

서울지역 대형연소시설에서의 질소산화물 배출계수 산정

조기찬 · 최종욱 · 박후경 · 유병태
서울시보건환경연구원

The Evaluation of NO_x Emission Factor from Large Combustion Facilities in Seoul

Gi Chan Cho · Jong Wook Choi · Hoo Kyung Park · Byung Tae Yoo
Seoul Metropolitan Institute of Public Health and Environment

Abstract

The emission factor of nitrogen oxides(NO_x) was evaluate to clarify the characteristics of NO_x emitted from seven large combustion facilities in seoul area. The emission factors of NO_x at A-1 and A-2 facilities of internal combustion engine were 66.957kgNO_x/ton and 20.913kgNO_x/ton, respectively. The emission factor of A-1 facility was higher than that of A-2 facility even same internal combustion engine, because A-1 facility adopted SCR(selective catalytic reactor) for reduction of NO_x. The NO_x emission factor of A-2, A-4, and A-7 power generation boiler facilities were 4.300kgNO_x/ton, 2.460kgNO_x/ton and 1.796kgNO_x/ton, respectively. The capacity of A-2 facility was about two times than that of A-4 and A-7. These emission factors were lower than those at facilities in other areas of korea, because of using low NO_x burner of power generation boiler. The emission factors of NO_x at A-3 and A-6 incinerator facilities were 0.147kgNO_x/ton and 0.221kgNO_x/ton which were lower than other facilities, respectively, because these facilities incinerate municipal solid waste of low heating value and use SCR for reducing NO_x concentration.

I. 서 론

질소산화물에는 안정한 상태인 N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₅ 등과 불안정한 상태인 NO₃가 존재하는데, 대기환경에 문제가 될 만한 양으로 존재하는 것은 NO 및 NO₂로, 통상 이들 물질을 대기오염 측면에서 질소산화물(NO_x)이라 한다¹⁾. 서울과 같은 대도시에서 특히 NO_x는 한여름의 오존발생의 원인물질 역할을 하며, 광화학 스모그와 산성비를 일으키는 원인물질로도 간주되고 있다. 질소산화물

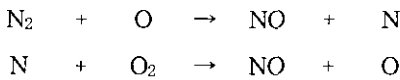
의 생성은 토양중의 세균에 의해서 생성되는 자연적인 생성과 화학물질 제조공정, 화석연료를 사용하는 내연기관 및 연소시설 등 인위적인 생성과정으로 나누어진다.

연료의 연소과정에서 배출되는 질소산화물은 기본적인 두개의 메카니즘에 의해서 이루어진다. 첫째 메카니즘인 thermal NO_x는 열해리와 더불어 연소 공기중에 있는 질소와 산소분자의 반응에 의해서 형성되는 thermal NO_x로 내연기관에서 일어나는 주된 메카니즘이다. 대부분의 thermal NO_x는

연소 공기내에서 해리된 질소 분자가 불꽃의 가장 높은 온도 부근에서 반응하여 발생된다. 두 번째 메카니즘인 fuel NOx는 연료중에 있는 질소가 산소와 반응하여 형성된다^{2, 3)}.

서울시내 연소시설에서 주로 사용하는 연료는 경유 또는 천연가스로서, 과거 질소함량이 높은 연료인 석탄과 잔류유의 경우와 비교해 볼 때 대부분 질소성분이 없기 때문에 fuel NOx는 거의 생성되지 않는다. 따라서 요즈음의 연소시설에서 주로 생성되는 대부분의 NOx는 고온 압축에 의한 thermal NOx이다⁴⁾.

NOx 생성을 설명할 수 있는 화학반응 모델이 Zeldovich⁵⁾에 의해서 개발되었는데, 이는 연소공기중에 있는 N₂와 O₂ 분자가 고온에서 열에너지를 흡수하여 원자상태인 N, O로 해리되는데 이때 thermal NOx가 형성된다. 이 반응식은 아래와 같으며 화학량비, 연소온도, 연소온도에서의 잔류시간등에 많은 영향을 받는다.



NOx와 같은 대기오염물질의 배출부하량을 산정

하기 위하여 배출계수를 정하는 것은 매우 중요하다. 배출계수란 연소나 제품생산과 같은 활동의 결과로 대기중에 배출되는 오염물질량을 그 활동의 규모에 의해 나눈 값을 말한다. 즉 연소의 경우에는 단위 연료사용량당 오염물질배출량을 의미한다^{6, 7)}.

본 조사 연구에서는 서울시 대형연소시설의 연소특성에 따른 배출원별 질소산화물 배출특성을 파악하기 위하여 배출공정에 따른 질소산화물 배출량과 방지시설별 배출특성을 조사하여 질소산화물 배출계수를 산정하였다. 산정된 질소산화물 배출계수는 배출원에 대한 대기오염방지시설을 설정하고 설계하는데 도움을 줄 수 있는 기초자료와 오염저감 계획 수립에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 조사대상 시설 및 방법

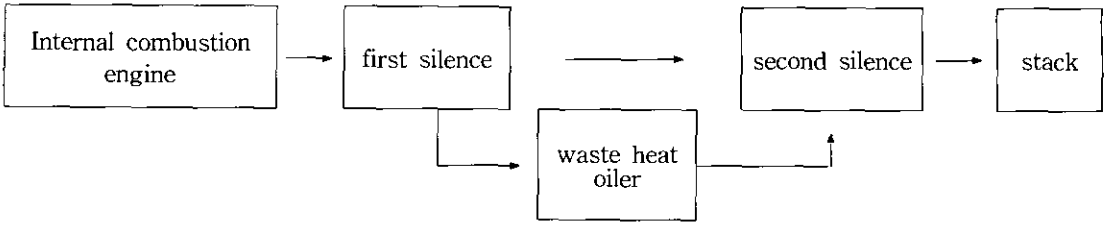
1. 조사대상 시설

질소산화물의 배출특성을 파악하기 위하여 서울시내에 소재하는 7개 대형연소시설을 선정하여 질소산화물 배출계수를 산정하였으며 그 시설별 현황은 Table 1.과 같고 각 연소시설별 질소산화물 배출 주요공정도는 Fig. 1~3과 같다.

Table 1. The status of large combustion facilities in Seoul

company	facility	capacity	fuel type
A-1	internal combustion engine	5900Kw/hr×6	LNG, disel
A-2	power generation boiler	104t/hr	LNG
A-3	incinerator	150t/d,200t/d×2	LNG, minicipal solid waste
A-4	power generation boiler	40t/hr	LNG
A-5	internal combustion engine	2100Kw/hr×3	LNG, disel
A-6	incinerator	167t/d×2	LNG, minicipal solid waste
A-7	power generation boiler	41t/hr	LNG

(A-1 facility)



(A-2 facility)

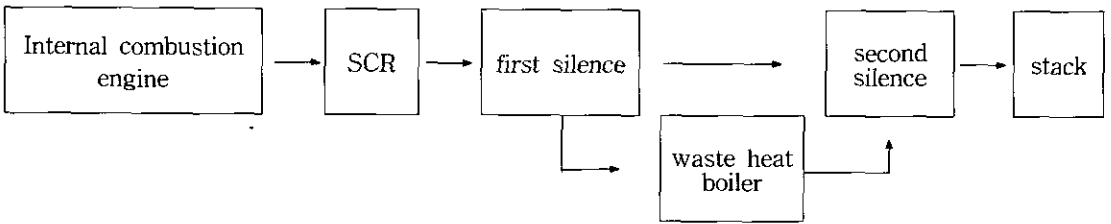


Fig 1. Procedure schematic of NOx emission at internal combustion engine

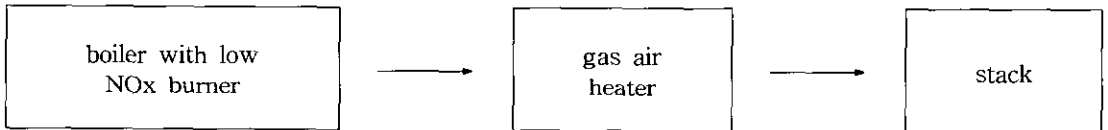
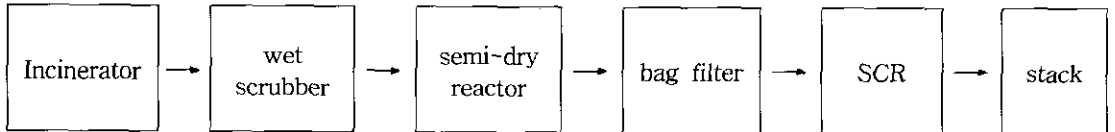


Fig 2. Procedure schematic of NOx emission at power generation boiler(A-2, A-4, A-7)

(A-3 facility)



(A-6 facility)

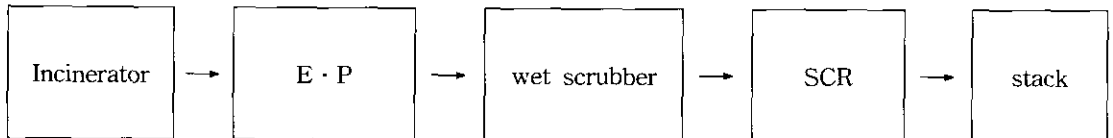


Fig 3. Procedure schematic of NOx emission at incinerator

2. 조사방법

1) NOx 측정방법

질소산화물의 측정은 전기화학적 방법으로 분석되는 Bacharach 측정기를 이용하여 7개 대형 연소시설에서 배출되는 질소산화물의 농도를 각각 5분 간격으로 총 12회를 측정하였고 더불어 배출가스 온도와 배출가스 중 산소농도는 10분 간격으로 측정하였다. 그리고 배출가스 유량은 Perflow 유량계를 이용하여 10분 간격으로 6회 측정하여 질소산화물 배출계수 산정을 위한 자료로 사용하였다. 이와 같은 방법으로 2회에 걸쳐 질소산화물 배출 농도를 측정하였다.

2) NOx 배출계수 산정

조사대상시설에 대한 질소산화물 배출공정, 사용 연료의 종류 및 양, 방지시설 등에 대한 현황조사와 주 배출원에 대한 실측조사를 동시에 실시하였다. 질소산화물 배출계수는 단위연료 사용량에 대한 질소산화물 배출량의 비와 단위 에너지량에 대한 질소산화물 배출량의 두 가지 경우로 산정하였으며 그에 따른 산출식은 아래와 같다.

① 단위연료량(ton)당 질소산화물 배출량(kg)
 [단위:kg NOx/ton]

$$\frac{\text{질소산화물농도}(\text{mg}/\text{m}^3) \times \text{배출가스 유량}(\text{m}^3/\text{hr}) \times 10^{-6}}{\text{연료사용량}(\text{ton}/\text{hr})}$$

② 단위 에너지량(Gcal)당 질소산화물 배출량(kg)
 [단위:kg NOx/Gcal]

$$\frac{\text{질소산화물농도}(\text{mg}/\text{m}^3) \times \text{배출가스 유량}(\text{m}^3/\text{hr}) \times 10^{-6}}{\text{연료의 평균 발열량}(\text{Kcal}/\text{kg}) \times \text{연료사용량}(\text{kg}/\text{hr}) \times 10^{-6}}$$

III. 결과 및 고찰

1. 질소산화물의 배출특성

서울 시내 대형연소시설에서 배출되는 질소산화물의 농도를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 2차 측정시 2개 시설은 정상가동 상태가 아닌 관계로 측정에서 제외되었다.

1차 측정시 7개업소 중 A-1, A-5에서 배출되는 질소산화물 농도가 가장 높게 나타났는데 이는 두 시설 모두 연소방식이 비교적 높은 농도의 질소산화물을 생성하는 내연기관 방식으로 타 시설의 연소방식보다 질소산화물이 많이 배출된 것으로 나타났다. 반면에 A-3, A-6시설에서 배출되는 질소산화물의 농도는 낮게 나타났는데 이는 사용 연료 일부가 생활쓰레기로서 타 연료에 비하여 발열량이 낮기 때문으로 사료된다.

A-1 시설의 1차와 2차 측정결과에 나타난 질소산화물의 농도 차이는 발전시설 6대 중 1차시에는 시설 전체가 가동된 상태였고, 2차시에는 1대만 가동된 상태에서 측정되었기 때문이다.

A-2 시설의 1차와 2차 측정결과에서 질소산화물의 농도의 차이가 많이 나는데 이는 발전시설의 부하율의 차이로 1차 측정시의 부하율이 2차 측정시 부하율의 30%에 불과하였기 때문이다.

A-5 시설의 경우 1차 측정시에는 발전시설 3대 모두가 가동된 상태에서 측정되었고 2차 측정시에는 발전시설 1대만 가동한 상태로 측정하였기 때문에 질소산화물 농도의 차이가 많았다.

2. NOx 배출계수 산정결과

각 소각시설에서 2차에 걸쳐 실시한 질소산화물

Table 2. Results of NOx measurement at large combustion facilities in Seoul

parameter		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
First	Emission Flow Rate(Sm ³ /hr)	56,419	90,798	33,279	35,967	80,477	51,577	25,781
	NOx concentration(ppm)	173	34	26	75	317	31	74
	NOx concentration(mg/m ³)	326	65	48	141	599	58	139
Second	Emission Flow Rate(Sm ³ /hr)	10,016	97,815	31,178	40,655	72,602	-	-
	NOx concentration(ppm)	72	108	47	67	113	-	-
	NOx concentration(mg/m ³)	135	203	88	126	212	-	-

Table 3. Emission factors of NO_x at large combustion facilities in Seoul

Facility		NO _x concentration (mg/m ³)	Amount of fuel (ton)	heating value (kcal/kg)	emission factor	
					kgNO _x /ton	kgNO _x /Gcal
A-1	first	599	0.060	12,799	66.957	5.231
A-2	second	203	0.385	13,125	4.300	0.328
A-3	first	48	1.160	1,339	0.120	0.086
	second	88	1.160	1,339	0.200	0.147
A-4	first	141	0.174	13,125	2.421	0.184
	second	126	0.174	13,125	2.460	0.187
A-5	first	326	0.074	12,719	20.913	1.644
A-6	first	58	0.808	1,412	0.312	0.221
A-7	first	139	0.167	13,125	1.796	0.137

측정 중 연소시설의 전 용량이 가동될 때의 질소산화물 농도와 그에 따른 연료사용량과 연료의 발열량에 의해 산정된 질소산화물 배출계수는 Table 3과 같다.

열병합 발전시설 내연기관인 A-1에서의 배출계수는 66.957kgNO_x/ton로 같은 내연기관인 A-5시설의 20.913kgNO_x/ton에 비하여 약 3배 이상 크게 나타났는데, A-5시설에서는 NO_x 배출저감을 위해 촉매장치를 부착한 원인으로 보인다. 국립환경연구원⁸⁾에서 조사한 내연기관의 평균 배출계수 27.690 kgNO_x/ton이었다. 내연기관인 A-1과 A-5시설이 다른 연소시설에 비하여 많은 질소산화물을 배출하고 있는 것으로 나타났다.

A-2, A-4 및 A-7시설은 발전보일러 시설로서, 이 중 시설용량이 2배 이상 큰 A-2 시설의 질소산화물 배출계수가 가장 높은 4.300kgNO_x/ton으로 나타났다. 이 발전보일러 시설 모두는 저 NO_x 버너를 설치하여 NO_x 저감에 이용하고 있으며, 국립환경연구원에서 조사한 평균 배출계수 5.039kg NO_x/ton보다 작게 나타났다.

소각시설인 A-3과 A-6시설은 발열량이 낮은 도시생활쓰레기를 연료로 사용하고 NO_x 배출저감을 위하여 촉매반응시설을 가동하기 때문에 총 7개 시설 중 가장 낮은 질소산화물 배출계수를 보였고, 또한 국립환경연구원의 평균 배출계수 2.973kg NO_x/ton보다도 낮은 값을 보였다. 각 연소시설의 전 용량 가동시 단위에너지 기준 한 배출계

수는 Fig. 4와 같다.

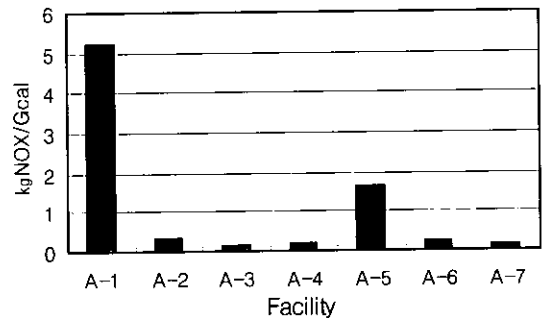


Fig. 4. Emission factors of NO_x at large combustion facilities using heating value

IV. 결론

대형연소시설에서 배출되는 질소산화물의 특성을 파악하고자 서울시내 소재 7개 대형연소시설을 선정하여 각 시설에서 발생하는 질소산화물 배출계수를 산정하였으며 그 결과는 아래와 같다.

1. 열병합발전시설인 A-1과 A-5 시설은 내연기관으로서 질소산화물의 배출계수는 각각 66.957kgNO_x/ton과 20.913kgNO_x/ton으로 A-5 시설은 NO_x 저감시설인 촉매장치가 설치되어 A-1 시설보다 훨씬 낮은 배출계수를 보였으며, 내연기관이 타 연소시설에 비하여 높은 배출계수를 보였다.

2. 발전보일러 시설인 A-2, A-4, A-7의 질소산화물 배출계수는 각각 4.300kgNO_x/ton, 2.460 kgNO_x/ton, 1.796kgNO_x/ton으로 A-2의 시설 용량이 A-4, A-7에 비해 두 배 이상 큰 시설인 관계로 배출계수가 높게 나타난 것으로 여겨지며, 타 지역 발전보일러의 평균 배출계수인 5.039kgNO_x/ton 보다 낮은 값을 보였다.
3. 생활폐기물 소각시설인 A-3과 A-6시설의 질소산화물 배출계수는 각각 0.147kgNO_x/ton, 0.221kgNO_x/ton으로 다른 연소시설보다 낮게 나타났는데 이는 소각연료의 발열량이 낮고 질소산화물의 저감을 위하여 촉매반응시설이 설치되었기 때문으로 보이며, 타 지역 생활쓰레기소각시설의 평균 배출계수인 0.341kg NO_x/ton 보다 낮게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Haggen-Smith, A. J.: Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog, Industrial and Engineering Chemistry, 44(6), June 1952.
2. U.S. EPA : AP-42, Fifth Edition, Vol. 1, 1996
3. U.S. EPA : National Air Pollution Emission Estimates, 1970-1981, EPA-450, 1982
4. Castaldini, C. : Environmental Assessment of NO_x Control on a Compression Ignition Large Bore Reciprocating Internal Combustion Engine, EPA-600/7-86/001, U.S. EPA, Washington, DC, April 1984
5. Zeldovich, J. : The Oxidation of Nitrogen in Combustion and Explosions, Acta, Physicochem., 21(4), 1946
6. 김성미 : 가정용 난방연료 연소시 가스상 물질의 배출계수 추정에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문, 1993.
7. 박덕신 : 수원지역에 적합한 분산 모델의 상대적 평가 및 배출계수에 관한 연구, 경희대 석사학위논문, 1995.
8. 국립환경연구원 : 대형 연소시설의 NO_x 배출계수 산정을 위한 공동조사, 2000.