

국산 개발 배연탈황 설비의 제어루프 구현

이찬주, 김응석
한국전력공사 전력연구원

An Implementation Of Control Loop For Domestic Flue Gas Desulfurization System

Lee Chan Ju, Kim Eung Seok
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Air pollution is one of the most important global issues of the environmental concerns. Some advanced foreign countries have developed the air pollution control technology. KEPCO has been researching on the air pollution control technology and developed the FGD(Flue Gas Desulfurization) system for 200MW thermal power plant. In this paper, we describe the major control loops implemented to the domestic FGD system. The major control loops are to be classified into booster fan control, absorber PH control and limestone density control. The control loops were applied to the actual desulfurization processes and proved to their performance.

1. 서 론

최근 환경에 대한 국제적인 관심이 증가함에 따라 일부 선진국에서는 대기오염 방지를 위한 기술 개발 및 방지 설비 설치에 많은 노력을 기울여 왔다. 우리나라도 1990년대에 들어 환경에 대한 국민의 관심이 고조되면서 대기 오염 물질 배출 규제가 강화됨에 따라 고체 연료를 사용하는 화력 발전소에서도 SO₂ 배출 방지를 위하여 배연탈황 설비를 설치를 적극 추진하고 있다. 그러나 배연탈황 설비의 설치에 따른 기계 설비 분야는 물론 제어 분야에 이르기까지 외국의 제작자에 의존하고 있어 배연탈황 설비의 국산 개발 필요성이 대두되었다. 이에 따라 전력연구원에서는 화력 발전소 보일러의 연소 결과로 발생하는 다량의 SO₂를 함유하고 있는 배기 가스를 가스 분사 방식에 의해 SO₂ 제거 효율을 높이고 부산물으로써 상업용 석고를 얻을 수 있는 배연탈황 설비를 국산 개발하였으며 발전 설비에 적용하게 되었다.

본 논문에서는 전력연구원에서 국산 개발하여 200MW급 화력발전소에 설치하여 시운전 중인 배연탈황 설비에 구현된 주요 제어루프에 대하여 기술하고자 한다. 먼저 배연탈황 설비 개요에 대하여 설명하고, 운용 중인 보일러의 배기가스 계통에 미치는 영향을 최소화하기 위한 배연탈황용 승압통풍기 댐퍼 제어루프 구성과 보호 계통, 탈황 효율에 직접적인 영향을 미치는 흡수탑 PH 제어루프 및 석회석 슬러리 밀도 제어루프에 대하여 살펴보고자 한다. 또한 승압통풍기 댐퍼 제어루프의 실제 플랜트 적용 결과를 통하여 구현된 제어루프의 타당성을 확인하므로써 향후 배연탈황 설비 제어루프를 구성하는 기본 방향으로 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 배연탈황 설비 개요

배연탈황 설비는 [그림1]과 같이 크게 배기가스 계통, 흡수탑 계통, 석회석 취급 계통 및 석고 취급 계통의 주 설비 계통과 탈황 용수, 폐수 처리 및 압축 공기 계통의

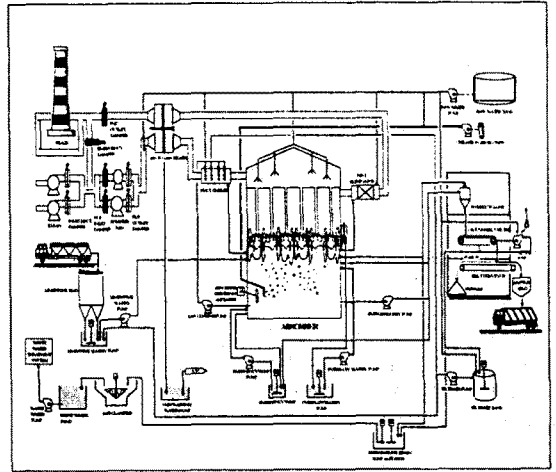


그림 1. 배연탈황 설비(200MW급) 공정 개요도

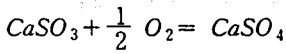
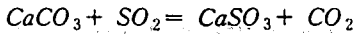
보조 설비 계통으로 구성된다. 본 절에서는 배연탈황 설비 주설비 계통에 대하여 설명한다.

2.1.1 배기 가스 계통

보일러 연소로 발생된 배기 가스는 보일러 유인통풍기를 통과하여 배연탈황 설비로 유입되고 탈황용 승압통풍기에 의해 승압된다. 보일러 정격부하시 175℃의 배기가스가 유입되어 가스 재열기에서 1차 냉각(144.2℃)된 가스 냉각 덕트에서 포화 온도(47℃) 까지 2차 냉각되어 흡수탑에 공급된다. 흡수탑에서 SO₂가 제거된 청정 배기가스는 가스 재열기를 통과하면서 유입되는 배기가스와 열교환을 하므로써 연돌에서 충분한 상승력을 얻고 가시 백연(Plume)을 방지할 수 있는 온도(82℃~104℃)로 되어 연돌로 배출된다. 또한 탈황 설비의 정지 또는 고장 시에는 배기가스를 직접 연돌로 배출하여 보일러에 영향을 주지 않도록 배연탈황 설비의 입구-출구 간에 비상용 By-pass 댐퍼가 설치되어 있다.

2.1.2 흡수탑 계통

흡수탑 계통은 배연탈황 설비의 성능을 결정하는 가장 중요한 부분으로써 전력연구원에서 순수 국내 기술로 개발한 습식 석회석 석고법에 의한 Bubbling 방식을 채용하였다. 흡수탑에 들어온 배기가스 중의 SO₂는 슬러리 상태의 석회석과 기·액 접촉하여 흡수, 산화 및 중화 반응에 의해 석고 슬러리의 형태로 바뀌면서 SO₂를 제거한다. SO₂가 제거된 청정 배기가스는 습분 분리를 통과하면서 보유 액적이 제거되고 가스 재열기로 보내어진다. 이 흡수탑에서 SO₂를 제거하기 위하여 발생하는 흡수, 산화 및 중화 반응은 아래와 같다.



2.1.3 석회석 취급 설비

석회석 분말을 하역, 저장, 공급하는 석회석 저장조와 석회석 이송 피더, 석회석 분말을 원수와 혼합하여 슬러리 상태로 저장하고 보일러 부하와 SO₂ 농도에 따라 흡수탑에 일정량을 공급하는 석회석 슬러리 저장 설비로 나누어진다.

2.1.4 석고 처리 설비

흡수탑의 석고 슬러리 농도가 20wt% 이상이 되면 슬러리는 하이드로 사이클론으로 보내어지고 이것을 진공 탈수시키면 석고가 만들어진다. 만들어진 석고를 저장 및 반출하는 설비가 설치되어 있다.

2.2 배연탈황 설비 제어루프

본 절에서는 운용 중인 보일러의 배기가스 계통에 미치는 영향을 최소화하기 위한 승압통풍기 댐퍼 제어루프와 보호계통, 탈황 설비 효율에 직접적인 영향을 미치는 흡수탑 PH 제어루프, 밀도 제어루프에 대하여 기술하고자 한다.

2.2.1 승압통풍기 댐퍼 제어루프 및 보호계통

배연탈황 설비는 운용 중인 보일러의 배기가스 계통에 추가로 설치되므로 탈황 설비에 의한 배기가스 흐름의 저항 증가분을 보상하기 위하여 승압통풍기를 설치 운용한다. 승압통풍기의 배기가스 입력 댐퍼는 보일러의 운전 상태에 신속히 응동하여야 하며 운전 중인 보일러에 영향을 주지 않아야 한다. 아래의 [그림2]는 배연탈황 설비에 적용된 승압통풍기 댐퍼 제어루프로써 Cascade - Feedforward 제어 방식으로 구성된다. 보일러 출구와 배연탈황 설비 출구의 배기가스 차압을 피드백 받아 상위 제어기에서 처리된 신호를 설정치로 사용하여 하위 제어기에서 승압통풍기 댐퍼 개도를 제어하며, 보일러 유인 통풍기의 제어 요구량을 선행신호로 사용하므로써 보일러 노내압 변동 상태에 따라 신속하게 응동하므로써 상시 탈황 설비 입구-출구 간 차압을 일정하게 유지하도록 제어한다.

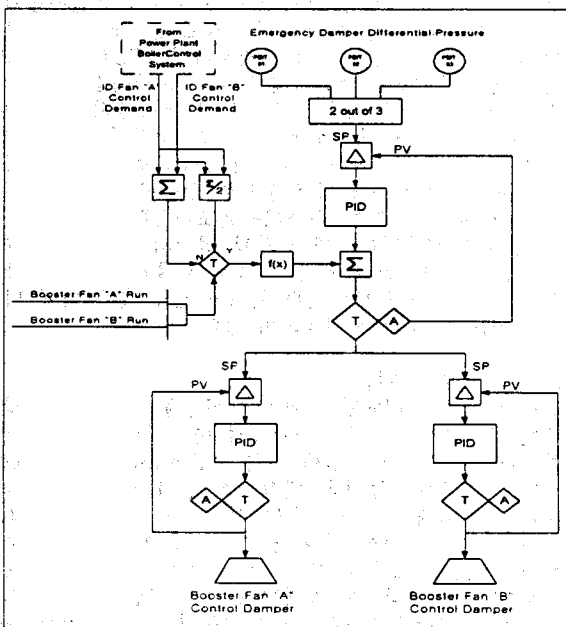


그림 2. 승압통풍기 댐퍼 제어루프

1) 비례 이득(Proportional Gain)의 결정
주제어기의 비례 이득은 승압통풍기 운전 대수에 따라 아래의 [그림3]과 같이 각각 다르게 결정되어 제어된다. 주제어기에 실제 적용된 비례 이득은 P=0.75 이다.

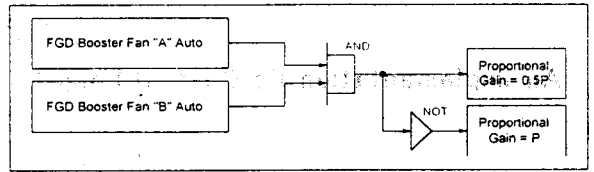


그림 3. 주제어기의 비례이득 결정

2) 선행 제어신호의 결정

승압통풍기 댐퍼 선행 제어 신호는 보일러-탈황 설비의 공기 균형 시험을 통하여 보일러 유인 통풍기 제어 신호와의 관계식을 산출한다. 이 값을 근거로 주제어기를 조정된 후 FGD 정상 운전 조건과 동일하게 배기가스를 통과시키면서 유인 통풍기 제어 신호에 따른 탈황 설비 입구-출구 간 차압을 정상으로 유지하는 승압통풍기 댐퍼 제어신호를 구하여 아래의 [그림4]와 같이 선행 제어신호를 결정한다.

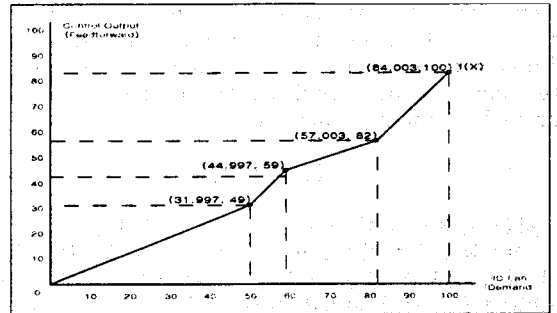


그림 4. 승압통풍기 댐퍼 제어 선행 신호

3) 배연탈황 설비 Protection 계통

배연탈황 설비가 아래와 같은 이상 발생 시에는 비상 By-pass 댐퍼를 신속하게 Open하여 탈황 설비에 배기가스가 통과하지 않도록 함으로써 탈황 설비를 보호함과 동시에 보일러에 미치는 영향을 최소화하여야 한다.

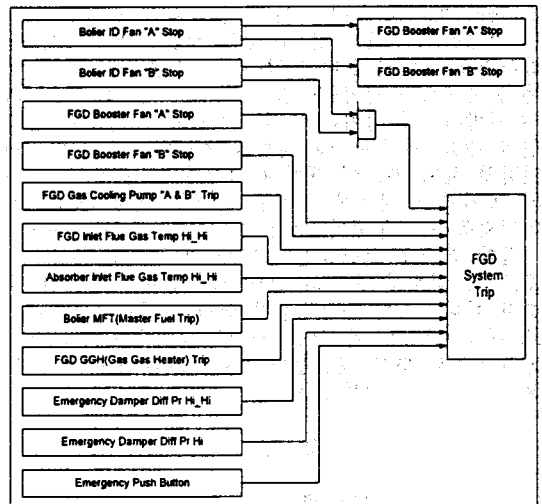


그림 5. 배연탈황 설비 PROTECTION 계통

2.2.2 흡수탑 PH 제어루프

배기가스 중의 SO₂ 제거와 석고 생성에 가장 적합한 흡수탑 내부 석고 슬러리 PH를 일정하게 유지하도록 석회석 슬러리 투입량을 조절함으로써 높은 탈황 효율을 유지할 수 있도록 Cascade - Feedforward 제어 방식으로 구성한다.

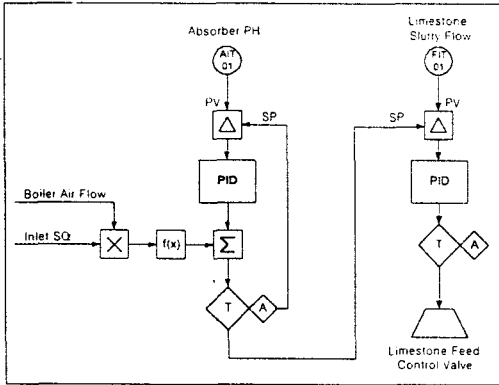


그림 6. 흡수탑 PH 제어루프

2.2.3 흡수탑 밀도 제어루프

석회석 공급 설비에 의해 일정 농도에 필요한 만큼의 분말-석회석과 원수가 석회석 슬러리 저장조에 보내어지고 혼합기는 슬러리를 연속적으로 혼합한다. 본 제어루프는 석회석 슬러리 저장조에 공급하는 원수량을 조절함으로써 흡수탑에 공급되는 석회석 슬러리 밀도를 일정하게 유지하도록 제어한다. 이 제어루프는 Cascade 제어 방식을 채택하고 석회석 슬러리 저장조의 레벨이 High, High인 경우에 Raw Water 공급이 중단되도록 구성되어 있다.

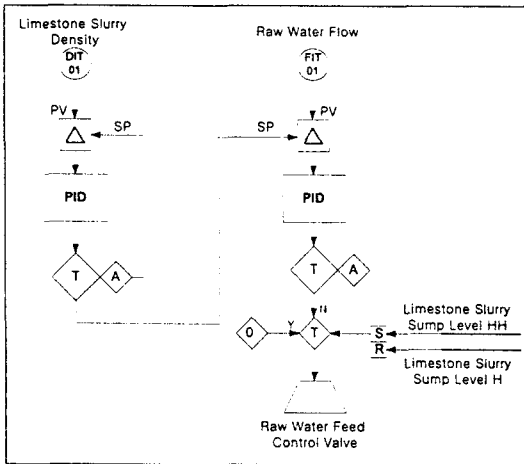


그림 7. 흡수탑 밀도 제어루프

2.3 시운전 결과

본 절에서는 배연탈황 설비의 여러 제어 루프 중에서 배기가스 계통인 승압통풍기 댐퍼 제어 루프의 프로세스 시운전 결과를 기술한다.

배연탈황 설비의 정상 운전시 탈황 설비 입구-출구 간 차압은 거의 "Zero"를 유지하여야 한다. 배연탈황 설비에 보일러 배기가스를 통과시켜 운전하면서 [그림2]의 제어루프에서 주제어기 설정치를 각각 0, +60, +40 mmH₂O와 0, -20, -40 mmH₂O로 변경시키면서 승압통풍기 댐퍼의 운동 상태와 입구-출구 간 차압의 제어 상태를 확인한 결과 [그림8], [그림9]와 같이 양호하게 제어됨을 알 수 있다.

1) 배연탈황 설비 입구-출구 차압 설정치를 0 → +60 → +40 mmH₂O 로 변경시

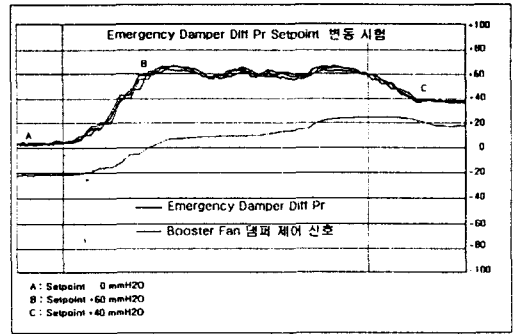


그림 8. 승압통풍기 댐퍼 제어 상태 ($\Delta P \geq 0\text{mmH}_2\text{O}$)

2) 배연탈황 설비 입구-출구 차압 설정치를 0 → -20 → -40 mmH₂O 로 변경시

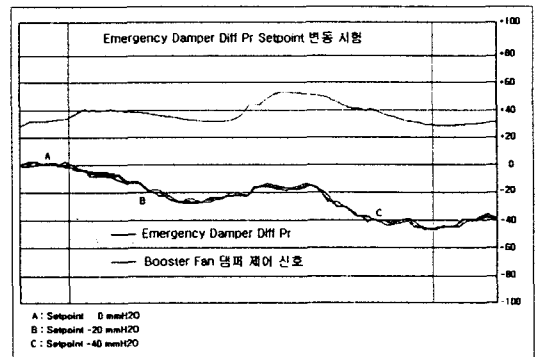


그림 9. 승압통풍기 댐퍼 제어 상태 ($\Delta P \leq 0\text{mmH}_2\text{O}$)

3. 결 론

본 논문에서는 국산 개발된 배연탈황 설비에 최초로 적용된 주요 제어루프에 대하여 기술하고 시운전 결과를 보여주었다. 승압통풍기 댐퍼 제어에 있어서 기존 보일러 Draft 계통과의 연관 관계에 대한 고려가 제어의 질을 결정하는 가장 중요한 요소로 작용한다. 또한 각 제어루프들은 배연탈황 설비의 운용 과정에서 프로세스 특성에 적합한 제어 요소들을 점진적으로 추가 적용함으로써 국산 개발 배연탈황 설비가 최적 성능을 유지할 수 있을 것이다. 여기에 언급된 제어루프들은 배연탈황 설비 프로세스에 적용, 운용하여 검증을 거쳤으므로 향후 배연탈황 설비 설치에 따른 제어루프를 구성하는데 기반 자료로써 활용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원, "발전용 배연탈황·탈질 기술개발 및 실용화" 제2차년도 연차보고서, p25~p49, 1994
- [2] 김은기, "영동화력 #2 배연탈황 설비 제어 기술지원 보고서" Technical Memorandum, 92CJ07-S1998-115, p 1998
- [3] 한국전력기술주식회사, "영동화력 제2호기 배연탈황 실증 설비 계통설명서", 2-650-H412-001, p9~p23, 1997
- [4] David Lindsley, "Boiler Control System", p81, 199