

발전용 Soot Blower 최적운전에 관한 연구

A Study on Optimal Operation for Soot Blower of Power Plant

김성호*, 정해원**, 육심균***

Sung Ho Kim, Hae Won Jung and Sim Kyun Yook

Abstract - An optimal soot blowing system has been developed for an optimal operation of power utility boilers by both minimization of the use of steam and the number of soot blowers worked during soot blowing. Traditionally, the soot blowing system has been operated manually by operators. However, it causes the reduction of power and thermal performance degradation because all soot blowers installed in the plant should be worked simultaneously even there are lots of tubes those are not contaminated by slagging or fouling. Heat transfer area is divided into four groups, furnace, convection area including superheater, reheater and economizer, and air preheater in the present study. The condition of cleanness of the tubes is calculated by several parameters obtained by sensors. Then, a part of soot blowers works automatically where boiler tubes are contaminated. This system has been applied in a practical power plant. Therefore, comparison has been done between this system and manual operation and the results are discussed.

Key Words : Soot Blower, Deposition, Soot, Fouling, Slagging

1. 서론

발전용 석탄화력 보일러의 경우, 열교환 튜브에 침착(deposition)되는 회분은 열교환 특성을 악화시켜 보일러 열 효율을 저감시키며[1], 그 정도가 심한 경우에는 보일러를 강제로 정지시켜 침착물질을 제거하여야 한다. 일반적으로 침착된 회분을 운전 중에 제거하기 위하여 슈트 블로워(soot blower)가 사용된다. 슈트 블로워는 용융상태의 회분에 의해 보일러 노(furnace)내 벽튜브(wall tube)에 형성되는 슬래그 및 고품 회분에 의해 재열기, 과열기 및 절탄기 등에 형성되는 파울링을 제거하기 위하여 보일러 열교환 튜브 전체에 걸쳐서 설치된다. Sondreal et al.[2]에 따르면 파울링이 심하게 발생하는 경우 보일러 출력의 10~20%, 열효율의 10%까지 줄어드는 것으로 알려져 있다. 이는 파울링에 의한 열교환 특성 저하 뿐만이 아니라 슈트 블로잉(soot blowing)을 위한 작동유체로서 보일러에서 생성된 증기를 사용하기 때문이다. 기존의 경우 슈트 블로워를 작동시키기 위해서는 수동적인 방법으로 한번 작동 시 전체의 슈트 블로워를 작동시키거나 운전원 주관적인 판단에 의해 불규칙적인 주기로 작동시키므로 매우 비경제적인 방법으로 개선이 요구되는 부분이다. 이

방법은 보일러의 효율이 전혀 고려되지 않은 상황에서 침착 물질을 제거하기 위해 과도한 증기 및 보조전력 소모를 야기시키기 때문에 일정 시간동안 보일러 온도와 효율을 감소시키는 요소로 작용되는 문제점을 초래하게 된다[3,4].

본 연구에서는 최적의 슈트 블로워 작동을 위한 시스템을 개발하여 이를 실제의 대형 화력발전용 보일러에 적용시켜 그 결과를 분석하고 수동방식과 비교하였다. 보일러 관벽에 발생하는 침착 정도는 보일러의 상태 정보 신호와 각 영역별 오염도 판단 기준 데이터베이스와 비교하여 판단하였다. 이런 판단을 근거로 최적의 슈트 블로잉 운전 주기(시작시점과 정지시점)를 결정하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

2. 오염도 판단 알고리즘

2.1. 그룹별 오염도 산출 기준

일반적으로 석탄화력 발전소의 슈트 블로워는 복사영역인 화로영역에 월 블로워(wall blower)와 대류영역인 과열기, 재열기, 절탄기 영역에 롱 블로워(long blower), 그리고 공기예열기(Gas Air Heater) 영역에 롱 블로워가 설치된다. 월블로워는 운전시간이 약3분이고 단독(Single)운전이 되며, 롱 블로워는 약8분(공기 예열기: 약30분)이고 쌍(Pair)으로 운전된다. 본 연구에서는 최적의 슈트 블로워 운영을 위하여 보일러 내부를 4개 그룹(화로영역, 과열기 및 재열기 영역, 절탄기 영역, 그리고 공기예열기 영역)으로 나누고, 각 그룹별 오염도는 다음과 같이 세 가지로 분류한다.

저자 소개

- * 非 會 員 : 두산중공업(주) 기술연구원 원자력기술개발팀
- * 正 會 員 : 두산중공업(주) 기술연구원 원자력기술개발팀
- * 正 會 員 : 두산중공업(주) 기술연구원 원자력기술개발팀

- 오염도 100% (오염상태, Polluted)

- 오염도 50% (정상상태, Normal)
- 오염도 0% (청정상태, Clean)

각 그룹별 오염도 판정기준 요소들을 각 그룹별로 아래에 정리하였다.

2.1.1 화로영역(그룹 A)

① 노즈 출구 포화온도

화로영역이 오염되지 않은 상태에서 절탄기영역의 오염상태가 정상일 때 노즈 출구 포화온도는 부하대별로 일정 값을 유지하게 된다. 그러나 오염되었을 경우 실제 부하대별 온도가 기준값 보다 감소하게 된다.

② 화로 수열비율

화로 수열비율은 화로 수열량에 대한 보일러 전체 열량의 비로 나타내며 슬래깅이 진전되면 화로에서 흡수되어야 할 열량이 점차 감소하게 되므로 화로 수열비가 작아지게 된다.

③ FEGT(Furnace Exit Gas Temperature)

FEGT는 화로 설계에 있어 가장 중요한 요소 가운데 하나이다.[3,4] 오염도 판단에 큰 영향을 미치는 FEGT의 경우 간접적 방법인 계산을 통하여 구하였다.

2.1.2 재열기 및 과열기 영역(그룹 B)

대류영역인 과열기와 재열기 영역 수열량(흡수한 열량의 합)과 재열기 입구 가스온도(TG2)변화가 대표적이다. 그룹 A에 슬래깅이 발생되어 FEGT가 상승하면 그룹B가 오염되지 않았음에도 불구하고 TG2가 상승한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 FEGT상승에 따른 TG2변화량을 고려하여 오염상태를 판단할 수 있도록 기준값을 설정하였다.

2.1.3 절탄기 영역(그룹 C)

절탄기에서 흡수한 수열량에 대한 화로전체에서 흡수한 수열량의 비로써 오염도를 판단하였다. 그룹 C의 경우도 그룹 B와 마찬가지로 FEGT에 의한 영향을 고려하여 9가지 경우에 대해 오염도 판단 기준값을 설계하였다.

2.1.4 공기 예열기 영역(그룹 D)

공기예열기(Gas Air Heater; GAH)의 효율을 오염도 판단의 변수로 설정하였다.

2.2. 오염도 판단 기준값 계산

오염도 판단을 위한 기준값은 보일러 설계 시 각 영역별 열흡수율 등을 계산하기 위해 사용하는 성능설계 프로그램을 이용하여 구한다. 이러한 절차에 의해 계산된 기준값은 현장에서 보일러의 운전상황에 따라 재조정하여 최종적인 기준값으로 설정하게 된다.

3. SBOS 구성

3.1. SBOS 구성

SBOS는 그림 1과 같이 보일러 상태량 정보 신호처리부(DCS, Distributed Control System), 슈트 블로워 기기 정보

처리부(Soot blower controller, AB PLC, Programmable Logic Controller), 그리고 보일러 내부 오염 그룹 및 오염정도 예측, 최적의블로잉 시기선정 및 명령 전송처리부(SBOS)로 구성되어 진다.

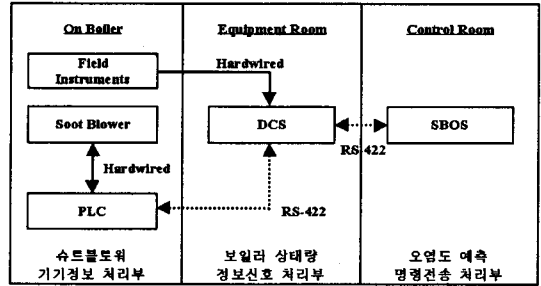


Fig. 1 Configuration of soot blower optimization system

3.2. SBOS 입력변수

보일러 튜브의 오염도를 판단하기 위해 요구되는 주요 변수들은 다음과 같다:

- 화로출구 연소가스 온도(FEGT)
- 과열기/재열기 입/출구 온도, 압력, 증기량
- 절탄기 입/출구 온도, 압력, 급수량
- 공기예열기 입/출구 연소가스 및 공기 온도
- 연료성분/과잉 공기량 등

3.3. SBOS 소프트웨어

DCS로부터 입력된 신호들은 통신망을 통해 SBOS 내부의 운전원 조작모듈(HMI, Human Machine Interface)로 전송되며 전송된 데이터는 각 그룹별 상태정보 및 오염도 계산 프로그램에 의해 추론된 오염상태 등의 정보를 운전원에게 제공한다. 아울러 입력신호들은 시스템에 내장된 데이터베이스에 저장되어 운전이력이나 보일러 상태변화에 따른 오염도 변화 추이 등에 대한 정보로 이용된다. SBOS 제어 프로그램은 프로그램 내부에 새로운 데이터베이스(Core Database)를 생성하고 성능 계산을 실행하여 각 그룹별 오염도를 판단하게 되며, 그 결과에 따라 슈트 블로잉 실시 여부를 추론하게 된다.

4. SBOS 적용 및 분석

본 연구를 통해 개발된 SBOS를 국내의 실제 발전소에 설치하여 운전하였다.

4.1 SBOS 모드에 의한 운전

그림 2와 3은 그룹 B의 열흡수량 변화와 이때 블로워의 작동상태를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 초기상태에 그룹 B영역의 열흡수량이 그늘음에 의해 저하됨에 따라 오염도 추론을 통한 오염상태를 분석하고, 최적 블로잉 시점을 결정하여 블로워를 동작시켜 열흡수량을 정상상태로 회복시켰다. 이 그림들에서 시간이 지나 약 1000min 부근에서 다

시 오염상태(85Kcal이하)로 떨어졌다.

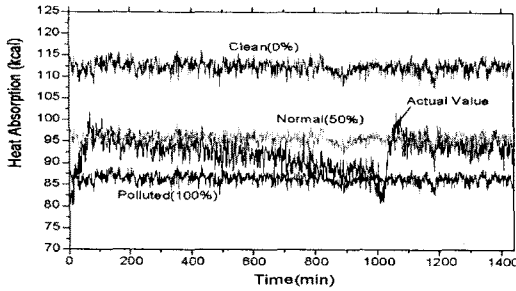


Fig. 2 B group heat absorption in SBOS mode

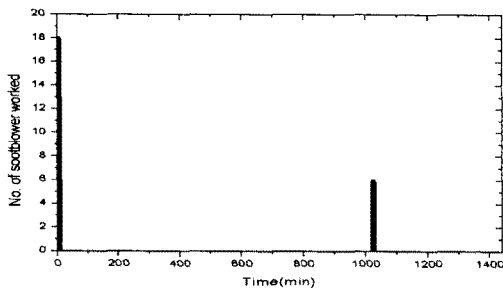


Fig. 3 Operation of soot blower in SBOS mode

4.2 수동 모드에 의한 운전

그림 4와 5에 나타나 있듯이 화로 수열비 변화가 정상상태 기준선을 따라 변화하고 있는 상태에서 그을음 점착 주기가 보다 빠른 주기로 과도하게 블로워를 작동시킨 결과이다. 즉, 오염되지 않은 상태에서 과도하게 운전되었음을 알 수 있다.

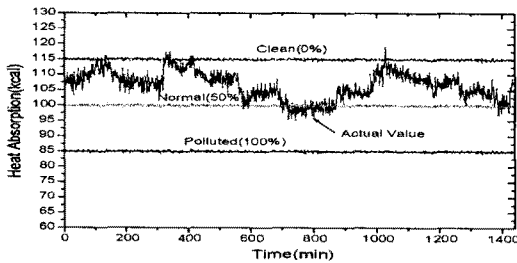


Fig. 3 B group heat absorption in manual mode

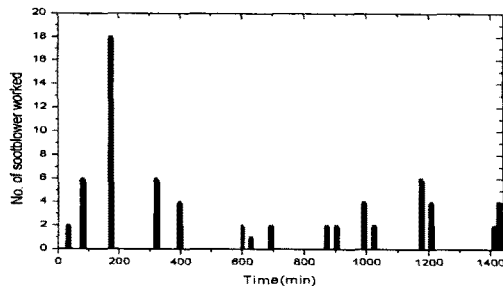


Fig. 4 Operation of soot blower in manual mode

이상에서와 같이 SBOS에 의한 자동운전과 운전원의 경험에 의한 수동운전을 비교해 보았다. 수동운전의 경우 운전원의 자질에 따라 다양한 형태의 응답결과를 얻을 수 있었다. 대부분의 경우, 운전원의 판단에 의해 오염되지 않았음에도 불구하고 매우 청정상태에서 잦은 블로잉이 이루어졌음을 알 수 있었다. 이러한 운전으로 블로잉용 스팀과 블로워 구동용 보조전력이 과다 소모되었으며 잦은 블로잉에 의한 전열면의 관 부식 등을 유발하게 하였다. 본 연구에서 제안된 SBOS에 의한 운전방법은 수동운전에 비해 보다 정량적이고 체계적인 방법으로 오염부위를 판단하여 해당 블로워를 적정주기로 동작시킴으로써 그을음 제거용 스팀 및 동력의 소모량을 최소화하여 보일러 전체 효율을 향상시키고 안정적인 플랜트 운전을 가능케 할 수 있음을 알 수 있었다

5. 결론

본 연구에서는 슬래깅 및 파울링을 최적으로 최소의 동력 과 증기를 이용하여 제거하기 위한 시스템을 개발하였다. 이를 위해 보일러를 몇 개의 그룹으로 나누어 그룹별 점착된 그을음에 의한 영향을 평가하여 최적의 블로잉 시점 및 작동 블로워 수를 결정하여 가장 경제적인 보일러 운전을 할 수 있도록 하였다. 본 연구를 통하여 개발된 내용은 다음과 같다.

- 그룹별 오염도 판단을 위한 주요변수 설정
- 그룹별 열역학적인 해석을 통해 기준값 계산
- 보일러 내부 오염도 계산
- 슈트 블로잉 전후 상태분석 기능

본 연구를 통하여 개발된 알고리즘을 적용함으로써 기존의 수동운전 혹은 정해진 시간에 의한 순차운전 등 정확한 열역학적 해석 없이 혹은 단순 센서에 의한 상태량에만 의존해 수행해왔던 기존의 방법을 크게 개선하였다.

참 고 문 헌

- [1] EPRI, "Slagging and Fouling in Pulverized Coal-Fired Utility Boilers," Vol I Final Report, 1987
- [2] Sondreal, E. A., Tufte, P. H. and Beckering, W., "Ash Fouling in the Combustion of Low rank Western U. S. Coals," Combust. Sci. and Tech., Vol. 16, pp. 95-110, 1977
- [3] EPRI, "Slag Monitoring for Utility Boilers," Final Report, 1988
- [4] Attig, R. C. and Duzy, A. F., "Coal Ash Deposition Studies and Application to Boiler Design", Proceedings of the American Power Conference, Vol 31, pp. 290-300, 1969
- [5] Levert, F. E., Robinson, J. C., and Frank, R. L., "A Slag deposition Monitor for Use in Coal-Fired Boiler", ISA Transactions Vol. 26, No. 2, pp 51-64, 1987