

## High Level O<sub>2</sub> 배가스중 NO 저감에 대한 선택적비촉매환원 반응특성에 관한 연구

이 강 우 · 정 종 현\* · 오 광 중  
부산대학교 환경공학과 · 서라벌대학 환경과학과  
(2002년 4월 23일 접수; 2002년 6월 5일 채택)

## A Study on Characteristic of NO Reduction by High Level O<sub>2</sub> Gas in Selective Non-Catalytic Reaction

Gang-Woo Lee, Jong-Hyeon Jung\* and Kwang-Jung Oh

Dept. of Environmental Engineering, Busan National University, Busan 609-735, Korea

\*Dept. of Environmental Science, Sorabol College, Gyeongju 780-711, Korea

(Manuscript received 23 April, 2002; accepted 5 June, 2002)

Selective catalytic reduction and selective non-catalytic reduction processes are mainly used to treat nitrogen oxidants generated from fossil-fuel combustion. Especially, the selective non-catalytic reduction process can be operated more economical and designed more simply than the selective catalytic reduction. For this reason, many researchers carried out to increase the removal efficiency of nitrogen oxidants in the condition of low oxygen concentration by using the selective non-catalytic reduction process. However, this study was flue gas contained high oxygen concentration of 20(v/v%) with ammonia as a reducing agent. Moreover, it carried out experiment with many factors that are reaction temperature, retention time, initial NO concentration, NSR(normalized stoichiometric ratio). It was determined optimal operating conditions to improve NO removal efficiency with SNCR process. The De-NO<sub>x</sub> efficiency was increased with NSR, initial NO concentration and retention time increment. This study has NO removal efficiency over 80% in the high oxygen concentration as well as low oxygen concentration. The injection of reducing agent may be considered for SNCR process and facility operation in 850°C of optimal condition.

Key words : SNCR, Selective Non-Catalyst Reduction, De-NO<sub>x</sub>, High level O<sub>2</sub>

### 1. 서 론

화석연료의 연소, 쓰레기 소각공정 및 각종 산업 공정에서 발생하는 배기가스에는 황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 분진 등 다량의 대기오염물질들이 포함되어 있어 생활공간, 각종 산업공정 및 인간 활동에 심각한 문제를 유발시키고 있으며, 특히 질소산화물은 산성비의 원인은 물론 대기중의 수분 및 탄화수소와 더불어 광화학 smog 현상을 일으키게 되며, 직접적으로는 인체의 호흡기 점막을 자극하여 기관지염과 같은 만성 호흡기질환을 발생시키

기도 하며, 심할 경우 사망에 이르게 하는 환경오염의 원인물질이다. 이러한 질소산화물의 제거방법으로는 연소전 제어법(pre-combustion control)과 연소제어(combustion control)로 구분되어지며, 이러한 방법만으로는 질소산화물의 충분한 제거가 힘들기 때문에 연소후 제어법(post-combustion control)을 이용한 질소산화물 저감방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1-3)</sup>

한편, 연소후 제어법에는 크게 촉매를 사용하지 않는 비선택적반응(SNCR)과 촉매를 사용하는 선택적반응(SCR)으로 구분되어 연구되고 있으며, 이중 선택적 촉매환원반응을 응용한 SCR 기술이 효율측면에서 우수하기 때문에 세계적으로 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, SCR법은 고가의 촉매를 사용

Corresponding Author : Jong-Hyeon Jung, Dept. of Environmental Science, Sorabol College, Gyeongju 780-711, Korea

Phone : +82-54-770-3713

E-mail : airgas@netian.com

해야만 하며, 촉매의 활성이 산성유안(NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>)이나 배가스에 존재하는 먼지에 의하여 감소될 수 있으므로 전기집진시설이나 탈황설비와 같은 전처리 공정이 설치되어야 한다. 그리고 주기적인 촉매의 활성화 복원작업 및 교체작업이 필요하며, 이때 발생하는 폐촉매는 그 자체로 특정유해물질로 취급되어 처리되어야 하는 단점들이 있다. 이러한 이유 때문에 촉매를 사용하지 않는 SNCR 공정에 대한 연구 및 개발노력이 활발히 진행되고 있다. SNCR 공정의 반응성과 제거효율에 영향을 미치는 kinetic 인자들은 반응온도, 반응 및 체류시간, 초기에 주입되는 NO의 농도변화, 환원제 주입 및 당량비, 배가스의 조성과 라디칼 농도 및 첨가제 등과 같은 것이 있다.

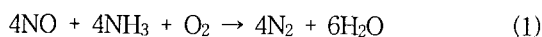
일반적으로 발전소등과 같이 비교적 양질의 화석 연료를 사용하는 곳의 배가스중 산소농도는 3~8% 정도이지만, 소각로와 시멘트 소성로 및 기타 특수한 조건의 연소로 등에서 배출되는 배가스중의 산소농도 및 운전조건은 10~20% 수준이거나, 그 이상인 경우도 있다. 그러나 고산소 농도하에서의 질소산화물 저감과 kinetic 인자(반응온도, 반응시간, 초기 NO 농도, 환원제 주입 및 첨가제 등)에 대한 고려는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 보다 경제적이고 효율적으로 질소산화물을 제거하기 위한 SNCR 기초연구의 일환으로 high level O<sub>2</sub>(고산소농도) 조건에의 탈질 반응을 조사하고자 한다. 또한, NH<sub>3</sub>를 환원제로 사용하여 산소농도에 따른 NO의 선택적비촉매환원 반응특성의 연구사례를 살펴보고, 고농도산소 조건에서 여러 반응인자 상호간의 특성과 탈질효율에 대한 영향을 조사함으로써 고농도 산소 배가스를 배출하는 공정 및 pilot plant 적용을 위한 기초연구로 활용하고자 한다.

## 2. 연구대상 및 실험방법

### 2.1. SNCR 공정에서의 NO<sub>x</sub> 제거 mechanism

고농도 산소 및 고온에서 촉매없이 NH<sub>3</sub>를 주입하여 배가스중의 NO가 물과 질소로 제거되는 기상 산화반응<sup>4)</sup>과 일본 Kawasaki 정유공장에 적용된 NH<sub>3</sub>에 의한 NO<sub>x</sub> 제거기술은 Thermal DeNO<sub>x</sub> 공정이라는 이름으로 상업화되었다. NH<sub>3</sub>를 환원제로 하는 Thermal DeNO<sub>x</sub> 공정에서 NO<sub>x</sub> 제거 총괄 반응은 (1)식과 같다.

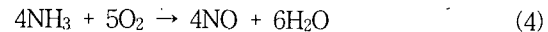
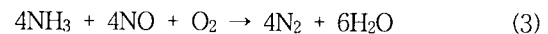


1980년 초반에 미국의 Electric Power Research Institute(EPRI)에서 악취와 부식 및 폭발성 등의 위

해성이 있는 NH<sub>3</sub> 대신 무색, 무미, 무취의 특성으로 안전하고 취급이 용이한 요소((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) 수용액을 환원제로 하는 SNCR 기술을 개발하였다. 또한, 특허권을 확보하여 Nalco Fuel Tech.에 독점 사용권을 제공하였으며, NO<sub>x</sub>OUT이라는 이름으로 상업적으로 판매하고 있다. 한편, 요소 ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) 수용액을 환원제로 사용하는 NO<sub>x</sub>OUT 공정에서 NO<sub>x</sub> 제거 총괄반응은 (2)식과 같다.



위의 두가지 환원제를 중심으로 많은 연구자들은 선택적비촉매환원 반응에 의한 탈질효율을 높이는 방법을 연구하였다. 이 중에서 가장 중요한 인자는 반응온도, 반응시간(체류시간), 초기 NO농도, 환원제 주입량(당량비=NSR, normalized stoichiometric ratio), 배가스의 조성과 라디칼 농도 및 첨가제, 환원제 종류 등과 같은 kinetic 인자, 그리고 반응영역에서 제거 대상인 질소산화물과 환원제의 혼합과 유동상태 등이다. 본 연구에서 중점적으로 살펴보고자 하는 내용은 배가스의 여러 조성 중에서 산소농도가 높은 경우에 대한 것으로, 이와 관련된 이전의 연구자들의 연구내용을 바탕으로 실험을 수행하였다.<sup>5~10)</sup> 한편, NH<sub>3</sub>를 환원제로 하는 SNCR 공정에서의 NO<sub>x</sub> 제거 반응기구는 많은 연구자에 의해 제시되고 있는데 그 총괄반응은 다음과 같다.



반응식 (3)은 배가스중의 NO를 환원제에 의해 N<sub>2</sub>로 전환하여 제거하는 반응이지만, (4)의 경우는 환원제로 넣은 암모니아가 오히려 NO를 생성하게 되는 경로를 나타내는 반응인데 이러한 반응은 SNCR 반응 영역의 온도가 적정온도(800~1050℃)보다 높은 경우에 발생된다. O<sub>2</sub>가 포함된 배가스에서의 NH<sub>3</sub> + NO + O<sub>2</sub> 반응은 아래와 같은 kinetic식으로 표현될 수 있다.<sup>5)</sup> 그러나 이러한 식은 대부분 제한된 조건(온도범위, 환원제종류 등)하에서 적용될 수 있다는 것을 인식해야 한다.

$$\frac{d[NO]}{dt} = -k_r [O_2]^{1/2} [NH_3]^{1/2} [He]^{-1} \quad (5)$$

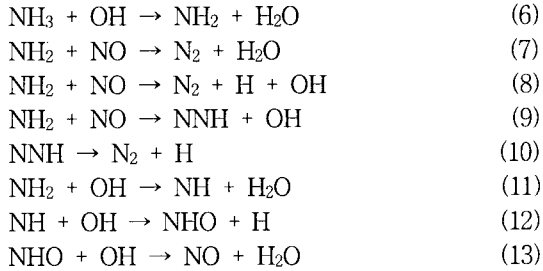
where

$$k_r = 1.8 * 10^{12} \exp[-(46500/RT)] \quad s^{-1}$$

[NO]ss : Steady state conc. of NO removal and production condition

[He] : He gas concentration

NH<sub>3</sub>에 의한 NO의 제거반응은 먼저 식(6)과 같이 반응활성이 높은 NH<sub>2</sub> 라디칼로 전환된 후 주어진 반응영역의 조건에 따라 다음과 같은 중간반응을 거치면서 진행된다<sup>6)</sup>. (6)~(10)식은 NO 제거반응 메카니즘이며, (11)~(13)식은 NO 생성반응 메카니즘이다.

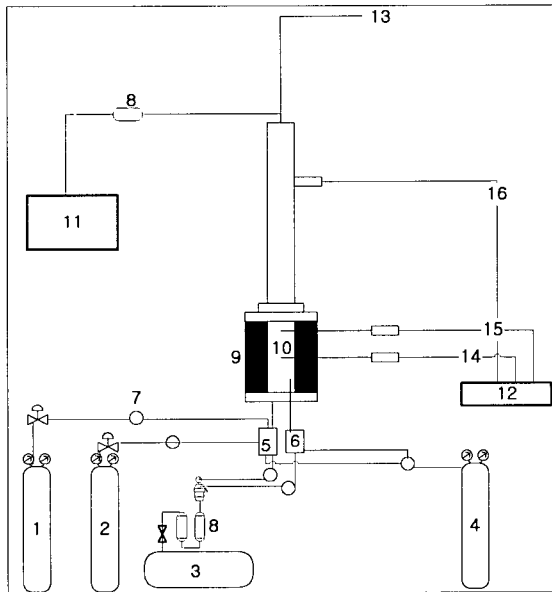


2.2 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치의 구성은 Fig.1과 같으며 반응기(직경 100mm, sus 304) 내부의 온도는 전기히터에 의해 승온되고, 반응기 내부에는 온도를

조절할 수 있도록 온도조절기와 열전대를 설치하였다. 반응기로 유입되는 가스는 공기 및 N<sub>2</sub>가스를 사용하였으며, 특히 산소농도는 가스의 혼합비율에 적합하도록 MFC를 이용하여 공급하였다. 초기 NO 농도는 10% NO bomb에서 나오는 NO를 압축공기 및 N<sub>2</sub>가스와 mixer에서 혼합하여 조절하였다. NO 가스를 원하는 농도로 맞춘 후 실험조건에 따라 적정량의 환원제를 mixer에 주입하여 당량비에 따른 실험을 수행하였다. 그리고 반응영역의 온도 측정을 위해 고온용 thermo couple를 설치하였고, 출구에서 NO 및 NO<sub>2</sub>농도를 측정하기 위해 NOx analyzer (Thermo Environmental Instruments Inc., 42C NO-NO<sub>2</sub>-NOx Analyzer)를 사용하여 분석하였다. 반응기에 유입되는 가스는 MFC(Mass Flow Controller, Brooks)를 이용하여 공급하였으며, 중간부분에 check valve를 설치하여 부분적으로 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 일산화질소 및 환원제 등의 가스는 10% NO/N<sub>2</sub> 혼합가스와 10% NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub>, 100%의 N<sub>2</sub>가스 및 압축공기를 혼합하여 사용하였다.

실험방법으로서는 먼저 온도조절기와 열전대를 이용하여 반응기 내부온도를 실험에 적합한 온도까지 조절한 후, 압축공기와 NO가스를 MFC를 이용하여 주입하였으며, 반응기 내부 체류시간은 0.23, 0.46, 0.92sec 및 초기 NO농도 100, 200, 300, 500ppm으로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 실험에 필요한 NO 초기농도가 정상상태에 도달하면 일정한 NO농도가 정상상태에 도달하면 일정한 NO농도의 NO가스에 10%의 NH<sub>3</sub> 가스가 환원제로 주입되었으며, NSR은 1, 2, 3의 비율로 조절하여 실험을 수행하였다.



- 1. NO Gas
- 2. N<sub>2</sub> Gas
- 3. Air Compressor
- 4. NH<sub>3</sub> Gas
- 5~6. Mixing Chamber
- 7. MFC
- 8. Moisture Trap
- 9. Heater
- 10. Reactor
- 11. NOx analyzer
- 12. T.C. indicator
- 13. Exhausted
- 14~16. Thermocouple

Fig. 1. Schematic diagram of the general experimental system.

Table 1. Experimental Variables and conditions

Experimental Variables	Experimental Conditions
NOx Concentration(ppm)	100, 200, 300, 500
NSR	1, 2, 3
Temperature(°C)	600 ~ 1050
Retention Time(sec)	0.23, 0.46, 0.92
O <sub>2</sub> Concentration(%)	20

3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 배가스중 질소산화물에는 NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O가 있으나 대부분이 NO이다. NO는 공기중에서 서서히 산화되어 NO<sub>2</sub>가 되고 실제로 건강에 장애를 유발시키는 것은 주로 NO<sub>2</sub>로서 이 NO<sub>2</sub>는 호흡기질

환을 유발하고, 광화학반응을 일으켜 인체에 해를 미치며 대기질을 악화시키고 있다. 이와 같은 질소 산화물은 대기 중에 존재하여 산성비의 원인이 되고 동물의 심폐기능에 장애를 줄 뿐만 아니라 호흡기 질환을 유발하며 식물의 성장을 저해하거나 고사시키는 것으로 알려지고 있다.

Fig. 2에서는 O<sub>2</sub>농도가 탈질효율에 미치는 영향을 나타낸 연구결과로서 O<sub>2</sub>농도가 높을 경우 최고 효율을 나타내었으며, 고온영역에서의 탈질효율은 상대적으로 낮아지는 것으로 확인되었다.<sup>7)</sup> 이전의 연구에서 O<sub>2</sub>농도에 따른 탈질반응에 대한 영향을 조사하였으나,<sup>8)</sup> O<sub>2</sub>농도가 높은 배가스 조건에 대한 다양한 연구는 부족한 실정이다. SNCR 실험에 관한 실험치와 조사결과를 비교한 결과, 산소가 존재하지 않는 상태에서 NH<sub>3</sub>에 의한 NO의 제거효과는 거의 없는 것으로 확인되었다. 특히, O<sub>2</sub>가 있으면 매우 큰 NO 제거가 일어나지만, 0.5~2.2% 범위에서 O<sub>2</sub>농도 차이에 의한 탈질효율의 차이는 크지 않다.<sup>9)</sup> 그 이유는 배가스 중에 있는 산소는 고온의 분위기에서 라디칼화하여 암모니아의 반응성이 높은 NH<sub>2</sub>로의 전환을 촉진하는 기능을 하지만, 그 필요량은 매우 작으며 산소 농도가 더 높아질 경우 라디칼화한 성분이 오히려 반응을 촉진시키는 다른 라디칼과 결합하여 NO와 NH<sub>3</sub>의 반응을 방해하는 역할을 하기 때문이다.

O<sub>2</sub>농도를 10%까지 증가시키는 실험에서 NO가 없고, O<sub>2</sub>농도의 증가에 따라 NH<sub>3</sub>의 산화율은 증가 되었으며,<sup>8)</sup> NO가 있는 상태에서는 O<sub>2</sub>가 낮은 범위에서는 O<sub>2</sub>농도의 증가에 따라 NO 제거가 약간씩 증가하고 O<sub>2</sub>농도가 0.5% 이상인 범위에서는 제거 효율은 높지만 O<sub>2</sub>농도 증가에 따라 제거효율이 약간씩 감소되는 것으로 조사되었다. O<sub>2</sub>농도를 0.5%

와 4.0%에서 50%로 변화시킬 경우에 온도에 따른 탈질효율 변화에서는 O<sub>2</sub>농도가 4.0%일 경우에 가장 높은 효율을 보였으며,<sup>7)</sup> 산소농도가 매우 높은 경우에는 효율이 매우 낮아짐을 알 수 있었다. 그리고, 이 실험 결과를 MB model(Miller and Bowman model)<sup>9)</sup>에 의한 예측치와 비교해 본 결과 산소농도가 낮은 경우에는 비교적 잘 일치하였으나, 산소농도가 높은 조건에서는 최고효율 온도이상에서 모델에 의한 예측효율이 매우 높게 나타났다. 이것은 산소농도가 높은 경우에는 일반적인 반응메카니즘 및 반응속도를 적용하면 되지 않는 것을 의미하며, NO의 화원반응이 방해받거나 환원제로 주입한 NH<sub>3</sub>가 더 쉽게 NO로 전환되는 것으로 판단된다.

### 3.1. 환원제 미 주입시 온도에 따른 NO 농도의 변화

Fig.3에서는 고농도 산소 조건하에서 배가스중의 NO를 암모니아를 환원제로 사용하여 SNCR 반응에 의해 제거되는 반응특성과 효율변화를 조사하였다. NO가 환원제인 암모니아와의 반응에 의하지 않고 반응기 내부의 조건과 배가스 중의 다른 성분에 의해서 그 농도가 변화하는지를 알아보았다. 실험결과 NO의 농도변화는 암모니아와의 반응뿐이며, 다른 영향인자에 의한 변화는 없는 것으로 사료된다.

### 3.2. 반응온도에 따른 당량비별 반응 특성

본 연구에서는 SNCR에 영향을 미치는 여러 가지 인자들에 대해서 Table 1의 조건에서 각각의 실험을 수행하였으며, 반응 전·후의 배가스는 NOx analyzer를 통하여 분석하였다. 반응 온도별로 NSR과 유량 및 초기 농도를 조절하여 변화하는 NO의 농도를 관찰하였으며, 체류시간 0.92sec, NO<sub>i</sub>는 500 ppm으로 일정하게 유지한 경우에 각각의 NSR에

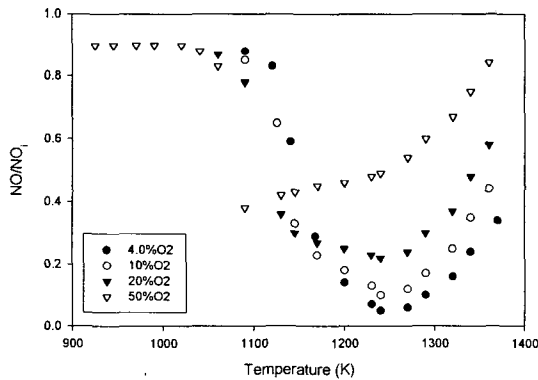


Fig. 2. Comparison of NO reduction between O<sub>2</sub> concentration.

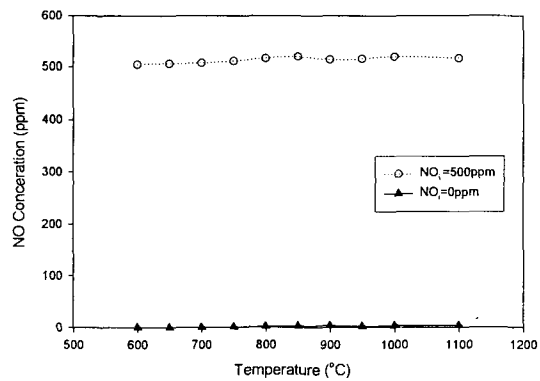


Fig. 3. NOx change without reagent(NH<sub>3</sub>) in the reactor.

대해서 반응온도에 따른 NO 저감율을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 반응온도가 600~700℃의 영역에서는 NO 저감율이 30%이하의 낮은 효율을 나타내었으며, 700~800℃의 영역에서는 NO 저감율이 급격히 증가하였고, 800~900℃의 영역에서 NO 저감율이 가장 높게 나타나고 있다. 특히, 850℃부근에서 NSR=3일 경우에는 NO 저감율이 가장 높은 80%를 상회하는 것을 알 수 있었으며, 900℃ 이상의 영역에서는 NO 제거율이 급격히 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 반응온도가 낮을 경우에는 반응 영역에서 NO 제거 반응이 활발히 일어나지 않아 NO 제거율이 낮을 뿐만 아니라, 공급된 NH<sub>3</sub>가 미반응되어 NH<sub>3</sub> slip으로 배출될 수 있지만, 반응온도가 800℃ 이상의 적정 고온영역일 경우에는 NH<sub>3</sub>가 질소화합물과의 환원반응에 의하여 NO 제거율을 높이게 되는 것으로 사료된다.

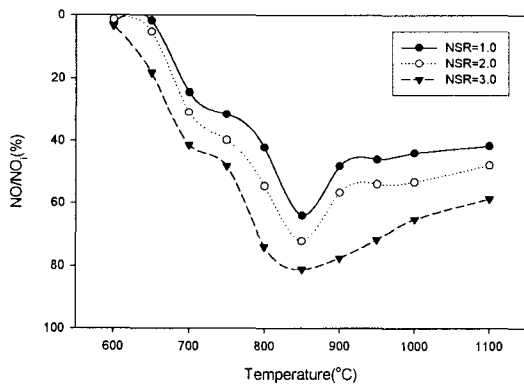


Fig. 4. Effect of temperature on the reduction of NO with NSR variation.

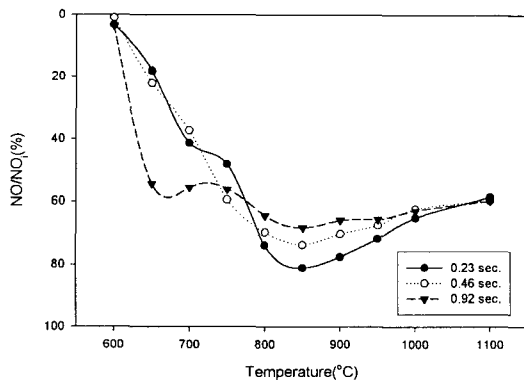


Fig. 6. Comparison of NO<sub>x</sub> reduction efficiency with retention time and temperature variation.

### 3.3 반응온도에 따른 초기 NO농도의 영향

Fig. 5에서는 초기 NO농도에 변화를 주었을 때 일정한 유량과 NSR에서 온도의 변화에 따른 실험을 수행하였으며, 체류시간 0.23sec, NSR 3인 경우 NO<sub>i</sub>의 변화에 따른 NO 저감율을 온도의 변화에 따라 나타낸 것이다. NO<sub>i</sub>가 증가할수록 NO 저감율이 전체적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 NO<sub>i</sub>가 NO 저감 반응속도에 상당한 영향을 미치는 것을 의미하며, Muzio<sup>10)</sup> 등에 의한 연구에서의 연구와 일치하는 결과를 나타내었다. 그리고, Muzio 등은 NH<sub>3</sub>를 환원제로 사용하였을 경우 400ppm 이하의 NO<sub>i</sub>에서는 NO<sub>i</sub>가 증가할수록 NO<sub>x</sub> 저감율이 증가하는 것으로 보고하고 있다.

### 3.4 반응온도에 따른 체류시간의 영향

Fig. 6에서는 SNCR에 의한 반응기내에서의 유량에 따른 영향을 알아보기 위하여 NO<sub>i</sub>=500ppm,

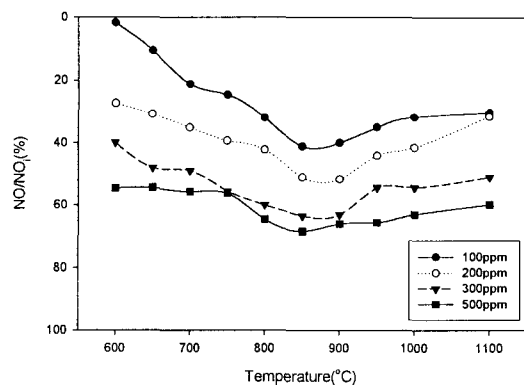


Fig. 5. Effect of NO<sub>i</sub> on the reduction with NO concentration and temperature variation.

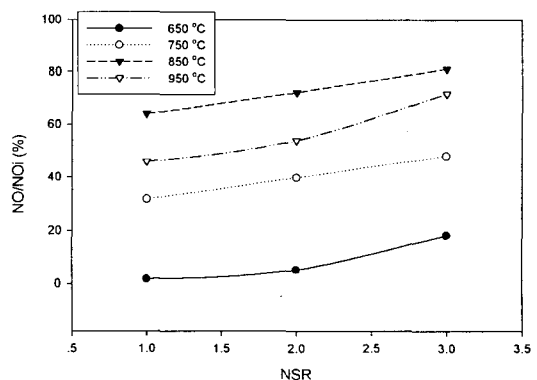


Fig. 7. Comparison of NO<sub>x</sub> reduction efficiency with reaction temperature and normalized stoichiometric ratio variation.

NSR=3에서 체류시간을 0.23, 0.46, 0.92sec로 변화시키면서 온도에 따른 NO의 제거효율을 관찰하였다. 초기농도가 500ppm인 경우의 실험조건에서 체류시간에 따른 탈질효율은 비교적 저온(600~800℃)에서는 체류시간의 증가에 따라 제거효율이 오히려 감소하는 경향을 나타내었으며, 그 이상의 온도영역에서는 체류시간의 증가에 따라 제거효율이 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 이유는 저온영역의 경우 탈질반응에 있어 반응시간보다 유속증가에 따른 반응영역의 유동의 강약에 더 많은 영향을 받기 때문인 것으로 사료되며, 특히, 초기농도가 증가할수록 탈질효율은 증가하였다.

### 3.5. NSR의 변화에 따른 온도별 탈질효율

Fig. 7에서는 가스내의 NSR의 변화에 따른 NOx 제거효율을 알아보기 위하여 NO<sub>x</sub>=300ppm으로 일정하게 한 경우에 각각의 온도에 대해서 NSR의 변화에 따른 NO 저감율을 조사하였다. 650~950℃의 온도에서 NSR을 변화시켜 주었을 경우 NSR이 증가할수록 NO의 제거효율은 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 850℃에서 가장 높은 제거효율을 나타내었다. 그러나, NSR의 증가는 NO 저감율을 증가시키기는 하지만, 환원제인 NH<sub>3</sub>가 과잉으로 투입되었을 경우 미 반응된 NH<sub>3</sub>가 NH<sub>3</sub> slip의 형태로 방출될 가능성이 있고, N<sub>2</sub>O, CO 등 2차적인 오염물질이 생성될 가능성도 커지게 된다. 또한 환원제의 사용에 따른 운전비도 증가하게 되므로 적절한 양의 환원제 투입이 필요하다. 따라서, 본 실험결과 SNCR 설비의 운전에 있어 환원제의 투입은 최적의 온도조건에서 수행되어야 할 것으로 사료되며, 당량비는 범규제 및 경제성을 고려하여 최적의 조건으로 선정함이 2차적인 환경오염문제 및 부작용도 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 운전비용 또한 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구는 연소공정 및 화학반응공정에서 발생하는 고농도 산소조건에서의 선택적비촉매환원 반응을 이용한 고온상태 NO를 제거하는 방안에 관한 연구로서, 다양한 실험변수와 실공정 조건에서 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 배가스중의 O<sub>2</sub> 함량이 높은 조건에서 실험을 수행한 결과, O<sub>2</sub>함량이 낮은 경우의 기존 실험 결과보다 SNCR 반응에 의한 탈질효율이 낮았으나, 고농도 산소 조건하에서도 저농도 산소 조건에서와 마찬가지로 당량비 증가에 따라 탈질효율이 증가함을 확인하였으며, 특히 질소산화물 최고의 탈질효율은 80%이다.

2. 고 농도 산소 조건하에서 실험을 수행한 결과 초기농도가 증가할수록 질소산화물 저감율은 증가함을 확인하였다 또한, 체류시간에 대한 실험을 수행한 결과, 탈질효율과 체류시간과의 상관관계를 확인하였다.
3. 반응온도를 변화시키면서 실험을 수행한 결과, 각각의 온도조건에서 당량비 증가에 따라 탈질효율이 증가하였으며, 반응영역의 온도가 850℃일 때 가장 높은 제거효율을 나타내었다.
4. SNCR 공정과 설비운전에 있어 환원제 투입은 최적의 조건인 850℃ 부근에서 수행되어야 할 것으로 사료되며, 당량비는 범규제 및 경제성을 고려하여 선정하여야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 1) Azuhata, S., H. Akimoto, and Y. Hishinuma, 1982, *AIChE J.*, 28(1), pp. 7-11.
- 2) Duo Wenli, 1990, Kinetic Studies of the Reaction Involved in Selective Non-Catalytic Reduction of Nitric Oxide, ph.D. thesis, Technical University of Denmark.
- 3) 추병길, 1995, 선택적 비촉매 환원법을 이용한 배출가스중 질소산화물 처리 메카니즘 연구, ph.D. thesis, 서울시립대.
- 4) Lyon, R. K., 1975, Method for the Reduction of the Concentration of NO in Combustion Effluents Using Ammonia, *U.S.Patent* NO. 3900554.
- 5) Lyon, R. K. and Benn, D., 1978, Kinetics of the NO-NH<sub>3</sub>-O<sub>2</sub> Reaction, 17th Symp.(Int.) on Combustion. The Combustion Institute. Pittsburgh, PA, 601-610pp.
- 6) 이정민, 1996, Pilot-Scale Reactor에서 비촉매환원 공정을 이용한 Nox 제거 연구, ph.D. thesis, KAIST.
- 7) Kasuya, F., P. Glasborg, J. E. Johnsson, and K. Dam-Johansen, 1955, The Thermal DeNOx Process : Influence of Partial Pressures and Temperature, *Chem. Eng. Sci.*, 50(9), 1455-1466.
- 8) Kasaoka, S., E. Sasaoka, M. Nagahiro, and K. Kawakami, 1979, The Chemical Society of Japan, 1, 138.
- 9) Miller, J. D. and C. T. Bowman, 1989, Mechanism and Modeling of Nitrogen Chemistry in Combustion, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 15, 287-338.
- 10) Musio, L. J. and J. K. Arand, 1998, Homogeneous Gas Phase Decomposition of Oxides of Nitrogen, EPRI Report, NO EPRI FP-253, August.