

대기오염방지

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

석탄화력발전 집진기 개조 사례 소개

▶ 개요

지난 몇 년간 중국의 석탄발전 기업에 대한 오염물질 배출 요구가 엄격해지면서 정전기집진기(静电除尘器)를 이용한 환경설비가 주목을 받았다. 하지만, 중국 석탄화력 발전세트에서 사용되는 정전기집진기의 산업주파수(industrial frequency, 工频)¹⁾는 대부분 50Hz의 전원을 사용하고 있고, 전력 소모량은 전체 발전량의 0.3~0.4%를 차지하고 있다. 따라서 정전기집진기의 집진 처리효율 제고와 동시에 에너지 소모 감소가 중요한 요소이다.

본 내용은 장수성(江苏省) 지역의 어느 석탄화력발전소에서 사용 중인 초초임계(Ultra Super-Critical, 超超临界)²⁾ 석탄화력 발전세트에 설치된 정전기집진기의 전원을 고주파 고압 전력공급 장치(고주파 전원)로 개조한 사례이다. 정전기집진기 배출구의 배출농도는 20mg/m³의 배출표준을 달성하기 위해 보일러의 부하 폐환(closed circle, 闭环)³⁾ 제어시스템의 최적화를 통해 어떠한 경제적 효과가 있는지 알아보려고 한다.

▶ 프로젝트 현황

현재, 본 발전소는 1,000MW 초초임계 석탄발전세트 2대를 보유하고 있다. 이 석탄발전세트는 보일러, 증기터빈, 발전기 3가지로 구성되어 있으며, 그 본체는 2011년 12월 20일 제조한 제품으로 발전세트에는 탈황(석회석-석고 습식탈황법)·탈질(SCR공법)이 적용되어 있다.

이때, 정전기집진기는 3실4전기장(三室四电场)⁴⁾ 형태로 주로 건식 정전기집진기 본체와 정류(Rectification, 整流)⁵⁾설비, 저압 전력공급 장치 등으로 구성되어 있다. 12대의 전기집진기에는 실리콘 정류설비가 포함되어 있고, 각 집진기에는 실리콘, 스마트 모니터링 등 시스템을 포함한 고압 제어설비와 4대의 저압 제어판이 추가로 설치되어 있다. 그리고 정전기집진기 개조 후에는 진동시스템(Rapping System, 振打系统)⁶⁾·전기가열을 통한 상온(电加热恒温) 제어와 온도측정·표시 등과 같은 기존의 전기집진기 제어 기능도 적용이 가능해야 한다.

- 1) 산업주파수(industrial frequency, 工频) : 공업에서 사용되는 교류전원의 주파수, 단위는 헤르츠(Hz)를 사용한다.(바이두 백과, 2020.6.11.검색)
- 2) 초초임계(Ultra Super-Critical, 超超临界) : 화력발전소에서 초초임계와 초임계는 보일러 내 작업물질(어떤 물질에 여러 열역학적인 변화를 주고 열역학적인 과정을 일으키는 경우)의 압력을 뜻한다. 보일러 내 물의 임계점은 증기압력 22.129MPa, 증기온도374.15°C이다. 일반적으로 압력이 임계점을 초과하면 초임계라하며, 미만인 경우 아임계라 한다. 현재, 초임계와 초초임계의 구분은 아직 국제적으로 통일된 기준은 없으며, 일반적으로 증기압력으로 간주한다. 증기압력이 27MPa보다 크고, 증기온도가 580°C보다 높을 때 초초임계 파라미터라 한다.(바이두 백과 등 내용 요약정리, 2020.6.11.검색)
- 3) 폐환(closed circle, 闭环) : 피드백 제어시스템이라고도 하며, 시스템 출력의 측정치를 원하는 값과 비교함으로써 편차신호가 하나 발생하며, 이 편차 신호를 사용하여 조절제어를 수행하여 출력 값을 가능한 기대치에 가깝게 만들어준다.(바이두 백과, 2020.6.11.검색)
- 4) 3실4전기장(三室四电场) : 집진기 내 세 개의 작업공간(실)이 병렬로 갖추어져 있고 각 실마다 4개의 전기장이 있다.(바이두 백과 등 내용 요약정리, 2020.6.12.검색)
- 5) 정류(Rectification, 整流) : 한 방향으로 흐르는 전류를 만드는 작용을 뜻한다.(네이버 지식백과, 2020.6.11.검색)
- 6) 진동시스템(Rapping System, 振打系统) : 극판, 극한을 진동시켜 이들 표면에 쌓인 분진을 제거하는 시스템이다.(바이두 백과, 2020.6.11.검색)

또한 프로그램은 자동과 수동으로 모두 제어할 수 있어야 한다. 첫 번째에서 세 번째까지 저압 제어설비 캐비닛(Cabinet, 机柜)⁷⁾은 전기집진기 1~3실의 음극·양극 상단부의 진동시스템(振打系统, p.1 각주5 참고)과 고압 단전(断电) 진동시스템, 버킷(bucket, 灰斗)⁸⁾ 가열, 진입·배출구의 온도 측정, 고압전원 스위치, 디스플레이 등 제어가 가능하다.

마지막 네 번째 저압 제어설비 캐비닛은 전기집진기의 보온함 가열(除尘器保温箱加热)이나 안전장치 등을 제어한다. 전자(电子)간 PLC(Power Line Communication)⁹⁾설비로 재전송되어 제어하여, 배출농도 개조를 위해 고주파 전원 기술이 적용된 집진기의 집진효율을 향상시켜 배출구의 분진 배출농도를 20mg/m³ 이하 요구에 부합하도록 해야 한다.

▶ 개조현황

1) 개조범위는 3부분(본체, 전력공급, 전기제어)으로 분류

<본 프로젝트 집진기 개조범위>

분류	개조내용
집진기본체 부분	· 저저온 집진기로 교체 후, 기존의 정전기집진기 본체, 버킷, 연기통로(烟道) 등 기본 구조를 바탕으로 기류분포장치·진동시스템 설치, 기체운송 등 관련 부분 검사·교체를 통해 집진기 본체의 적응성이 향상하도록 개조함
전력공급 부분	· 고주파 전원(high frequency power, 高频电源) ¹⁰⁾ , 고압 분리 스위치박스, 고압 제어함, 저압제어시스템 등 개조함
전기제어 부분	· 교환기, 통신함, 탁도계, 분산제어시스템(DCS, Distributed Control System, 分散控制系统) ¹¹⁾ 등을 연결함

<자료 출처 : 북극성 대기망 내용 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

2) 설계원칙

저온성(低温省) 석탄을 투입하였을 때, 고주파 전원은 전체 출력으로 운전한다. 또한 탄질(coal property, 煤种)¹²⁾의 경계(边界) 조건에서도 전기집진기 배출구의 분진 배출농도는 20mg/m³ 이하로 배출되도록 설계한다. 그리고 동일한 조건에서 분진 배출농도가 20mg/m³에 도달하였을 때, 고주파 전원에서 사용되는 총 전력량은 1740.8kW보다 작도록 해야 한다. 초저배출 개조 요구 사항에 부합하기 위해 저저온 집진(低低温除尘)과 고주파 전원을 이용한 기술로 집진기의 처리 효과를 향상시키도록 개조한다.

3) 고주파 전원 최적화 개조대책

본 발전소의 정전기집진기는 3실4전기장을 사용하여 배출구에서 분진 배출농도를 20mg/m³ 이하의 조건에 맞추기 위해 집진기의 전원을 고주파 전원으로 기존의 시스템 장비를 개조하여 최적화하도록 한다.

7) 캐비닛(Cabinet, 机柜) : 전기 또는 전자장비를 수용하기 위한 독립식이나 자체 지지형 케이스를 뜻한다.(바이두 백과, 2020.6.16.검색)

8) 버킷(bucket, 灰斗) : 석탄·자갈·광석 등 야적되어 있는 비포장물을 담아 올려 운반하는 기구를 뜻한다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

9) PLC(Power Line Communication) : 전력선만으로 음성·문자데이터·영상 등을 전송하는 통신기술이다.(네이버 지식백과, 2020.6.11.검색)

10) 고주파 전원(high frequency power, 高频电源) : 고주파 전원은 전자관 컨버터 장치라고도 하며, 고주파 유도의 핵심장비이다. 또한 고주파 전원은 금속 재료에 대한 가열 효율·속도가 좋아 에너지가 적게 드는 친환경적인 장치이다.(바이두 백과, 2020.6.12.검색)

11) 분산제어시스템(DCS : Distributed Control System, 分散控制系统) : 교환기 제어부를 분산된 개개의 독립된 회로로 구성한 방식이다. 분산방법에 따라 부하분산제어방식, 기능분산제어방식, 유닛분산제어방식으로 분류된다.(네이버 지식백과, 2020.6.11.검색)

12) 탄질(coal property, 煤种) : 석탄의 물리적 성질과 화학적 성질을 가리킴을 뜻한다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

▶ 전체 개조방안

<본 프로젝트 집진기 개조방안>

구분	개조내용
전력공급 방식	기존 24대의 산업주파수(工頻, p.1 각주1 참고) 정류설비를 EHC-II 2.0A/72kV 직렬식 주파수와 고주파 전원 공급기로 교체
안전운행 보장	- 고주파 전원 내 주요 접촉기와 고압 분리 스위치의 위치회로는 안전하게 폐쇄시킴 - 고압 분리 스위치박스 도어 및 모든 설비에 기계적 잠금장치를 설치하여 전기설비실의 안전운행 보장
원격제어시스템	저압 원격제어시스템은 고주파 고전압 전원 원격제어시스템과 연동하여 전압부족, 진동시스템 효율 감소 등 문제 제어
설비 재질교체	- 집진기 버킷(灰斗, p.3 각주7 참고) 내벽, 기름분포판 등은 스테인리스강 재질로 교체 - 부분양극판, 음극선 교체, 극간격과 진동시스템 조절, 신축이음(expansion joint, 膨胀节)¹³⁾ 교체 및 집진기 내부 누출기류가 없도록 함
진동시스템	- 양·음극 상단부의 진동시스템은 밀봉식 조립 형태로 교체 - 음극 진동시스템 절연물(insulator, 绝缘子)¹⁴⁾은 복합 고분자 방(防)결로(dew condensation, 结露)¹⁵⁾형 절연축으로 교체 - 음극 진동시스템의 밀봉식 조립 형태에 경질유리를 설치하여 비에 대한 누수가 없어야 하며, 양·음극 진동시스템의 높이를 높이고 진동시스템의 가속도를 기존보다 50% 이상 향상시킴
버킷·탁도계	버킷에 수은이탈(demercuration, 脱汞) 방지를 위한 방벽 1개를 증설하고 연기·먼지의 탁도계를 교체
전기장 개조	- 제1·제2전기장은 버킷당 4개의 전기가열기 추가, 제3·제4전기장은 버킷당 8개의 전기가열기 추가 - 각 보온탱크 1열당 절연 열풍제거시스템 1세트, 석회제거 운송압축공기 배출관에 미세 가열 재생건조설비 1세트 설치
통신시스템	- 고주파 전원 통신제어시스템 2대, 예비 서버기 2대, 엔지니어 스테이션(engineer station, 工程师站)¹⁶⁾ 1대, 오퍼레이터 스테이션(operator station, 操作员站)¹⁷⁾ 2대, 예비교환기 - 개조된 전기집진 고·저압설비 제어와 직접적으로 연결된 전기집진 오퍼레이터 스테이션은 별도의 통신을 통해 안전계장시스템(SIS, Safety instrumentation System, 安全仪表系统)¹⁸⁾으로 보내져 모니터링과 제어가 가능해야함

<자료 출처 : 북극성 대기망 내용 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

- 13) 신축이음(expansion joint, 膨胀节) : 팽창이음이라고도 하며, 노통(爐筒), 관 등의 팽창에 의한 열응력을 피하기 위해 사용된다. 노통을 보유하는 보일러의 노통 등은 연소가스에 의해서 가열되어 길이방향으로 팽창하려고 하지만, 경판(鏡板)에 의해서 구속되어 있기 때문에 노통판 내부에는 압축응력을 발생한다. 이 열응력을 완화시키기 위해 노통의 신축은 가급적 자유롭게 되도록 하여야 한다. 이를 위해 노통에 신축이음을 각 절(節)의 접합부에 설치하는 것이다. 또 배관에 대해서는 적당한 개소에 신축이음을 설치하여 관의 손상을 방지하고 관의 신축이음에는 U자형, 벤드(bend), 벨로스(bellows), 슬라이딩(sliding) 등이 있다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)
- 14) 절연물(insulator, 绝缘子) : 전기를 거의 통하지 않는 물질, 부도체·절연체라고도 한다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)
- 15) 결로(dew condensation, 结露) : 수분을 포함한 대기의 온도가 이슬점 이하로 떨어져 대기가 함유하고 있던 수분이 물체 표면에서 물방울로 맺히는 현상이다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)
- 16) 엔지니어 스테이션(engineer station, 工程师站) : 공업에서 제어 엔지니어가 사용할 수 있도록 컴퓨터 시스템에 그룹화, 프로그래밍, 수정 등을 진행하는 것을 의미한다.(바이두 백과, 2020.6.12.검색)
- 17) 오퍼레이터 스테이션(operator station, 操作员站) : 분산제어시스템에서 오퍼레이터의 조작대로 사용되는 기계의 인터페이스 설정이다. 여기에는 모니터, 본체, 마우스, 커서 등이 포함된다.(바이두 백과, 2020.6.12.검색)
- 18) 안전계장시스템(SIS, Safety instrumentation System, 安全仪表系统) : 주로 공장 제어시스템 중 알람과 인터록 부분이며, 제어시스템에서 검출된 결과에 대해 경보, 조절, 정지 등을 제어한다. 공장의 자동제어 중 중요한 구성 요소이다.(바이두 백과, 2020.6.12.검색)

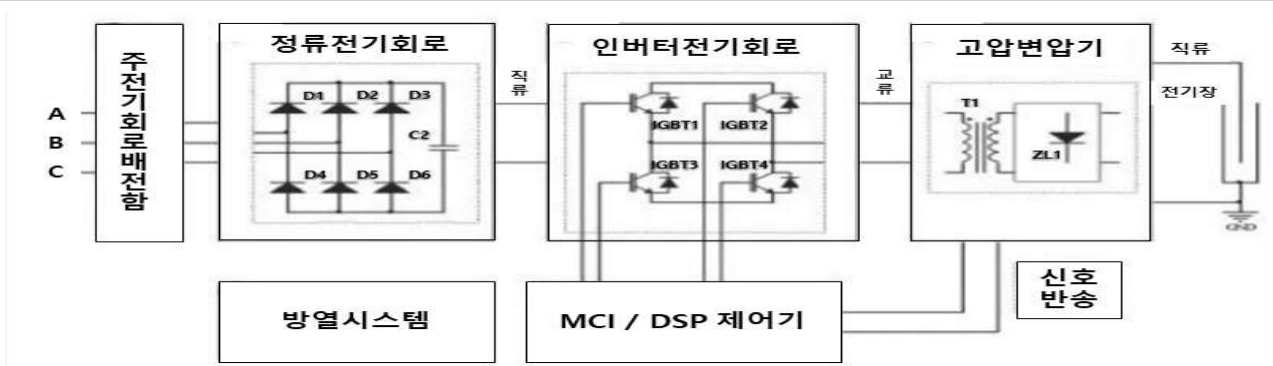
▶ 세부내용

1) 고주파 전원 개조

기존의 모든 정류전기회로, 변압기를 개조하여 고주파 전원을 설치한다. 각 고주파 전원 옆에 고주파 배전함(distribution box, 配电箱)¹⁹⁾ 1개를 배치하여, 고주파 전원과 고주파 배전함을 임의의 전선케이블에 연결한다. 동시에 고주파 컨트롤 박스와 고주파 전원은 검사, 수리, 유지보수를 할 수 있어야 한다.

먼저, 입력된 삼상(三相) 산업주파수 교류전원을 배전함에 연결하고, 다시 삼상 풀 브리지 직류-직류변환기(full bridge, 全桥)²⁰⁾ 정류변압기를 지나 저압 직류전기로 변환된다. 이때 다시 풀 브리지 직류-직류변환기 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT, Insulated gate bipolar transistor, 绝缘栅双极型晶体管)²¹⁾와 같은 인버터(inverter, 逆变)²²⁾ 전기회로의 제어를 거쳐 고주파 교류 펄스(pulse, 脉冲)²³⁾가 발생한다. 고주파 고압 정류변압기는 마지막으로 저압 고주파 교류 펄스를 정류한 후, 전기집진기에 전력을 공급한다. 제어시스템은 고주파 전원의 정상운행과 고장을 제어하고, 방열(radiating, 散热)²⁴⁾ 시스템은 주로 고주파 변압기, 정류, 인버터 시스템 등에 열을 공급한다.

<고주파 전원 제어 원리도>



<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

① 저압 파라미터 [상위 그림, '주전기회로배전함' 참고]

(1차 전압) 고주파 1회 교류입력 전원의 전압 유효 값으로 삼상(A·B·C) 교류전압, 일반적으로 50HZ 380V이다.

(1차 전류) 고주파 1회 교류입력 전원의 전류 유효 값으로 1차 전류의 설정 값은 1차 전류 크기를 제한할 수 있다. 즉, 삼상(A·B·C) 전류가 고주파 출력의 변화에 따라 달라진다.

(직류모선²⁵⁾) 삼상정류 다이오드 브릿지(Diode bridge, 整流桥)²⁶⁾ 정류 후, 직류 전압의 평균값이다.

19) 배전함(distribution box, 配电箱) : 전기를 배전하는 금속으로 된 장치를 뜻한다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

20) 풀 브리지 직류-직류변환기(full bridge, 全桥) : 고정된 직류 전압을 입력으로 하고 출력 전압의 크기와 극성을 조절할 수 있는 변환기. 네 개의 스위칭 소자로 구성되며 사상의 작동이 가능하다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

21) 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT, Insulated gate bipolar transistor, 绝缘栅双极型晶体管) : 소수 캐리어의 주입으로 MOS 전계 효과 트랜지스터보다 동작 저항을 작게 할 수 있는 3단자 양극성-MOS 복합 반도체 소자. 내압이 높고 비교적 속도가 빠른 파워 트랜지스터이다. 펄스폭 변조 제어 인버터에 내장되어 모터를 구동하는 데 사용되며, 파워 집적 회로의 출력부 등에도 사용된다.(네이버 국어사전, 2020.6.12.검색)

22) 인버터(inverter, 逆变) : 역변환 장치(직류전력을 교류전력으로 바꾸는 장치)이다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

23) 펄스(pulse, 脉冲) : 맥박처럼 짧은 시간에 생기는 진동현상이다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

24) 방열(radiating, 散热) : 고온 물체로부터 저온 물체로 열이 이동하여(열이 소멸) 고온 물체가 식는 현상이다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

25) 직류모선(dc bus, 直流母线) : 인버터에 정류를 탑재하여 교류를 직류로 변환하도록 한다.(바이두 백과, 2020.6.15.검색)

26) 다이오드 브릿지(Diode bridge, 整流桥) : 4개의 다이오드를 연결한 브리지 회로이다. 브리지 정류 다이오드는 어떠한 극성 전압이 입력 되더라도 동일한 극성 전압을 출력한다. 가장 일반적으로, 교류 입력을 직류 출력으로 변경할 때 사용한다.(네이버 지식백과, 2020.6.15.검색)

② 고주파 파라미터 [p.4그림 ‘인버터전기회로’ 참조]

(정격전압·전류²⁷⁾) 변압기의 2차 출력 정격전압·전류이다. 즉, 장치는 최대 출력의 2차 전압·전류 값을 허용한다.

(2차 전압·전류) 변압기의 2차 출력 전압·전류 평균값은 전기집진기 공정현황에 따라 달라진다. 2차 전압·전류 설정 값을 통해 2차 전압·전류의 크기를 제한할 수 있다.

③ 작동방식

(자동추적방식) 고주파 컨트롤러는 공정현황에 따라 IGBT(绝缘栅双极型晶体管, p.4 각주18 참고) 인버터 주파수(주파수 범위 0~20KHZ)를 자동으로 제어함으로써 전기집진기에 입력과 출력 값을 조절하여 적합한 코로나(corona, 电晕)²⁸⁾ 전압·전류를 제공한다.

(충전·에너지절약방식) 고주파 컨트롤러는 IGBT 인버터 주파수를 조절할 뿐 아니라 전기집진기 분진 전하(electric charge, 荷电)²⁹⁾ 시간을 제어한다. 펄스주기는 펄스폭에서 전기장의 전하 시간을 뺀 것으로 양극판(anode plate, 阳极板)³⁰⁾의 방전시간을 뜻한다.

2) 고압 분리 스위치박스 개조

기존의 고압 분리 스위치박스를 제거하고 원래 위치에 스테인리스강 소재의 고압 분리 스위치 박스로 교체한다. 고주파 전원은 새 고압 분리 스위치박스와 잘 연결되도록 해야 한다. 고주파 전원 제어 모듈과 정류가 일체화된 구조로 교체하고, 기존의 고전압 제어를 급전선(무선 송신기와 안테나의 송전선)함으로 개조한다. 특히 고주파 전원은 본체의 전원 발생장치로 직접 송출되어야 하며 개조 후, 급전선은 1차 전압·전류의 표시 기능을 갖추어야 한다.

3) 안전장치

(전기안전장치) 고압 분리 스위치박스 내에서 이중 중첩을 통해 고주파 전원을 보호하여 제어 회로로 보낸다. 이때, 고주파 전원이 작동중지 상태인 경우, 고주파 전원 스위치가 합선되지 않도록 해야 하며, 모니터링의 안전표시등에 고장이 나타나야 한다.

(기계안전장치) 고압 분리 스위치박스에는 독립적인 기계식 잠금장치가 있어야 한다. 특히, 고주파 전원과 관련된 설비의 안전장치는 모두 열쇠로 된 잠금장치를 설치해야 하며, 해당 열쇠는 반드시 별도의 열쇠박스에 보관해야 한다. 또한 전기공장의 안전생산운영 요구에 부합하고 운영관리의 요구사항을 엄격하게 관리하여 오작동을 방지해야 한다.

27) 정격전압(rated voltage, 额定电压) : 전기기계기구, 선로 등의 정상적인 동작을 유지시키기 위해 공급해 주어야 하는 기준 전압이다.(네이버 지식백과, 2020.6.15.검색)

정격전류(rated current, 额定电流) : 정격에서 출력하는 전류를 말하며, 누전차단기의 주회로에 연속 통전할 경우의 허용전류를 말한다.(네이버 지식백과, 2020.6.15.검색)

28) 코로나(corona, 电晕) : 고압선 주위에 생기는 발광현상을 뜻한다.(네이버 사전, 2020.6.15.검색)

29) 전하(electric charge, 荷电) : 전기적으로 중성인 물질에 어떤 원인으로 자유 전자가 부착한다든지, 몇 개의 자유 전자가 부족하다든지 하면 그 물질은 양이나 음으로 대전(帶電)한다. 이렇게 하여 대전한 물질이 가지고 있는 전기의 양을 전하라 하고, 그 크기는 쿨롱(기호 C)으로 나타내어진다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

30) 양극판(anode plate, 阳极板) : 양극이 될 도체 물질로 만들어진 판. 용도에 따라 재질, 형상 등 여러 종류가 있다. 연 축전지에서는 PbO2(페이트스트형, 또는 Pb 판상에 화성한 것)가 사용된다.(네이버 지식백과, 2020.6.16.검색)

4) 전원제어

모든 집진기 설비세트의 1#집진기 헤드부분에 2대의 통신함을 설치하고 각 통신함에는 이더넷(ENET)³¹⁾-I 게이트웨이 24개, EDS-208A-MM-SC 교환기 1대, EDS-208A 교환기 1대, EDS-316 교환기 1대를 포함한다. 고주파 전원에 있는 COM0 포트가 옥외 케이블선을 통해 1#통신함에 연결된 이더넷-I망을 차단하며, COM1 포트는 옥외 이더넷 케이블을 통해 2#통신함에 연결된다. 예비전원은 2개이며, 통신함 전원은 이중전원으로 자동 전환 장치로 되어 있다. 그리고 집진제어실에 교환기 2대와 예비전원 1개와 엔지니어 스테이션(工程师站, p.3 각주13 참고) 1세트를 추가 설치한다.

1#, 2#통신함은 FICON(Fiber Connectivity, 光纤连)³²⁾를 통해 각각 1#, 2#교환기로 연결된다. 또한 1#, 2#교환기는 FICON으로 엔지니어 스테이션에 연결되고 2개의 교환기에 각 4개의 이더넷 통신의 인터페이스를 설치한다. 또한 엔지니어 스테이션은 1#, 2#설비세트의 고압·저압 데이터를 포함하고 있다. 그리고 엔지니어실·탈황제어실에 오퍼레이터 스테이션(操作员站, p.3 각주14 참고) 1세트를 추가하여, 2개의 FICON을 통해 각각 분리된 집진기의 교환기 2대에 연결한다.

5) 분산제어시스템(DCS, p.1 각주2 참고) 부분

각 전기장의 고주파 전원은 모든 전류·전압(1차, 2차 전압·전류 등 포함) 4~20mA의 아날로그량(analog quantity, 模拟量)³³⁾ 출력단자를 포함한다. 모든 신호를 하드와이어(hardwire, 硬接线)³⁴⁾를 통해 탈황 분산제어시스템(DCS)로 보내진다. 이때, 분산제어시스템 캐비닛은 발주처에서 제공하며, 수주처에서 시공도를 담당한다. 기존 탁도계 위치에 그대로 설치하고 탁도계 피드백 신호를 엔지니어 스테이션과 오퍼레이터 스테이션으로 보내지도록 한다.

▶ 개조 후 정전기집진기 시스템 운행분석

개조한 정전기집진기는 현재 안정적으로 작동하고 있으며, 고주파 전원은 탁도 폐환(闭环, p.1 각주1 참고) 제어시스템으로 에너지절약 효과도 보이고 있다. 주요기능은 집진기 배출구의 분진 검측기와 고주파 전원에 의해 하나의 폐환 시스템을 형성하면서 분진을 제어한다. 또한 소프트웨어가 분진농도에 따라 고주파 전원의 출력 전류를 자동으로 조절하고 보조시스템은 전압감소를 위해 진동시스템을 작동한다.

이에 따라 집진기의 부하에 따라 연기량, 연기탁도, 고주파 전원의 출력 파라미터가 자동으로 설정된다. 2#집진기세트는 부하가 각각 500~799MW, 800~849MW, 850~1,000MW구간과 각 전기장의 2차 전류조절은 450~800mA, 700~1,000mA, 800~1,200mA구간에서 분진 배출농도가 가장 안정적으로 배출하는 것을 확인할 수 있었다.

31) 이더넷(ENET, Eerste Nederlandsche Electriche Tram) : 가장 대표적인 버스 구조 방식의 근거리 통신망이며, 일반적으로 LAN, MAN 및 WAN에서 가장 많이 활용되는 기술규격이다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

32) FICON(Fiber Connectivity, 光纤连) : 대형 컴퓨터의 기억 장치용 고속 입출력 인터페이스. 예를 들어, IBM S/390 서버의 FICON 채널은 이전 파이버 채널 표준인 기업 시스템 연결(ESCON)보다 8배까지 링크 속도를 낼 수 있다.(네이버 지식백과, 2020.6.16.검색)

33) 아날로그량(analog quantity, 模拟量) : 연속적으로 크기가 변화하는 물리량이나 데이터를 뜻한다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

34) 하드와이어(hardwire, 硬接线) : 저항, 콘덴서, 코일 등의 전자 소자가 개재되지 않은 회로이며, 결선과 단자 결합만으로 이루어져 있고, 스위치를 포함하지 않는 회로이다.(네이버 지식백과, 2020.6.12.검색)

집진기 배출구의 압력과 전류조절을 통해 안정적인 배출농도를 보장하고 에너지소모를 감소시킬 수 있었다. 모든 집진기의 배출농도가 10~15mg/m³로 처리효과 또한 분명하게 나타났다. 동일한 조건에서 고주파 전원은 2차 전류가 각각 설정된 범위에서 자동으로 조절되며, 전력 소비량은 700~1,200kW/h로 조절할 수 있어 에너지소모가 현저하게 감소한 것을 확인할 수 있었다.

현재, 2#정전기집진기는 전기장 버킷 가열시스템 온도가 60°C로 설정되어 가동하고 있으며, 80°C가 되면 자동으로 가동을 중단하게 된다. 이때, 발전세트의 운행은 정지 상태로 나타났다.

▶ 정전기집진기의 고주파 전원 개조후 처리효과

(처리효과) 저온성 석탄가스 투입과 절단(disconnect) 조건에서 고주파 전원은 전체 출력상태로 운전하며, 탄질(煤种, p.2 각주12 참고)의 경계라인에서 전기집진기 배출구의 분진농도가 모두 10~15mg/m³로 배출하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 현재 집진효율이 매우 안정적이고 처리효과도 분명하게 나타났다. 전체 시스템 설계 규범 요구사항에도 모두 부합하였다.

(경제효과) 집진기 배출농도가 20mg/m³일 때, 고주파 전원의 총 전력은 1,740.8kW로 기존의 2,100kW보다 대폭 감소한 것으로 나타났다. 이때, 전기집진기의 연간운영비용은 548.9만 위안(한화 약 9.4억 원)으로 기존 662.2만 위안(한화 약 11.3억 원) 대비 113.3만 위안(한화 약 1.9억 원)을 절약한 것으로 나타났다. 계산공식은 '총비용=총 전력*전기료*24시간*365일'로 계산된다.

<집진기 개조 후 경제효과>

구분	개조전	개조후	감량효과
총전력량(kW)	2,100	1740.8	359.2
연간운영비용(한화 억 원)	11.3	9.4	1.9

<자료 출처 : 북극성 대기망 내용 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

* 이때, 전기료는 0.36위안(한화 약 61.63원)/kW으로 계산되며, 상황(산업·지역별)에 따라 전기료는 다르게 적용될 수 있다.

▶ 시사점

최근 중국은 환경보호에 대한 조치가 강화되고 있다. 이에 석탄발전소에 대한 요구가 높아지고 있다. 이는 석탄발전소의 경우, 제때 조치를 취하지 않으면 환경에 많은 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 이번 석탄발전소의 집진기 개조를 통해 기존에 존재하는 문제점, 세부적 개조방안, 개조대책 등의 사례를 통해 환경문제처리 뿐 아니라 개조를 통한 경제적 효과에 대해 알아보았다.

정전기집진기의 전력공급방식 개조를 통해 집진기의 연간운영비용을 절감할 수 있고, 또한 에너지소모를 감소시킬 수 있는 장점을 확인하였다. 따라서 향후 석탄발전소의 집진기 개조 시장은 집진기 전체를 교체뿐 아니라 전력공급 방식 변경을 통해 분진 처리효과와 에너지소모도 낮출 수 있을 것으로 전망된다. 에너지 효율을 중요시되고 있고 또한 경제성 확보의 근거자료를 위한 데이터 축적도 필요할 것으로 사료된다.

<환율 적용 : 2020.6.15. 네이버 환율 기준, 1위안=한화 171.16원>

북극성 대기망, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20200603/1078264.shtml>, 2020.6.16.접속

※ 기술용어 번역·해석이 일부 상이할 수 있으니 반드시 중문본을 확인하시기 바랍니다.

▶ (참고) 중국 석탄발전소 초저배출 및 에너지절약 개조 사업 소개

1) 중국 석탄발전소 초저배출 및 에너지절약 개조 사업 전면 시행

2020년까지 개조 대상이 되는 전국 모든 석탄발전소 초저배출을 실현한다.

* 기준산소함량 6%의 조건, 초저배출 농도 입자상물질 10mg/m³, 이산화황 35mg/m³, 질소산화물 50mg/m³ 이하
동부지역의 초저배출 기존 계획 조기 달성(2017년→2020년) 후 지역 점차 확대, 중부지역은 2018년까지, 서부지역은 2020년까지 달성하도록 한다.

<중국 석탄발전소 초저배출 지역별 목표>

지역	목표	지역	개조 대상
동부	2017년	북경, 천진, 하북, 요녕, 상해, 강소, 절강, 복건, 산둥, 광둥, 해남 총 11개 성·시	· 30만kW 이상 공용 석탄화력발전설비 · 10만kW 이상 자가 석탄화력발전설비
중부	2018년	산서, 길림, 흑룡강, 안휘, 강서, 하남, 호북, 호남 총 8개 성	
서부	2020년	내몽고, 광서, 중경, 사천, 귀주, 운남, 서장, 섬서, 감숙, 청해, 녕하, 신장 총 12개 성·시·자치구	

<자료 출처 : 중국 발전개혁위원회, 2015>

2) 내몽고 초저배출 목표 년도

<석탄발전소 초저배출을 위한 전기가격 보조금 지원 정책 관련 문제 및 통지>(발전개혁 가격위원회[2015]2835호)와 <석탄 에너지 감축과 등급개조 행동 계획(2014~2020년)>(발전개혁 에너지위원회[2014]2093호)에 따라 내몽고자치구 또한 초저배출 목표를 2020년까지 달성하는 것을 분명하게 설정하였다.

3) 국가발전개혁위원회에서 제정한 <석탄발전 초저배출 전기가격 보조 정책 관련 문제 통지>에 따라 내몽고 자치구의 초저배출 관련 정부 지원금을 제정 하였다. 내몽고 서부지역의 석탄발전소 관련 기업은 발전소 총용량이 10%를 초과하지 않도록 하고 정리기구의 총용량은 513.8만kW로 하며 동부지역은 재생에너지의 기금으로 인해 가격차이가 발생하는 현상을 해결할 때까지 초저배출을 위한 가격지원 편성을 잠시하지 않도록 한다.

중국 발전개혁위원회, http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/t20151215_319170.htm, 2015
중국 발전개혁위원회, <http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/W020151215366215476108.pdf>, 2015
내몽고자치구 환경보호청, http://www.nmgepb.gov.cn/dttx/qqhb/201608/t20160816_1510121.html, 2016
내몽고자치구 인민정부, http://www.nmg.gov.cn/fabu/zdxxgk/jgsf/jggz/201605/t20160506_547844.html, 2016
국가발전개발위원회, http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201512/t20151209_761936.html, 2015



중국환경산업 주간기술동향

발행

2020년 6월 16일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승(cms0522@keiti.re.kr)

자료제작

▷ 김중균(jaykim@keiti.re.kr)



중국환경산업 주간기술동향은 매주 화요일 발행됩니다.

문의 : +86-10-8591-0997~8