

500MW 표준석탄화력발전소의 환경안전우선 설비운영개념 도입방안 고찰

이 갑주* · 정진도** · 김산**
*한국동서발전 · **호서대학교 대학원

Study of the Environment Priority Facility Operation Concept of 500MW Standard Coal Thermal Power Plant

Kab-Ju Lee* · Jin-Do Chung** · San-Kim**
*KEWP · **Hoseo University

Abstract

In Korea, 500MW standard coal fired power plants were designed and operated for the initial base load, so facility stability was prioritized from facility problem to treatment, but now we needed to research for minimizing greenhouse gas emissions at the operation of coal fired power plants. Research on various facilities and technologies was actively conducted to reduce environment pollutants was drastically reduced, but research and attempts on coping measures in the event of a reduction facility problem were insufficient. This study considered investigated ways to minimize pollutants by quickly responding to logic development and application of the load runback concept in case of serious problems with environmental pollutant reduction facilities such as NOx reduction selective catalytic reduction facilities, SOx reduction wet flue gas desulphurisation facilities, and TSP(Total Suspended Particles) collection low temperature electric precipitator.

Keywords : Coal power plant, Environment, Reduction facility, Load runback concept

1. 서론

화력발전소는 석탄, 중유 등 연료를 연소하여 증기를 생산하고, 이 증기가 발전기의 Rotor와 연결된 터빈을 고속으로 회전시켜 전기를 발생시킨다. 그러나, 보일러의 연소 과정에서 유해한 환경오염물질인 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 및 미세먼지가 발생된다. 연소가스에 포함된 질소성분은 절탄기와 공기에열기 사이 설치된 선택적 촉매환원법(SCR, selective catalytic reduction)의 촉매제인 금속산화물(Fe₂O₃, Pt, CuO, WO₃ 등)과 접촉하여 N₂와 H₂O로 산화되어 제거된다. 연소가스에 포함된 먼지성분은 공기에열기 후단에 설치된 전기집진기(EP, electric precipitator)를 통과하면서 쿨롱력(Coulomb force)에 의해 집진극에 포집된다. 황성분은 대부분 탈황설비의 흡수탑내에서 석회석 슬러리와 화학반응하여 고순

도의 석회석으로 석출되고 미반응된 성분은 굴뚝을 통해 대기로 배출된다. 발전소에서는 환경오염물질 배출저감설비의 정상적인 운영뿐만 아니라, 발전소 굴뚝에 설치된 Clean SYS를 통해 먼지, SOX, NOX, HCl, HF, CO, NH₃를 측정하여 관리한다.

운전중인 발전소가 환경오염물질 배출허용기준을 초과했을 경우, 즉 대기환경보전법시행규칙 행정처분기준법에 따라 30분 평균 data를 3회 연속 초과할 경우는 행정처분으로 개선명령을 받게 되고, 30분 평균 data를 주 8회 초과1)했을 경우 조업정지명령을 받게 된다. 그런데 산업현장에서 환경오염물질배출저감설비의 문제는 빈번히 발생하고 적절한 조치가 이루어지지 못할 경우는 30분 data 초과로 인한 행정처분, 안전사고 및 환경오염으로 인한 사회적 문제를 일으킬 수 있다.

현재 운영중인 대부분의 발전소에서는 주요한 설비에

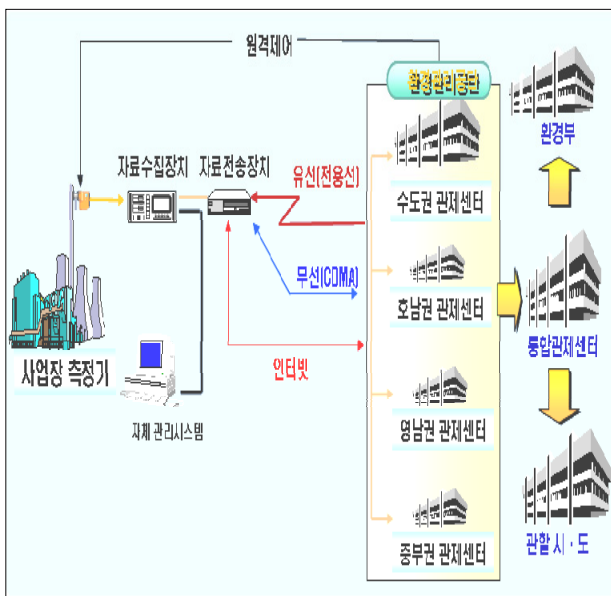
†Corresponding Author : Lee Kab Ju, KEWP (Ph.D.) Program, Hoseo University, Asan, Korea, E-mail: jesus9415@ewp.co.kr
Received March 22, 2022; Revision June 13, 2022; Accepted June 13, 2022

문제가 발생했을 경우 load runback2) 시스템이 설치하여 정상운전중에 문제가 발생했을 경우 규정된 출력까지 출력이 자동으로 감발되도록 프로그래밍되어 있고, 이 시스템은 계획예방정비공사후 주기적으로 동작상태를 시험하여 비상시에 대비하고 있다. 그러나 주요 환경오염물질배출저감설비에 문제가 발생할 경우 이 시스템이 적용되지 않아 설비담당 운전원의 판단과 개인적인 업무능력에 의존하여 후속조치를 하고 있기에 여러문제로 발전소 설비 운영에 심각한 영향 발생 우려가 높다. 이에 본 연구에서는 환경분야 안전사회 구현을 위해 화력발전소의 환경오염물질배출저감설비의 비정상 상황시 발생될 수 있는 문제점에 대한 대처 방안을 고찰하고 실증을 통해 합리적인 대안을 제시코자 한다.

2. 이론적 배경 및 대상설비

2.1 환경오염물질 배출감시 시스템

석탄화력발전소는 [Figure 1]와 같이 대기환경보전법에 의해 설치된 Clean System을 통하여 측정된 자료중 dust, SOx 및 NOx의 30분 data가 배출허용기준을 초과하지 않도록 중앙제어실에서 실시간 모니터링하며 관리하고 있다. Clean SYS의 30분 data는 매시 00~30분, 30~00분 구간의 5분 data 6개의 평균값을 근거하여 오염물질배출량 초과 여부를 결정한다.



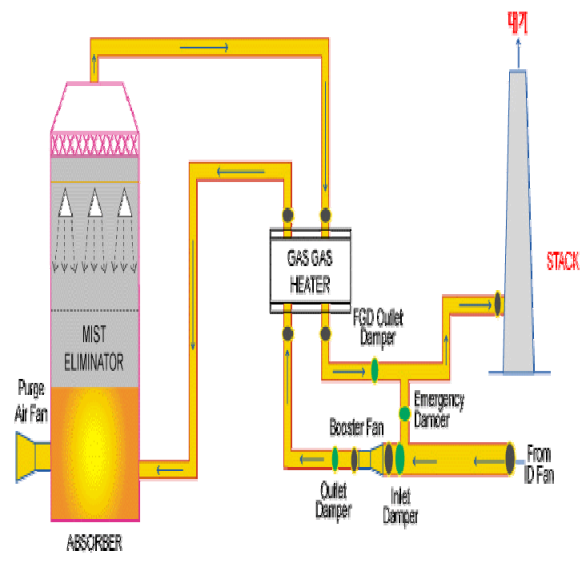
[Figure 1] Clean system diagram3)

배출기준 초과시점이 포함된 30분 data 구간부터 1회

초과여부를 판단하게 되고 5분 동안 data중 정상 신호 값이 75% 이상이면 5분 data 값으로 판정한다. 가동 유예시간은 가동시 보일러 점화후 9시간 이내와 정지시 보일러 소화 전 2시간 이내이며, 환경관리공단의 보일러 소화기준은 노내 산소량이 20% 이상일 경우로 하고 있다.

2.2 황산화물(SOx) 저감설비

배기가스중에 포함된 황산화물(SOx)은 [Figure 2]와 같은 습식탈황설비(wet FGD, wet flue gas desulfurization)의 흡수탑(absorber)을 통과하면서 배기가스중의 아황산가스(SO2)와 흡수탑 상부로부터 분사된 석회석 슬러리 CaCO3(석회석 반응제)가 접촉하여 석회석이 아황산가스를 흡수하는 화학반응($SO_2 + 2H_2O + CaCO_3 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$)을 일으켜 재활용이 가능한 고순도의 석고($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 부산물을 생산한다. 효율은 90%4) 정도다. 배기가스의 압력을 보상하고 승압시키는 승압팬(BUF, booster up fan), 배출된 95~125℃의 배기가스를 탈황 흡수탑으로 유입하여 재가열하는 배기가스 재가열설비(GGH, gas to gas heater), 배기가스와 석회석 슬러리가 반응을 일으키는 흡수탑으로 구성되어 있다. 흡수탑의 부속 설비들은 슬러리가 흡수탑 상부를 통해 분사되도록 순환시키는 순환펌프(RECP, recirculation pump)와 흡수된 SO2가 흡수탑내에서 산화반응이 잘 일어나도록 공기를 공급하는 oxidation air blower, 흡수탑 하부에 설치되어 슬러리의 침전을 막아주는 교반용 agitator가 설치되어 있다.



[Figure 2] FGD system diagram

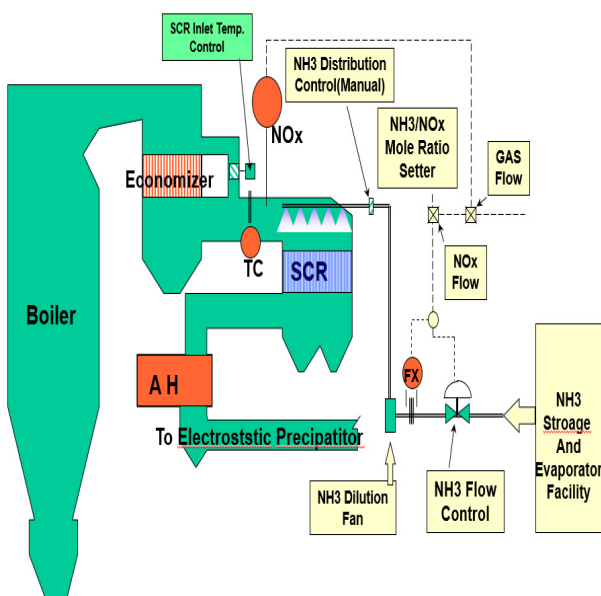
탈황용 석회석 계통은 석회석을 분쇄하는 ball mill, 석회석 silo 하부에 설치되어 석회석을 ball mill로 이송시키

는 weighting feeder, 분쇄된 석회석을 classifier로 이송하는 mill slurry pump, 석회석을 흡수탑에 공급하는 석회석 slurry pump로 구성되어 있다.

2.3 질소산화물(NOx) 저감설비

SCR은 배기가스중에 포함된 질소산화물(NOx)를 저감하기 위해 공기에열기전단에 [Figure 3]과 같이 설치되어 질소산화물을 함유한 배기가스에 환원제를 주입한 후 촉매층을 통과시켜 무해한 N₂와 H₂O로 분해하는 방법으로 제거효율은 80%5) 정도다. SCR의 환원제 설비계통은 암모니아 저장 tank, 액체상태의 암모니아를 기화하는 기화기, 기화기에서 기화된 일정 압력의 암모니아를 저장하는 완충기, 암모니아와 공기를 희석하는 공기 블로워, 기화된 암모니아의 폭발방지를 위해 암모니아를 공기와 희석시키는 암모니아/공기 혼합기, 희석된 암모니아를 직접 배기가스에 공급(분무)하는 AIG(ammonia injection grid) 설비로 구성되어 있다. 촉매계통은 촉매반응기, 촉매층을 blowing하는 soot blower 및 ammonia injection grid 후단에 배기가스를 일정하게 분포시키기 위한 가스 분배기(gas distributor) 설비가 있다.

기타 부속설비로는 폐수처리설비인 폐수 pond, 가성소다 주입설비, 암모니아 하역용 unloading 압축기, N₂ purge 설비, 암모니아 누설 발생시 물분무를 위한 물분사 설비와 NH₃ 공급을 위한 감압 및 제어 설비로 구성되어 있다.



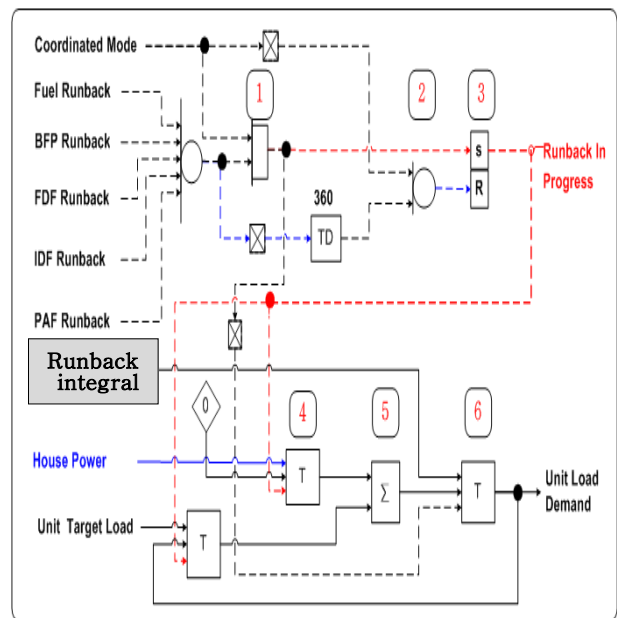
[Figure 3] SCR system diagram6)

2.4 부유먼지(Dust) 제거설비

전기집진기는 집진극과 방전극을 10inch 간격으로 수직으로 배열하고 양극사이에 D.C 30~70kV의 고전압을 인가하여 코로나방전을 일으켜 보일러의 연소용 배기가스 내 분진을 포집한다. 분진이 함유된 배기가스는 1~2m/s 유속으로 이 전장(magnetic field) 사이를 통과하면서 방전극 부근의 전계(電界)에서 코로나방전에 의한 가스분자의 충돌로 분진은 이온화되어 음(-)전하를 띠게 되고 ‘+’극인 집진극에 유인되어 포집된다. 이때 포집된 분진의 집진극판으로의 이동속도는 전계의 세기(E) 제곱과 입자경(d)에 비례한다. 집진극에 포집된 음이온의 분진은 전하를 잃으면서 자연낙하 되어 집진기 호퍼(hopper)에 쌓이게 되는데, 현재 발전소에서 사용되고 있는 전기집진기 집진효율은 99.9%7) 정도이다.

2.5 Load Runback 시스템

발전설비가 정상운전중 중요 단위가 고장시 운전중인 기기가 감당할 출력까지 감발하여 안정된 운전상태를 유지하는 load runback은 boiler master와 turbine master가 모두 자동 mode인 보일러터빈 협조제어(coordinated control) 모드8)에서 가능하며 협조제어 모드가 아닌 경우에는 load setback이 진행되어 boiler master를 45%로 감소시켜 연료, 공기, 급수량을 감소시킨다.



[Figure 4] Load runback logic diagram

[Figure 4]와 같이 runback은 협조제어 상태에서 정상 운전중인 설비 Fuel, BFP, FDF, IDF, PAF 중 1개의

설비라도 정지되면 신호가 발생되어 360초간 유지가 된다. Runback 신호가 발생되면 발전기 출력 요구신호인 unit load demand는 runback integral 신호를 추종하게 되고, runback integral 신호는 <Table 1>과 같이 운전중인 설비가 감당할 수 있는 부하까지 발전기 출력을 감발하여 발전기가 정지되지 않고 안정적으로 운전하게 한다.

<Table 1> Runback instrument list

Items	Amount	Target Output (MW)	Capacity (MW/1대)
IDF	2	275	300
FDf	2	275	300
PAF	2	275	300
BFPT	2	275	300
Pulverizer	5	460	115

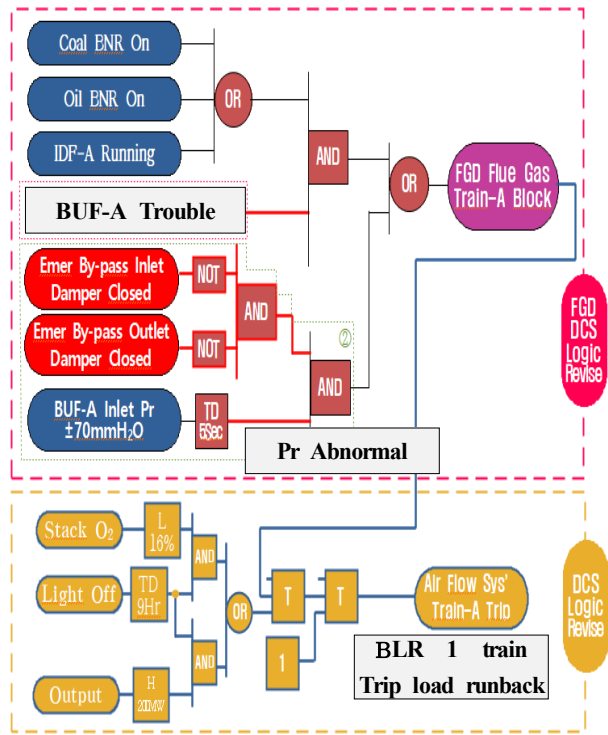
3. 고찰 및 실험결과

3.1 SOx 배출 최소화 방안 고찰

보일러 stack 전단에 설치된 탈황설비에 문제가 발생할 경우 황산화물이 순식간에 대기로 배출되어 환경오염물질 배출기준 초과 및 환경오염에 따른 각종 문제를 야기시킬 수 있다. 정상운전중 BUF가 정지될 경우 관련 하부계통이 운전되지 못하는 상황임에도 해당 계통이 즉시 자동으로 정지되지 않아 짧은 순간 보일러 출구 한쪽이 막힌 상황에서 보일러 출력이 감소되지 않고 연료가 공급되어 보일러 내부 압력이 급격히 상승하고 화염불안정 및 연소장애로 인한 노내 폭발이 우려된다. 또한, 운전중인 정상 계통이 과부하가 되고 해당 계통의 탈황설비 emergency by pass damper가 비상 개방되어 탈황설비를 통하지 않아 정제되지 않는 배기가스가 stack으로 배출되는 상황이 발생된다. 이는 어떠한 경우에도 환경오염물질 배출저감설비를 통과하지 않은 오염물질 함유 배기가스가 곧바로 대기로 배출되거나 비상시에도 오염물질배출규제를 준수해야 하는 환경안전시스템 실현과 배치된 것으로 문제가 크다.

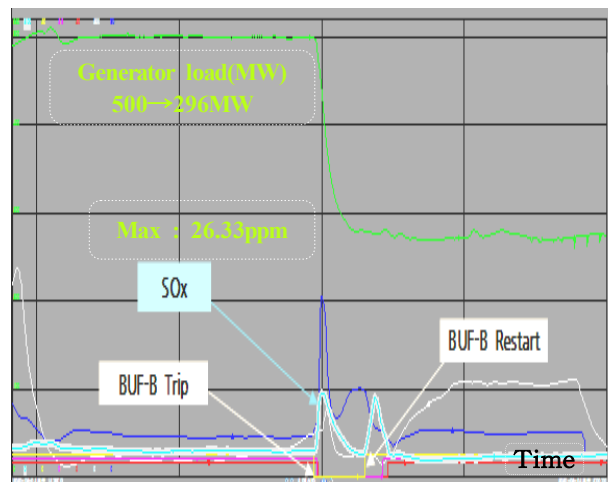
이에 [Figure 5]와 같이 환경안전 우선 개념을 적용하여 BUF 정지시 즉시 자동으로 본설비 해당 train을 정지시키고, emergency damper open 도중에도 해당 train이 기준압력을 초과할 때에는 본 설비 해당 train이 정지되도록 시스템을 적용하였다. 또한, emergency damper 점진신호 자동작에 의한 불시정지를 방지하기 위해 운전원의 강제해제 기능을 추가하고, 부하 40% 이하 운전 및 기동 유

예시간 9시간 동안 프로그램이 동작되지 않도록 프로그램을 보완하여 안전성과 신뢰성을 확보하고자 했다.



[Figure 5] After FGD system logic diagram

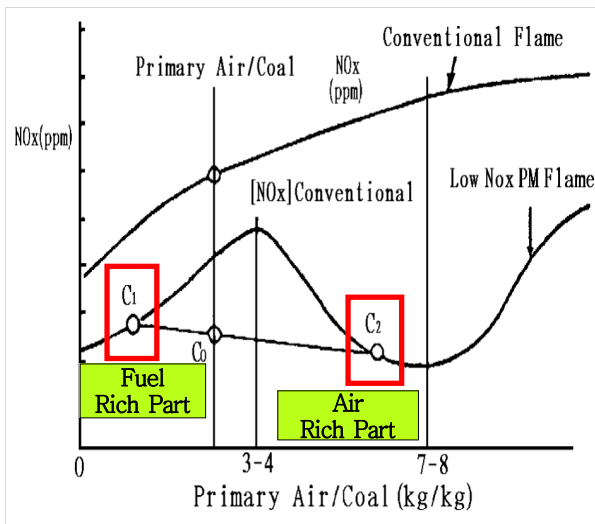
[Figure 5]는 logic을 발전설비에 Up Loading한 후에 BUF 1대를 강제로 정지시키면서 실증을 한 결과 [Figure 6]과 같이 SOx는 규제치 48ppm을 초과하지 않고 최대 26.33ppm으로 유지되고, 보일러 노내도 불안전연소로 인한 연소장애 없이 출력 296MW를 안정적 유지하여 시스템의 안전성과 효과성을 확인했다.



[Figure 6] FGD actual trip load runback operation data

3.2 NOx 배출 최소화 운전 방안 고찰

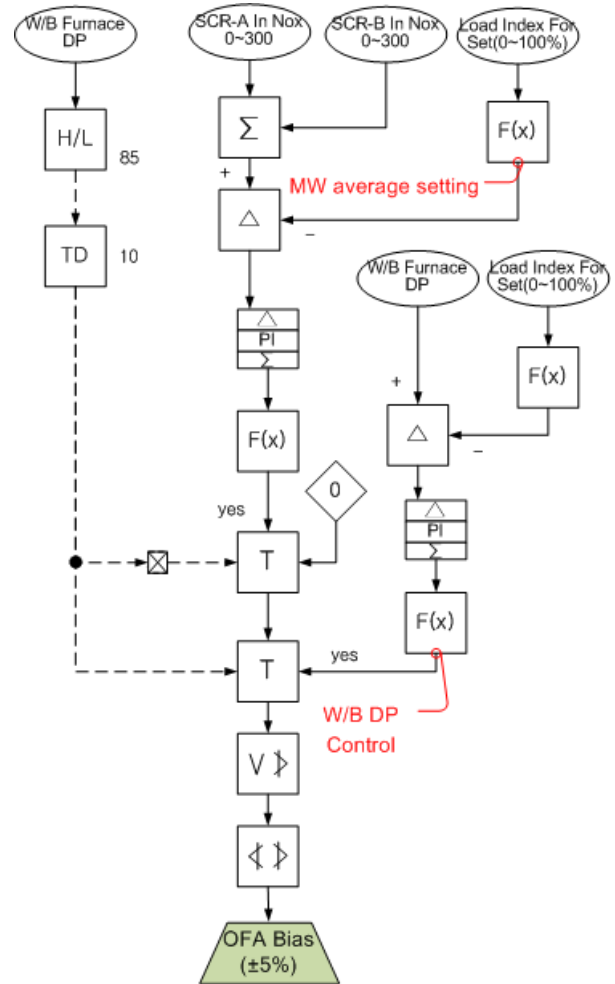
NOx 배출량을 줄이기 위해서 보일러의 절탄기와 공기 예열기 사이 대류면 후단에 SCR을 설치하여 보일러 출구 NOx량에 따라 암모니아 주입량을 조절함으로써 NOx량을 최소한으로 감소시켜 배출시킨다. 보일러 출구 NOx량은 보일러 출력, 미분기 운전대수, 연소용 공기의 분배 등에 따라 변화되며 연료이송용 공기(primary air)와 연료(coal) 배분량에 따른 NOx 발생은 [Figure 7]과 같다.



[Figure 7] NOx According to air/coal ratio10)

공기/석탄의 비가 3~4일때 많은 양의 Thermal NOx가 발생하고 이 구역을 벗어나면 NOx 발생량이 줄어들게 된다. 따라서 공기/ 석탄비를 조절하여 NOx 발생량이 적은 C1과 C2로 분리하여 연소시키면 전체적인 NOx 발생량이 줄어들게 된다. C1은 연료 과다영역으로 공기량이 적어 휘발분 연소가 지연됨으로 NOx 발생량이 감소 되며, C2는 공기 과다영역으로 NOx의 발생량은 공기량 증가에 따라 증가하지만, 연료 과다영역의 미연 가스량이 유입되어 NOx 생성을 억제하게 됨으로써 전체 NOx 생성량이 감소한다. 이 원리를 적용하여 보일러 주 연소구역인 버너존 air damper에는 이론공기량보다 약간 부족한 연소용 공기를 공급하고, 연소영역 상부로는 다시 나머지 공기를 공급하는 OFA(over fire air) damper를 설치하여 완전연소를 유도한다. 따라서 이 OFA damper 개도를 조절하여 공기량 제어를 하면 보일러 출구 NOx량 변화를 최소화하고 암모니아 주입량의 변화를 줄여 SCR 설비를 안정적으로 운영할 수 있게 된다. OFA damper 개도를 증가시키면 C1과 C2 영역이 확대되어 보일러 출구 NOx량이 감소11) 되고, OFA damper 개도를 감소시키면 보일러 출구 NOx량은 증가된다. 버너존 air damper는 보일러 내부 화염의

길이를 일정하게 하기 위해 분사압력을 100mmH₂O로 일정하게 제어한다. OFA damper는 발전기 31.7% 출력까지는 5% open하고 79.3~100% 출력구간에서는 70% open하여 운전된다. 공기량 제어는 총량 제어로 보일러 상부 OFA damper 개도를 증가시키면 버너존 공기량이 감소되고 상부 공기량은 증가된다. [Figure 8]의 logic은 이런 원리를 이용하여 보일러 출구 NOx량을 제어하기 위해 OFA bias (±5%)을 추가한 개선로직이다.

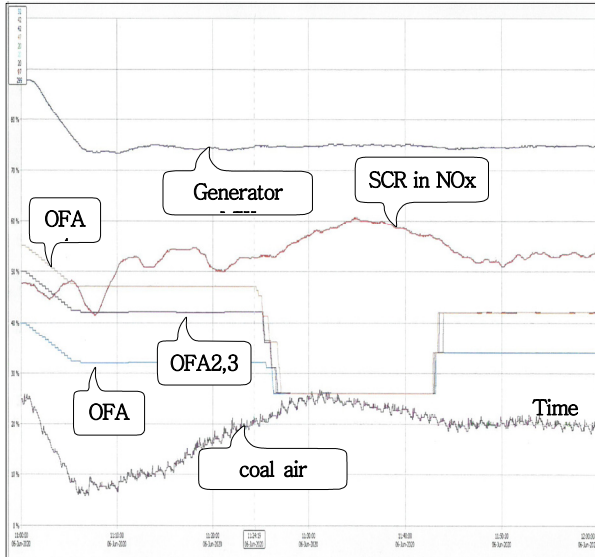


[Figure 8] Additional logic for OFA damper

[Figure 8]의 제어로직은 발전기 출력별 보일러 출구 NOx량을 설정값으로, 보일러 출구(SCR in) NOx량과 비교하여 PID 제어로 OFA damper 개도를 조정함으로써 보일러 출구 NOx를 일정하게 유지하고, 공기 분사압력이 85mmH₂O이하로 떨어져 10초 이상 지속되면 버너존 화염길이가 짧아지는 것을 방지하기 위해 OFA damper가 공기분사 압력을 제어하도록 구성했다. 2단 연소가 제대로 이루어지지 않을 경우에는 NOx 배출량이 증가하는 현상이 발생하므로 신중히 접근해야 했다.

[Figure 9]와 <Table 2>에서는 발전기 출력(MW)를

일정하게 유지한 상태에서 OFA damper 개도를 감소시켰을 경우 버너존 air damper 개도가 증가되고, SCR in NOx도 증가하는 현상을 보여준다. <Table 2>와 같이 OFA Position과 SCR in NOx 변화량은 4개의 OFA position을 동시에 6~21% 변화시켰을 때 SCR in NOx가 79ppm에서 102ppm으로 23ppm이 변화되어 OFA damper 조절을 통한 SCR in NOx 제어가 가능함이 검증됐다.



[Figure 9] OFA position vs SCR in NOx

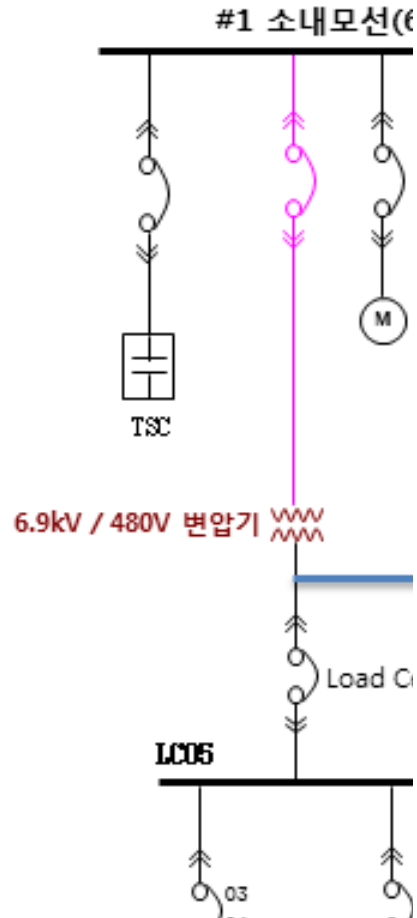
<Table 2> OFA Position vs SCR in NOx

OFA position(%)	Coal Air Damper (%)	SCR In NOx (ppm)
OFA1 32→26(6 ↓)	20 → 24(4 ↑)	79 → 102(23 ↑)
OFA2 42→26(16 ↓)		
OFA3 42→26(16 ↓)		
OFA4 47→26(21 ↓)		

3.3 Dust 최소화 방안 고찰

집진효율이 99.9%인 전기집진기는 보일러 연소과정에서 발생하는 대부분의 부유분진(TSP, total suspended particles)을 포집하여 hopper에 저장한 후 시멘트 원료로 출하한다. 그러나 전기집진기(EP)의 한 train이 불시 정지될 경우에는 순식간에 환경오염물질이 배출기준치를 초과하는데, 이러한 비상상황 발생시에 담당 운전원이 조기에 원인을 파악하여 수동으로 적절한 조치를 하기는 쉽지 않으며, 장시간 환경오염물질을 대기로 배출할 수 있다. 이 문제의 해결방안으로 EP 개별 train 운전불가 상황이 발생할 수 있는 요인을 분석하여 시스템에서 자동으로 해당 train을 차단하고 load runback 시키는 시스템 구성

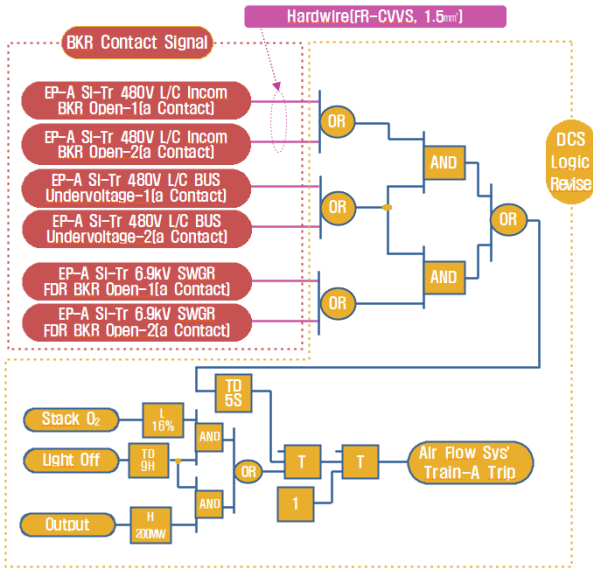
방안을 연구하여 적용하였다. EP 해당 train 전체가 정지할 수밖에 없는 상황의 고장요인을 제작사 및 발전사 고장 사례 등의 빅데이터를 통해 분석한 결과를 반영하였다.



[Figure 10] EP Power supply system

[Figure 10]은 EP의 공급 전원계통이다. 전원계통의 고저압 차단기들에 문제가 발생할 경우 EP 운전이 막대한 지장을 초래하므로, 차단기 접점신호를 제어케이블로 포설하여 제어시스템의 I/O모듈에 입력하였다. 또한 [Figure 11]과 같이 logic을 개발 구성하여 EP 1 train 고장시 자동으로 load runback 시스템이 작동되게 함으로써 대형 안전사고 및 환경오염물질 배출을 억제하도록 개선하였다.

정상운전중 EP-A train 저압 incoming 차단기를 불시 정지하자 [Figure 11]의 로직이 동작하여 같은 A-train의 통풍계통 각종 fan이 정지되고, 노내(furnace)압력이 순간적으로 변동되었다가 회복됐다. 정상운전중 5대가 운전되면서 약 210t/h의 연료를 노내에 공급하여 연소하던 미분기는 2대가 긴급정지되고 3대가 운전됨으로써 공급되는 연료량도 약 125t/h으로 감소됐고, 보일러급수펌프 1대가 정지되어 발전 출력이 300MW로 안정적으로 감발되었다.



[Figure 11] EP-a train actual trip load runback logic

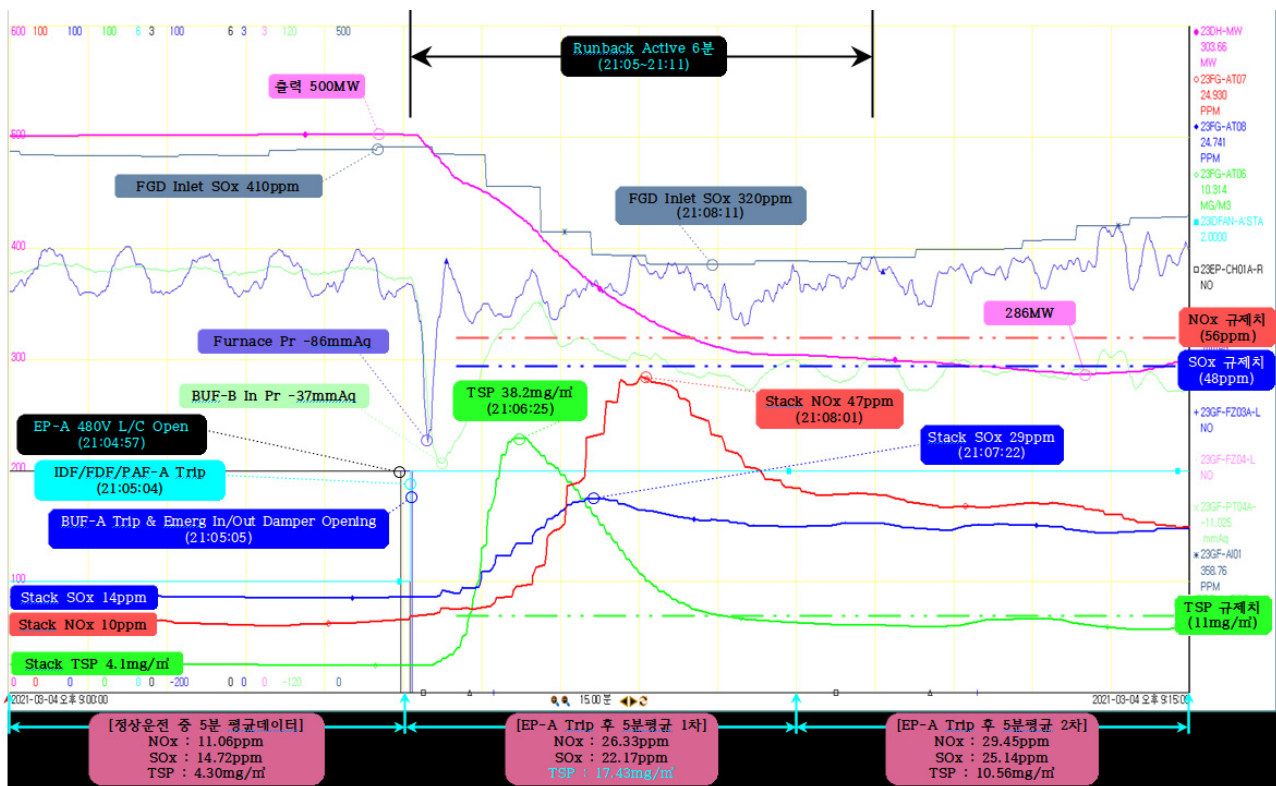
[Figure 12]와 같이 정상운전중 14.72ppm을 유지하던 SOx는 최고 29ppm까지(규제치 48ppm) 상승했다가 25.14ppm으로 안정되었으나, 500MW 출력에서 11.06ppm을 유지하던 NOx는 순간적으로 최고 47ppm까지(규제치 56ppm) 상승했다가 29.5ppm로 안정됐다. 가장 심도깊게 고찰한 dust는 500MW 운전중 규제치 11mg/m³보다 크게 낮은 4.3mg/m³ 운전되다 상황발생 직후 한때 38.2mg/m³까지 상승하였으나, 5분 Data를 초과하지 않고 다시

10.56mg/m³으로 하강 안정화됐다. 따라서 각종 환경오염물질 배출량이 규제치 이내로 정상 운전됨이 확인되고, 기타 다른 설비들도 안정적으로 운전되어 환경안전우선 설비운영 개념 적용이 전기안전사고 예방과 환경오염물질 배출저감 및 설비안정 운영에 도움이 될 것으로 판단됐다.

4. 결론

본 연구에서는 500MW 표준석탄화력발전소에서 운영 중인 황산화물 저감설비 FGD, 질소산화물 저감설비 SCR과 먼지배출 저감설비 EP와 같은 오염물질배출 저감설비의 각종 사고사례와 문제점을 분석하고 배출기준치 초과현상의 해소방안을 실증적으로 고찰하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

1. 발전용 보일러의 비정상적인 SOx 배출저감을 위해서는, 저감설비인 FGD의 booster fan 1대가 충분히 감당할 수 있는 출력이상(40% 이상)으로 운전중에 BUF 1대가 불시정지 되었을 경우 불완전연소 및 연소장애에 의한 대형설비사고 우려의 해소가 필요하며, 오염물질 배출허용기준을 초과한 SOx가 대기중에 배출되는 것을 방지하기 위한 자동 load runback 시스템을 구성하여 운영하는 것이 효과적인 것으로 판단되었다.



[Figure 12] Monitoring display of EP-a train actual trip

2. 질소산화물 배출저감을 위해서는, OFA damper를 이용하여 보일러 상부측과 주 연소구역인 버너존의 공기량 분배를 통한 thermal NOx 저감이 효과적인 것으로 나타났다. 설비별 여건에 맞는 정밀한 제어방안에 대해서는 추가적인 시험과 연구가 필요하다.

3. 순간적으로 규제치를 초과하는 다량의 dust 배출을 예방하기 위해서는, 전기집진기용 고저압 전원계통의 전원상실시 즉시 load runback 기능을 동작시켜서 조치하는 것이 안전사고 및 환경오염 피해를 최소화시키는 방안으로 판단되었다. 또한 전기집진기 각 raw의 개별적인 문제가 전체적인 문제로 확대되지 않도록 시스템 감시기능을 보강하는 작업이 병행되었을 때 더 큰 효과를 볼 수 있다는 결론을 얻었다.

본 연구에서 시행한 환경안전 우선 설비운영 개념은 500MW 표준석탄화력에서는 최초로 도입한 개념으로, 타 발전설비에도 접목하여 발전소 여건에 맞게 운영한다면 안전사고와 대형설비사고 발생 및 환경오염 피해를 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 향후에는 석탄화력발전소의 배기가스중 이산화탄소 배출저감기술개발[12]과 더불어 환경오염물질 배출저감설비 운영이 발전설비 운영상황과 연계되고, 인공지능 기술과 접목하여 자동으로 관리할 수 있는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 본다.

5. References

- [1] Administrative disposition standard(related to article 134), Enforcement regulations of the atmospheric environment.
- [2] J. A. Kim, K. M. Ryu(2011), "Analysis on the load runback logic for a 500mw coal fired power plants." KIEE, Summer Symposium, 1843.
- [3] K. H. Park, Y. H. Park, H. R. Kim, C. G. Lee, K. H. Lee, S. J. Ahn(2006), "Status of pollutants through smokestack tele-monitoring system (Clean SYS) in 2005." Proceeding of the 43rd Meeting of KOSAE, 273.
- [4] K. Y. Kim, S. J. Moon(2018), "Variation of liquid to gas ratio and sulfur oxide emission concentrations in desulfurization absorber with coal fired thermal power plant output." KIPEC, 14(4):39-47.
- [5] S. S. Lee, S. J. Moon(2021), "Effect of addition of a catalytic layer on denitrification system efficiency in a 500mw coal fired power plant." KIPEC, 7:58-66.
- [6] Doosan Heavy Industries & Construction(2013), Introduction to electrostatic precipitator, selective catalyst NOx reduction system. p. 51.
- [7] T. S. Park(2012), Air pollution control engineering. KKWbook, p. 254. ISBN 978-89-5843-696-693530
- [8] KPIHRD(2003), Distributed control technology. Taean, Korea, p. 2.
- [9] G. P. Lim, H. H. Lee(2013), "The development of boiler fuel control algorithm and distributed control system for coal fired power plant." KIEEP, 62(1): 36-44.
- [10] S. H. Yoon, J. Park, O. B. Kwon, H. Y. Park, S. G. Seo(2011), "Numerical study of distribution characteristics of pulverized coal according to operation condition in PM burner." KSME, 35(5):491-501.
- [11] Y. J. Kim, H. Y. Park, S. N. Lee(2009), "NOx emission characteristics depending on the variations in yaw angle of the secondary air nozzle in a coal fired boiler." KSEE, 31(4):272-277.
- [12] J. H. Lee, N. S. Kwak, D. W. Lee, J. G. Shim, J. H. Lee(2016), "Development of Techno-Economic Evaluation Model for CCS (Carbon Capture & Sequestration)." Journal of Climate Research, 7(2):111-120. doi: 10.15531/kscrcr.2016.7.2.111

저자 소개



이 갑 주

전남대학교 대학원 전기공학과 석사 취득 후
호서대학교 대학원 에너지기후환경융합기술학
과 박사과정 중
현재 한국동서발전(주) 기술전문연구센터
센터장 재직 중
관심분야 : 화력발전 전기설비 운영, 발전설비
고장 분석, 전기분야 신제품과 시스템운영 프로
그램 개발 등



김 산

호서대학교 환경공학과 박사 취득 후
호서대학교 환경바이오센터 부교수 재직중
관심분야 : 대기질관리, 수처리, 악취 저감,
바이오



정 진 도

충남대학교 열유체공학과 박사 취득,
Kanazawa대학교(일본) 환경공학과 박사 취득
후 현재 호서대학교 교수 재직 중
관심분야 : 열, 유체 기술, 에너지 기술, 에너지
기후융합 기술, 환경설비 관련 기술개발 등