

비회(Fly Ash) 저감용 전기집진기 지능형 분산제어시스템 개발 적용

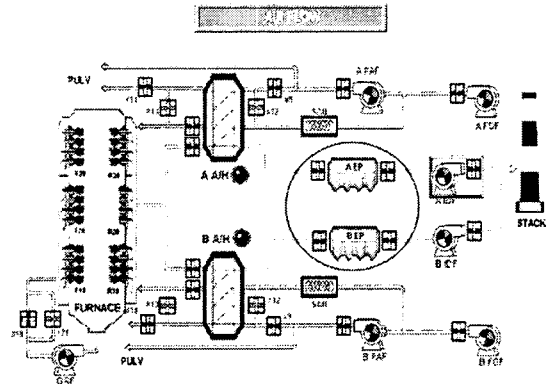
이주현*, 임익현, 류호선, 신만수, 김봉석
한전전력연구원*

Application and Development of intelligent distributed control system of electric precipitator for fly ash reduction

Joo-Hyun Lee*, Ick-Hun Lim, Ho-Sun Ryu, Man-Soo Sin
KEPRI*

Abstract - An electric precipitator in a thermal electric power plant is essential equipment for preventing air environment pollution. However, it is difficult for the existing control systems to make efficient effects on dust collection. This is because AVC and ERC consist of independent, separate systems in the existing systems. To solve this problem, we developed an intelligent distributed control system, which makes optimal control possible through connection operations between the control systems. In this paper, we analyzed system performance and fly ash reduction effects through the developed system structure, development contents and its actual application to power plant.

러의 Air Flow 계통을 나타낸 것이며, 원으로 표시된 부분이 전기집진기의 설치 위치를 나타낸다.



[그림 1] 화력발전소 전기집진기 설치도

1. 서 론

전력산업의 경쟁 체제하에서 발전설비의 효율향상과 원가절감 및 환경오염 방지는 기업 경영전략의 중요한 당면과제로 대두되었다. 전기집진기는 배기가스 중에 포함되어 있는 비회(Fly Ash)의 미립자를 전기적으로 포집함으로써 먼지(Dust)에 의한 대기오염을 방지하기 위한 설비이다. 최근 디지털 제어기술의 발전과 더불어 화력발전소의 주 제어 설비의 대부분은 디지털 분산제어 시스템으로 적용하고 있는 추세이나, 전기집진기 제어시스템의 경우 주 제어시스템과 비교할 때 국내 기술개발에 대한 투자가 미흡하였다. 기존의 제어시스템은 전압제어와 추타제어 시스템을 각기 독립된 별개의 시스템으로 구성되어 효율적인 집진효과를 거두기 어렵고, 정류용 변압기 등 시스템의 여러 문제점들을 안고 있었다.

전기집진기의 집진효율은 분진입자의 직경이 균일하며 가스흐름에 대한 수직단면의 가스 중 분진 함유량이 일정하다고 가정하여 이론적으로 Deutsch-Anderson 식을 일반적인 추정기준으로 삼고 있다.

$$\eta = \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{\exp(VA/Q)}\right) \right] \times 100 \quad (1)$$

여기서, η : 집진효율 (%)
 A : 집진 전극의 유효 총면적 (m²)
 Q : 통과 처리 가스량 (m³/sec)
 V : 분진 입자의 이동속도 (m/sec)

본 논문에서는 집진효율 향상을 통한 비회저감의 이론적 배경과 보일러 부하(Boiler Load)의 변화, 스파크, 아크 등 집진기의 운전 상태와 배출 분진농도 등을 자체에 내장된 마이크로프로세서가 분석하여 전압 및 추타제어 시스템의 연계운전을 통한 최적제어가 가능한 지능형 분산제어시스템의 구성과 개발내용에 대해 기술하고 발전소 실제통의 현장적용을 통해 시스템의 성능과 집진효율 향상을 통한 비회저감의 효과들을 분석하였다.

또한, 전기집진기의 집진극 사이에 분진 입자가 부착되면 분진 층의 전기저항으로 인하여 방전극과 집진극상의 전계 상태에 영향을 주게 된다. 집진 극에 부착된 분진 층의 두께를 a (cm), 분진 입자의 전기저항을 R (Ω -cm), 집진극의 단위 면적당 방전전류를 i (A/cm²)라 하면, 분진 층에서의 전압강하 ΔE (volt)는 다음과 같다.

$$\Delta E = a Ri \quad (2)$$

2. 본 론

2.1 화력발전소 전기집진기 개요

화력발전소에서의 전기집진기는 보일러에서 연소에 의해 대기로 방출되는 배기가스를 전기집진기의 집진극과 방전극으로 구성되는 전계 층을 통과시켜 배기가스 중에 포함되어 있는 비회(Fly Ash)의 미립자를 전기적으로 포집함으로써 먼지(Dust)에 의한 대기오염을 방지한다. 전기집진기의 구성은 크게 방전극과 집진극이 설치되어 있는 집진실, 직류 고전압을 인가하기 위한 하전장치 그리고 극판에 퇴적한 먼지를 하부 Hopper에 낙하시키는 추타장치로 구성되어 있다. [그림 1]은 화력발전소 보일러

그러므로 전기집진기를 일정한 인가전압으로 운전하는 경우, 분진 층의 전압강하가 크면 그 만큼 방전극과 집진극 사이의 유효전압이 작아져서 방전전류가 감소하고 집진효율이 떨어진다.

2.2 지능형 분산제어시스템

지능형 분산제어 시스템은 전기집진기의 운전상황과 부하에 따라 자동으로 선택되는 전압제어 프로그램(10개)과 추타제어 프로그램(6개)으로 운전되는 전기집진기 전용의 제어시스템이다. 마이크로프로세서 기반의 제어 시스템으로 전기집진기의 정류용 변압기에 공급되는 전

력을 조절한다. 특히 기존의 시스템이 전압제어와 추타 제어 시스템을 각기 독립된 별개의 시스템으로 구성되어 효율적인 집진효과를 거두기 어려운 반면, 급변에 개발된 시스템은 동일한 하드웨어와 소프트웨어를 사용하여 전압제어와 추타제어 시스템을 상호 연계한 최적제어가 가능하여 집진효율을 향상시킬 수 있는 제어시스템이다

2.3 분산제어시스템 구성 및 기능

2.3.1 분산제어(DCS) 시스템

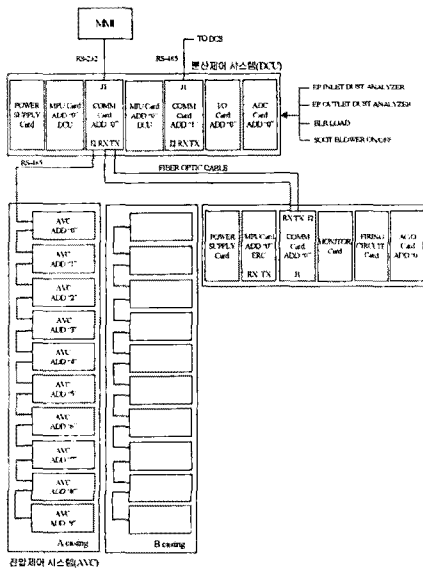
분산제어 시스템은 Smart pulse 전압제어 시스템 및 자동 추타제어 시스템과 원활히 연계되어 최적제어 운전이 가능하도록 구성되어 있으며, 시스템 이상 발생시 전압제어 시스템 및 자동 추타제어 시스템에서 자동으로 Back-Up 운전이 가능하고, 멀티프로세서의 전용 통신 컨트롤러가 내장된 형태로 구성되어 있다.

2.3.2 전압제어 시스템 (AVC)

전압제어 시스템은 자동운전 전압제어 프로그램을 갖춘 시스템이며, 운전 모드는 연속하전, 간헐하전, Smart Pulse 하전 운전이 가능하다. 변압기의 전압변동을 최소로 하기 위해 각각 10개 이상의 자동으로 선택되는 전압제어 프로그램을 보유하고 있으며, 주요 기능으로는 Back Ground Power 운전기능 및 스파크, 아크, Back Corona 에 따른 Ramp Up 기능이 가능하다. 뿐만 아니라 전압제어 시스템은 전기집진기 입구 분진농도(EP Inlet Opacity)와 굴뚝 분진농도(Stack Opacity), 부하 (Boiler Load) 그리고 Soot Blower Control System과 연계 운전이 가능하도록 구성되어 있다.

2.3.3 추타제어 시스템 (ERC)

추타제어 시스템은 분산제어 시스템과 동일한 하나의 프로그램으로 운전되며, 스파크, 아크 및 Back Corona 발생에 따른 운전변수의 설정 및 개별, 그룹제어를 위한 운전 값의 설정은 현장에서 간단한 Data 수정으로 가능하다. 집진 판에 누적된 분진들을 효과적으로 호퍼에 분리하기 위하여 순간적으로 하전용 변압기의 Power를 Off 하는 기능과 분진의 방출 및 비산 방지를 위하여 하전용 변압기 Power를 줄이는 Power Reduced Rapping 기능을 가지고 있다.



[그림 2] 분산제어 시스템 구성도

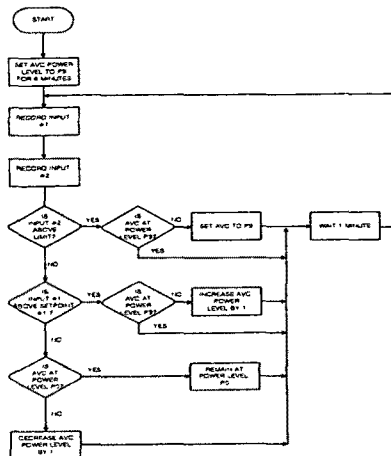
2.4 시스템 주요 개발내용

2.4.1 전압 제어방식의 변경

전기집진기의 전압제어를 통한 하전방식에는 직류 연속하전방식, 간헐 하전방식, Smart Pulse 하전방식 그리고 마이크로 펄스 하전방식으로 나눌 수 있다. 기존의 전기집진기 제어시스템이 직류 연속하전 방식과 간헐하전방식의 기능을 모두 갖추었으나 실제로는 직류 연속하전방식으로 운전하고 있다. 직류 연속하전의 방식은 연속적으로 직류전압을 인가하여 하전 하는 방식으로 아크, 스파크, Back Corona 현상의 발생이 잦고 Back 코로나가 발생하는 조건에 이르게 되면 경우에 따라 전압을 거의 인가할 수 없는 상황에 까지 이를 수가 있어 이는 전력소모가 많고 집진효율의 저하를 가져왔다. 간헐하전방식은 교류 고전압을 반파 정류하여 사인파 모양이 출력을 간헐적으로 제어하여 Back 코로나 발생을 억제토록 하는 방식이다. 이 경우 간헐적인 하전으로 인해 정류용 변압기(Si-Tr)에 전압변동율이 크고 변압기의 고장 발생과 운전 중 이음이 심하여 설비 운영에 많은 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 전압을 제어하는 점호펄스의 개수를 제어하는 간헐 하전방식에 비해 점호펄스의 폭을 Smart Pulse로 분할하여 제어 하는 방식으로 변경하여 집진효율을 향상시켰다.

2.4.2 연계운전 제어프로그램 개발

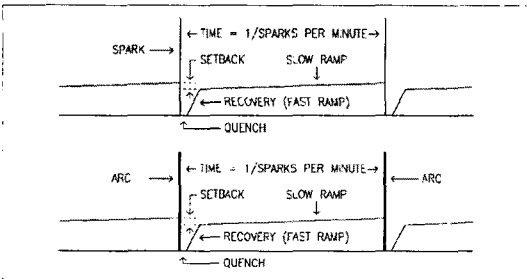
보일러의 부하가 낮은 경우 또는 집진상태가 양호하여 배출되는 분진농도가 낮은 경우 전압제어 시스템의 출력을 줄여 하전량을 줄이게 된다. 또한 추타 시에는 효율적인 추타효과를 높이기 위해 POR(Power Off Rapping)/PRR(Power Reduced Rapping)의 연계운전을 통하여 전압제어 시스템의 출력을 줄여 전기집진기 하전용 변압기에 공급하는 전력을 줄이거나 순간적으로 차단하여 분진의 방출과 비산방지를 줄여 추타 효율을 높이게 된다. 이와 같이 집진기의 운전상태와 출구 분진농도에 따라 전압 및 추타제어 시스템을 적절하게 연계하여 운전하는 제어프로그램을 개발하였다. 아래의 [그림 2]는 전압제어 프로그램의 Flow Chart를 나타낸 것이다. 분산제어 시스템은 전기집진기의 출구 측 분진농도 신호를 추종하여 제어하고 입력된 분진농도의 평균값을 계산하여 분진농도 제어기의 설정값으로 사용한다. 집진기 출구의 분진농도의 값이 설정값 보다 높으면 분산제어시스템은 전압제어시스템 프로그램의 번호를 하나 더 증가시키고 설정값 보다 낮으면 프로그램 번호를 하나 감소시킨다. 분진농도가 제한 치에 도달하면 분산제어시스템은 전압제어 시스템 프로그램을 즉시 최대 수준으로 증가시킨다.



[그림 3] 전압제어 프로그램 흐름도

2.4.3 스파크/아크 연동운전 기술

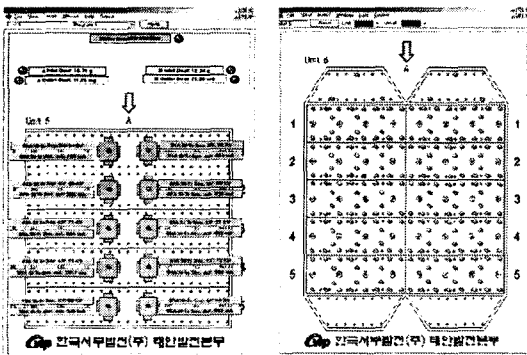
전기집진기의 운전 중에 스파크/아크가 감지되면, 제어기는 스파크를 제거하기 위하여 선택한 일정 주기 동안 전압제어를 위한 싸이리스터(SCR)의 도통(Firing)을 정지시킨다. 싸이리스터의 점호각은 0도에서 시작하여 선택된 일정 반주기동안 빠른 기울기로 Set back Level로 들어간다. 스파크 모드에서는 감지된 모든 스파크/아크를 제어기가 제거하고 난 후 빨리 Set back Level로 들어가며, 이 모드는 스파크/아크의 강도와는 상관없이 발생한 모든 스파크/아크를 철저히 통제하고 제거하기 위해 사용되고 스파크와 아크 발생시 빠른 시간 안에 정상적인 상태로 회복시킨다. 아래의 [그림 3]은 스파크/아크 발생시의 2차 전류와 전압의 파형을 나타낸다.



[그림 4] 스파크/아크 발생시 2차 전류, 전압 파형

2.4.4 운전상태 감시조작을 위한 MMI

운전 상태의 감시 및 조작을 위한 운전원용 MMI는 Windows 기반의 산업용 컴퓨터에서 동작하며 프로그램, 운전, 성능감시 및 운전이력 기록 등의 기능을 수행한다. 아래의 화면은 전압제어와 추타제어 시스템의 MAIN 화면을 나타낸 것이며 운전원들이 쉽게 인지할 수 있도록 전기집진기의 개별 전압제어 시스템과 전기집진기의 구조와 정류용 변압기(T/R Set) 배치에 맞게 구성하여 운전원들의 편의를 도모하였다.



[그림 5] 전압제어와 추타제어 시스템 MAIN화면

2.5 개발시스템 현장적용 결과

태안화력 5호기 전기집진기의 A-Casing에 기존 전기집진기의 제어시스템을 개발시스템인 지능형 분산제어시스템(DCS)으로 교체하고 추타제어 시스템의 성능과 비회 저감의 효과를 분석하고 평가하였다.

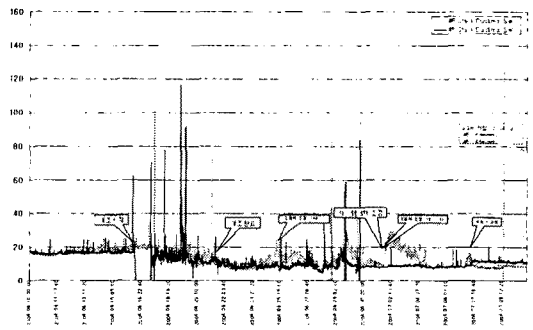
태안화력 제5호기에 기존의 전기집진기 제어시스템을 개발시스템인 지능형 분산제어 시스템으로 교체 후에 시스템의 성능과 교체 전/후의 비회(Fly Ash) 저감의 효과를 측정하기 위해 시험을 실시하고 아래의 [표 2]와 같이 비회 저감의 효과를 확인하고 그 결과를 분석하였다.

[표 2] 적용 전/후 태안 5호기 Stack Dust 결과

구분	적용 전	적용 후
Stack Dust	16.7 mg/Sm ³	11.32 mg/Sm ³
자료취득	72시간 평균	96시간 평균
기간	'04.6.12.~'6.14.	'04.8.19.~'8.22.
비고		32% 저감

※ 탄종 및 운전 조건에 따라 일부 다를 수 있음

[그림 6]은 '04.6.10.'7.10.까지 1개월간 태안화력 5, 6호기의 Stack Dust의 변화추이 비교한 그래프이다. 그래프에서 보듯이 태안 6호기에 비해 개발 시스템이 적용된 태안 5호기가 탄종 및 운전조건의 여러 가지의 변화에도 불구하고 안정적으로 운전되고 있는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 6] 태안5, 6호기 Stack Dust의 변화추이 비교

3. 결 론

본 논문은 선진 외국 기술에 전적으로 의존하고 있는 발전소 전기집진기 제어시스템을 국내 기술로 개발하고 발전소 실 계통에 적용하여 비회(Fly Ash) 저감의 효과를 분석한 결과를 기술하였다. 개발시스템으로 적용 후 현장시험을 통해 수집한 데이터를 분석한 결과 Stack Dust를 기준으로 30% 이상의 비회 저감 효과가 있는 것으로 확인 되었다. 향후 스파크/아크 Mode의 최적 운전과 전압 및 추타제어시스템의 연계운전 파라미터 그리고 최적의 추타시간과 추타강도의 세부 정정(Fine Tuning) 등을 통해 집진효율을 더 높일 수 있을 것으로 기대된다. 이는 전기집진기의 집진 성능 향상에 새로운 기술적 방법을 제시하여 향후 강화되는 환경규제에 대비하고 환경친화적 기업으로서의 이미지 제고를 위한 발전소의 현안문제 해결에 크게 기여하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이주현, 임익현, 류호선, 신만수 외 "500MW급 석탄 화력 전기집진기 비회저감 방안 연구" 중간보고서, 전력연구원, 2004. 8
- [2] "전기집진기의 집진 효율 향상에 관한 연구" (The Improvement of Collection Efficiency of Electrostatic Precipitator), 산업안전학회지, 17권 P25, 2002
- [3] "마이크로 펄스 하전을 이용한 전기집진기에서 집진 효율 특성" (Collection efficiency of electrostatic precipitator using micro-pulse energization), 한국대기환경학회 학술대회 논문집, 11권, P157, 1999