

## 토양 Bio-Filter를 이용한 질소산화물 제거특성

조기철·고병익·이내현\*·조일형\*\*  
동남보건대학 환경생명과학과, \*환경관리공단 토양지하수사업처,  
\*\*한국환경종합연구소 환경사업팀, \*\*\*경기지방공사 광고사업처  
(2005년 9월 29일 접수; 2005년 12월 4일 채택)

## Removal Characteristics of NOx Using a Soil-Biofilter

Ki-Chul Cho, Byeung-Ik Ko\*, Nae-Hyun Lee\*\* and Il-Hyoung Cho\*\*\*

Department of Environmental & Science, Dongnam Health college, Suwon 440-714, Korea

\*Environmental Management Corporation, Incheon 404-708, Korea

\*\*Korea Environmental-Technology Consulting Hotline, Ansan 426-857, Korea

\*\*\*Gyeonggi Innovation Corporation, Suwon 441-836, Korea

(Manuscript received 29 September, 2005; accepted 4 December, 2005)

Soil biofiltration is an environmentally-sound technology for elimination of VOCs, odorous and NOx compounds from a low concentration, high volume waste gas streams because of its simplicity and cost-effectiveness. This study was performed to evaluate effect of removal of gaseous NOx using a soil and a yellow soil. Over 60% and 48% of NOx from a soil and a yellow soil was removed at the inlet NO concentrations of 423~ 451ppb, respectively. The bio-filter using a soil media was capable of purifying NOx with a different natural processes. Although some of the processes are quite complex, they can broadly be summarized as adsorption into soil pore water, and biochemical transformations by soil bacteria. When the filtration bio-reactor was applied to a soil and a yellow soil, effective NOx removal was obtained for several times and months. These results show that a soil biofilter can be of use as an alternative advanced NOx treatment system.

Key Words : Bio-filter, Soil, Yellow soil, NOx

### 1. 서론

대기중에 배출되는 중요한 대기오염물질의 하나로 인식되고 있는 질소산화물(NOx)은 화력발전소, 제철소, 자동차 등 다양한 오염원에서 발생하고 있으며 산성비나 광화학 스모그와 같은 환경문제를 일으키는 것으로 알려져 있다. 이런 NOx 물질을 처리하기 위한 연구들이 10여 년간 활발히 진행되어 왔으며, 그 중 저온 플라즈마 기술<sup>1~4)</sup>, 플라즈마-촉매 복합 공정에 의해 NOx 제거공정<sup>5,6)</sup>, NOx 제거를 위한 촉매 공정인 선택적 촉매환원법(selective catalytic reduction, SCR)<sup>7~9)</sup> 등 다양한 방법들이 소개되었다. 하지만 저온 플라즈마 기술은 NO를 NO<sub>2</sub>

나 질산(HNO<sub>3</sub>)으로 산화시킨 후 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 반응시켜 질산암모늄을 생성에 의한 반응으로 반응 속도 측면에서 매우 느리고 정상적인 체류시간에서 60~70% 이상의 NOx 저감율을 나타내기 어렵고 배기가스를 냉각하여 반응온도를 100℃ 이하로 낮게 유지해야 하며 강한 흡수성, 폭발성 등과 같은 독특한 특성 때문에 고효율로 응집하기 곤란한 점이 있다. 또한 NOx 제거효율을 향상시키기 위한 방법 중 하나인 플라즈마-촉매 복합공정은 잠재적으로 촉매의 최적 활성 온도범위가 저온 쪽으로 낮아질 수 있는 가능성이 있다. 선택적 촉매환원법(SCR)의 경우 대부분 SCR 촉매들은 300~350℃ 범위에서 최적 활성을 나타내는데 이 보다 낮은 온도에서 중요한 오염물질들이 배출될 가능성 때문에 그 이상의 온도를 유지해야 하는 운전상 어려움이 있다<sup>10)</sup>. 따라서 이들 공정은 매우 높은 설치비, 유지비, 고농도 시 효율저하 및 촉매교체 등의 단점을 가지고 있

Corresponding Author : Il-Hyoung Cho, Gyeonggi Innovation Corporation, Suwon 441-836, Korea  
Phone: +82-31-220-3186  
E-mail: choih73@snu.ac.kr

으므로 자연친화적인 여재를 사용하여 오염물질의 지속적처리가 가능한 기술 개발은 매우 중요한 의미를 가지게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 바이오필터를 활용하는 방안이 대두되고 있는 실정이다.

악취처리를 목적으로 하여 발전되어 오기 시작한 바이오필터 기술은 오늘날 매립지가스, 각종 산업공정에서 발생하는 악취 및 휘발성 유기화합물, 그리고 오염토양의 가스추출처리 시 발생하는 배가스 등의 처리에까지 폭넓게 이용되고 있다. 바이오필터법은 오염된 가스를 토양이나 퇴비와 같은 생물학적 활동성이 높은 물질에 통과시키는 기술로써 이미 산업지역이나 공공장소에서 발생하는 휘발성 유기 화합물과 악취 등의 제거에 효과적인 것으로 판명되었다<sup>11)</sup>. 또한, 생물학적 처리방법은 물리 화학적 처리 기술보다 자본비와 운전비가 적게 들고 2차 오염물질을 배출하지 않는 장점을 가지고 있다<sup>12,13)</sup>. Chris<sup>13)</sup> 등은 생물학적 방법을 이용하여 폐기물 처리 시설로부터 발생하는 악취의 처리를 위한 바이오필터법 적용성에 관한 기초적인 개념을 보고하였다<sup>13)</sup>. 초기 바이오필터법의 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 Leiser<sup>14)</sup>에 의해 황화수소의 생물 분해에 관한 조직적인 연구가 처음으로 수행되었으며 1980년대 접어들면서 바이오필터법은 독일에서 휘발성 유기화합물과 대기 독성 물질 처리에 이용되었다<sup>15)</sup>.

이후 산업화와 자동차 증가 등으로 인해 대기중의 질소산화물의 심각성이 대두되면서 대기 중의 질소산화물을 바이오필터법을 이용하여 처리하였다. 바이오필터법은 대기온도가 15-30℃에서도 운전 가능할 뿐만 아니라 부산물에 의해 독성 발생이 존재하지 않으며 탈취 효율이 우수하고 조작이 간편하며 가스의 부하 변동에 강하고 유지 관리비가 적게 든다는 장점을 가지고 있으며, 일본의 경우 터널과 도로주변에 특수 혼합 토양을 이용한 EAP system을 도입하여 터널, 도로주변 등에서 배출되는 대기 오염물질을 정화하는 기술이 도입되었다.

본 연구에서는 토양바이오필터를 이용하여 자동차 배출가스 등에서 발생될 수 있는 대기중 질소산화물(NOx)을 제거특성에 관한 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 질소산화물(NOx) 제어 시나리오 및 메카니즘

본 실험의 질소산화물(NOx)에 대한 제어 시나리

오는 자동차의 배기가스 및 가정 내 연소기구에서 발생하는 대기오염물질 중 질소산화물은 90% 이상이 NO 형태의 방출에 따른 질소산화물의 효과적인 제거의 필요성에서 비롯된다. NO의 경우 매우 안정한 물질로 대기 중에서 반응이 느리며 인체에 매우 유해한 대기오염물질로 알려져 있다. 이러한 NO를 제거하기 위해서 오존을 이용하여 인위적으로 NO<sub>2</sub>로 산화시키는 공정이 요구되며, 인위적으로 산화된 NO<sub>2</sub>는 여재층으로 유입되면서 일부는 여재입자에 흡착하게 된다. 또한 흡착되지 않은 NO<sub>2</sub>는 수분에 용해되거나 미생물에 의해 식물이나 미생물의 신진대사에 이용 가능한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 형태로 전환하게 되며, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 형태의 질소산화물은 식물이 흡수하여 이용하거나 미생물의 물질대사에 사용된다. 이러한 질소대순환을 통하여 질소산화물 형태의 오염물질은 오존산화와 여재층을 통과하게되며 여재에 흡착되거나 미생물 및 식물에 이용 된다. 아래의 Fig. 1은 본 연구에서 이용된 질소산화물 제어 시나리오에 대한 생성원에서 토양흡착, 식물 및 미생물에 의한 제거 사이클을 나타낸 것이다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1. 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, 흡입된 오염된 공기는 상향류의 흐름을 갖도록 여재층의 하단으로 유입되도록 설치하였다. 오존 산화조에서는 Ozone Generator를 사용하여 유입된 표준가스 중 NO를 NO<sub>2</sub>로 산화하는 역할을 하며, 혼합장치 내에서 표준가스와 함께 혼합되어 바이오필터 장치로 유입되게 된다. 바이오필터에 유입되는 오염 공기(표준가스) 제거에 대한 수분함량이 미치는 영향을 평가하기 위하여 수분을 조절할 수 있는 수분 조절장치에서 수분함량을 조절하였다. 바이오필터에 의한 오염공기(NO, NO<sub>2</sub>)의 제거능을 살펴보기 위하여 Nitrogen Oxides Analyzer를 사용하였고 유입되는 O<sub>3</sub> 및 반응 후 유출되는 O<sub>3</sub>농도를 측정하기 위하여 O<sub>3</sub> Analyzer를 사용하였으며, 이들 분석장치는 자동연속분석 장치로 매 5초당 분석 데이터를 전송함으로써 바이오필터 내 질소 산화물들의 거동을

토양 Bio-Filter를 이용한 질소산화물 제거특성

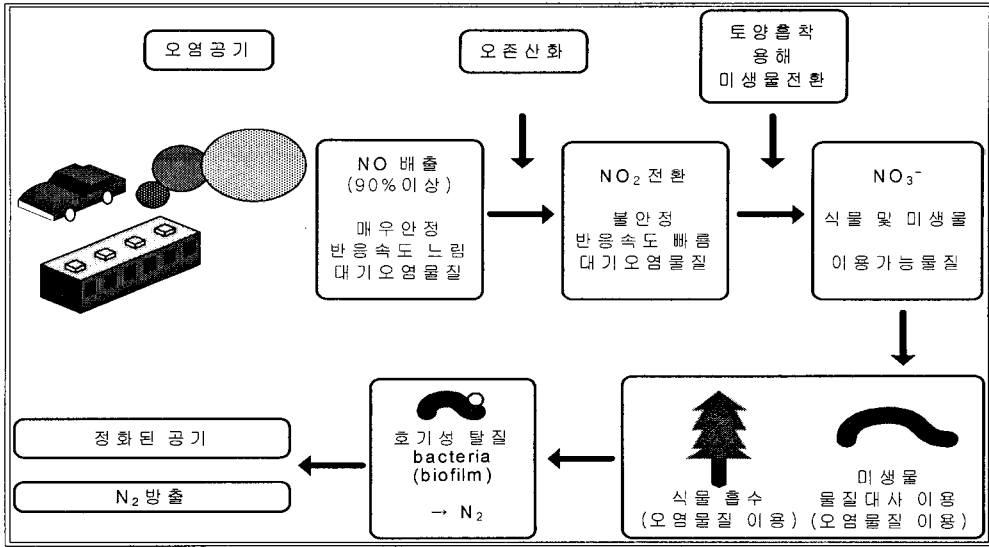


Fig. 1. The scenario of NOx cycle in this process.

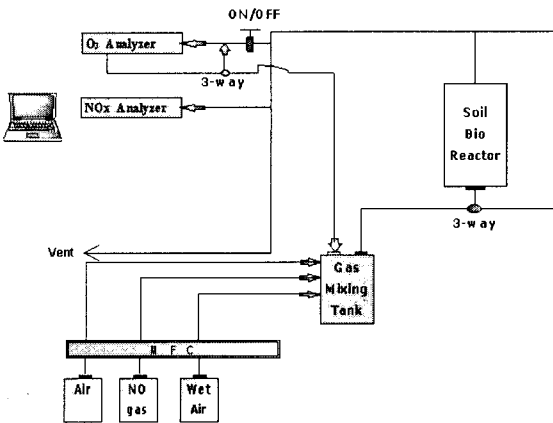


Fig. 2. The schematic diagram of experimental apparatus.

모니터링 할 수 있다.

3.2. 실험조건 및 방법

Table 1에 본 연구에서 사용된 실험장치 내의 초기 O<sub>3</sub>와 NO농도, 유량, 상대습도에 대한 실험조건을 나타내었다. 초기 유입 NO의 농도는 약 500ppb 전후로 유지하였으며, NO가스의 산화를 위해 유입되는 초기 O<sub>3</sub>의 농도는 1,650ppb로 고정하고 이때 유입되는 O<sub>3</sub>의 유량은 1,000ml/min로 하였다. 반응기에 충전된 토양 바이오필터의 초기 수분함량은 60%로 조절하였으며, 또한 유입되는 혼합가스의 상대습도도 60%로 유지하여 반응기에 유입시켰다.

총부피 196cm<sup>3</sup>의 반응기에 토양 바이오필터를 충전한 후, 초기 유입되는 NO의 농도를 순수한 공기

Table 1. Condition of experiment

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

를 이용해 500ppb로 유지하는 동안 별도의 라인으로 O<sub>3</sub> 유입농도를 1,650ppb로 맞추어 혼합기에 유입시켜 NO와 반응하도록 한 후 반응기에 혼합가스(Air+NO gas+O<sub>3</sub> gas)를 유입시켜 유출되는 NO, NO<sub>2</sub> 및 O<sub>3</sub>의 출구농도를 측정하여 제거효율을 계산하였다.

3.3. 분석방법

주요 분석 장비는 오존 발생 및 분석 장치로 Ozone Analyzer(Model: ML 9811, Ecotech사, Australia)를 사용하였고, NO 및 NO<sub>2</sub>의 발생량 및 제거량을 측정하기 위해 Nitrogen Oxides Analyzer(Model: EC 9841, Ecotech사, Australia)를 사용하였다. 이들 분석장치는 자동연속분석 장치로 매 5초당 분석 데이터를 전송할 수 있으며, 측정원리로는 NO 및 NO<sub>2</sub>는 화학발광법을 O<sub>3</sub>는 자외선광도법을 적용하고 있다. 또한 실험은 2005. 6월부터 2005. 10월까지 수행하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. 토양필터에 의한 질소산화물 제거

순수 토양에 의한 배가스중 질소산화물(NO, NO<sub>2</sub>) 제거능을 평가하기 위해 반응기내 온도를 상온, 토양 수분함량 60%로 고정 후 실험을 실시하였으며, Table 2은 사용된 토양의 물리·화학적 특성으로 토양의 수분보유능력, pH, 입자 밀도 등을 나타낸 것이다. Table 2.에서 보는 각 재료의 특성 측정방법으로는 산물밀도는 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.

실험조건은 초기 공기 유입속도 640mL/min, NO 60mL/min 및 O<sub>3</sub> 1000mL/min로 또한 유지시켰다. 이 때 NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 농도를 각 운전의 시작단계에서부터 측정을 시작하여 출구에서의 각 물질 농도(C<sub>0</sub>)가 유입구에서의 농도(C<sub>i</sub>)에 거의 도달할 때까지 연속적으로 5분마다 측정하였다. Fig. 3(a) 및 (b)에 나타난 바와 같이 초기 NO와 O<sub>3</sub>에 의해 오존산화 반응에 의해 NO<sub>2</sub>가 생성되었다. 실험운전 동시에 O<sub>3</sub>는 초기농도 1650ppb에서 반응시간 10분 후 870ppb로 약 47%, 반응완료 후 81.6% 감소되었고 NO는 초기농도 451ppb에서 86ppb로 약 81%로 O<sub>3</sub> 산화반응에 의해 감소되었다. 이와 동시에 오존산화에 의해 O<sub>3</sub> + NO → NO<sub>2</sub>에 의해 생성된 NO<sub>2</sub>는 반응초기 7.8ppb에서 시간 경과에 따라 농도는 증가하여 반응종료 후 112ppb로 나타났다. 이 때 O<sub>3</sub>와 NO는 반응초기에 매우 급격한 반응이 일어나고 10분 후부터 농도가 급격히 떨어지는 현상을 관찰할 수 있었지만 NO<sub>2</sub>의 농도는 시간경과에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있었고 또한 Fig. 3(b)에서 질소발생량(NO<sub>2</sub>/NO<sub>2initial</sub>)은 2차 회귀식  $y = -2 \times 10^{-6}x^2 + 0.0105x + 4.3$ , 결정계수(R<sup>2</sup>)=0.97의 높은 상관을 가지며 증가하는 현상을 확인할 수 있었다. 1차적으로 오존산화에 의해 오존(O<sub>3</sub>) 및 일산화질소(NO)가 산화반응에 의해 제거되어 동시에 발생된 이산화질소

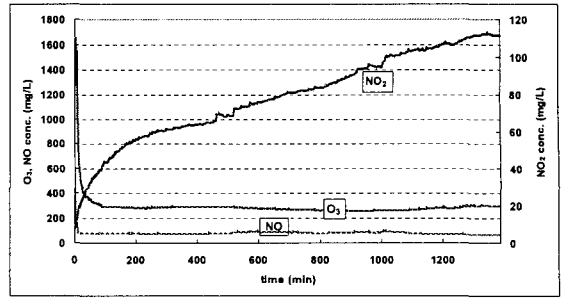


Fig. 3(a). The variations of the concentration of O<sub>3</sub>, NO, and NO<sub>2</sub> using O<sub>3</sub> oxidation (1 stage) and soil bio-filter (2 stage).

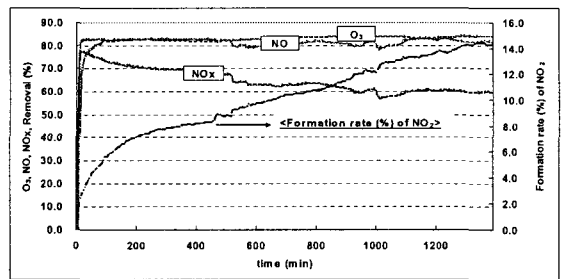


Fig. 3(b). Removal of O<sub>3</sub>, NO, and NO<sub>2</sub> using O<sub>3</sub> oxidation (1 stage) and soil bio-filter (2 stage).

(NO<sub>2</sub>)는 연속적으로 수분함량 60%를 함유한 순수 토양에 의해 토양흡착(soil adsorption), 생물·화학적 변형(biochemical transformation)에 의해 제거되고 최종산물인 N<sub>2</sub>로 방출하게 된다. 이 때 연속적인 반응에 의해 감소 및 생성된 질소산화물(NOx) 중 이산화질소(NO<sub>2</sub>)가 연속적으로 시간경과에 따라 농도가 증가되고 곧바로 토양필터에 주입하기 때문에 오존산화 및 토양필터에 의해 제거율은 Fig. 3(b)처럼 시간경과에 따라 제거율이 둔화되면서 약 60%가 제거되는 것을 확인할 수 있었다.

##### 4.2. 순수 황토에 의한 질소산화물 제거

순수 황토(yellow soil)에 배가스 중 질소산화물(NO, NO<sub>2</sub>) 제거능을 평가하기 위해 반응기내 온도를 상온, 토양 수분함량 60%로 고정 후 실험을 실시하였으며, Table 3은 사용된 토양의 물리·화학적 특성으로 토양의 수분보유량, pH, 입자 밀도, 수분함량 등을 나타낸 것이다.

실험조건은 앞서 설명한 순수토양 실험과 동일한 조건에서 이루어졌다. Fig. 4(a) 및 (b)에서 동시에 O<sub>3</sub>는 초기농도 1610ppb에서 반응시간 10분 후 517ppb로 약 67.8%, 반응 완료 후 91.7% 감소되었고 NO는 초기농도 423ppb에서 97ppb로 약 77%로 O<sub>3</sub> 산화반응에 의해 감소되었다. 이와 동시에 오존

Table 2. Physical properties of soil

| Parameter                            | Condition of experiment |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Field Capacity (%)                   | 70                      |
| pH                                   | 5.4                     |
| Particle density(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.90                    |
| Moisture content(wt%)                | 60                      |
| Particle size(mm)                    | 2                       |

Table 3. Physical properties of soil

| Parameter                            | Condition of experiment |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Field Capacity (%)                   | 68                      |
| pH                                   | 5.4                     |
| Particle density(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.90                    |
| Moisture content(wt%)                | 60                      |
| Particle size(mm)                    | 2                       |

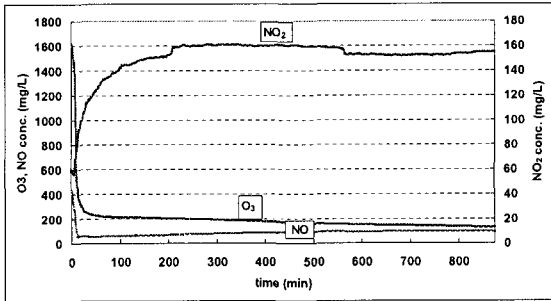


Fig. 4(a). The variations of the concentration of O<sub>3</sub>, NO, and NO<sub>2</sub> using O<sub>3</sub> oxidation (1 stage) and yellow soil bio-filter (2 stage).

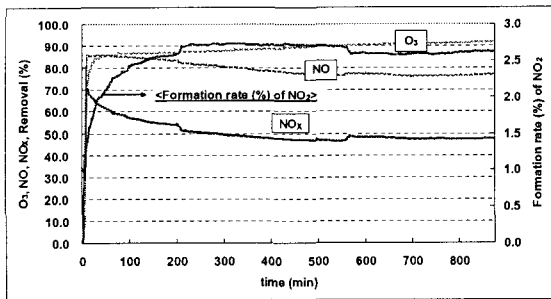
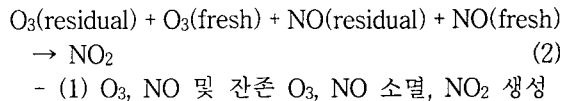
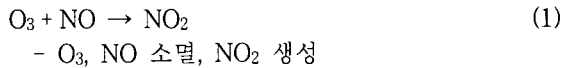


Fig. 4(b). Removal of O<sub>3</sub>, NO, and NO<sub>2</sub> using O<sub>3</sub> oxidation (1 stage) and yellow soil bio-filter (2 stage).

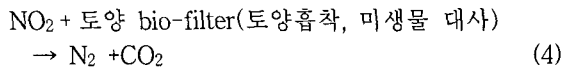
산화에 의해 O<sub>3</sub> + NO → NO<sub>2</sub>에 의해 생성된 NO<sub>2</sub>는 반응초기 58.9ppb에서 시간 경과에 따라 농도는 증가하여 반응종료 후 155ppb로 나타났다. 이 때 O<sub>3</sub>와 NO는 순수 토양과 같이 반응초기에 매우 급격한 반응이 일어나고 10분 후부터 농도가 급격히 떨어지는 현상을 관찰할 수 있었다. 다만 NO<sub>2</sub>의 농도는 200분까지 증가하다가 농도가 증가량이 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. 최종적으로 연속적인 오존 산화 및 토양여재에 의해 질소산화물(NO<sub>x</sub>)은 순수 토양처럼 유사한 패턴으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 때 질소산화물의 제거율은 반응종료 후 47.8%로 나타났다.

4.3. 토양과 황토의 비교

토양 bio-filter 장치는 오염된 공기를 혼합 여재를 사용하여 정화하는 부분으로 토양, 화산재, 연탄재, 퇴비와 펄라이트를 일정 비율로 혼합하여 다양한 조건으로 실험이 가능하다. 본 실험에서 질소산화물 제거 메커니즘은 Fig. 1에 제시된 것처럼 메커니즘이 복잡하나 요약한다면 첫 째 토양 입자에 의한 흡착(adsorption), 둘째 토양 기공에 존재하는 수분에 의해 흡수되어 용해(dissolution) 작용, 마지막으로 토양 박테리아에 의한 생화학적 변형(biochemical transformation)에 의해 제거된다고 보고하였다<sup>16)</sup>. 따라서 상기 제거기작에 따라 순수 토양과 순수 황토를 가지고 동일한 조건에서 실험을 수행하여 오존(O<sub>3</sub>), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 등 농도변화를 Fig. 5에 제시하였으며, 미생물에 의한 생물학적 제거 등 제거기작에 대한 규명과 동시에 물질수지를 규명하기 위한 식 (1)-(5)을 이용하여 살펴보았다.



(1)+(2)에서 생성된 NO<sub>2</sub>, 토양 bio-filter에 연속적으로 유입



초기 1단계 오존산화에 의한 오존, 일산화질소 감소량 및 이산화질소 생성량과 2단계 soil bio-filter에 의한 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 농도감소를 비교 시 O<sub>3</sub> 농도감소량을 제외한 모든 조건에서 순수 토양과

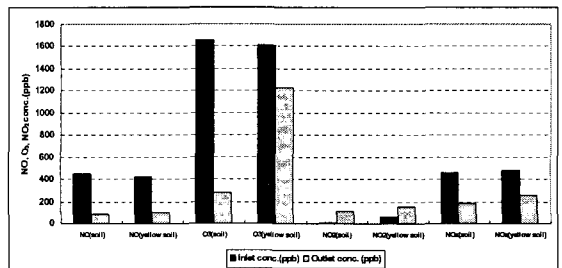


Fig. 5. The variation of NO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentration according to process stage (O<sub>3</sub> oxidation and soil bio-filter) using a soil media and a yellow soil media.

순수 황토 내 오염공기 농도의 저감은 유사한 패턴을 나타내었다. 따라서 본 연구 결과로부터 단순한 오존산화반응 및 토양여재에 의한 질소산화물 제거에 대한 결과 및 단순한 물질의 혼합, 생성 및 제거율에 대한 단편적 해석을 제시하였다.

차후 단순한 토양여재보다 여러 가지 혼합된 여재층에 대한 연구, 다양한 토양조건(토양두께, 수분함량, pH, 미생물 주입, 식물식재 등) 변화에 대한 연구 및 오존농도 주입에 따른 질소산화물 최대생성량 및 제거율을 평가할 예정이다. 또한 토양에 의한 흡착, 토양 미생물에 의한 생물학적 제거 등 제거기작에 대한 규명과 동시에 물질수지를 체계적으로 연구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

### 5. 결 론

본 연구는 우리나라 대기오염의 주범이 되고 자동차 배기가스 및 가정 내 연소기구에 발생되는 질소산화물의 제거에 대한 자연친화적 토양 바이오필터에 대한 실험의 결과는 다음과 같다. 순수토양에 의한 1단계 오존산화 및 2단계 토양 바이오필터에 의한 오존 및 질소산화물 제거율은 1단계에서 오존 81.6%, 일산화질소(NO) 81% 및 1단계 공정에 의한 연속적인 2단계에서 질소산화물(NOx) 60%의 제거율을 얻을 수 있었다. 순수토양 외에 황토를 이용한 질소산화물에 제거에 대한 결과는 순수토양과 유사한 양상을 보이며 오존은 91.7% 감소되었고 NO는 약 77%로 1단계 오존산화에 의해 제거되었고 연속적인 토양 bio-filter에 의해 질소산화물은 47.8% 제거되었다.

### 감사의 글

본 연구는 2005년도 동남보건대 연구지원으로 수행됨을 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- 1) 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.
- 2) Sathiamoorthy, G., K. Shimizu, A. Charkrabarti, L. Dascalescu and S. Furutu, 1999, Chemical reaction kinetics and reactor modeling of NOx removal in a Pulsed streamer corona discharge reactor, Ind. Eng. Chem., Res., 38, 1844-1855.
- 3) Mok, Y. S. and I. Nam, 1999, Removal of nitric oxide in a Pulsed corona discharge reactor, Chem., Eng., Technol, 22(6), 527-532.
- 4) Somg, Y., Y. Choi, H. Kim, W. Shin, S. Keel, S. Chung, K. Choi, H. Choi, S. Kim and K. Chang, 1996, An experimental study of power saving technique in non-thermal plasma DeSO<sub>2</sub>/DeNO<sub>x</sub> process, J. Korea. Air. Pollut. Res. Assoc, 12, 487-494.
- 5) Broer, S. and T. Hammer, 2000, Selective catalytic reduction of nitrogen oxides by combining a Nitrogen oxides by combining a Non-Thermal Plasma and a V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> catalyst, Appl. Catal. B: Environ. 28, 101-111.
- 6) Penetrante, B. M., R. M. Brusasco, B. T. Merritt and G. E. Vogtlin, 1999, Environmental Applications of low temperature plasmas, Pure Appl. Chem, 71(10), 1829-1835.
- 7) Rajanikanth, B. S. and V. Ravi, 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.
- 8) Mok, Y. S. and I. Nam, 1999, Positive Pulsed corona discharge process for simultaneous removal of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> from Iron-Ore sintering Flue Gas, IEEE Trans. Plasma Sci, 27(4), 1188-1196
- 9) 목용선, 강호철, 임성대, 남인식, 2002, 유전체 방전 플라즈마와 촉매 복합공정을 이용한 질소산화물 저감 연구, 대한환경공학회지 24(12), 2063-2073.
- 10) Ottengraf, S. P. P., 1986, Exhaust gas purification. Biotechnology, Rehm, H.-J., Redd, G. Edition, VCH, Weinheim., 8.
- 11) Leson, G. and A. M. Winer, 1991, Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions, AWMA, 41. Barends, H. L. and K. H. Bohn, 1999, Moisture in biofilters, Environmental Progress, 18(3), 156.
- 12) 김종오, 이우범, 바이오 필터에 의한 벤젠과 에틸렌 처리실험에 대한 고찰, 한국대기환경학회지, 19(3), 2003, 325-331.
- 13) Chris, A. du Plessis, A. K. Kerry, D. S. Edward, P. Y. C. Daniel, M. S. Kate, 1998, Nitrification and Nitric Oxide Reduction in an Aerobic Toluene-Treating Biofilter, Biotech-

- nology and Bioengineering, 58(4), 408-415.
- 14) Carlson, D. A. and C. P. Leiser, 1996, Soil beds for the control of sewage odors, Journal of the Water Pollution Control Association, 38(5): 829-840.
- 13) Bach, H. Schwegel im Abwasser, 1923, Gesund.-Ing. 46, 370.
- 15) Senior, E. and G. B. Kasali, 1990, Landfill Gas in Microbiology of Landfill Sites edited by Senior E. CRC Press Inc., 113-158.
- 16) <http://www.fujitaresearch.com/technologies/eap.html>.