

토양 혼합여재를 이용한 질소산화물 제거특성

조기철·신은상·황경철·조일형¹⁾·이내현²⁾·여현구³⁾
동남보건대학·¹⁾(주) 전략 환경연구소·²⁾(주) 전략 환경사업부·³⁾강원지방중소기업청

Removal Characteristics of NO_x Using a Mixed Soil-Biofilter

Ki-Chul Cho·Il-Hyoung Cho^{*1)}·Nae-Hyun Lee²⁾·Byeung-Ik Ko³⁾·Hyun-Gu Yeo⁴⁾
Dept. of Environmental Life Science, Dongnam Health college
¹⁾Institute of Strategy Environmental Research
²⁾Dept of Environmental Eng, Strategy Engineering Corporation
³⁾Kangwon Regional Small & Medium Business Administration

Abstract

As traffic in city-centre around the world continues to increase, so levels of atmospheric pollutants continue to rise. High concentrations of NO_x can have negative effects on human health, and we must find new ways to reduce their levels in the air we breathe. Nitrogen oxide gas (NO_x), consisting of nitrogen monoxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) produced using O₃ oxidation, at a low concentration corresponding to that on roads as a result of exhaust from automobiles, was carried out to evaluate the removal characteristics of NO_x through a laboratory-scale biofilter packed with soil as a packing material. A mixture media (yellow soil (30%): soil (40%): compost (10%): a used briquet (20%)) was applied. After about 1day of operation, the removal efficiency for NO₂ in all experiments with a constant condition (25℃ and water humidity (60%)) was over 98%. The retention times of the section between phase I and phase II for formation and reduction of O₃, NO and NO₂ on the initial O₃ concentration was 50min (O₃:195 ppb), 55min (O₃:925 ppb), 65min (O₃:1743 ppb), 70min (O₃:2616 ppb), 75min (O₃:3500 ppb), respectively. The soil biofilter system is a unique technology that purifies urban air by utilizing the natural processes that take place in the soil. Although some of the processes are quite complex, they can broadly be summarized as adsorption onto soil particles, dissolution into soil pore water, and biochemical.

Key words : Soil, Bio-filter. Mixture media, O₃, NO, NO₂, NO_x

*Corresponding author E-mail : ckc@dongnam.ac.kr

I. 서론

중요한 대기오염물질의 하나로 인식되고 있는 질소산화물(NOx)은 화력발전소, 제철소, 자동차 등 다양한 오염원에서 발생하고 있으며 산성비나 광화학 스모그와 같은 환경문제를 일으킨다. 이런 NOx 물질을 처리하기 위한 방법으로는 10여 년간 활발히 진행되어온 저온 플라즈마 기술(Civitano, 1993; Sathiamoorthy, 1999; Mok, 1999; Song, 1996), 플라즈마-촉매 복합 공정에 의해 NOx 제거효율을 향상시킬 수 있는 공정(Broer and Hammer, 2000; Penetrante, 1999), NOx 제거를 위한 촉매 공정의 대표적인 선택적 촉매환원법(selective catalytic reduction, SCR)(Rajanikanth and Ravi, 2001; Mok and Nam, 1999; 목영선, 2002; 한요섭, 2004) 등 다양한 방법들이 소개되었다. 하지만 저온 플라즈마 기술은 NO를 NO₂나 질산(HNO₃)으로 산화시킨 후 암모니아(NH₃)와 반응시켜 질산암모늄을 생성에 의한 반응으로 반응속도 측면에서 매우 느리고 정상적인 체류시간에서는 60~70% 이상의 NOx 저감율을 나타내기 어렵다. 또한 배기 가스를 냉각하여 반응온도를 100℃ 이하로 낮게 유지해야 하며 강한 흡수성, 폭발성 등과 같은 독특한 특성 때문에 고효율 제거에 어려운 문제를 가지고 있다. NOx 제거효율을 향상시키기 위한 방법 중 하나인 플라즈마-촉매 복합공정은 촉매의 최적 활성 온도범위가 저온 쪽으로 낮아질 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 선택적 촉매환원법(SCR)의 경우 대부분 SCR 촉매들은 300~350℃ 범위에서 최적 활성을 나타내는데 이 보다 낮은 온도에서 중요한 오염물질들이 배출될 가능성이 높고 그 이상의 온도를 유지해야 한다(Ottengraf, 1986). 따라서 이들 공정은 매우 높은 설치비, 유지비, 고농도 배출시 효율저하, 및 촉매교체 등 단점을 가지고 있다. 따라서 자연친화적인 여재를 사용하여 오염물질의 지속적처리가 가능한 기술 개발은 매우

중요한 의미를 가지게 된다. 바이오필터법은 오염된 가스를 토양이나 퇴비와 같은 생물학적 활동성이 높은 물질에 통과시키는 기술이다. 이러한 기술은 이미 산업지역이나 공공장소에서 발생하는 휘발성유기 화합물과 악취 등의 제거에 효과적인 것으로 판명되었다(Bohn, 1999; Leson and Winer, 1991). 또한, 생물학적 처리방법은 물리 화학적 처리 기술보다 자본비와 운전비가 적게 들고 2차 오염물질을 배출하지 않는 장점을 가지고 있다(김종오, 2003; Chris, 1998). Bach(1923)는 생물학적 방법으로 폐기물 처리 시설로부터 발생하는 악취 배가스의 처리에 바이오필터법 적용성에 관한 기초적인 개념을 보고하였다. 초기 바이오필터 형태는 토양층에 오염된 공기를 주입하여 토양 흡착과 토양 미생물을 이용하여 제거하는 soil bed 기술이었다. 그러나 이 방법은 여재의 막힘(clogging) 현상, 공기의 효율적인 분배의 어려움 그리고, 수분 증발 등의 문제점을 가지고 있다. 이후 1960년 초 Carlson과 Leiser에 의해 황화수소의 생물 분해에 관한 조직적인 연구가 처음으로 수행되었으며 1980년대 접어들면서 바이오필터법은 독일에서 휘발성 유기 화합물과 대기 독성 물질 처리에 이용되었다(Senior and Kasali, 1990).

이후 산업화와 자동차 증가 등으로 인해 대기중의 질소산화물의 심각성이 대두되면서 대기 중의 질소산화물을 바이오필터법을 이용하여 처리하였다(Barnes, 1995). 이러한 배경에는 바이오필터법이 대기온도 15~30℃에서도 운전 가능할 뿐만 아니라 부산물에 의한 독성 발생이 없으며 탈취 효율이 우수하고 조작성이 간편하며 가스의 부하 변동에 강하고 유지 관리비가 적게 든다는 장점을 가지고 있다. 일본의 경우 터널과 도로주변에 특수 혼합 토양을 이용하여 도입하여 터널, 도로주변 등에서 배출되는 대기오염물질을 정화하는 기술이 도입되고 있다

따라서 본 연구는 대기 중 자동차 배출가스 등에서 발생될 수 있는 질소산화물(NOx)

를 제거하기 위해 토양 혼합여재를 이용하여 토양 bio-filter의 적용가능성을 제시하고자 한다.

II. 질소산화물(NOx) 제어시나리오 및 메카니즘

본 실험의 질소산화물(NOx)에 대한 제어시나리오는 자동차의 배기가스 및 가정 내 연소기구에서 발생하는 대기오염물질 중 질소산화물은 90% 이상이 NO의 형태로 방출함에 따른 질소산화물의 효과적인 제거의 필요성에서 비롯된다. NO의 경우 매우 안정한 물질로 대기 중에서 반응이 느리며 인체에

매우 유해한 대기오염물질이다. 이러한 NO를 제거하기 위해서 오존을 이용하여 인위적으로 NO₂로 산화시키는 공정이 요구된다. NO₂로 산화된 오염물질은 여재층으로 유입되면서 일부는 여재입자에 흡착되며, 나머지는 수분에 용해되거나 미생물에 의해 식물이나 미생물의 신진대사에 이용 가능한 NO₃⁻의 형태로 전환하게 된다. NO₃⁻ 형태의 질소산화물은 식물이 흡수하여 이용하거나 미생물의 물질대사에 사용된다. 이러한 질소 대순환을 통해 질소산화물 형태의 오염물질은 오존산화와 여재층을 통과하며 여재에 흡착되거나 미생물 및 식물에 이용 된다. 아래의 Fig. 1은 본 연구에서 이용된 질소산화물 제어 시나리오 대한 생성원에서 토양흡착, 식물 및 미생물에 의한 제거 사이클을 나타낸 것이다.

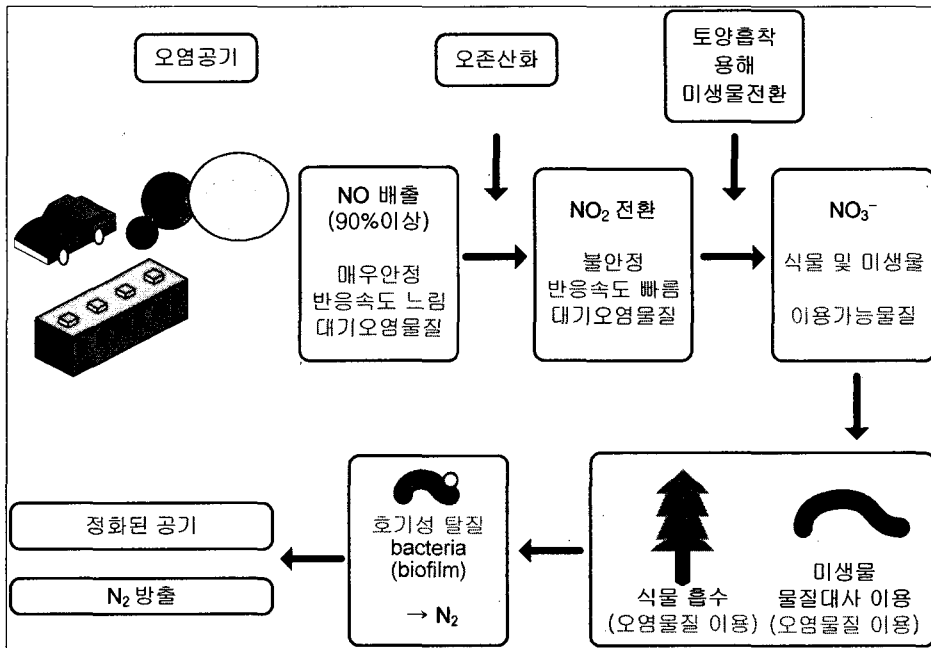


Fig. 1. The scenario of NOx cycle on the soil biofilter system.

III. 실험장치 및 방법

1. 실험장치의 구성

본 실험에 사용한 실험장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었으며, Fig. 2과 같이 실험장치는 가스공급부, 오존산화조, 혼합부(Mixer tank), 반응부, 배출가스측정부로 구성되었다. 본 연구에 사용된 NO제거용 토양 바이오필터 반응기는 내경 50mm, 높이 100mm로 제작되었다.

가스공급부인 경우 NO가스 및 희석용 air 주입이 가능하도록 장치를 구성하였다. NOx와 CO를 일정한 농도로 여재층으로 이동시키는 역할을 하며, 공급된 오염 공기는 상향류의 흐름을 갖도록 여재층의 하단으로 유입되도록 설치하였다. 오존 산화조에서는 Ozone

Generator를 사용하여 유입된 표준가스 중 NO를 NO₂로 산화하는 역할을 하며, 혼합장치 내에서 표준가스와 함께 혼합되어 바이오필터 장치로 유입되게 된다. 바이오필터에 유입되는 오염공기(표준가스) 제거에 대한 수분 함량이 미치는 영향을 평가하기 위하여 수분을 조절할 수 있는 수분 조절장치에서 수분 함량을 조절하였다. 바이오필터에 의한 오염공기(NO, NO₂)의 제거능을 살펴보기 위하여 Nitrogen Oxides Analyzer를 사용하였고 유입되는 O₃ 및 반응 후 유출되는 O₃농도를 측정하기 위하여 O₃ Analyzer를 사용하였으며, 이들 분석장치는 자동연속분석 장치로 매 5초당 분석 데이터를 전송함으로써 바이오필터 내 질소 산화물들의 거동을 모니터링 할 수 있다.

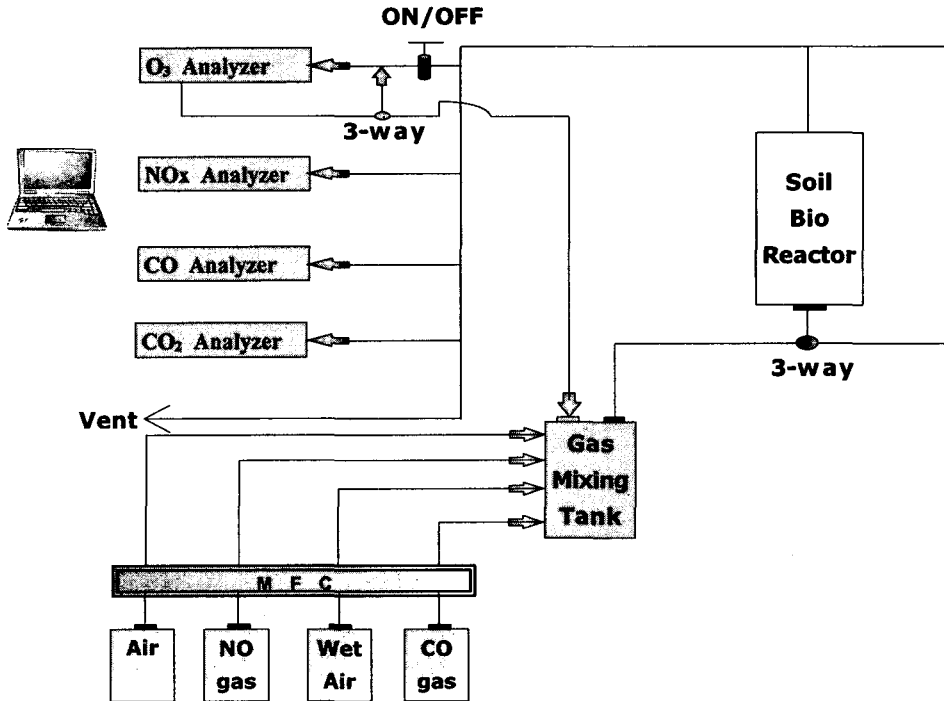


Fig. 2. The schematic diagram of experimental apparatus.

2. 실험조건 및 방법

Table 1에 본 연구에서 사용된 실험장치 내의 초기 O₃와 NO농도, 유량, 상대습도에 대한 실험조건을 나타내었다. 초기 유입 NO의 농도는 약 500ppb전후로 유지하였으며, 유입 O₃ 농도에 따른 NO 제거 및 NO₂생성을 평가하기 위해 초기 유입 O₃ 농도를 195에서 3500ppb 사이에서 여러 가지 농도로 변화시켰으며, 이때 유입되는 O₃의 유량은 1,000ml/min로 하였다. 반응기에 충전된 토양 바이오필터의 초기 수분함량은 60%로 조절하였으며, 또한 유입되는 혼합가스의 상대

습도도 60%로 유지하여 반응기에 유입시켰다.

총 부피 196cm³의 반응기에 토양 바이오필터를 충전한 후, 초기 유입되는 NO의 농도를 순수한 공기를 이용해 500ppb로 유지하는 동안 별도의 라인으로 O₃의 초기농도를 원하는 농도로 맞추어 혼합기에 유입시켜 NO와 반응하도록 한 후 반응기에 혼합가스(Air+NO gas+O₃ gas)를 유입시켜 유출되는 NO, NO₂ 및 O₃의 출구농도를 측정하여 제거 효율을 계산하였다.

Table 1. Condition of experiment.

Parameter	Condition of experiment
Initial concentration of NO(ppb)	500
Initial concentration of O ₃ (ppb)	195~1,650
O ₃ gas flow rate(mL/min)	1,000
Total flow rate[Air+NO+O ₃](mL/min)	2,700
Relative humidity(%)	60
Size of used mixture reactor(Φ×H)	50mm×100mm

3. 분석방법

주요 분석 장비는 오존 발생 및 분석 장치로 Ozone Analyzer(Model: ML 9811, Ecotech사, Australia)를 사용하였고, NO 및 NO₂의 발생량 및 제거량을 측정하기 위해 Nitrogen Oxides Analyzer(Model: EC 9841, Ecotech사, Australia)를 사용하였다. 이들 분석 장치는 자동연속분석 장치로 매 5초당 분석 데이터를 전송할 수 있으며, 측정 원리로는 NO 및 NO₂는 화학발광법을 O₃는 자외선 광도법을 적용하고 있다.

IV. 결과 및 고찰

1. 여재층의 물리 화학적 특성

여재는 크게 유기 여재와 무기 여재 그리고, 인공 여재로 구분된다. 유기 여재는 토양, 퇴비, 부엽토 등이며 많은 양의 미생물을 확

보하고 있으며, 미생물에 필요한 각종 필수영양물질을 공급하고 대기오염물질을 흡착 및 미생물 이용 등으로 제거하는 역할을 한다. 무기 여재는 화산재, 연탄재, 회분 등이 있으며 미생물 생장에 필요한 공간과 탄소원을 제공하는 역할을 하며, 유기 여재로부터 미생물이 접종된 후에는 유기 여재와 마찬가지로 미생물 이용 등의 대기오염물질을 제거하는 역할을 한다. 인공 여재는 활성탄, 펄라이트 등으로 여재층의 공극 확보와 균일한 공극 크기를 만들어 주며 밀도, 물리적 안정성, 지지력 등을 가능하게 만들어 준다. 이러한 여재를 복합적으로 구성하고 혼합하면 대기오염물질을 제거하는 최적의 여재층을 개발할 수 있다. 최적 여재층은 면적당 대기오염물질의 제거 능력이 뛰어나고, 화학적으로 안정해야 하며, pH 완충능력, 깨끗한 배수 생성, 영구적인 사용, 경제성 등을 확보해야 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에 사용된 여재는 각각 황토, 토양, 퇴비 및 연탄재를 혼합한

황토퇴연 혼합여재이다. 각 재료의 특성 측정 방법으로 함수율은 시료를 무작위로 추출하여 3개의 샘플을 건조 오븐법을 이용하여 건량기준으로 나타내었다. 각 여재의 밀도는 비이커와 전자저울을 이용하여 측정하였으며, 함수율은 시료를 무작위로 추출하여 3개의 샘플을 건조오븐법을 이용하여 건량기준으로 나타내었다. 수분보유량은 수분을 보유할 수 있는 양을 의미하며, 수분을 포화시킨 후 중력에 의하여 제거되는 것을 제외한 수분함량을 측정하였다. pH는 폐기물공정시험법에 의하여 측정하였다. 미생물은 pH의 영향을 많이 받으며, 일반적으로 중성에서 성장 및 신

진대사 활동이 활발하고 산성 및 알칼리성에서는 저해를 받는다. Leson et al(1997)에 의하면 생물여과 수행시 pH 6~8로 일정하게 유지시켜야 한다고 제안하였고, Leson and Winer(1991)는 퇴비를 매체로 이용하는 생물여과의 최적 pH는 7~8로 보고하였다. 본 연구에 사용된 여재의 pH 측정결과 토양이 5.4로 가장 낮게 측정되었으며, 퇴비가 8.8로 가장 높게 측정되었다. 혼합여재의 경우 pH는 약 6.8로 나타내었다. 운전초기 수분함량은 남궁완 등(1998, 1999)가 제안한 생물여과 운전을 위한 최적의 수분함량 조건은 60%로 유지하여 운전하였다.

Table 2. The physical and chemical characteristics of a mixed media on the soil biofilter.

Component	pH	Moisture content (wt%)	Particle density(g/cm ³)	Field Capacity (%)
Yellow soil	6.4	60%	0.90	70
Soil	5.4	60%	0.90	70
Compost	8.8	60%	0.90	70
Briquet	6.8	60%	0.90	70
Mixture media	6.5	60%	0.90	70

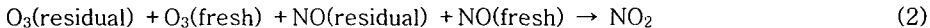
2. 질소산화물 제거율 평가

토양 bio-filter 장치는 오염된 공기를 혼합 여재층을 사용하여 정화하는 부분으로 황토, 토양, 화산재, 퇴비, 연탄재와 펄라이트를 일정 비율로 혼합하여 실험을 실시하였다. 본 실험은 동일한 조건에서 실험을 수행하였고

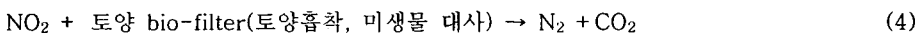
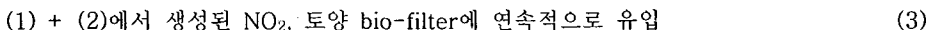
유입 오존(O₃)농도 변화에 따른 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂) 및 질소산화물(NO_x) 등 농도변화를 살펴봄으로써, 미생물에 의한 생물학적 제거 등 제거기작에 대한 규명과 동시에 물질수지를 규명하기 위한 식 (1)~(5)를 이용하여 살펴보았다.



- O₃, NO 소멸, NO₂ 생성



- (1) O₃, NO 및 잔존 O₃, NO 소멸, NO₂ 생성



실험조건은 NO 주입농도는 대략 500ppb로 고정된 후 초기 O₃ 유입농도 195~3500ppb로 주입하였으며, 이 때 NO, NO₂, O₃ 농도를

각 운전의 시작단계에서부터 측정을 시작하여 출구에서의 각 물질 농도(C₀)가 일정하게 유지될 때까지 연속적으로 5분마다 측정하였다.

Fig. 3(a)~Fig. 6(a) 및 Table 3에 나타난 바와 같이 초기 NO와 O₃에 의한 오존산화 반응에 의해 NO₂가 생성되는 단계를 1단계로 한다. 이 때 반응초기 O₃는 1단계에서 급격하게 감소되지만 NO는 2가지 패턴으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 일단 NO는 반응 초기 O₃과 마찬가지로 급격히 감소하였다가 2단계 과정을 시작하기 전까지 등온곡선을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 이는 NO가 O₃과 산화 반응 시 O₃ 농도 차이가 있겠지만 완전히 NO₂로 산화되지 못한 것으로 판단된다. O₃과 NO가 산화반응 동시에 NO₂가 급격하게 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 1단계에서 실험운전 동시에 O₃는 초기농도 195ppb에서 반응시간 10분 후 0ppb로 100%, 반응시간 50분 후 79.7%, 2단계, 반응완료 후 59.4% 감소되었고 NO는 초기농도 501ppb에서 231ppb로 약 53%로 O₃ 산화반응에 의해 감소되었다. 1단계 후 2단계 반응이 연속적으로 발생되며 이 때 O₃ 및 NO 농도는 1단

계 후 농도가 감소가 둔화되었으며 NO₂는 2단계 과정을 시작과 동시 급격하게 감소되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3(b) ~Fig. 6(b)은 O₃, NO, NO₂ 제거율 그래프로 Fig. 3(a) ~ Fig. 6(a)과 같은 패턴으로 변화되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 초기 O₃ 유입농도 195 ppb의 경우 NO₂는 1단계 오존산화에 의해 O₃ + NO→ NO₂에 의해 생성된 NO₂는 반응초기 6.7ppb에서 반응시간 50분 후 약 30.6ppb로 시간 경과에 따라 농도는 증가하였으나 반응종료 후 1.03ppb로 나타났다. 이는 O₃ 유입농도를 변화시킨 다른 실험에서도 초기 NO₂ 농도 생성 및 감소량이 다르지만 유사한 경향이 관찰되었다. 또한, 운전초기 수분함량은 60%로 유지하면서 유입된 오존농도에 따라 경과시간을 최대 1500분(25시간) 실험을 수행한 결과 이산화질소(NO₂)의 제거율은 Table 3의 모든 실험조건에서 약 99%이상 제거되었다.

Table 3. The effect of the used combination media for NOx removal according to O₃ addition concentration

Test	Component	C _i (ppb)	I Phase		II Phase	
			C _e (I) (ppb)	Removal (%)	C _e (II) (ppb)	Removal (%)
Reaction		O ₃ oxidation		Soil adsorption, Soil bio-transformation etc		
1	O ₃	195	0	100	97.8	50.2
	NO	501	344	31	233	53
	NO ₂ ^{a)}	6.78	31	-	1.03	99.4
	NOx ^{b)}	507	374	26	234	54
2	O ₃	925	0	100	116	87.5
	NO	500	271	45.9	169	66.3
	NO ₂ ^{a)}	6.61	99.23	-	1.48	98.5
	NOx ^{b)}	507	369	27	171	66.3
3	O ₃	1743	9.87	99.4	136.5	92.7
	NO	499.7	196	60.7	149	75.0
	NO ₂ ^{a)}	4.79	173	-	1.30	99.3
	NOx ^{b)}	507	369	26.9	150.7	70.1
4	O ₃	2616.20	72.82	97.20	272.65	89.58
	NO	506.84	126.88	75.00	86.07	83.02
	NO ₂ ^{a)}	4.11	247.42	-	2.42	99.02
	NOx ^{b)}	509.64	372.15	27.00	88.32	82.67
5	O ₃	3500	173	95.1	355	89.9
	NO	500	75	85	62	88
	NO ₂ ^{a)}	5.31	304	-	2.29	99.3
	NOx ^{b)}	504	376	26	64.5	87.2

a) 1단계 O₃산화 후 생성된 NO₂농도, b) NO(1단계)+NO(2단계)

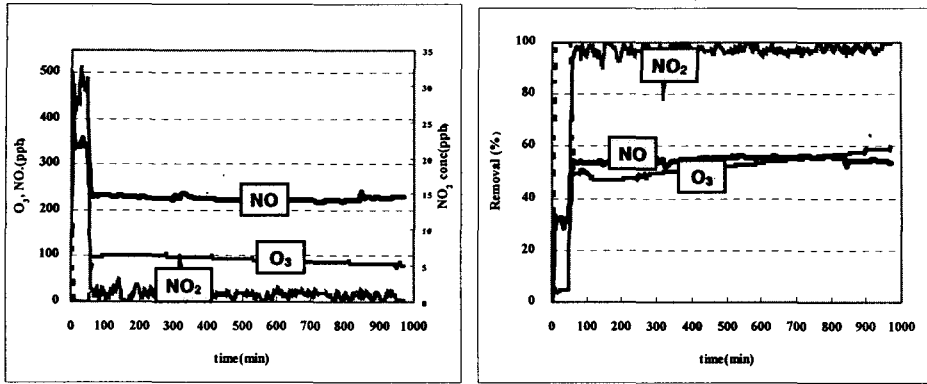


Fig. 3 The variations (a) and Plot of % of removal (b) of the concentration of O₃, NO, and NO₂ using O₃ oxidation in the 195 ppb of initial O₃ concentration.

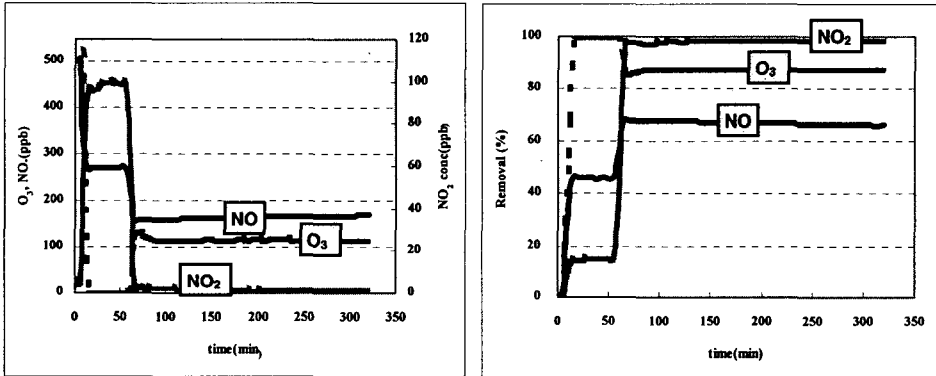


Fig. 4 The variations (a) and Plot of % of removal (b) of the concentration of O₃, NO, and NO₂ using O₃ oxidation in the 925 ppb of initial O₃ concentration.

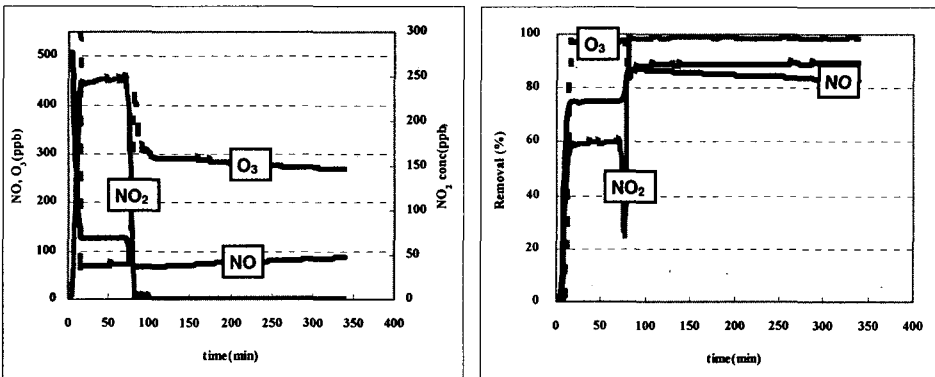


Fig. 5 The variations (a) and Plot of % of removal (b) of the concentration of O₃, NO, and NO₂ using O₃ oxidation in the 2616 ppb of initial O₃ concentration.

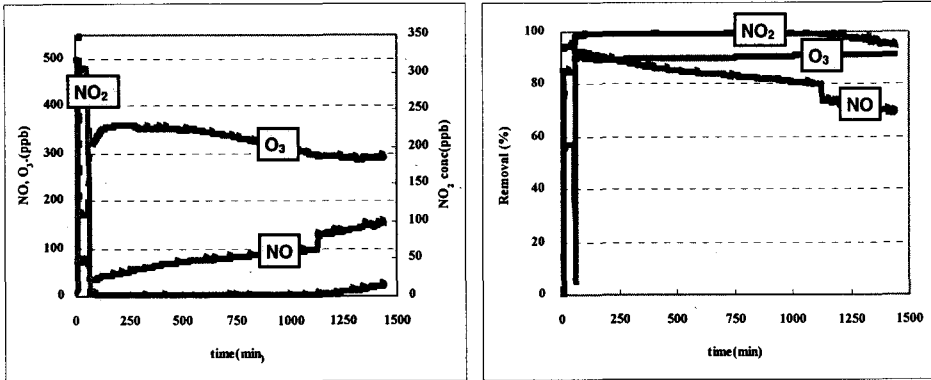


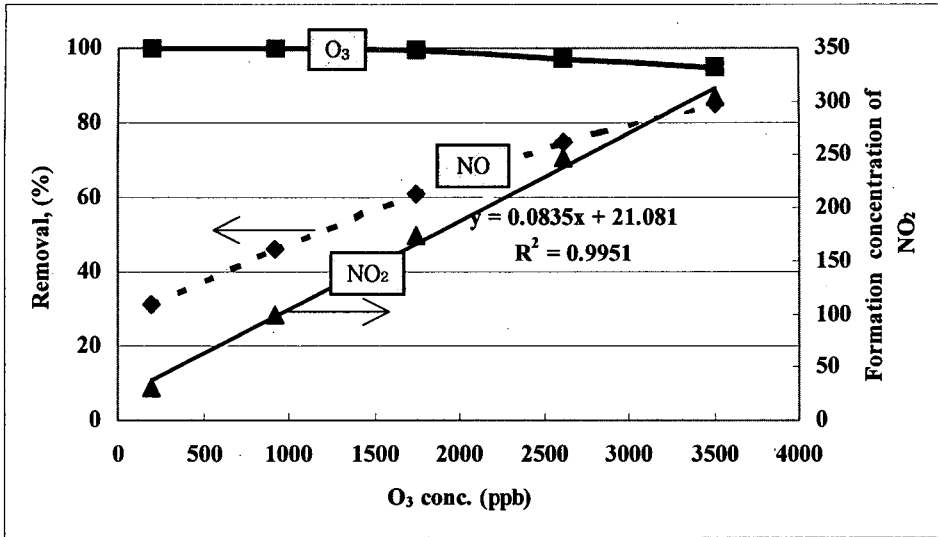
Fig. 6 The variations (a) and Plot of % of removal (b) of the concentration of O₃, NO, and NO₂ using O₃ oxidation in the 3500 ppb of initial O₃ concentration.

본 연구에서는 바이오필터 내 오염공기의 체류시간을 4초로 하였는데 이는 일반적으로 알려진 체류시간 12초에 3분의 1수준으로 이러한 조건하에서도 비교적 양호한 NO 및 NO₂ 제거효율을 얻을 수 있었고 추후 체류시간 증가시 높은 제거효율을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

3. 최적조건 확인

NO 주입농도는 대략 500ppb로 고정된 후 초기 오존 주입농도차이에 따라서 오존산화구간인 1단계에서 바이오필터에 의한 반응구간인 2단계로 전환되는 구간별 체류시간은 대략 50분(초기O₃:195ppb), 55분(초기O₃:925ppb), 65분(초기O₃:1743ppb), 70분(초기O₃:2616ppb), 75분(초기O₃:3500ppb)로 농도 증가함에 따라 1단계 체류시간이 증가함을 확인할 수 있었다. Fig. 7에서 오존 농도에 따른 이산화질소의 생성량은 1차 회귀식 $y = -0.0835x + 21.081$, 결정계수(R^2)=0.99의 높은 상관관계를 갖는 것으로 확인되었다. 회귀식에 얻어진 결과로부터 투입된 O₃ 및 NO 농도에 대한 1차적인 오존산화에 의해 이산화질소(NO₂) 및 일산화질소(NO)가 산화반응에 의해 제거가 일어난다. 또한 2단계 바이오필터로 연속적으로 유입된 이산화질소(NO₂)는 토양 흡착(soil adsorption), 생물·화학적 변형

(biochemical transformation) 등에 의해 제거되고 최종산물인 N₂로 방출됨을 간접적으로 확인 할 수 있었다. Fig. 8에 NO 제거를 위해 O₃ 산화반응이 일어나는 1단계에서 O₃ 산화반응에 의한 NO 제거율을 주입 O₃ 농도에 따라 나타내었고, 또한 여분의 NO가 제거되는 2단계 반응, 즉 토양 바이오필터에 의해 제거된 최종 총 NO 제거율을 나타내었다. 1단계 O₃산화반응에 의한 NO 제거율은 주입되는 오존 농도에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있고, 2단계 토양 바이오필터에 의한 NO의 제거는 주입되는 O₃ 농도가 증가할수록 완만하게 이루어지는 것을 알 수 있다. 본 연구시스템에서는 Fig. 8의 결과로부터 주입되는 O₃ 농도를 3500ppb 이상으로 하는 것은 더 이상의 의미가 없음을 알 수 있으며, 이러한 결과로부터 최적 반응 시스템을 도출 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 상기 연구결과로부터 본 연구에서 이용된 질소산화물 제어 시나리오의 규명과 동시에 물질수지의 체계적 연구를 위하여 차후 다양한 토양조건(토양두께, 수분함량, pH, 미생물 주입, 식물식재 등) 변화에 따른 질소산화물 최대생성량 및 제거율 및 토양에 의한 흡착, 토양 미생물에 의한 생물학적 제거 등 제거기작에 대한 규명을 위한 추가실험을 수행할 예정이다.



Fig

7. Plot of % of removal of O₃, NO, and formation concentration of NO₂

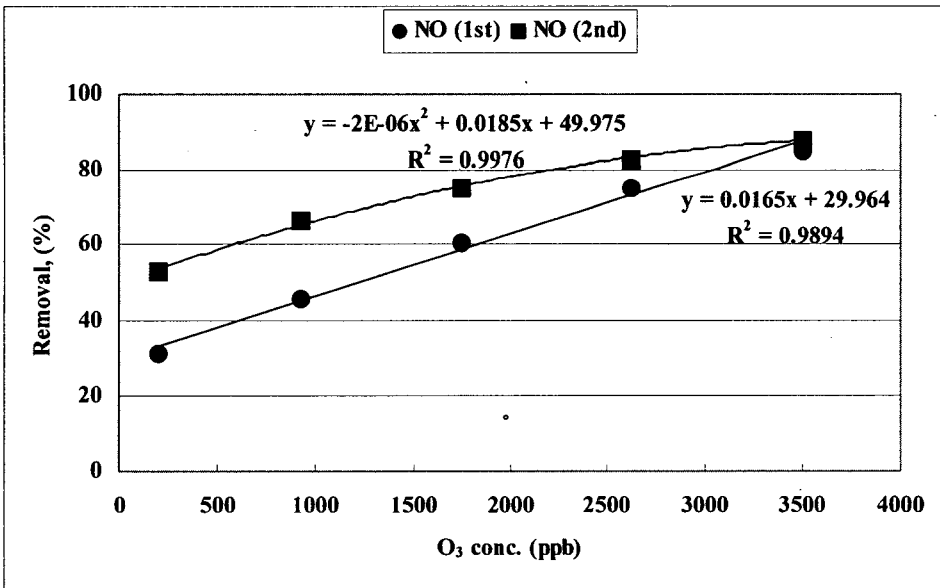


Fig. 8. Plot of % of removal of NO on 1st phase and 2nd phase

5. 결론

본 연구는 경제적이고 효율적인 토양 생물여과 기술의 적용 가능성을 제시하고자 1

단계 산화장치인 오존농도 195~3500ppb와 일산화질소 501~500ppb 범위 내에 혼합 유입시켜 발생된 NO₂를 혼합여체에 의해 제거되는 특성 연구를 수행하여 최적조건을 확립하고자 하였다. 운전초기 수분함량은 60%로

유지하면서 유입된 오존농도에 따라 경과시간을 최대 1500분(25시간) 실험을 수행한 결과 이산화질소(NO₂)의 제거율은 약 98%이상 제거되었으며, 초기 오존 주입농도차이에 따른 1단계에서 2단계로 전환되는 구간별 체류시간은 대략 50분(O₃:195ppb), 55분(O₃:925ppb), 65분(O₃:1743ppb), 70분(O₃:2616ppb), 75분(O₃:3500ppb)으로 초기 오존 주입농도 증가함에 따라 1단계 체류시간이 증가함을 확인하였다. 또한 1단계 오존산화에 의해 이산화질소(NO₂) 및 일산화질소(NO)가 산화반응에 의해 제거가 동시에 일어남에 따라서 일산화질소 제거량 및 이산화질소 생성량은 증가하지만 오존 제거량은 감소하는 결과를 확인할 수 있었으며, 오존산화 및 토양필터에 의한 일산화질소의 제거율은 99%이상으로 높은 제거율을 보였다.

참고문헌

1. 김종오, 이우범 (2003) 바이오 필터에 의한 벤젠과 에틸렌 처리실험에 대한 고찰, 한국대기환경학회지, 19(3), 325-331.
2. 남궁완, 박준선, 석철영, 이철효 (1998) 생물탈취상 재료로서의 매립지 복토와 퇴비가 황화수소 제거효율에 미치는 영향, 한국폐기물학회지, 15(6), 583-591.
3. 남궁완, 박준석 (1999) 퇴비를 이용한 가솔린 오염 토양증기추출 배가스의 바이오필터 처리, 한국토양환경학회, 4(3), 19-27.
4. 목용선, 강호철, 임성대, 남인식 (2002) 유전체 방전 플라즈마와 촉매 복합공정을 이용한 질소산화물 저감 연구, 대한환경공학회지 24(12), 2063 ~ 2073.
5. Bach, H. Schwegel im Abwasser. Gesund.-Ing. 1923, 46, 370.
6. Broer. S and Hammer. T (2000) Selective catalytic reduction of nitrogen oxides by combining a Nitrogen oxides by combining a Non-Thermal Plasma and a V₂O₅-WO₃/TiO₂ catalyst, Appl. Catal. B: Environ. 28, 101~111
7. Chris A. du Plessis, Kerry A. Kinney, Edward D. Schroeder, Daniel P. Y. Chang, Kate M. Scow (1998) enitrication and Nitric Oxide Reduction in an Aerobic Toluene-Treating Biofilter, Biotechnology and Bioengineering, 58(4), 408~415.
8. Carlson, D.A and Leiser, C.P. 1996. Soil beds for the control of sewage odors, Journal of the Water Pollution Control Association, 38(5): 829~840. 1966.
9. Civitano, L. (1993) Industrial application of pulsed corona processing to flue gas, non-thermal plasma techniques for pollution control, NATO ASI Series, 34, Part B, springer-verlag, berline, germany, 103-130.
10. Leson, G, and A.M. Winer (1991) Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions, AWMA, 41.
11. Barends., H.L. and K.H. Bohn (1999) Moisture in biofilters, Environmental Progress, 18(3), 156
12. Leson, G, and Smith, B.J (1997) Petroleum Environmental Research Forum Field Study on Biofilters for Control of Volatile Hydrocarbons, Env. Eng, 123(6), 556~562.
13. Mok. Y.S, and Nam. I. (1999) Positive Pulsed·corona discharge process for simultaneous removal of SO₂ and NO_x from Iron-Ore sintering Flue Gas, IEEE Trans. Plasma Sci, 27(4), 1188~1196.
14. Mok, Y.S and Nam, I (1999) Removal of nitric oxide in a Pulsed corona discharge reactor, Chem, Eng, Technol, 22(6), 527~532.
15. Ottengraf, s.p.p. (1986) Exhaust gas purification. Biotechnology. Rehm, H.-J., Redd, G. Edition, VCH, Weinheim. 8.

16. Penetrante, B. M, Brusasco, R.M, Merritt. B.T, and Vogtlin. G.E, (1999) Environmental Applications of low temperature plasmas, *Pure Appl. Chem*, 71(10), 1829~1835(1999)
17. Rajanikanth. B.S, and Ravi. V. (2001) Removal of NOx from diesel engine exhaust using pulsed electric discharge coupled with a catalytic reactor, 12th Int. Symp. High Voltage Eng., Bangalore, India, 1283~1286.
18. Sathiamoorthy, G. Shimizu, K. Charkrabarti, A. Dascalescu, L. and Furutu, S, (1999) chemical reaction kinetics and reactor modeling of NOx removal in a Pulsed streamer corona discharge reactor, *Ind. Eng. Chem., Res*, 38, 1844~1855.
19. Song. Y, Choi. Y, Kim. H, Shin. W, Keel. S, Chung. S, Choi. K, Choi. H, Kim. S and Chang. K (1996) An experimental study of power saving technique in non-thermal plasma DeSO₂/DeNOx process, *J. Korea. Air. Pollut. Res. Assoc*, 12, 487~494.
20. Senior E., Kasali G.B. (1990) *Landfill Gas in Microbiology of Landfill Sites* edited by Senior E. CRC Press Inc., 113 ~158