Korean Chem. Eng. Res., Vol. 43, No. 2, April, 2005, pp. 324-329

SNCR 공정에서 Sodium Salts 첨가제를 이용한 탈질반응 개선에 관한 연구

이승문 · 박귀남 · 곽태헌 · 박진원† · 산지브 마킨 · 김병환*

연세대학교 화학공학 & CT연구소
120-749 서울시 서대문구 신촌동 134
*(주)대우건설 기술연구소
440-210 경기도 수원시 장안구 송죽동 24
(2004년 11월 18일 접수, 2004년 12월 30일 채택)

The Improvement of Denitrofication by Using Sodium Salts in the SNCR Process

Seung Moon Lee, Kwinam Park, Tae-Heon Kwak, Jin-Won Park†, Sanjeev Makin and Byung-Hwan Kim*

Department of Chemical Engineering & Center for Clean Technology, Yonsei Universi, 134, Sinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea
**Institute of Daewoo E&C Co., 24, Songjuk-dong, Jangan-gu, Swuon, Kyungki-do 440-210, Korea*
(Received 18 November 2004; accepted 30 December 2004)

요 약

본 연구에서 SNCR 공정에서 사용되는 NO의 농도는 500 ppm이며, 환원제로 Urea를 사용하였다. 또한 첨가제로 NaOH(sodium hydroxide), Na_2CO_3(sodium cabonate), $NaNO_3$(sodium nitrate), HCOONa(sodium formate), CH_3COONa (sodium acetrate)를 이용하여 온도와 첨가제에 따른 NO 저감 효율을 측정하고자 하였다. 이때의 NO 저감 온도의 범위는 650-1,050 ºC이다. 환원제만 사용하였을 경우, NO의 저감 효율은 44%까지 증가하였으며, 환원제와 첨가제(NaOH)를 0.5 mol/L와 1 mol/L 사용하였을 경우, NO 저감 효율은 25%와 74%이상 증가하였다. 첨가제를 사용하지 않았을 경우보다 첨가제를 사용하였을 경우 NO의 저감 효율은 증가하였다. 또한 NaOH>Na_2CO_3>$NaNO_3$>HCOONa, >CHCOONa 첨가제의 순으로 효율이 우수하였다. 첨가제를 사용할 경우 약 900 ºC에서 1,050 ºC의 온도범위에서 NO저감 효율이 65% 이상으로 나타났다. 온도 창의 범위는 약 250 ºC의 범위로 나타났으며, 최저 효율은 약 20%이며 최대효율은 약 74%정도로 나타났다.

Abstract – The efficiency of reducing nitric oxide using urea combined with alkali salt additives is reported in this study. The inlet concentration of NO is 500 ppm with air flow rates of 3 and 5 L/min. Reduction of NO was studied from 650 to 1,050 ºC with urea concentrations of 0.3 to 1 mol/L. The efficiency for the reduction of NO increased by 44% when urea is added alone. A further increase in efficiency was observed in the presence of NaOH as additive in fact, the efficiency was increased by more than 25% and 75% when 0.5 mol/L and 1 mol/L NaOH were added with the urea. The efficiency for the reduction of NO increased with all additives, but descended in the order NaOH, Na_2CO_3, $NaNO_3$, HCOONa, and CHCOONa. The maximum efficiency of NaOH and Na_2NO_3 are 74% and 73%, respectively. All these additives did not alter the comparatively wide operating temperature window for reducing NO. However, sodium compounds do not shift the maximum NO concentration towards lower temperatures when the NO removal activity enhances.

Key words: SNCR, Denitrofication, Sodium Salt, Urea

1. 서 론

산업시설 및 대형 발전설비 등의 고정원과 자동차, 선박 등의 이동원에서 배출되는 질소산화물(NO_x)은 대기 중에 존재하는 탄화수소 유도체들과 반응하여 광화학 스모그(photochemical smog)를 유발하거나, 오존(O_3)의 생성과 분해, 산성비(acid rain)출현 등으로 주변 농작물 및 대기 환경에 직접적으로 악영향을 끼칠 뿐만 아니라, 지구 온난화(global warming)와 같은 기후변화에 크게 기여하는 것으로 보고되고 있다. NO_x의 국내 배출량은 1996년 기준으로 1,257,993 ton/년으로서 고정오염원으로부터 배출되는 양은 전체의 51%, 641,841 ton/년이다[3]. 이 중에서 산업체에서의 발생량은 59.3%, 발전에 의한 배출량은 29.8%, 난방에 의한 배출량은 10.9%로서 산업체에서의 발생량이 가장 큰 비중을 차지하고 있다[1-4].

NO_x 저감기술은 연소기관에 따라 생성 메커니즘이 다르므로 다양한 제어기술이 요구되었다. 저감기술은 크게 두 부류 즉, 연소개선법과 배가스 처리법으로 분류되고, 전자는 주로 연소온도와 산소농도를 조절함으로써 NO_x 발생량을 저감하는 것이고, 후자는 생성

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jwpark@yonsei.ac.kr
‡이 논문은 연세대학교 김우식 교수의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

된 NO_x를 후처리 기술을 이용하여 저감하는데 기초를 두고 있으며, 고농도의 NO_x 저감을 위해서는 후처리 기술이 널리 이용되고 있다. 발전소 및 산업보일러 시스템에서는 과잉공기가 존재하므로 V_2O_5/TiO_2 계열의 촉매하에서 NH_3/urea 환원제를 이용한 선택적 촉매환원 SCR(selective catalytic reduction) 반응 기술이 성공적인 것으로 증명되었다. 1980년대 이후, SCR 공정은 효과적인 상용기술로 인식되어 선진 국가들에 집중 설치되었으며, 오늘날 우리나라를 비롯한 중진국과 일부 개도국에 기술도입의 시도가 예측되고 있다. 하지만, SCR 공정에서 값비싼 촉매로 인한 운전비용의 상승과 촉매 수명단축이 업체의 경제적인 부담이 되어 개도국들에서 산업설비에 쉽게 설치·운전에 이르기에는 큰 단점으로 지적되고 있다. 또 다른 대체기술로써 값비싼 촉매를 이용하지 않는 선택적 비촉매 환원(SNCR: selective non-catalytic reduction) 공정은 화학첨가제를 고온(900-1,100 °C)의 반응기 안에 직접 주입하여 NO를 N_2로 환원시키는 것으로 석탄 화력발전소, 산업보일러 등에 쉽게 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 설치 및 운전비용이 SCR 공정에 비해 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 하지만, SNCR은 대부분 외국기술의 도입에 의존하고 있는 실정으로 국내 기술개발이 필요하다. 현재 가동 중인 국내의 대형 생활폐기물 소각로는 양천소각장을 비롯하여 총 25개소가 운영되고 있으며, 그동안의 경험을 바탕으로 생활폐기물의 소각에 대한 많은 기술 축적이 이루어져 왔다. 이들 소각시설에서의 탈질설비로서는 SNCR과 SCR이 사용되고 있다[5-10, 15].

최근 우리나라는 NO_x와 관련된 환경 규제치를 더욱 강화한 실정이며, 특히 NO_x의 국내법 규제치가 화력발전소의 경우 현재 250 ppm에서 2005년 150 ppm으로, 소각로의 경우 200 ppm에서 80 ppm으로 각각 강화될 경우 중소규모의 산업설비에 적용 가능한 저비용 고효율의 NO_x 제어기술이 절실히 필요하다.

이에 따라 우리나라에서도 매립에만 의존하던 종전의 방식에서 자원의 재활용 및 폐기물 소각에 의한 에너지로의 재활용 등에 의한 자연환경 보호에 적극적인 노력 및 막대한 투자를 하는 시점에 이르게 되었다. 환경부에서도 ECO project 등을 추진하면서, 발생된 폐기물을 제2차 환경오염을 최소화하여 자연으로 환원하는 차원의 연구에 주력하고 있다. 또한, 가까운 일본에서는 병원적출물이나 악성폐기물은 소각 잔재를 용융화하지 않으면 소각시설 자체를 허용하지 않을 정도로 폐기물을 안정화하여 폐기물을 처리하는 추세이다[2-3].

우리나라의 경우 생활폐기물의 처리는 국가(지방자치단체)에서 주관하여 막대한 자금을 투자함으로써, 선진국과 비교하여 손색이 없을 정도로 소각기술 및 시설이 완성되어 가고 있다. 그러나 산업폐기물의 경우 발생자 처리 원칙에 따라 발생하는 생산 공장 자체에서 처리하거나 아니면 이를 위탁 처리하는 폐기물 중간처리 업체에 의하여 처리되고 있는 실정이다 보니 생활폐기물 처리시설과는 달리 이에 대한 투자자금 등이 열악하여 현재기술로도 구사할 수 있는 완벽한 소각기술조차도 적용치 못하는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 SNCR 공정에서 온도와 첨가제를 이용하여 환원제의 농도, NO의 유속, 산소의 농도, 환원제와 첨가제의 영향 및 환원제와 혼합 첨가제의 영향에 관한 특성을 살펴봄으로써 실제 소각 공정에서 사용 가능한 공정을 설계하는데 있어 여러 반응조건에 따른 탈질 반응 개선 및 최적의 반응 조건을 찾고자 하였다.

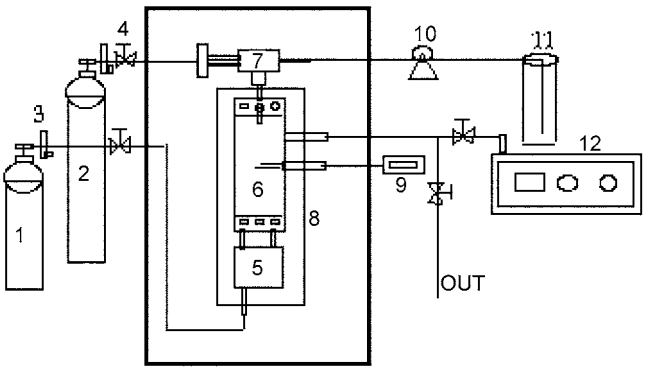

Fig. 1. Schematic diagram of SNCR proces.

1. NO cylinder	7. Nozzle
2. Air cylinder	8. Furnace
3. Flow meter	9. Thermometer
4. Valve	10. Liquid pump
5. Pre heater	11. Urea solution and additives
6. Reactor	12. NO_x detector

2. 실 험

2-1. 실험 장치

본 연구에서는 SNCR 공정을 이용하여 기상 오염 물질인 NO를 저감 시키고자 실험 장치를 설계 및 제작하여 Fig. 1에 나타내었다. 반응공정에서 반응기는 stainless steel 재질을 사용하여 폭 40 mm, 길이 210 mm의 원통형으로 자체 제작하였으며, 온도를 1,500 °C까지 측정 가능한 furnace 내부에 장착하였다. 또한, NO는 furnace 내부의 pre-heater에서 예열을 시킨 후, 본 반응기 안으로 유입되게 반응기를 설계하였다. NO(nitric oxide)의 유속, 환원제인 urea의 유속 및 첨가제인 sodium compounds의 유속은 liquid pump를 이용하여 조절하여 spray nozzle(ST-6, Total Co.)에 의해 분사시켰다. 반응기의 내부 온도 측정은 반응기 중앙부에 platinum-plate thermocouple을 설치하여 반응온도를 조절하였다. 반응기 안으로 유입되는 가스의 농도는 gas analyzer(GreenLine Mk2. Il-Sang Co. Ltd., korea)를 이용하여 측정하였다.

2-2. 실험 조건

SNCR 공정에서 사용되는 NO(Deokyang Energen Co.)의 농도는 500 ppm이며, 환원제로 urea를 사용하였다. 또한, 첨가제로 NaOH (sodium hydroxide), Na_2CO_3(sodium cabonate), $NaNO_3$(sodium nitrate), HCOONa(sodium formate), CH_3COONa(sodium acetrate)를 이용하여 온도와 첨가제에 따른 NO 저감 효율을 측정하고자 하였다.

SNCR 공정에 의한 NO 저감은 가스상으로 다음과 같은 조건하에서 실험하였다. NO의 체류시간은 1.76 sec와 2.26 sec으로 변화시켰으며, 환원제의 농도는 1.8%에서 6%, 첨가제의 사용시 환원제를 6%로 고정한 후 환원제 1몰당 첨가제의 농도를 0.25 mol/L에서 1 mol/L까지 다양하게 변화시키면서 실험하였다. 반응기 내부 온도는 650 °C에서 1,050 °C까지 변화시키면서 NO 저감 효율을 측정하였다. 또한, 환원제를 6%로 고정한 후 첨가제의 혼합 실험에서는 환원제와 첨가제(NaOH, Na_2CO_3)의 몰비를 1(urea) : 1(NaOH) : 1(Na_2CO_3), 1(urea) : 1(NaOH) : 0.5(Na_2CO_3) 그리고 1(urea) : 0.5(NaOH) : 1(Na_2CO_3)로 변화시키면서 환원제와 혼합첨가제의 영향 특성을 평가하고자 하였다.

3. 결과 및 토론

3-1. 환원제 농도와 NSR의 영향

환원제의 농도 및 NSR(normalized stoichiometric ratio)에 의한 NO 저감 효율 효과를 알아보고자 1.7% 및 3.8%의 산소 농도와 650 °C에서 1,050 °C 온도 범위에서 실험을 수행하여 Fig. 2-3에 나타내었다. NSR은 실제(mole urea/mole NO_x)/이론(mole urea/mole NO_x)이며, NSR 농도는 2와 2.5로 변화시켜 실험을 수행하였다.

환원제의 농도가 증가할수록 NO의 저감 효율은 증가하였으며, NO의 유속이 증가할수록 NO의 저감 효율은 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 2.5의 NSR이 2의 NSR보다 같은 환원제의 농도 및 같은 산소의 농도에서 약 13%(urea conc.: 6%, O_2 conc.: 3.8%) 정도 더 높은 효율을 보였다. 이는 반응기 내부에서 환원제와 NO의 체류시간과 관계있는 것으로 사료되며, 동일한 NSR에서 환원제 수용액의 농도가 낮을수록 환원제 수용액의 양이 증가되어 전체 gas의 양이 증가되어 체류시간이 감소한 것으로 사료된다. 이때 NSR이 2.5인 경우 체류시간이 2.26 s였다. 환원제의 농도와 NO의 유속 영향 실험에서는 최대 NO 저감 효율은 약 44%이며, 최대 효율을 갖는 온도의 범위는 950 °C-1,000 °C로 나타났다. 산소의 농도는 1.7%와 3.8%로 변화시키면서 실험하였을 경우, 산소의 농도가 높아질수록 NO의 저감 효율은 증가하였다. NO 저감 효율의 온도 범위는 650 °C에서 1,050 °C 이었으며, NO 저감 효율은 NSR이 2.5일 경우 약 10% 증가하였다. NO 저감 효율은 온도가 증가함에 따라 효율이 증가함을 보였고, NO 저감 효율은 산소의 농도가 증가함에 따라 역시 효율도 증가함을 알 수 있었다. 이때의 최대 효율 온도는 약 1,000 °C로 나타났다. 하지만, 산소의 농도가 증가하면 할수록 반응기 내부온도 조절은 산소의 영향을 받기 때문에 본 연구에서 산소의 농도는 3.8%가 적당한 것으로 나타났다. Bibao 등[16-17]의 연구와 본 실험의 결과가 일치하였다. Chang[18]의 보고에 의하면 NO 저감 효율은 산소의 농도가 0%에서 10%로 증가할수록 효율도 증가하였다고 보고하였다. 하지만, 본 연구에서는 산소의 농도가 증감에 따라 효율 온도 범위가 낮은 쪽으로 이동하지 않았으며, 산소의 농도와 환원제의 농도 증가만으로는 NO 저감 최대 효율 온도가 낮은 온도 쪽으로 이동하지는 않은 것으로 사료된다. Rota와 Zanoelo 등[19]의 연구 보고에 따르면 산소의 농도가 증가할 때 약 1,273 K의 온도에서 NO 저감 효율이 증가하였으며, 최대 효율의 온도 범위가 낮은 온도 쪽으로 이동하였다고 발표하였다. 산소의 농도는 SNCR 공정에서 반응 변수로 작용한다. 산소의 농도가 0.5에서 10% 범위에서는 NO 효율이 증가하는 것으로 나타나며, 20에서 50% 범위에서는 효율이 다시 감소하는 것으로 보고되어 있다. 또한, 산소의 농도가 증가하면서 유효온도 범위가 약 100 K 정도 낮은 온도 범위로 이동하는 것으로 보고되었는데, 본 실험에서는 산소의 농도가 낮아서 낮은 온도의 이동이 미비한 것으로 사료된다[11-12, 14, 20-22].

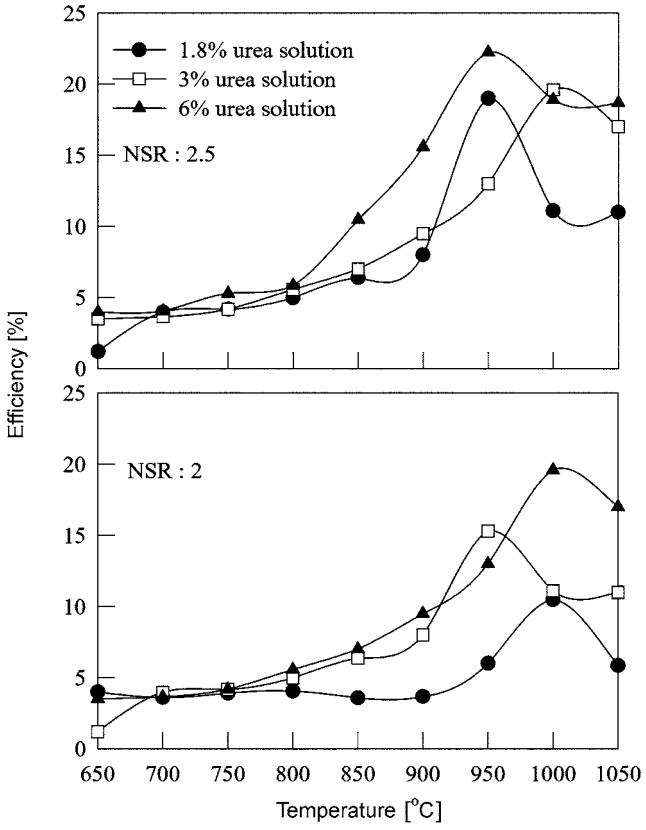

Fig. 2. Influence of urea concentration and NSR on the NO reduction. O_2=1.7%.

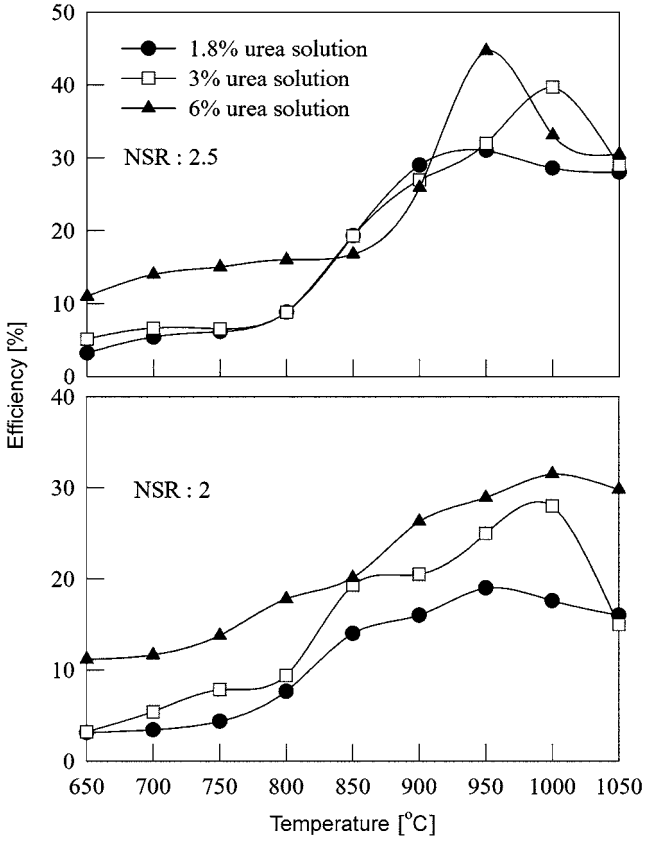

Fig. 3. Influence of urea concentration and NSR on the NO reduction. O_2=3.8%.

3-2. NO 반응에서 첨가제에 따른 영향

환원제와 첨가제의 혼합물이 NO 저감 효율에 미치는 영향과 sodium 계열의 첨가제가 온도 창(window temperature)에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 실험을 수행하여 Fig. 4-6에 나타내었다. NSR과 환원제의 농도는 2.5와 6%로 고정하였다. NO 저감 효율은

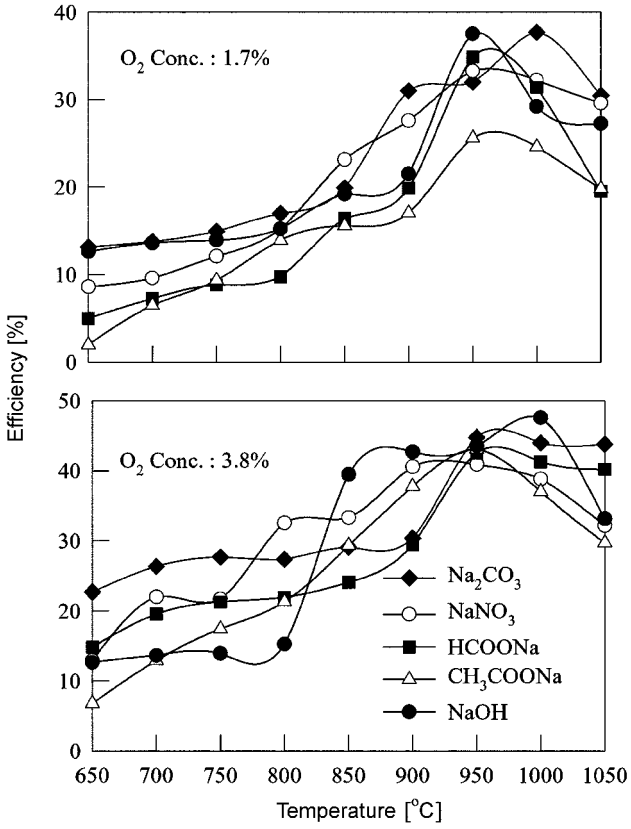

Fig. 4. Influence of urea concentration and NSR on the NO reduction. O_2=3.8%, NSR: 2.5, Additives: 0.25 mol/1 mol urea.

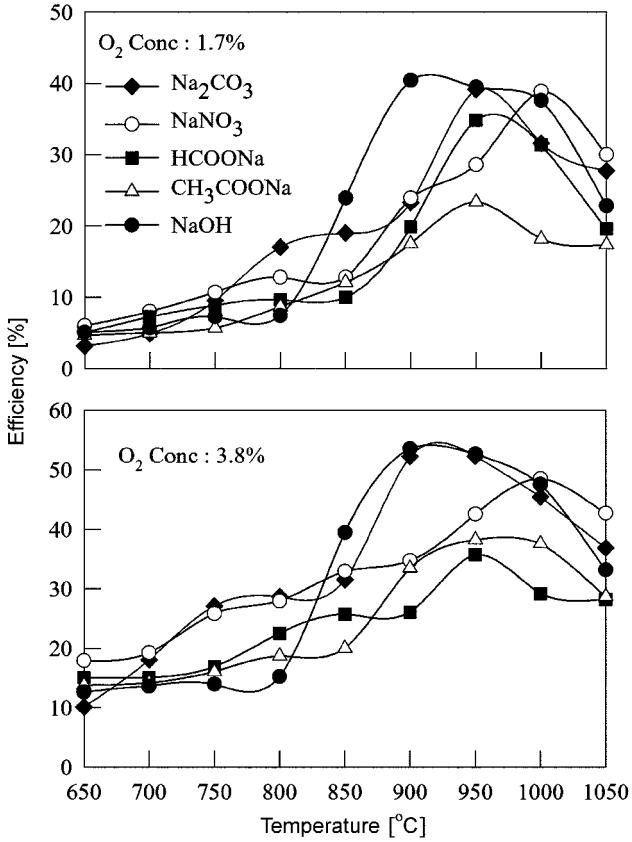

Fig. 5. Influence of oxygen concentration on the NO reduction: NSR: 2.5, additives=0.5 mol additive/1 mol urea.

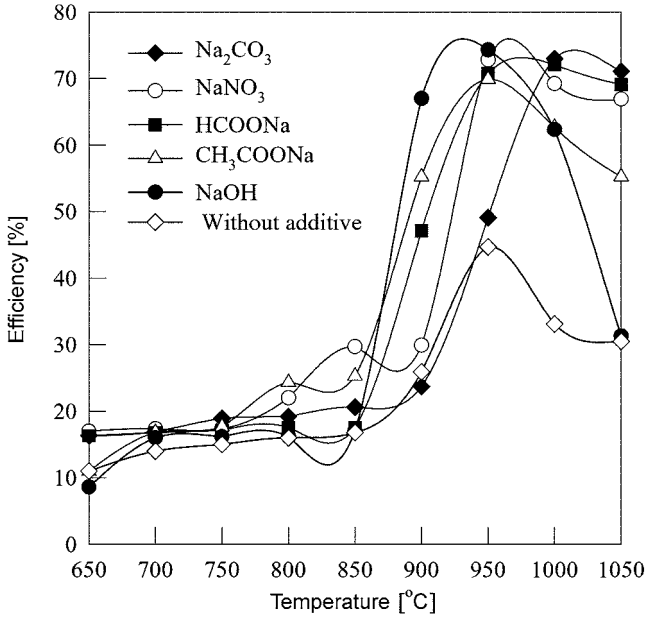

Fig. 6. Influence of additives concentration on the NO reduction: NSR: 2.5, O_2 conc.=3.8%, additives=1 mol additive/1 mol urea.

첨가제의 농도가 증가할수록 효율도 증가하였다. NaOH의 농도에 따른 NO 저감 효율은 첨가제 없이 환원제를 사용하였을 경우보다 약 30% 정도 증가함을 관찰할 수 있었다. 첨가제 1몰의 조건에서, 산소의 농도가 3.8%인 경우가 산소의 농도 1.7%인 경우보다 약 18% 정도 증가하였으며, 첨가제 0.5몰의 조건에서는, 산소의 농도가 3.8%인 경우가 산소의 농도 1.7%인 경우보다 약 10%정도 NO 저감 효율이 증가하였다.

다른 첨가제의 경우도 NO 저감 효율은 온도의 범위가 950 °C에서 1,000 °C 사이에서 최대 효율을 나타냈으며, 950 °C에서 1,000 °C 사이까지 온도가 올라갈수록 효율은 증가하였고, 1,000 °C 이상에서는 다시 효율이 감소하였다. NaOH와 Na_2CO_3의 최대 NO 저감 효율은 약 950 °C에서 각각 74.3%와 73%로 다른 첨가제들에 비해 가장 높게 나타났다. 또한, NO 저감 효율은 NaOH>Na_2CO_3>$NaNO_3$>HCOONa>CHCOONa의 첨가제의 순으로 효율이 우수하였다. 첨가제를 사용할 경우 약 900 °C에서 1,050 °C의 온도범위에서 NO 저감 효율이 65% 이상으로 나타났다. 온도 창의 범위는 약 250 °C의 범위로 나타났으며 최저 효율은 약 20%이며 최대효율은 약 74% 정도로 나타났다.

3-3. 혼합첨가제에 따른 NO 저감 효율의 영향

NO 저감 효율에서 최대 효율을 보인 NaOH와 Na_2CO_3의 첨가제를 환원제와 혼합하여 NO 저감 효율 및 온도변화 추이를 평가하고자 하였다. 환원제 1몰당 혼합첨가제의 몰비는 0.5 mol/L에서 1 mol/L로 다양하게 변화시켰으며, 이때 환원제의 농도는 6%로 고정하여 실험을 수행하여 Fig. 7에 나타내었다.

환원제 1몰당 NaOH와 Na_2CO_3의 몰비가 약 1:1일 경우 최대 NO 저감 효율을 보였으며, 온도가 약 950 °C에 도달하였을 때 최대 효율은 약 75%였다. 또한, 환원제 1몰당 첨가제의 몰비에 따른 NO 저감 효율은 1(urea) : 1(NaOH) : 1(Na_2CO_3)>1(urea) : 1(NaOH) : 0.5(Na_2CO_3) > 1(urea) : 0.5(NaOH) : 1(Na_2CO_3) 순으로 증가하였다. 이때 각각의

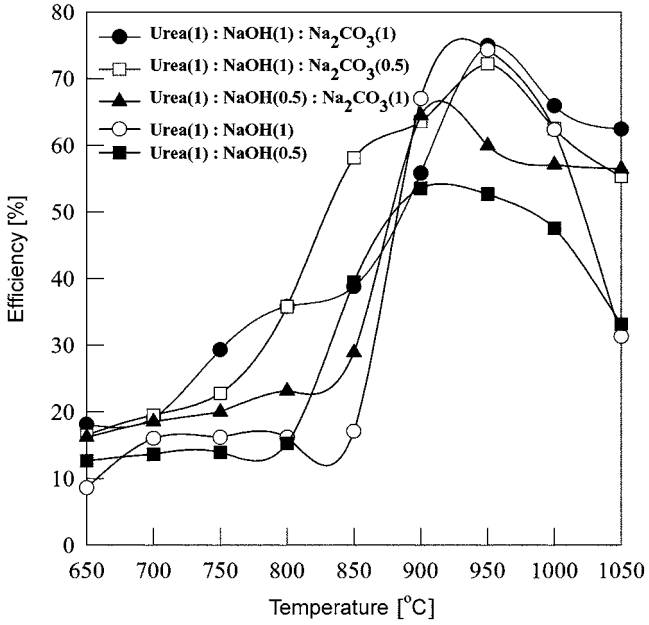

Fig. 7. Efficiency of mixed sodium compounds on the NO reduction.: NSR: 2.5, O_2=3.8%, Sodium compounds=0.51 mol additives/ 1 mol urea.

최대 NO 저감 효율은 75%, 72.2% 및 65%였으며, 온도의 범위는 850 ℃에서 950 ℃로 나타났다. 환원제 1몰당 첨가제의 몰비가 1(urea) : 0.5(NaOH) : 1(Na_2CO_3)일 경우 다른 혼합첨가제에 비해 50 ℃ 낮은 온도에서 최대 NO 저감 효율이 나타났지만, 효율면에서는 다른 혼합첨가제들보다 최대 10% 정도 낮은 것으로 나타났다. 또한, 환원제 1몰당 NaOH가 0.5 mol/L을 사용한 것보다 NaOH 1 mol/L를 사용하였을 때 NO 저감 효율이 더 우수한 것으로 나타났으며, Na_2CO_3나 NaOH가 NO 저감 반응에 효율적으로 나타났다. 이는 Na_2CO_3는 수분하에서 반응하여 전환된 NaOH가 반응에 참여하며, NaOH의 OH radical과 다른 중간 생성물에 의해 직접적으로 NO와 반응함으로써 NO 저감 반응에 참여하는 것으로 사료된다[13].

4. 결 론

본 연구에서는 일반 소각로에서 배출되는 배기가스 중의 NO를 첨가제 및 반응조건에 대해서 저온에서 탈질 효율의 증가 방안을 알아보고자 하였다. 또한, 환원제와 혼합 첨가제를 이용하여 SNCR 공정에 적용함으로써, 실제 소각 공정에서 사용 가능한 공정을 설계하는데 있어 최적의 반응 조건을 찾고자 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 환원제의 농도가 증가할수록 NO의 저감 효율은 증가하였으며, NO의 유속이 증가할수록 NO의 저감 효율은 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 2.5의 NSR이 2의 NSR보다 같은 환원제의 농도 및 같은 산소의 농도에서 약 13% 정도 더 높은 효율을 보였다. 이는 낮은 농도의 환원제 수용액은 주입량이 증가하여 전체 gas의 용량이 늘어나 체류시간이 감소한 것으로 사료된다. 산소의 농도가 높을수록 NO 저감 효율은 증가하였으며, NO 저감 효율의 온도 범위는 650 ℃에서 1,050 ℃이다.

(2) NO 저감 효율은 NaOH의 농도가 증가할수록 효율도 증가하였으며, NaOH의 농도에 따른 NO 저감 효율 역시 첨가제 없이 환원제를 사용하였을 경우보다 약 30% 정도 증가하였다. 다른 첨가제의 경우도 NO 저감 효율은 온도의 범위가 950 ℃에서 1,000 ℃ 사이에서 최대 효율을 나타냈으며, 950 ℃에서 1,000 ℃ 사이까지 온도가 올라갈수록 효율은 증가하였고, 1,000 ℃ 이상에서는 다시 효율이 감소하였다. NaOH와 Na_2CO_3의 최대 NO 저감 효율은 약 950 ℃에서 각각 74.3%와 73%로 다른 첨가제들에 비해 가장 높게 나타났다.

(3) 환원제 1몰당 NaOH와 Na_2CO_3의 몰비가 약 1:1:l일 경우 최대 NO 저감 효율을 보였으며, 온도가 약 950 ℃에 도달하였을 때 최대 효율은 약 75%였다. 또한, 환원제와 혼합첨가제의 몰비에 따른 NO 저감 효율은 1(urea) : 1(NaOH) : 1(Na_2CO_3)>1(urea) : 1(NaOH) : 0.5(Na_2CO_3)>1(urea) : 0.5(NaOH) : 1(Na_2CO_3) 순으로 증가하였다. 이때 각각의 최대 NO 저감 효율은 75%, 72.2% 및 65%였으며, 온도의 범위는 850 ℃에서 950 ℃로 나타났다.

참고문헌

1. Lee, J. H., Lee, D. H. and Kang, H. C., "Emission of Air Pollutants and PCDDs/DFs from Small Size Waste Incinerators," *J. Korea Society of Waste Management*, **21**(3), 181-190(2004).
2. Brouwer, J., Heap, M. P., Pershing, D. W. and Smith, P. J., "A Model for Prediction of Selctive Non-Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides by Ammonia, Urea, and Cyanuric Acid with Moxing Limitation in the Presence of CO," SNCR paper for 26th Symposium(2004).
3. Lee, S. H. and Kim, K. L., "A Case study on SNCR Operation form MSW Incineration Plant," *NERI*, **6**(1), 163-170(2001).
4. Choi, S. W. and Choi, S. K., "Characteristic of SNCR Process for NO_x Control," *NERI*, **6**(1), 203-211(2001).
5. Tchobanoglous G., Theisen, H. and Vigil, S. A., "Integrated Solid Waste Management," McGRAW-HILL, 644-650(2001).
6. Moon, S. H., Lee, I. C., Choi,, I. S., Kim, S. C. and Choi, B. C., "Reduction Technology of Nitrogen Oxide," *Chem. Ind. and Tech.*, **5**(4), 62-70(1978).
7. Korea Institute of Energy Research, "Development of High Efficient Process for Simultaneous Removal of SO_x and NO_x Removal from Flue Gas(II)," MOST(1992).
8. Kwon, H. B. and Kim, H. T., "State of Stationary Combustion Nitrogen Oxide Control Technologies," *Environment Research Institute. Kyungnam Univ.*, **20**, 151-187(1987).
9. Choi, W. G., Lee, I. C. and Choi, I. S., "Reduction Technology of Nitrogen Oxide; II," *Chem. Ind. and Tech.*, **6**(4), 62-70(1988).
10. Choi, W. G., Lee, I. C. and Choi, I. S., "Reduction Technology of Nitrogen Oxide; III," *Chem. Ind. and Tech.*, **7**(4), 62-70(1989).
11. Tree, D. R. and Clark, A. W., "Advanced Reburning Measurements of Temperature and Species in a Pulverized Coal Flame," Feul, **79**(13), 1687-1695(2000).
12. Muzio, L. J. and Quartucy, G. C., "Implementing NO_x Control: Research to Application," *Prog. Energy Combust. Sci.*, **23**(3), 233-266(1997).
13. Martin, O., Kim, D. J. and Jan, E. J., "Influence of Mixing on the SNCR Process," *Chem. Eng. Sci.*, **52**(15), 2511-2525(1997).

14. Rosenberg, H. S., "The Characteristic Selective Catalytic Reduction Nitrogen Oxide over Natural Manganese Ore with NH_3 Low Temperature," *J. Korea Ind. Eng. Chem*., **12**(8), 841-845(2001).
15. Ham, S. W., Park, H. H. and Mok, Y. S., "Removal of Nitric Oxide Using Non-Thermal Plasma Technology," *J. Korea Ins. Chem. Eng*., **37**(5), 759-766(1999).
16. Bilbao R., Oliva, M., Ibanez, J. C., Zapater, A., Millera, A. and Alzueta, M. U., "The Use of Urea as Selective Non-Catalytic Reduction Agent to Reduce NO_x Emissions," Proceedings of the ICCS' 97, Essen, Germany, 1863-1866(1997).
17. Alzueta, M., Bilbao, R., Millera, A., Oliva, M. and Ibanez, J. C., "Interactions Between Nitric Oxide and Urea Under Flow Reactor Conditions," *Energy & Fuels*, **12**(5), 1001-1007(1998).
18. Chang, M. B., "Low Temperature SNCR Process for NO_x Control," *The Sci. Environ*., **198**(1), 73-78(1997).
19. Rota, R. and Zanoelo, E. F., "Influence of Oxygenated Additives on the NO_xOUT Process Efficiency," *Fuel*, **82**(7), 765-770(2003).
20. Rota, R., Zanoelo, E. F., Antos, D., Morbidelli, M. and Carra, S., "Analysis of Thermal DeNO_x Process at High Partial Precess of Reactants," *Chem. Eng. Sci*., **55**(6), 1041-1051(2000).
21. Steven, S., Brown, H., Laine, B. and Crim, F. F., "The HNCO Heat of Formation and the N-H and C-H Bond Enthalpies from State Selected Photodissociation," *J. Chem. Phys*., **105**(18), 8103-8110(1996).
22. Taraneh, N. I., "Theoretical Study on the Mechanism of Removing Nitrogen Oxides Using Isocyanic Acid," MS. D. Dissertation, East Tennessee State Univ., U.S.A.(2001).
23. Mirosla, R., "Reduction of Nitrogen Oxides in Flue Gases," *Environ. Pollut*., **102**(1), 685-689(1998).
24. Per, G. K., Peter, G. D. and Kim, J., "Nitrogen Chemistry During Burnout in Fuel-Staged Combustion," *Combust. Flame*, **107**(3), 211-222(1996).
25. Peter, G., Per, G. K., Sren, H. J. and Kim, D. J., "A Flow Reactor Study of HNCO Oxidation Chemistry," *Combust. Flame*, **98**(3), 241-258(1994).
26. Zamansky, V. M., Lissianski, V. V. and Maly, P. M., "Reactions of Sodium Species in the Promoted SNCR Process," *Combust. Flame*, **117**(4), 821-830(1999).