Check for updates

Journal of Korea Robotics Society (2022) 17(1):093-101
https://doi.org/10.7746/jkros.2022.17.1.093 ISSN: 1975-6291 / eISSN: 2287-3961

B.C유 전소발전소에서 바이오중유 혼소 · 전소시 제어시스템 최적화 방안 고찰

Study on Optimization of Bioheavy Oil Combustion and Conversion Control System in a Heavy Generation Power Plant

이 갑 주[1] · 정 진 도†
Kabju Lee[1], Jindo Chung†

Abstract: Bioheavy oil, which is expanding its range of use as an alternative fuel to reduce environmental pollutant emissions, has a lot of difficulty in combustion due to its low emission of pollutants such as nitrogen oxide (NOx) and sulfur oxide (SOx), while its low dissipation and high oxygen content in fuel. many studies have been conducted on change in characteristics by mixing rate combustion characteristics and combustion reactions, but there have been no specific and effective studies on the composition of control system, optimization of control, development of logic for mixing and burning, minimizing environmental pollutantants discharge. In this study, we intend to consider systemmatic and empirical considerations on the composition, logic development, solve the problem of manual switching of bioler master due to excessive oxygen content and tuning of the control system for optimal combustion of bioheavy oil.

Keywords: Bioheavy Oil, Composition, Logic Development, Tuning, Control System

1. 서 론

정부는 2012년부터 본격적으로 신·재생에너지 공급의무화 제도(RPS, Renewable Portfolio Standard)를 시행하면서 환경오염물질 배출을 저감하고 에너지의 해외 의존성을 극복할 수 있는 다양한 에너지자원을 개발하고자 많은 노력들을 시도하고 있다. 2014년에 발전용 바이오중유시범보급사업추진에 관한 고시를 발효하여 한국지역난방공사를 비롯한 발전4사와 19개 생산업체가 참가하여 시행한 발전용 바이오중유시범사업[1]도 그 일환이다. 연료에 황분 0.02 wt.% 질소성분 0.03 %가 함유되어 황산화물과 질소산화물 발생을 획기적으로 저감[2]할 수 있는 바이오중유를 중유발전소에 연료로 사용하는 연구를 시행하고, 2019년에는 신재생에너지법 시행령 및 시행규칙을 개정하여 신재생에너지로 바이오중유를 추가하였을 뿐만 아니라 석유 및 석유대체연료사업법 시행규칙을 개정하여 바이오중유 사용증대를 위하여 전국 유류발전소로 사용범위를 확대하였다. 현재는 바이오중유를 운송용 선박 및 항공기 연료로 사용하기 위한 Testbed 사업들이 활발히 진행되고 있다. 이렇게 사용범위가 확대되어 가고 있는 바이오중유는 중유에 비해 발열량이 6.6% 정도 낮고 산소농도가 10.0 wt.%로 100 %p 정도 높기때문에 대용량발전소에 사용할 경우에는 복사전열면인 증발기의 열흡수량 점유율은 감소 되고 그 후 대류전열면인 재열기(RH, Reheater)는 증가[3]된다. 바이오중유는 동일부하에서 비교시 중유보다 발열량이 낮아 연료공급량이 증가됨에 따라 연료에 비례하여 공기량이 공급되어야 하나 연소용 공기의 공급 부족으로 보일러 마스터(Boiler Master)가 수동으로 절환되어 C-C Mode (Coordinated Control Mode, 보일러-터빈 협조제어방식[4])가 해제되고 Turbine Following Mode로 절환됨으로써 AGC(자동급전제어)운전이 잘 안되는 문제점이 발생 된다. 본 논문에서는 대용량 석탄화력발전소의 초기 기동연료로까지 확대 사용이 검토되고 있는 바이오중유

Received : Oct. 5. 2021; Revised : Jan. 10. 2022; Accepted : Jan. 28. 2022
1. Principal Researcher, EWP, Ulsan, Korea (jesus9415@kist.re.kr)
† Professor, Corresponding author: Environmental Engineering, Hoseo University, Asan, Korea (Jindo@naver.com)

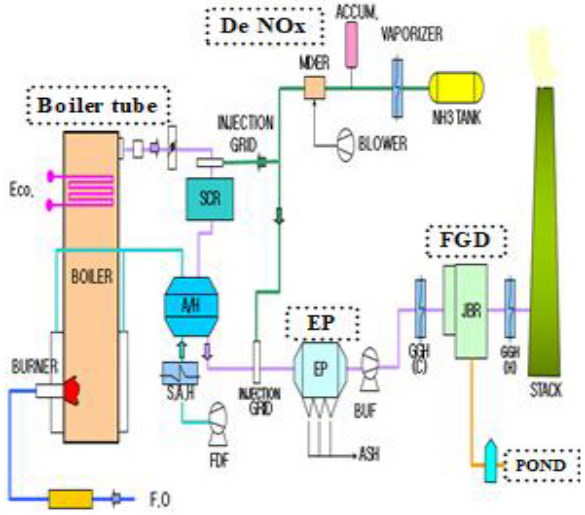
Copyright ⓒ KROS

의 혼소·전소시 제반 문제점을 제어시스템 최적 운영 관점에서 고찰하고 개선방안을 연구하고자 한다.

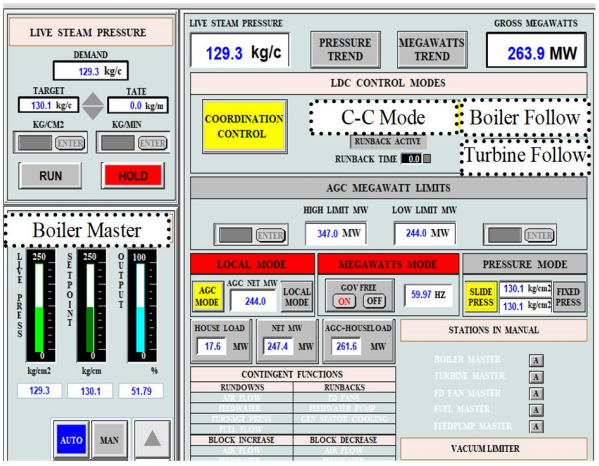
2. 실험대상 및 방법

실험대상 발전소는 [Fig. 1]과 같은 중유발전소로 출력 400 MW급이며 주연료는 벙커C유를 사용하고 아임계압 관류형 보일러에 2단 재열 압입통풍방식을 사용하고 있다. 실험 설비에서 연소용 공기와 연소가스의 흐름은 압입송풍기(FDF, Forced Draft Fan)에 의해 대기로부터 공급되는 공기를 증기예열기(SAH, Steam Air Heater) 및 공기예열기(AH, Air Preheater)를 거쳐 예열하여 보일러에 공급하고, 연료는 보일러 전·후면에 설치된 대향류방식 4단의 증기분무식 Burner를 통해 공급된다. 연소후 발생되는 연소가스는 보일러 튜브에서 복사 열전달과 대류열전달을 한 후 탈질설비, 집진장치, 탈황설비를 거쳐 굴뚝으로 배출된다.

[Fig. 2]는 발전설비를 자동 또는 수동으로 운전할지 선택하는 대상 발전소의 Unit Control Board 실제 화면을 캡처한 그림이다. UMC (Unit Master Control)계통은 자동급전지령신호(ADS), Unit 자동프로그램 또는 운전원과 제어시스템 사이의 Interface를 제공하며 Unit가 필요로 하는 Load Demand 신호를 보일러와 터빈에 보낸다. UMC가 수동 Mode때는 ADS[5]로부터 분리되며 협조제어(C-C Mode)는 보일러 및 터빈제어계통이 자동모드로 Boiler Master 및 Turbine Master가 자동일 때 선택 가능하다. Turbine Following Mode는 보일러 제어계통이 수동이고 터빈 제어계통만 자동인 운전상태로 주증기 압력을 제어[6]하고, Boiler Following Mode는 터빈 제어계통이 수동이고 보일러 제어계통이 자동일때 선택하며 Boiler Master는 터빈 부하에 맞추어 목표값이 설정되고 연료, 공기 및 급수를 제어



[Fig. 1] Heavy oil power plant simple block diagram



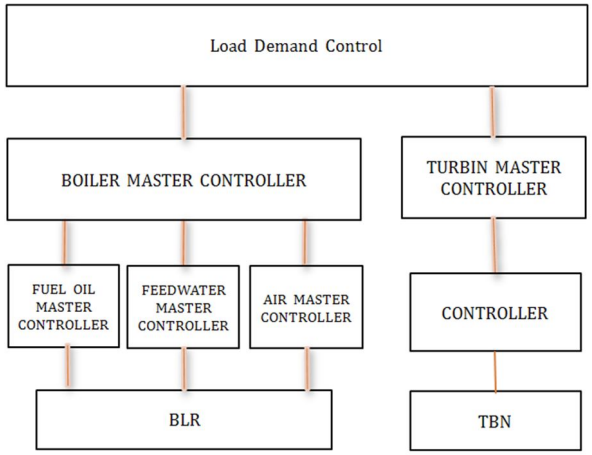
[Fig. 2] Heavy oil power plant unit control board

하여 주증기 압력제어를 수행한다.

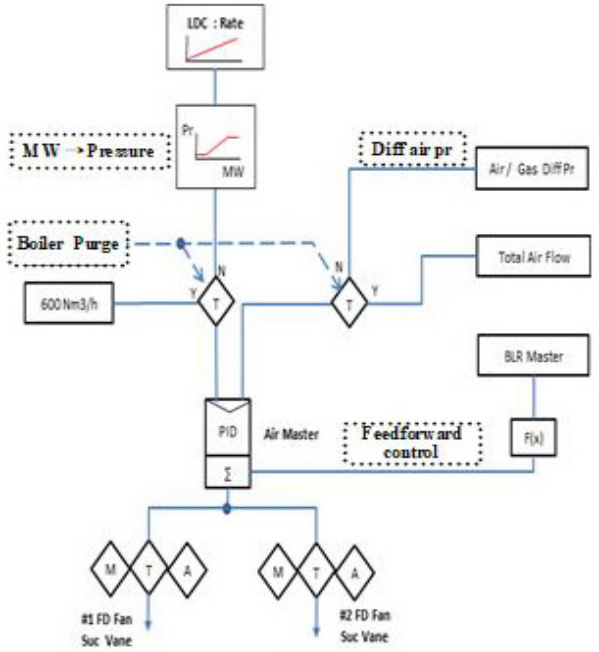
2.1 중유발전소의 연소계통 제어시스템 구성

C-C Mode는 일차적으로 전력거래소 급전지령(ADS)을 받고, 보일러 증기압력과 발전기 출력을 제어하게 된다. 증기압력 편차와 발전기 출력 편차를 합산하여 PID Controller를 거쳐서 계통 주파수 보정을 합한 값이 최종 보일러 Master Demand로 출력된다. 보일러 Master는 [Fig. 3]과 같이 하부의 Fuel Oil Master, Feed Water Master 및 Air Master가 자동(Auto)인 상태에서만 자동 상태를 유지 할 수 있다.

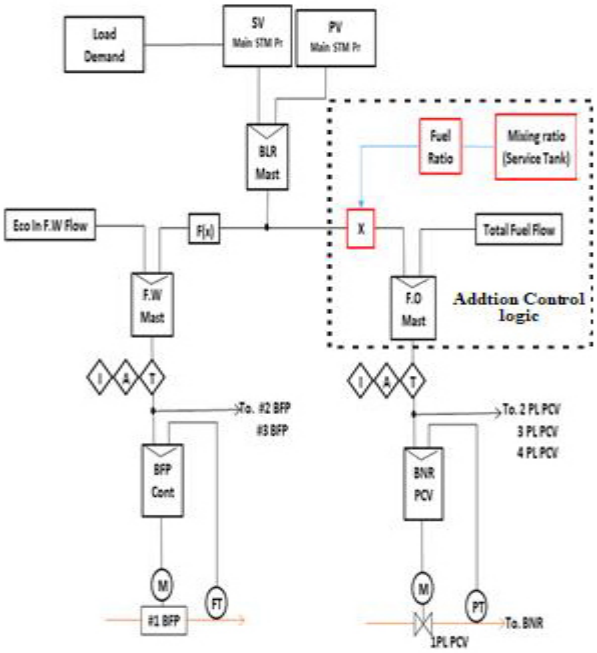
Fuel Oil Master Controller는 BLR Master Output을 Set Value로 받아 유량 설정값이 되며, 불완전 연소 방지를 위해 연료량이 공기량보다 많지 않게 제한한다. 연료유 유량(Total Fuel Oil Flow)은 각 버너에 설치된 유량계 측정값의 합으로 된다. 유량계에서 측정된 측정값과 발전기 출력별 유량 설정값의



[Fig. 3] Unit control block diagram



[Fig. 4] Air master control logic



[Fig. 5] Mixing firing ratio logic

유량차(△F)가 Fuel Master Error로 입력되어 연료량을 제어하게 된다. Air Master Control 계통은 [Fig. 4]와 같이 발전기 출력을 압력으로 변환한 값과 Air/ Gas Diff Pr.(공기 덕트와 보일러 노내압력의 차압) 요구값 이하가 되는 경우 흡입 Vane을 열어 주고 압력차가 요구값을 초과하면 Vane을 닫아 일정한 압력으로 공기가 노내에 분사되도록 PID동작을 한다. 기동전 보일러 Purge시는 공기유량 600 Nm³/h를 공급하도록 PID 동작을 한다. 보일러 마스터에 대한 공기량 계산값을 선행 신호로 사용하고, 공기량과 연료량을 비교하여 공기량이 많이 공급되도록 'Air Rich 제어[7]'를 적용하여 불안전 연소를 방지한다.

2.2 바이오중유 혼소용 제어시스템 구성

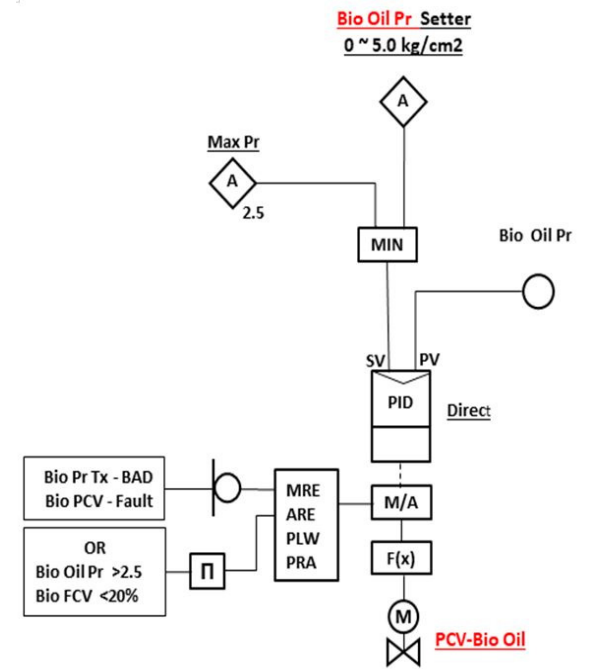
실험 발전소에 바이오중유와 벙커C유를 혼소하기 위하여 기존의 벙커C유 운전설비와 별도로 바이오중유 공급용 펌프와 밸브 등 기계설비를 구축하고 현장 계측용 바이오중유 계량용 유량계와 압력계를 설치하였다. 측정된 바이오중유와 벙커C유는 유량기준으로 벙커C유와 바이오중유의 혼소율을 계산하여 연소하도록 [Fig. 5]와 같이 Logic을 구성하여 Fuel Oil Master에 적용했다.

바이오중유는 동점도가 낮아 온도에 따라 점도의 변화가 민감[8]함에 따라 저장과 이송관련 설비의 온도제어가 중요하여 중유(60℃)보다 낮은 온도(50℃)로 관리해야 원활한 연료의 이송과 제어가 가능했다. 신설된 바이오중유의 유량계와 압력계로 측정된 실측값이 설정값과 차이가 발생했을 때 압력조절밸브(PCV, Pressure Control Valve)와 유량조절밸브(FCV, Flow Control Valve)에서 Control 할 수 있도록 [Fig. 6]과 [Fig. 7] 같은 Logic을 구성하여 운영했다. 운전측면에서는 바이오중유가 벙커C유 대비 탄소/ 수소 비율이 낮고 화염강도가 낮아 화로내 복사열전달이 감소 되는 특성이 예상되어 복사열 전달 구역에서 오래 연소되도록 버너의 분사각도를 중유시보다 하향 조절하여 복사열 흡수를 담당하는 증발기의 열흡수율을 높였다.

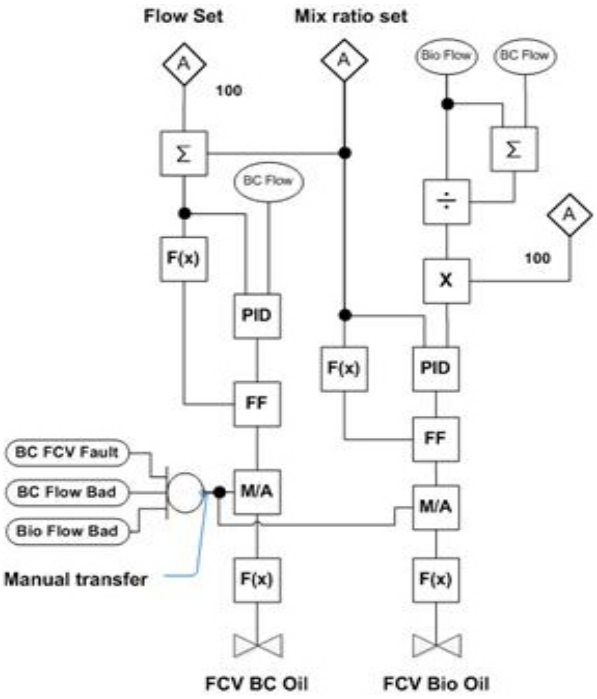
2.3 바이오중유 연소시 운전특성 분석

[Table 1]은 중유발전소에서 연료를 벙커C유로 사용했을 때와 바이오중유로 사용했을 때 동일출력에서의 운전자료를 비교한 것이다. 바이오중유는 벙커C유에 비해 발열량이 낮기 때문에 동일출력을 내기 위해서는 많은 연료가 사용됨에도 불구하고 [Table 1]에서 나타난 것과 같이 연료에 포함된 산소량이 많기 때문에 [Fig. 8(a)]와 같이 연소용 공기량은 적게 요구하여 연소계통에 혼란이 발생했다. 또한, 열교환이 보일러 후반 대류면에서 많이 이루어지기에 [Fig. 8(b)]에서와 같이 재열증기 온도가 높게 되고 이를 적정온도로 유지하기 위해 재열저감기의 급수량이 증가함에 따라 중압터빈과 저압터빈의 열적 Stress에 대한 대비가 필요했다.

이러한 운전특성의 변화는 [Table 2]에서 나타난 것과 같이 연료의 탄소성분이 낮아 발열량이 낮고 연료에 함유된 산소량이 많기 때문에 소요 공기량이 적은 것에 기인한 것으로 분석됐다.



[Fig. 6] Fuel oil pr. control block diagram

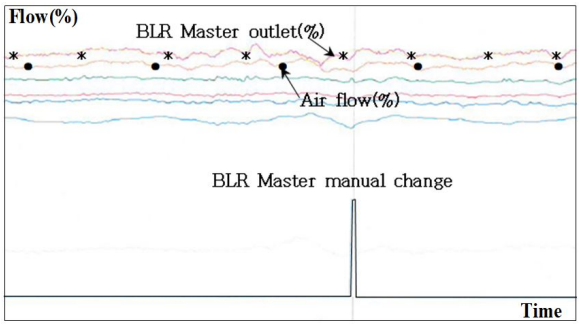


[Fig. 7] Fuel oil flow control block diagram

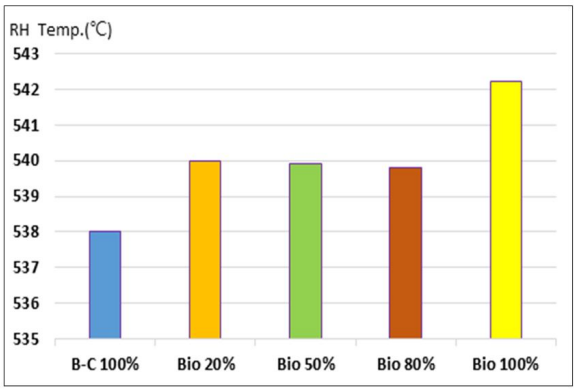
고부하 운전상태에서 바이오중유 연소시 중유와 동일한 출력을 내기 위해서는 바이오중유의 발열량이 낮기 때문에 연료요구량이 증가되어 Boiler Master가 증가되고, 이때 연료자체에 함유된 O_2 함량이 높아 O_2 Trim(과잉공기 조절기)에 의해 연소용 공기량이 감소됨에 따라 Boiler Master 수동절환[10]조건인 Boiler Mastert(%) 〉 연소용공기량(%) + 5%가 충족되어 [Fig. 8(a)]와 [Fig. 9] 같이 Boiler Master가 수동으로 절환된다. Boiler Master 수동 상태에서는 C-C Mode가 해제되고 Turbie Following Mode가 되어 터빈이 보일러 압력을 추종하여 계통의 주파수 추종운전이 원활하게 되지 않았다.

[Table 1] Operation data analysis (Load: 380 MW)

Items	Heavy Oil	Bio-Heavy Oil
SH Pr	174.6	175.3
SH Temp	539.6	539.7
RH Temp	518.9	533.1
O_2	0.87	1.104
Air Flow	1036.7	1005.8
Fuel Flow	87.3	96.4



(a) Boiler master & air fow trend

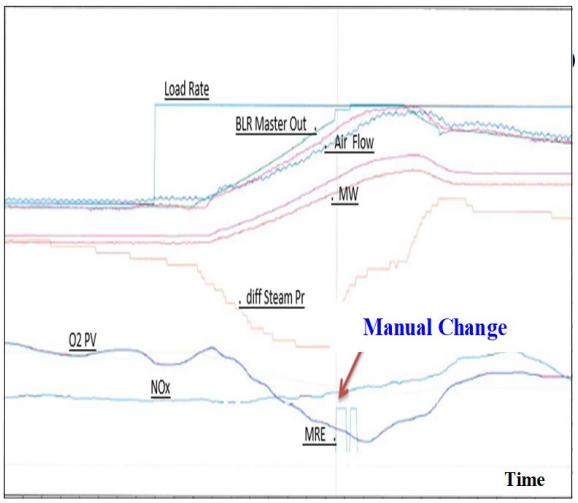


(b) Bio-heavy oil reheater temp. analysis[9]

[Fig. 8] Characteristic trend of bio heavy oil

[Table 2] Fuel oil component analysis (%, kcal/kg, wt.%)

Items		Heavy Oil	Bio-Heavy Oil
Ultimate Analysis (%)	C	86.7	76.9
	H	10.5	13.8
	O	0.25	8.98
	N	0.35	0.03
Caloric Value (kcal/kg)		10,025	9,365
Sulfur Content (wt.%)		2.13	0.02



[Fig. 9] Boiler master manual change (Monitoring display)

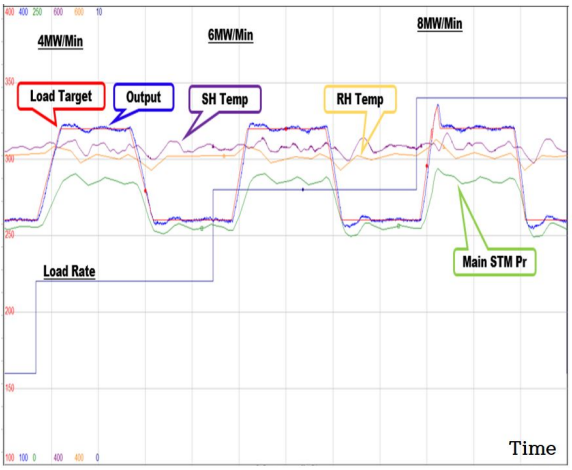
3. 시험 및 고찰

3.1 Boiler Master 수동절환현상 해소 Tuning 및 고찰

[Table 3]은 동일출력에서 중유발전소의 연료를 벙커C유를 사용했을 때와 바이오중유를 사용했을 때 Boiler Maser 및 [%]

[Table 3] Operation data analysis

Items	Heavy Oil	Bio-Heavy Oil
Calorific Value (Kcal/L)	10,000	9,500
Output (MW)	380	380
O2 Content (%)	0.1	10
Boiler Master Out (%)	75.8	85.5
Total Air Flow (%)	82.7	83.7
Boiler/Air deviation [%]	-6.9	1.8



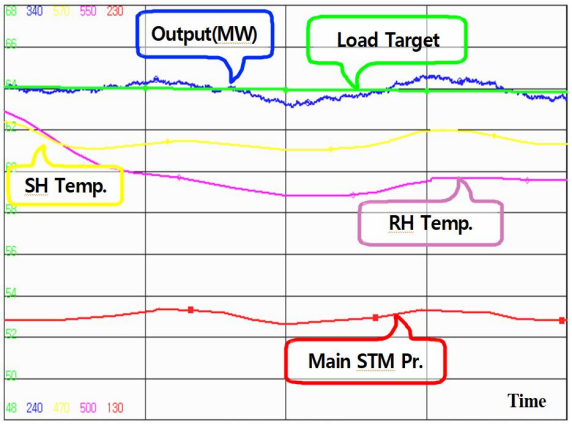
[Fig. 10] Monitoring display of dynamic characteristic

Deviation을 비교한 자료이다. 고출력에서 벙커C유 연소시는 Boiler Master Output가 연소용 공기량보다 크나 바이오중유의 경우는 [Fig. 8(b)]에서와 같이 연소용 공기량이 Boiler Master Output보다 낮게 되는 현상을 고찰하게 된다. 이 문제를 해결하기 위한 방안은 출력 증발시와 자동운전시(AGC) O_2(과잉공기)의 응동성과 안전성을 향상시킬 필요가 있는 것으로 판단했다. 이는 O_2 Trim의 F.F (Feedforward) Gain과 P-Gain을 증가시키고 적분시간(Tn)값을 증가시키는 동시에 Boiler Master의 F.F Gain과 Turbine Master의 Tn을 증가시킴으로써 해결 가능할 것으로 사료 되어 Tuning 후 실험했다.

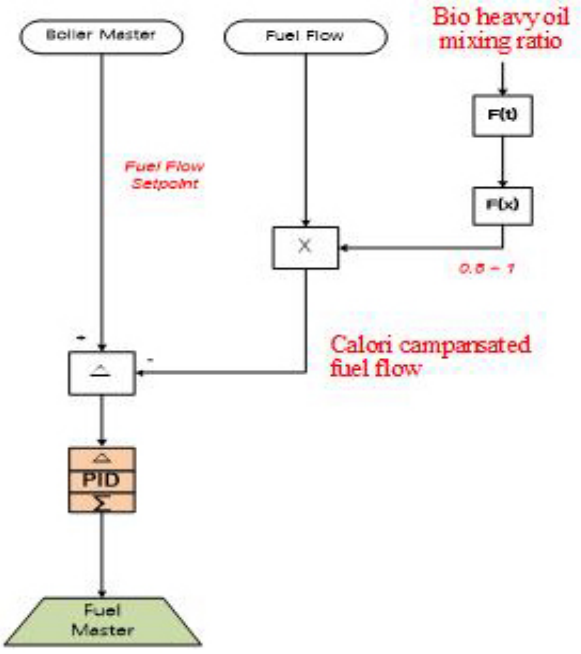
[Fig. 10]은 상기와 같이 시정수들을 Tuning한 상태에서 급전요구에 응대하기 위해 출력증감발률을 변동시켰을 때 출력변화상태를 나타낸 Operation Monitor 실제 화면으로 Boiler Master가 수동으로 절환 되는 현상은 해결되었으나 주증기 압력등 다른 운전요건들은 안정되지 않고 Swing 함에 따라 추가 연구가 필요함을 볼 수 있다.

3.2 보일러 정·동특성 향상 실험 및 고찰

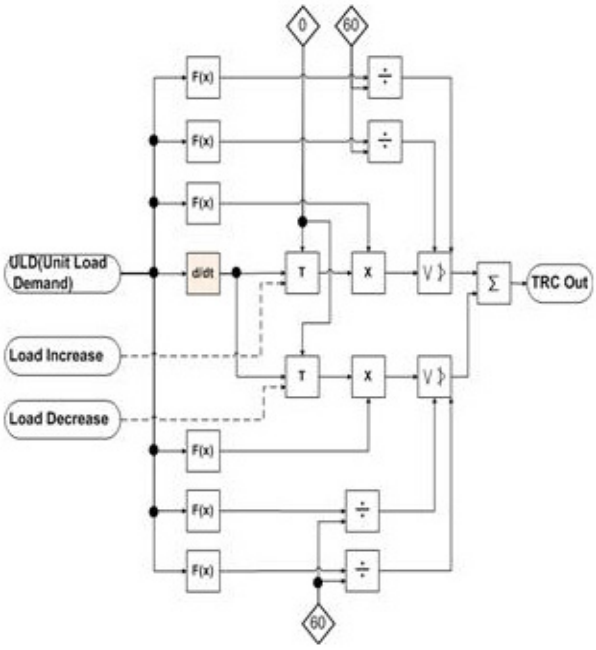
보일러 정특성(Static Characteristic)은 정상상태에서 입력과 출력의 관계를 나타내는 특성으로 발전소 프로세스 특성분석 및 설정치 프로그램을 위해 출력대별로 Data를 취득하는 시험인데 판정기준은 Steam Temperature ±3℃ 보일러 증기압력 ±2% 이내로 들면 정상상태로 판정한다. 본 시험설비는 출력요구량 고정상태에서 급수제어/연료제어 불평형(Unbalance)상태가 지속되어 출력이 지속적으로 Swing하고 Steam Temp가 최대 -8℃까지 변동됨에 따라 보일러 정특성시험에 불량 판정을 받아 Tuning이 필요한 상태였다. 상기 상황은 급수제어와 연료제어의 불균형으로 인해 보일러 증기 온도변화가 발생하고 이 보일러 증기 온도변화 감소를 위해 과열저감기가 동작하여 과열기 내부로 냉각용 급수를 Spray하게 됨에 따라 보일러 증기 압력변화가 생기고 보일러 증기 압력변화로 인한 출력변화가 생기면서 발생하는 연쇄반응에 기인한 것으로 사료됐다. 이는 급수가 연료에 비해 너무 빠르게 공급됨에 따라 발생되는 현상으로 판단되어 Boiler Master에 대한 필요 급수량 계산시 시간지연을 증가시키고, 고출력 특정기간의 Boiler Master P Gain을 느리게 조정하여 보일러 증기 온도와 압력의 Swing 현상 완화를 유도하였으며, 보일러 증기 온도제어를 위해 동작되는 과열저감기의 반복적인 Open/Close 현상을 해소하기 위해 과열저감기 PID 제어기 P Gain과 I Time을 조정하였다. 상기의 가정을 근거로 하여 Parameter를 조정한 후 정특성시험을 시행했다. [Fig. 11]은 정특성시험 결과를 보여주는 발전소 운전 Trend 실제 화면을 나타낸 것으로 출력과 온도의 Swing현상이 완화되고 보일러 증기압력도 ±2%이내로 양호



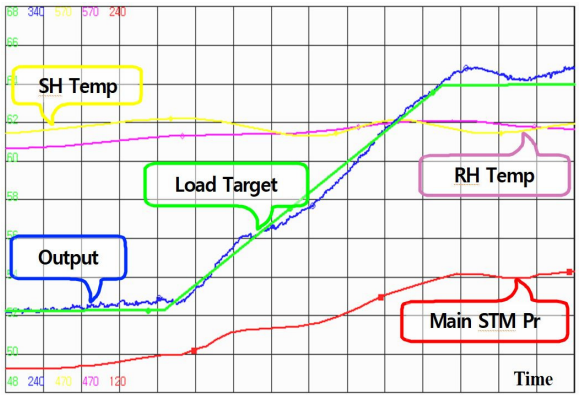
[Fig. 11] Monitoring display of static characteristic



[Fig. 12] Calorie calibration logic



[Fig. 13] TRC resetting logic diagram



[Fig. 14] Monitoring display of dynamic characteristi

한 상태가 되어 발생원인으로 추정했던 부분이 옳았음이 입증됐다.

동특성(Dynamic Characteristic)시험[11]은 제어계의 과도응답 특성을 조사하는 시험으로써 입력이 변화하는 상황에서 출력이 얼마나 신속히 응답 하는지를 나타내며, Dead Time, Rise Time, Setting Time에 의해 좌우되는데 본 시험설비는 부하변동이 최대 -12℃가 되어 판정기준인 ±8℃ 상회함에 따라 특성시험에서 불합격한 상태였다. 상기 현상은 바이오중유 열량이 낮아 동일 출력에서 필요한 열량이 증가함에 따라 연소용 공기량이 증가하고, 연료량 증가에 비해 공기량 증가 속도가 느려 고부하 출력대에서는 산소농도가 0%까지 떨어져 연소 불안정 상태가 발생되어, 보일러 증기 압력 및 발전기 출력 응동지연 또는 Undershoot가 발생한 것으로 판단됨에 따라 출력 응동개선과 출력 증·감발시 보일러 응답지연을 보정할 방안 연구가 필요한 것으로 사료 됐다. Boiler Master의 선행제어신호[12]를 조정하고 [Fig. 12]와 같은 발열량보정 Logic을 개발하여 추가함으로써 바이오중유 혼소율 및 보일러 특성의 빈번한 변화에 대처함으로써 출력 응동의 문제를 해소하고자 했다.

보일러 응답지연 현상은 기존의 과도응답보상(TRC, Transient Response Compensation)회로를 [Fig. 13]과 같이 재구성하여 추가 설치함으로써 해결토록 추진했다. 과도응답보상회로는 출력이 증가 또는 감소(Load Increase / decrease)시 발전기 출력(Unit load demand)의 분당 변화율을 계산하여 그 크기에 비례하는 변화량과 변화율로 보일러에 추가적인 입력을 가하여 보일러의 응답지연을 개선한 회로다. 추가적으로 TRC Gain을

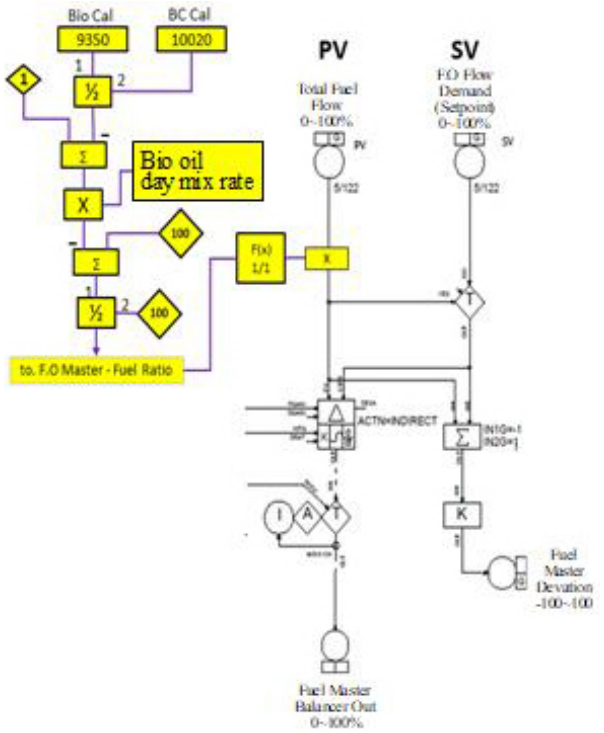
증가시켜 주증기 압력 및 출력 응동 개선효과를 강화시키는 방안으로 개선하여 동특성시험을 시행했다.

[Fig. 14] 동특성시험 결과를 보여주는 발전소 운전 Trend 실재 화면을 나타낸 것으로 출력이 변동되어도 Steam Temp 변동이 ±8℃ 조건을 만족하여 상기 가정에 의한 조치들이 유효했음이 입증되었다.

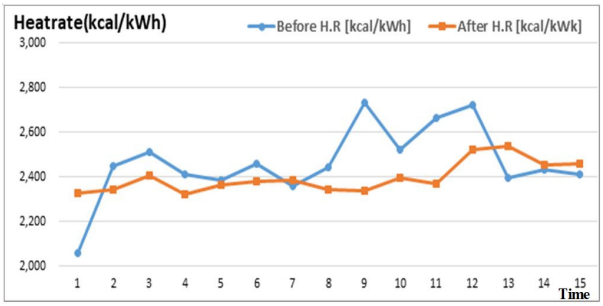
3.3 혼소율 자동보정 Logic 구현 및 고찰

실험 설비에서 바이오중유와 벙커C유 혼소율에 따라 연료 열량이 약 10,000 ~ 8,000 kcal/kg으로 변동되나 출력대비 연료 요구량은 B.C유 전소시 열량(10,500 Kcal/kg) 기준으로 설정되어 있어 혼소 운전시 연료 요구량이 적정하지 않아 보일러 주증기 압력제어 속응성 저하로 출력 증·감발 지연현상이 발생되고 계통안전운전에 지장요인으로 작용한 사례가 발생됨에 따라 바이오중유의 혼소율 변동시 자동으로 열량보정될 수 있는 프로그램 개발 적용이 필요함에 따라, [Fig. 15]와 같이 혼소율별 열량을 자동보정토록 Logic을 개발하여 적용하였다.

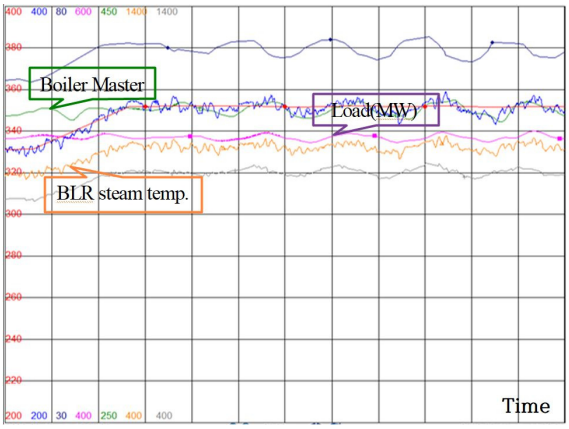
Fuel Oil Master PV에 입력되는 실유량값에 Fuel Ratio를 적용한 값을 F.O Master에 입력하여 연료열량 보상제어를 하고, Boiler Master 선행제어 신호에 Fuel Ratio 보정 값을 더하여 연료 설정값을 증가시켜 열량을 보상하여 제어하도록 구성한 Logic이다. 상기 Logic을 프로그램에 Loading하여 효과를 검증했다.



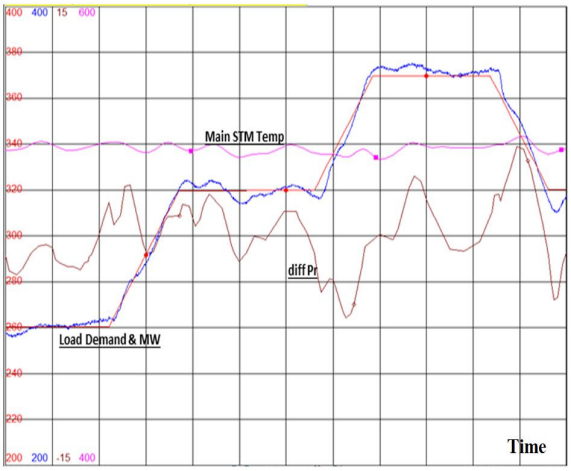
[Fig. 15] Calorie autocalibration logic diagram



[Fig. 16] Fuel consumption/kWh trend



(a) Monitoring display Of static characteristic



(b) Monitoring display of dynamic characteristic

[Fig. 17] Static and dynamic Characteristic trend

열량자동보정 Logic을 적용하여 시험 한 결과 [Fig. 16]에서 나타난 것과 같이 단위 출력당 연료 열소비량이 1% 정도 절감되고 연소가 안정되어 보일러 증기의 압력과 온도제어 안정성 향상 및 보일러제어 속응성이 제고되는 효과가 발생했다.

[Fig. 17(a)]와 [Fig. 17(b)]는 상기의 열량 자동보정 Logic을 적용하여 시험한 보일러의 정·동특성 운전자료 실제 화면을 나타낸 것이다. 바이오중유 및 중유의 연료수급 상황변화, 환경오염물질 저감 등의 상황에 따라 바이오중유의 혼소와 전소

등 운전방법 변동시 자동으로 열량이 보정되고 보일러 증기 온도와 압력이 안정적으로 제어되어 원활하게 출력변동이 되는 것이 검증됐다.

4. 결 론

본 연구에서는 벙커C유 전소로 설계되어 운전되고 있는 중유전소 발전소에 바이오중유와 벙커C유를 혼소하거나 바이오중유 전소시 선임연구자들이 연소특성 분석 및 수치해석 등의 연구를 통해 고찰하였던 특성들이 실증설비에서 동일하게 반복됨을 확인할 수 있었고 이 특성들을 고려하여 최적운전을 위한 제어시스템 구성 방안의 실증적 고찰에 주안점을 두었으며, 주요 결과는 다음과 같다.

1) 바이오중유 전소 및 벙커C유와 혼소를 위한 제어설비 관련해서는 바이오중유 전용의 압력측정 및 조절기, 유량측정기와 조절기등 하드웨어 설비가 필요하고 혼소율 변화에 따른 열량을 자동보정해줄 수 있는 혼소율별 열량자동보정 Logic, 보일러 속응성을 향상시키기 위한 과도응답보상(TRC)회로등이 기본적으로 필요하다.
2) 바이오중유에 함유된 다량의 O_2 성분이 연소시 보일러 내 Air Rich를 유지하기 위하여 운영 중인 Air Master의 O_2 Trim에 O_2 측정량이 증가되어 Air량 감소 신호를 보냄으로써 실제 연소에 필요한 Air Demand 신호를 감소시키는 작용을 함에 따라 열량자동보정 Logic이 구성된 고부하에서 O_2 파라메타 Set Value를 적정수준으로 낮춰주는 Tuning 작업이 필요하다.
3) 바이오중유 연소시 보일러 후부 연소 증가로 대류면의 열흡수가 많아 재열기의 온도가 상승하고 재열저감기의 냉각수량이 증가한 현상 등은 보일러 연소계통의 Vane을 하향 조절하는 기계적인 부분과 재열기저감기 Spray 투입관련 제어 파라메타를 조정하는 작업이 병행되어야 효과를 볼 수 있음이 확인되었다.

본 연구에서 시행한 실재 상용발전소에서 바이오중유 전·혼소에 필요한 제어 시스템구성, 제어설비의 Tuning 및 Logic 개발 등 제어설비 최적화 과정이 다른 유사 현장에 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 바이오중유에 포함된 질소성분이 중유에 비해 지극히 적음에도 배출되는 질소산화물의 양에 큰 차이가 나지 않는 현상이 연료에 포함된 산소함량에 의한 Thermal NOx의 영향[13]으로 추정 되는바, 효과적인 NOx 저감을 위해서는 향후 이 부분의 추가적인 연구가 필요할 것으로 본다.

References

[1] S. Hong and H. Yoo, “Effect of Fuel Mixing Ratio on Fuel Consumption in a oil Fired Power Plant,” *Plant jourrnal*, vol. 12, no. 3, pp. 39-45, Sep., 2016, [Online], http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201631641551109.page.

[2] S. Back, H. Park, Y. J. Kim, T. H. Kim, and S. H. Kim, “The Demonstration Test Result of 100% BiO Heavy Oil Combustion at The 75MWe Oil Fired Power Plant,” *Journal of the korean Society of Combustion*, vol. 19, no. 2, pp. 28-36, 2014, DOI: 10.15231/jksc.2014.19.2.028.

[3] S. Lee, “A Study on the Bio Heavy Oil Alternation as Large Scale Oil Fired Power Plant Boiler,” Ph.D. dissertation, Hoseo Univ., Cheonan, Korea, 2015, [Online], https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0014152750.

[4] KIPHRD, “Thermal Power Plant Technology Ⅱ,” *Jail Printing Company*, pp. 317, 2019, [Online], www.kiphrd.co.kr/page/group_edu_list?mode=list.

[5] G.-P. Lim, D.-Y. Park, J.-A. Kim, and H.-H. Lee. “The Development of Boiler Control Algorithm and Distributed Control System for Coal-Fired Power Plant,” *KIEE*. vol. 61, no. 3, pp. 442-450, 2013, DOI: 10.5370/kiee.2012.61.3.442.

[6] J.-A. Kim, “Control function in the digital turbine control systems,” *Korea Cogeneration Association*, vol. 14, pp. 34-37, 2000, [Online], https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09589756.

[7] G.-P. Lim and H.-H. Lee, “The Development of Boiler Combustion Air Control Algorithm for Coal-Fired Power Plant,” *KIEE*, vol. 61, no. 4, pp. 153-160, 2012, DOI: 10.5370/kieep.2012.61.4.153.

[8] S. Back, H. Kim, H. Park, Y. J. Kim, T. H. Kim, and S. H. Kim, “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. 21, no.1, pp. 15-23, 2015, DOI: 10.15231/jksc.2015.20.1.015.

[9] S. Lee, “A Study on the Bio Heavy Oil Alternation as Large Scale Oil Fired Power Plant Boiler,” Ph.D. dissertation, Hoseo Univ., Cheonan, Korea, 2016, [Online], https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0014152750.

[10] EWP Ulsan Power Plant, “Control Equipment Explanation Book,” *BLR Master Manual Change Condition*, pp. 56, 2014, [Online], https://ewp.co.kr.

[11] Y.-O. Shin and C.-K. Jung, “ The study of retrofit method for the used control system of power plant to improve its reliability,” *KIEE*, pp. 737-739, 1999, [Online], http://www.koreascience.or.kr/article/CFKO199903977693891.page.

[12] K.-Y. Oh and H.-Y. Kim, “Unit Response Optimize mode Design of Ultra Super Critical Coal-Fired Power Plant based on Fuzzy logic & Mode Predictive Controller,” *KIEE*. vol. 57, no. 12, pp. 2285-2290, Dec., 2008, [Online], http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200804050607885.page.

[13] J. H. Ha, C.-H. Jeon, and Y.-C. Kwon, "A Study on the Emission Characteristics for Blended Power Bio-Fuel Oil," *Transactions of the korean hydrogen and energy society*, vol. 26, no. 5, pp. 484-492, 2015, DOI: 10.736/khnes.2015.26.5.484.

이 갑 주

1989 한국전력 입사
2001 한국동서발전 전적 승계
2007 전남대학교 대학원 전기공학과(석사)
2020~현재 동서발전 울산본부 처장

관심분야: 화력발전 전기설비 운영, 발전설비 고장 분석, 전기분야 신제품과 시스템운영 프로그램 개발 등

정 진 도

1988 충남대 열유체공학과(박사)
1996 Kanazawa대학교(일본) 환경공학(박사)
1997~현재 호서대학교 교수겸 특임 부총장
2021 (사)한국에너지기후환경협의회 회장

관심분야: 열.유체 기술, 에너지 기술, 에너지기후융합 기술, 환경설비 관련 기술개발 등