

## NO<sub>x</sub>의 생성 및 환원연구를 위한 DTF 연소실험(II)

박주식, 한용, 최상일, 김호영\*, 박석호\*\*

한국에너지기술연구소, 고려대학교\*, 삼성중공업(주)\*\*

### Drop Tube Furnace Studies of Coal Combustion on the NO<sub>x</sub> Emission and Reduction(II)

Chu-sik Park, Woong Han, Sang-il Choi, Ho-young Kim\*, Seok-ho Park\*\*  
Korea Institute of Energy Research, Korea University\*, Samsung Heavy Industries\*\*

#### 1. 서론

석탄의 연소시 발생하는 질소화합물은 광화학스모그와 산성비를 일으키는 원인물질이며, 건강에도 직접적인 해를 끼치는 것으로 보고되고 있다. 산업의 발달과 함께 에너지 수요의 증가에 따라 이와 같은 오염물질의 발생은 더욱 심각한 상태에 이르고 있다. 석탄의 연소시 발생하는 NO<sub>x</sub>는 연소공기안에 존재하는 대기질소의 열 고착화에 의해 생성되는 Thermal NO<sub>x</sub>, 연료의 연소에 의해 휘발분과 화에서 생성되는 Fuel NO<sub>x</sub> 그리고 N<sub>2</sub>와 연료에서 생성된 라디칼(C, CH<sub>2</sub>)의 반응하여 이들 화합물이 산소와 반응하여 생성되는 Prompt NO<sub>x</sub>로 구분할 수 있다. Fuel NO<sub>x</sub>는 석탄의 반응성과 석탄중의 질소함량, 석탄의 조성, 그리고 반응조건등이 생성율에 미치는 주요 인자이며 thermal NO<sub>x</sub>는 반응온도가 주요한 변수로 작용한다. 이러한 질소산화물의 생성 특성에 기초하여 질소산화물을 저감하려는 연구가 여러 방법으로 시도되고 있다. SO<sub>2</sub> 저감기술과는 달리 질소산화물의 저감기술은 연소 중 처리 방법이 주된 방법으로 제시되고 있다.

본 연구에서는 석탄연소시 NO<sub>x</sub>의 효율적인 저감 방법을 도출하고자 NO<sub>x</sub>의 생성특성에 대하여 DTF를 이용한 석탄의 연소실험으로부터 살펴보고자 하였다.

#### 2. 실험

NO<sub>x</sub>의 생성특성을 위한 DTF연소실험에서는 공기비와 반응온도를 주된 변수로 설정하였으며 반응시간에 따른 NO<sub>x</sub>의 농도 변화를 관찰하였다. 공기비(SR)는 0.6~1.4까지 변화를 주었으며 반응온도에 따른 연소실험은 1100℃, 1300℃, 1500℃ 각각의 설정된 온도에서 수행되었다. 연소실험에서 시료의 포집 위치를 5cm에서 50cm까지 변화를 주었으며, 이 때의 석탄입자 체류시간은 반응온도에 따라 차이는 있지만 최소 0.18sec, 최대 2.04sec로 산출되었다. 실험결과는 생성가스의 분석과 포집된 화의 분석을 통하여 정리되었으며 특히 포집된 화에 대하여

원소분석을 수행하여 연소후 잔존하는 구성원소를 분석함으로써 석탄의 구성원소들의 분리도를 함께 고찰하여보았다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1과 Fig. 2는 Drayton탄과 Ulan탄 각각에 대하여 공기비 0.8일 때 반응온도에 따른 NOx농도의 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 반응온도의 증가에 따라 NOx의 생성농도 또한 증가하고 있음을 보여준다. 그러나 연소초기 생성된 NOx가 연소가 진행됨에 따라 유지 또는 감소하는 결과를 보여주고 있다. 특히 1500℃의 실험 결과에서는 감소현상이 뚜렷하여 반응거리 50cm에서는 1300℃의 NOx농도보다도 낮은 결과를 보여주었다.

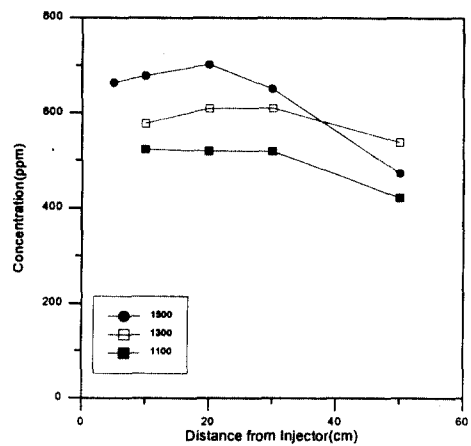
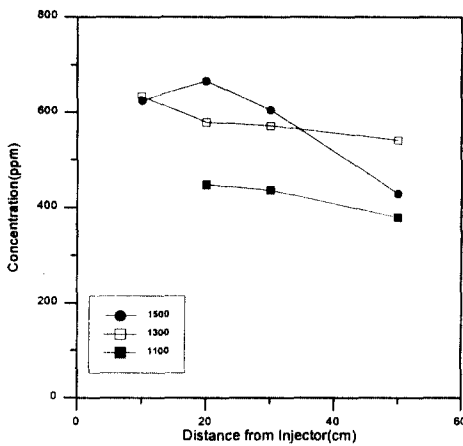


Fig. 1 Variation of NOx at SR=0.8 (Drayton)

Fig. 2 Variation of NOx at SR=0.8 (Ulan)

Fig. 3과 Fig. 4는 공기비 1.2일 때의 결과로서 연소초기 생성된 NOx의 저하 현상은 감소되고 연소의 진행에 따라 유지 또는 미소한 증가현상을 보여주고 있다. 공기비 1.2의 경우에도 반응온도의 증가에 따라 NOx의 생성농도가 높아지고 있음을 보여준다.

공기비 1.2의 결과와 공기비 0.8의 결과를 비교하면 연소초기에 이미 고 농도의 NOx가 생성되고 있음을 알 수 있고 공기비 0.8에서 보여주는 NOx농도의 감소결과는 연소의 진행에 따라 burn-out은 증가하고 있다는 점과 밀폐구조의 DTF장치의 특성상 생성된 NOx가 다른 물질로 전환된 결과로 생각되어진다.

Fig. 5와 Fig. 6은 Drayton 탄의 연소실험에서 공기비 0.8과 1.2일 때의 SO<sub>2</sub> 분석결과를 반응온도에 따라 정리하여 나타낸 그림이다. 이 그림에서 NOx농도의 결과와는 달리 공기비 0.8의 경우에도 SO<sub>2</sub> 농도의 감소현상은 발생하지 않음을 보여주고 있으며 반응온도 반응시간의 증가에 따라 SO<sub>2</sub> 농도 또한 증가하고 있음을 알 수 있다. 그림에서 공기비 0.8의 농도 결과가 높은 이유는 석탄의 공급량조절에 의하여 공기비를 설정하였기 때문이며 따라서 공기비 1.2에서 농도가 낮게 측정된 것으로 상대적으로 과잉공기에 의하여 희석되어졌기 때문에 발생한

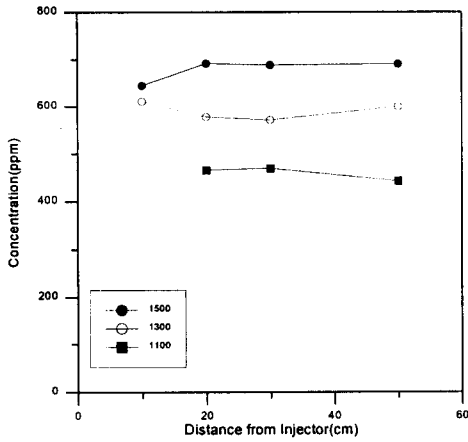


Fig. 3 Variation of NOx at SR=1.2 (Drayton)

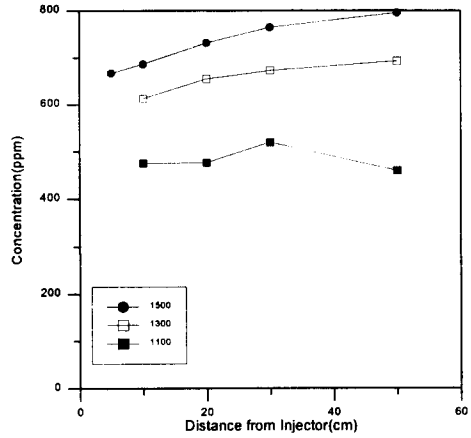


Fig. 4 Variation of NOx at SR=1.2 (Ulan)

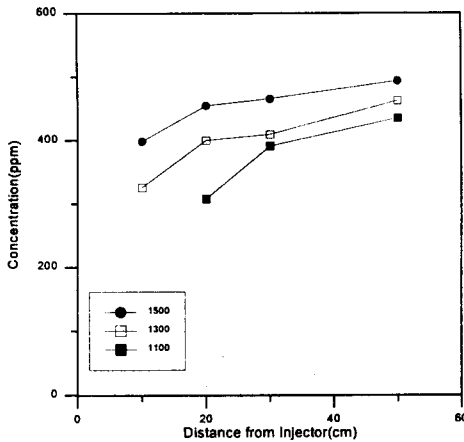


Fig. 5 Variation of SO2 at SR=0.8 (Drayton)

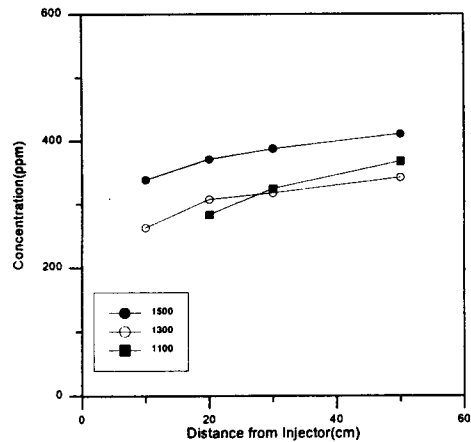


Fig. 6 Variation of SO2 at SR=1.2 (Drayton)

결과이다.

Fig. 7과 Fig. 8은 1500℃의 연소실험에서 분석된 NOx와 CO농도를 공기비 변화에 따라 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 7에 나타낸 Drayton탄의 실험결과 공기비가 낮을수록 연소가 진행됨에 따라 NOx농도의 감소 폭이 증가하고 있음을 보여준다. NOx 농도의 변화가 적은 공기비 1.2일 때의 CO 농도의 결과 또한 반응의 진행 상태에 따라 변화가 적은 것으로 분석되었으며 NOx 농도가 급격히 감소된 공기비 0.6일 때의 CO 농도는 반응시간이 증가됨에 따라 급격히 증가함을 알 수 있다. Ulan탄의 연소실험 결과 또한 유사한 결과를 확인 할 수 있었으며 공기비 0.6에서는 연소초기 생성된 600ppm이상의 NOx 농도가 반응거리

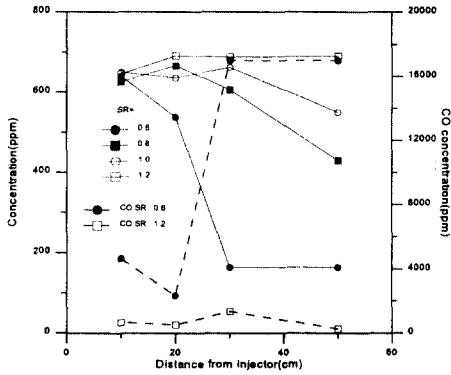


Fig. 7 Variation of NOx & CO with different SR at 1500°C (Drayton)

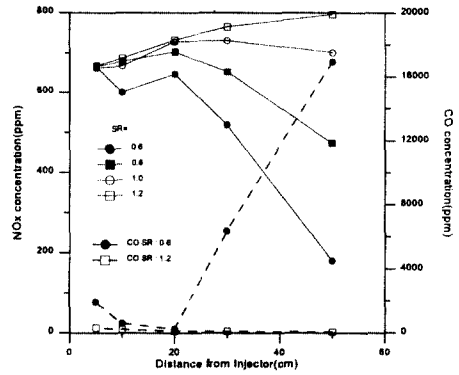


Fig. 8 Variation of NOx & CO with different SR at 1500°C (Ulan)

50cm 에서는 200ppm이하로 감소된 결과를 보여주고 있다. 공기비 1.2의 경우에는 Drayton 탄의 경우와는 달리 연소가 진행됨에 따라 NOx의 농도 또한 미소하게 증가하고 있음을 보여준다.

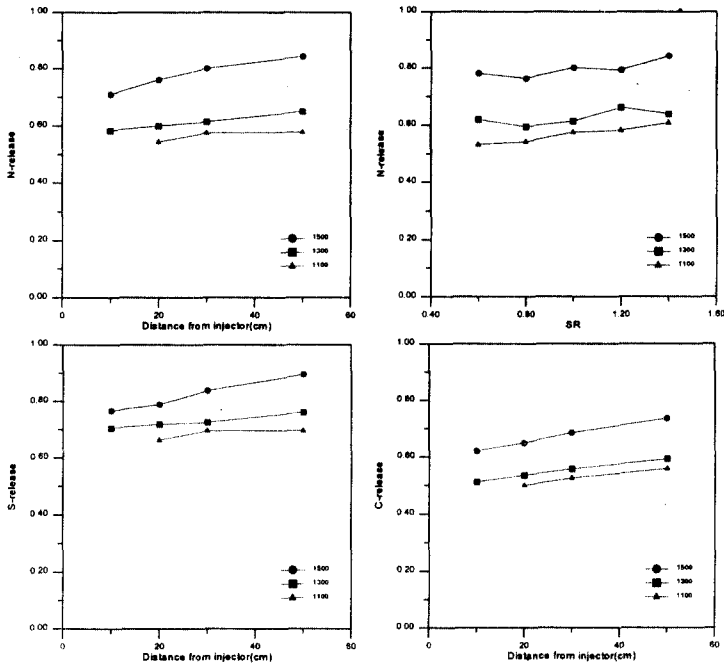


Fig. 9 Variation of release of coal constituents

Fig. 9는 Drayton탄 연소실험의 각 조건에서 포집된 취약 원소분석결과를 각

성분의 배출율로 나타낸 것이다. 그림에서 질소 성분의 경우 온도가 증가함에 따라 배출율 또한 증가하고 연소가 진행됨에 따라 즉 체류시간이 길어짐에 따라 좌로부터 분리되어 배출된 질소 성분도 증가하게 됨을 보여준다. 각 공기비에서 반응거리 30cm일 때의 질소배출율은 공기비의 변화에 따라 미소한 증가 경향을 보여주어 반응온도에 비교하여 상대적으로 영향이 적음을 알 수 있다. 체류시간에 따라 정리된 동일조건에서의 황성분 배출율은 질소성분보다 높았으며 반응온도에 따라 증가하였다. 이에 반하여 탄소성분은 가장 낮은 배출율을 보여주었다. 따라서 고정탄소분의 산화반응이 상대적으로 용이하지 않음을 간접적으로 확인할 수 있다. 질소성분의 배출율과 앞서 기술한 NO<sub>x</sub> 농도 측정결과를 비교하여 보면 연소초기에 보여주는 고농도의 NO<sub>x</sub> 또한 질소 성분의 일부가 산화되지 못하였거나 이미 산화후 환원반응에 의하여 감소된 결과로 생각되어진다. 따라서 석탄연소시 NO<sub>x</sub> 배출량을 저감하기 위하여는 보다 정밀한 질소 성분의 산화, 환원반응기구에 대한 연구가 필요하다고 판단되었다.

#### 4. 참고문헌

1. A. C. Bose, K. M. Dannecken and J. O. L. Wendt, *Energy & Fuels*, **2**, 301-1988
2. T. Abbas, M. Costa, P. Costern, S. Godoy, F. C. Lockwood, J. J. O. C. Romo-Millares and J. Zhou, *Fuel*, **73**, 1423, 1994
3. R. P. Vander Lans, P. Glarborg and K. Dam-Johansen, *Prog. Energy Combust. Sci.*, **23**, 349, 1997
4. L. K. Chan, A. F. Sarofim and J. M. Beer, *Combustion and Flame*, **52**, 37(1983)
5. H. Yamashita and A. Tomita, *Energy and Fuels*, **7**, 85(1993)
6. W. A. Hahn and F. Shadman, *Combustion Sci. and Technology*, **10**, 89(1983)
7. J. A. Muholland and R. E. Hall, *J. of Eng. for Gas Turbines and power*, **109**, 207(1987)