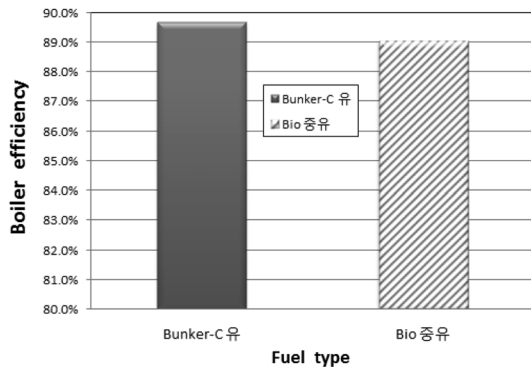


Fig. 12. The effect of fuel type on boiler efficiency.

기 가스중 NOx 및 SOx 농도는 모두 바이오중유를 연소하는 조건에서가 낮게 나타났다. 그 이유는 주로 바이오 중유의 성장중 질소 및 유황성분이 중유보다 현저히 낮기 때문인 것으로 예상된다.

기존발전소에는 후처리방식의 탈질설비 및 탈황설비가 설치되어 있으나, 바이오중유를 연소시에는 탈질 설비는 운전비용을 대폭 저감 가능할 것이며, 탈황설비는 가동을 중지해도 될 정도의 상황이 되는 것으로 판단된다.

Fig. 12는 연료 조건별 보일러 효율에 대한 평가 결과이다.

직접법에 의한 보일러 성능평가 방법을 적용한 결과 바이오중유 연소시에는 중유연소시 대비 보일러효율이 약 0.7% 저하되는 결과가 나타났다.

단 이번 결과는 기존에 저유황 벙커C유를 연소하는 발전소에서 바이오중유를 연소하는 경우를 비교한 결과이며, 만일 고 유황유를 연소하는 발전소에서는 다른 비교 결과가 나타날 수도 있을 것이다.

예를 들면 고 유황유 연소 발전소는 저온부식방지를 위해 배기가스 온도를 높게 유지해야 하지만, 상기 발전소에 바이오중유를 연소할 경우에는 유황함량이 낮아 저온부식의 경향이 적으므로 배기가스 온도를 낮출 수 있고 이에 따라 건 배기가스 손실감소의 효과를 얻을 수도 있다는 점을 고려할 수 있다.

5. 결론

바이오중유의 발전연료 상용화를 위하여 세계 2 번째로 바이오중유 연소 실증실험을 성공적으로 시행하였다.

중유전소 발전소에 바이오중유를 부분 혼소 또는 전소하게 되면 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS) 준수에 크게 기여할 수 있을 뿐만 아니라 노후 중유 발전소의 이용률 제고가 가능하며, 환경 배출물 저감에도 효과적일 것이다.

실증 실험중 취득된 운전 값들은 data 조율 및 모

델기반의 결과분석 기법을 적용하여 평가하였으며, 그 결과 도출된 바이오중유의 연소 및 열전달 특성은 다음과 같다.

1) 기존 발전설비에서 버너팁 및 연료공급 장치 등 일부 설비만 개조하고, 대신 부하별 운전변수를 재조정 하는 방법만으로도 바이오 중유 100% 전소가 가능하였다.

2) 복사열전달 구역(증발기 및 복사과열기)에서는 열 흡수량이 감소되는 반면, 대류 전열면에서는 반대의 경향이 나타난다.

3) 화로출구 고온구역에서는 가스온도가 다소 상승되는 경향이 발생된다.

4) 증기온도는 버너틸트, 재순환가스유량 및 과열저감수 유량 등 제어방법을 복합 적용함으로써 정격으로 유지가능하다.

5) 배기가스중 NOx 및 SOx 배출농도 저감이 가능하다.

6) 보일러 효율은 경미하게 낮게 평가되었다. 그러나 고유황유 연소 발전소에서 비교평가 한다면 다른 결과가 나타날 수도 있다.

단 이번 결과는 특정 발전소에서 단기간에 시행된 결과를 기초로 하고 있으며, 다양한 바이오중유 유종별 특성, 장기운전특성 및 발전소형식별 특성은 지속적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 2014년 발전회사(남부, 동서, 서부, 중부발전)와 연구과제협약을 통해 지원을 받아 수행한 연구과제(2014RGF01)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 산업통상자원부, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령
- [2] Kim Jun-Hui, LeeEung-Jik, Study on the Present State of Duty Performance According to the RPS System and Improvement Plan, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 6, 2013, p.100-101.
- [3] 한국석유관리원, 바이오중유 품질특성, 발전용 바이오연료워킹그룹 세미나, 2013, p.16-17
- [4] 산업통상자원부 정책고시, <http://www.motie.go.kr>
- [5] Biofuel Co-Firing TR1024583, EPRI, 2011, p.22-23.
- [6] 백세현, 김태형, 발전소 보일러 연료대체를 위한 기술 검토보고서, 전력연구원, 2012. p.7-9
- [7] JeBok Yang, InGu Lee, KyungRan Hwang, Experi-

- mental Study on Combustion of Boiler Fuel Made of Light-Oil and Bio-Oil, #45 KOSCO SYMPOSIUM, november 30th, 2012, pp 204
- [8] Jae-Duk kim, hurri Ainull1, yu-Keun Song, Jae-Yeon Jung, Hyung-Gon kim, An Experimental Study on Spray Characteristics of Diesel and Bio-diesel Fuel, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, V35-1, 2011. p53-59
- [9] Seuk Cheun Choi, Mun Young Choi, Seul-Hyun Park, Measurements of Dimensionless Light Extinction Constant for Diesel and Biodiesel Soot, #41 KOSCO SYMPOSIUM, november 11th, 2010, p162
- [10] Thermal Electric Power plant data book, KOREA Electric power corporation, 2000.