

PD3) 석탄화력발전소 SNCR공정의 질소산화물 저감방안에 관한 연구

A Study of NO_x Removal at SNCR Process of Coal Fire Power Plant

서성규 · 최석환¹⁾ · 윤형선 · 정용성 · 정주현
여수대학교 건설·환경공학부, ¹⁾한국동서발전(주)

1. 서 론

석탄 보일러에서 배출되는 배연가스중의 NO/NO_x의 용량비는 90~95% 정도이며, 배기가스중의 대부분은 NO이다. NO_x 생성은 크게 3가지로 분류할 수 있으며, 그중 Fuel NO_x는 파잉 공기비의 연소조건에서 연료중의 질소함량에 비례하며 총 NO_x중 Fuel NO_x의 비중이 가장 크다. Zeldovich Mechanism NO_x의 생성은 온도의 영향이 지배적인 반면, Prompt Mechanism NO_x는 온도의 영향보다는 탄화수소 라디칼과 질소의 농도에 비례하여 생성되는 것이 가장 큰 차이점이라고 할 수 있다. 실제 유연탄 화력발전소의 SNCR(SNCR: Selective Non-Catalytic Reduction) 공정에서 수입 역청탄 및 아역청탄별, 혼소 mode별 fuel NO_x와 thermal NO_x 분리평가와 이러한 설비조건에서 NO_x 저감효과에 관한 결과를 이미 제시(서성규 등, 2005; 서성규 등, 2004)한 바가 있다.

본 연구에서는 상기연구 결과를 토대로 하여, 6시그마 통계기법과 설비개선을 통해 추가로 NO_x 저감 방안을 도출함으로써 환경친화적 경영과 효율적 보일러 운전 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Coal 연소 관련 설비와 NO_x 저감 설비 및 Urea를 환원제로 하는 SNCR 공정을 구성하였다(서성규 등, 2005). 또한, 미분기(역청탄: 노하부 10Level, 아역청탄: 20, 30Level)를 구성하여 연소성이 적은 역청탄은 체류시간을 길게 하였으며, 운전하지 않는 미분기는 OFA(Over Fire Air Injection) 운전을 하였다. Air Register Vane과 혼소탄종, 그리고 파잉공기는 운전방법에 따라 변화를 주었다.

3. 결과 및 고찰

유연탄 화력 발전소의 SNCR 공정하에서 역청탄 및 아역청탄별, 혼소 mode별 발생하는 fuel NO_x 및 thermal NO_x를 분리 평가한 결과, NSR(Normalized Stoichiometric Ratio)값이 증가 할수록(0.66~1.99) 탈질 효율은 증가하고, 이때 발생된 NO_x는 최대 49.7%까지 제거(서성규 등, 2004; 서성규 등, 2005) 되는 것으로 나타났다. 그림 1은 노내온도 변화에 따른 thermal NO_x농도의 변화를 나타내었다. 측정 온도 1560K에서 thermal NO_x가 200~300ppm정도 발생하였으며, 화염온도가 상승 할수록 NO_x 생성율은 증가하여 화염온도 변화에 매우 민감하였다. 출력 240MW에서 fuel NO_x는 평균 190ppm, thermal NO_x는 235 ppm이었으며 노내온도 1660K 이상에서는 실제 fuel NO_x 발생량보다는 thermal NO_x 발생량이 많았으며 발생농도도 급격하게 증가하였다. 그림 2는 석탄품질의 영향을 파악하기 위해, 혼소탄종별로 NO_x 발생 자료를 이용하여 상관, 회귀 및 분산분석을 실시한 결과 NO_x 발생은 석탄품질 8개 항목중 연료비, 휘발분, 분쇄도에 가장 많은 영향을 받았으며, 최종적으로 연료비에 유의하다는 것을 확인 할 수 있었다. 그림 3은 혼소 mode 결정시 최적 연료비와 파잉공기(%)의 선정을 통해 NO_x 발생에 대한 저감효과를 나타내었다. 도출된 통계 data를 근거로 연소시험 및 6시그마 실험계획법(D.O.E Plan)에 의거 최적운전 방안을 도출하였다. 실험계획법 설계방식은 일반요인 실험법, 요인은 2가지, 기준설계는 No.3, 7, 반복 횟수는 2회로 정하였다. 실험 목표로는 발생 NO_x 220ppm, Urea 사용량 1200 ℓ/h(약 55,000 kg/day)이내에서 설정하였다. 그 결과 본 시설에서 혼소 탄종 결정시 연료비 1.35~1.50, 파잉공기 2.1% 이하(기준: 출력 240MW)가 최적의 범위로 나타났다. 또한 보다 엄격한 관리를 위해 파잉공기 1.7% 운전이 상대 미연탄소분 손실을 고려한 가장 경제적인 값으로 나타났다. 이때 도출된 회귀방정식은 신뢰도 88.7%로서 아래 식 (1)과 같다.

$$\text{Urea(L/H)} \text{ 소요 지수} = -3415 + 2161 \text{ 연료비} + 784 \text{ 과잉공기} \text{-----(1)}$$

그림 4는 최적 2,3차 Air Register Vane 개도 설정운전을 통한 NOx 발생에 대한 저감효과를 나타내었다. 현장의 Coal Position-용 50% Open Limit Sw를 철거하고 20~80%범위에서 Coal Position 운전이 가능하도록 제어 로직을 개선하였다. Palmco(인니)탄과 Kuzbassxks(러시아), Middle Area탄(인니)으로 최적화 연소시험을 통해 도출한 결과, 2차 공기는 Air Register Vane 개도를 50%로 Open하여 환원성 분위기를 만들고 최종 3차 공기를 50~70%로 Open하여 NOx 발생을 저감시켰다.

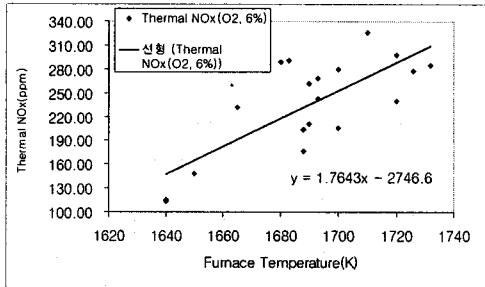


Fig. 1. Thermal NOx concentration at furnace temperature.

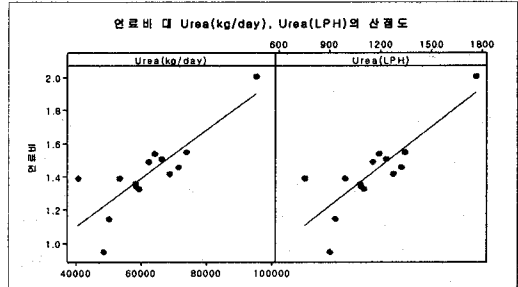


Fig. 2. Regression equation of urea & fuel ratio.

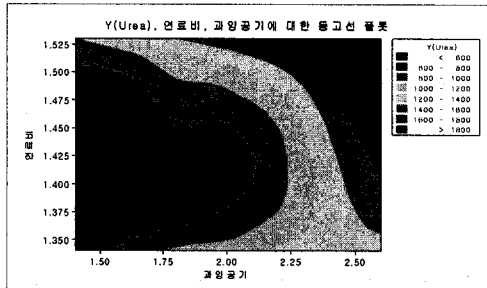


Fig. 3. Contour plot of urea(l/h) and excess air(%).

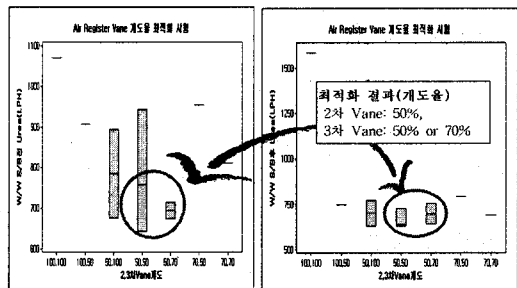


Fig. 4. Air register vane of optima rate.

4. 결론

선행된 1차 연구에서 fuel NOx와 thermal NOx를 분리 평가하였으며, 이를 바탕으로 2차 연구에서 석탄품질 항목중 NOx 발생은 혼소 탄종별 연료비에 좌우되고 과잉공기에 가장 큰 영향을 받는다는 것으로 판단 후, 6시그마 통계 기법을 활용하여 최적의 연료비(혼소 탄종 결정)와 과잉공기(%)를 설정하였다. 설비개선을 통한 2,3차 Air Register Vane 개도를 설정함으로써 NOx 발생은 최대로 감소하였다. 이러한 연구결과를 지속 적용함으로써 대기오염물질 저감을 통한 환경친화적 발전소 운전과 탈질 약품비 절감 효과로 경제적 운영을 달성 할 수가 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 서성규, 최석환, 윤형선(2004), 석탄화력발전소의 선택적 비촉매환원공정에서 질소산화물의 제거 특성, 추계한국대기환경학회 발표논문집.
- 서성규, 최석환, 윤형선(2005), 운전조건에 따른 석탄화력발전소 SNCR 공정의 NOx저감 효과, 춘계한국대기환경학회 발표논문집.