

피트(peat) 혼합담체를 이용한 저농도 질소산화물(NO_x) 제거특성

Removal Characteristics of Nitrogen Oxides (NO_x) in Low Concentration using Peat-Mixed Media

강영현* · 김덕우¹⁾ · 강선홍¹⁾ · 권필주 · 김달우 · 황필기 · 심상보
녹스코리아(주), ¹⁾광운대학교 환경공학과
(2010년 3월 29일 접수, 2010년 4월 30일 수정, 2010년 5월 3일 채택)

Young-Heoun Kang*, Deok-Woo Kim¹⁾, Seon-Hong Kang¹⁾, Pil-Joo Kwon,
Dal-Woo Kim, Pil-Gi Hwang and Sang-Bo Shim
NOXKOREA Co., Ltd., ¹⁾Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University
(Received 29 March 2010, revised 30 April 2010, accepted 3 May 2010)

Abstract

In this study, removal characteristics of nitrogen oxides (NO_x) from road transport by using peat as the packing media for biodegradation have been investigated in the long term. Physicochemical and biological treatment of peat-mixed media eliminates any requirement to use chemical substances and also facilitates the biodegradable actions of microorganism. Safe biodegradation of pollutants, no need to apply additional microbes owing to their active growth, and no generation of secondary pollutants were found in this experiment. It was concluded that average removal efficiencies of nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO_2) were 80% and 97% respectively with respect to the linear velocity 35~40 mm/s and 0.3 ppm ozone concentration in the long period operation. Inflow concentration of nitric oxide over 0.05 ppm was suitable when pretreated with ozone. Non-ozone stage was performed with linear velocity 20~100 mm/s and then the average removal efficiency of nitric oxide and nitrogen dioxide were 38% and 94% respectively. Other results showed that the apparent static pressure was raised with increases in applied water content and aerial velocity in mixed media during fan operation.

Key words : Road air pollution, NO_x , Peat, Ozone oxidation, Removal efficiency

1. 서 론

질소산화물(NO_x)은 산성비의 원인물질일 뿐 아니라, 대기광화학반응에 의해 인체에 유해한 광화학 스

모그 물질을 생성하는 등 대기유해물질로서 그 제거가 환경문제의 중요과제가 되고 있으며, 미국, 일본, 유럽, 한국 등 세계 각국은 질소산화물의 배출 저감을 위해 그에 따른 제거기술의 개발과 함께 배출규제(공장의 배연 및 자동차의 배기가스 규제)를 한층 강화해가고 있다.

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)31-265-1700,7667, E-mail : ka9838@naver.com

2009년 현재 국내 도로 및 터널 등을 운행하는 도로이동오염원을 통해 배출되는 질소산화물, 미세먼지(PM₁₀), 일산화탄소(CO) 등 다량의 저농도 오염물질을 현장에서 제거하는 장치나 시설은 전무한 실정이며 일부 터널에는 전기집진기를 설치하여 미세먼지만을 제거하는 수준에 그치고 있다(Ministry of Environment, 2009). 또한 정부의 정책방향이 주로 촉매를 위주로 한 차량장착형 저감시설에 맞춰져 있어(Han *et al.*, 2004; Lee, 2002; Shin *et al.*, 1999; Lim *et al.*, 1996) 제품의 불량으로 인한 효율저하나 노후차량의 관리부실로 인해 오염물질이 그대로 배출될 경우 국민의 건강과 생태계 보전에 큰 위해로 작용할 수 있다.

서울시의 전체 배출원별 오염물질 배출량을 살펴보면 대표적인 도로이동오염원인 자동차의 경우 일산화탄소, 질소산화물, 미세먼지가 주 배출원으로 조사되었다. 국립환경과학원에서 조사한 2006년도 부문별 배출량을 살펴보면 대기오염물질 총 배출량은 도로이동오염원이 1,187,939톤(34.8%)으로 가장 많고 에너지산업연소가 569,327톤(16.7%), 유기용제사용 463,219톤(13.6%)으로 높은 비중을 차지하고 있다. 도로이동오염원에서 주로 배출되는 물질은 일산화탄소로서 610,762톤(51.4%)으로 가장 많고, 질소산화물이 450,080톤(37.9%), 휘발성 유기화합물(VOC)이 101,973톤(8.6%)순으로 차지하고 있다. 단위면적당 배출량은 인구가 밀집된 서울 및 광역시에서 많았으며, 특히 자동차의 기여도가 큰 서울은 일산화탄소와 질소산화물 배출밀도가 각각 약 264.2톤/km²과 145.3톤/km²으로 매우 큰 것으로 분석되었다(Ministry of Environment, 2006).

생물학적 공정을 통해 질소산화물을 제거하는 것은 용이하지 않다. 혐기조건하에서 바이오필터나 광조사하에서 조류배양을 통해 질소산화물을 제거하는 몇 가지 시도가 보고되고 있다(Nagase *et al.*, 1997; Yoshihara *et al.*, 1996; Barnes *et al.*, 1995; Apel and Turick, 1993; Shanmugasundram *et al.*, 1993). 그러나 이러한 방법들은 현장에 직접 설치·운영하는 것이 상당히 어렵다고 보고하고 있다(Okuno *et al.*, 2000).

일본에서는 최근 도로에서 발생하는 대기오염물질 정화를 목적으로 시범사업을 실시하고 있으며, 이에 적용된 기술은 플라즈마방전, 오존산화로 전처리 후 토양필터를 통과시키는 방법, 전기집진기와 탈질제나 탈질필터 등의 탈질장치를 이용하는 방법, 광촉매 필

터와 부유입자성물질(Suspended Particulate Matter, SPM) 필터를 이용하는 방법 그리고 광촉매 코팅을 통한 흡착과 유용미생물액을 대기 중으로 분무하여 미스트(mist)로 제거하는 방법 등이 소개되고 있다. 일본 후지타에서는 1990년 초부터 특수혼합토양을 이용한 토양을 이용한 대기정화(Earth Air Purification) 시스템을 터널이나 도로주변 등에서 배출되는 대기오염물질을 정화하는 기술로 상용화하여 다수의 현장에 설치·운영 중에 있다(Fujita, 2010; 大坂橋大氣淨化公募實驗檢討委員會, 平成19年).

피트(peat)는 1980년대 바이오필터(biofilter)의 유기성 담체로써 주로 사용되어 왔으며(Kong, 2004) 미생물 성장에 적합한 조건을 가지고 있다. 또한 피트(peat)는 활성미생물군을 포함하고 있으며 영양물질과 기타 성장에 필요한 물질을 지속적으로 배출한다(Roger and Haug, 1993). Park and Kim(1994)은 피트(peat)가 우수한 통기성 및 보수성, 풍부한 영양원 등의 장점을 가지고 있어 독일과 일본에서 많은 연구가 이루어졌다고 보고하였다. 피트(peat)의 밀도는 약 0.31 g/cm³이며, 압력손실은 토양의 1/10로 매우 낮기 때문에 유지관리비가 약액세정 및 활성탄 흡착 방식의 1/2 이하로 줄일 수 있는 경제적인 재료이다(Ministry of Environment, 1999). 피트(peat) 등을 이용한 바이오필터는 주로 휘발성 유기화합물과 악취 유발물질 제거에 주로 적용되어 왔으며, 도로이동오염원에서 배출되는 질소산화물 처리에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 피트(peat)를 혼합한 담체를 이용하여 자동차에서 배출되는 오염물질 중 질소산화물의 제거특성을 장기간의 파일럿 플랜트 운전을 통하여 규명하였으며 이를 통해 통행인구가 많은 상습지정체구간의 도로변이나 지하역사 및 지하상가 그리고 별도의 규제기준이 마련되어있지 않은 터널 등에 적용가능성을 타진하여 도로이동오염원에 의한 대기오염을 저감시킬 수 있는 방법을 현실화할 수 있도록 그 방안을 마련하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장치 및 재료

도로이동오염원에서 배출되는 질소산화물 제거실험을 위해 현장실험을 진행하였다. 실험장치는 피트

(peat) 혼합담체를 충전한 반응기와 유입·유출 질소 산화물 농도, 오존농도, 송풍량, 정압, 수분, 온도 등의 운전인자들을 실시간으로 측정하기 위한 기계실로 구성되어 운전하였다. 혼합담체를 충전한 반응기의 형상은 장방형으로써 규모는 길이 4.29 m, 폭 0.915 m, 높이 1.22 m로서 철재로 제작하였다. 자동차 배기가스는 도로변에서 약 7~8 m 떨어진 지점에서 흡입하였다. 배기가스 흡입을 위한 송풍기는 Limit load type (SHOWA DENKI Co., Ltd. AH-500, Japan)을 사용하였다. 흡입에 필요한 송풍량과 에어챔버에 걸리는 정압은 피토관 방식의 유량계 (WETMASTER Co., Ltd. New aeroeye, Janpan)를 사용하여 측정하였다. 또한 흡기·배기되는 일산화질소와 이산화질소의 농도변화는 질소산화물 계측기 (MONITOR LABS Co., Ltd. ML9841A, USA)로 측정하였다. 일산화질소의 전처리용으로 중소형오존발생기 (SUMITOMO PRECISION PRODUCTS Co., Ltd. SGA series, Japan)를 사용하였으며, 오존농도를 확인하기 위해 오존모니터 (EBARA JITSUGYO Co., Ltd. EG-2001, Japan)를 사용하였다. 혼합담체의 수분과 온도, pH측정은 각각

텐시오미터 (DAIKI Co., Ltd. DIK-3042, Japan)와 pH meter (DAIKI Co., Ltd. DIK-800A, Japan)를 사용하여 측정하였다. 본 실험에서는 혼합담체수분의 척도로서 pF 값을 적용하였다. pF는 혼합담체내의 물이 어느 정도의 강도로 담체에 흡착, 유지되고 있는가를 나타내기 때문에 흡착력을 물기둥의 높이 (cm)로 구하여 그에 대한 수치를 혼합담체의 pF 값으로 한다. 상기에 설명한 질소산화물 제거장치의 개요도를 그림 1에 나타내었다. 반응기는 하부에어챔버와 투수 및 통기를 목적으로 한 부석 (pumice stone)층 그리고 피트 (peat), 팽창펄라이트, 부엽토를 일정비율로 혼합하여 충전한 혼합담체층으로 구성하였다. 실험에 사용한 부석 (pumice stone)은 펠리핀산으로 크기 10~20 mm, 피트 (peat)는 국내 (주)그린파트너사의 그린파워피트, 팽창펄라이트는 芙蓉パールライト (株), 피너스라이트 5号, 3~5 mm, 그리고 부엽토는 청록산업의 자연부엽토를 사용하였다. 피트 (peat)의 물리화학적 특성을 표 1에 요약하였다. 피트 (peat)의 경우 pH 6 이하이기 때문에 미생물의 활력증강과 질산화 반응의 증대를 위해 pH를 조정할 필요가 있어, 골패

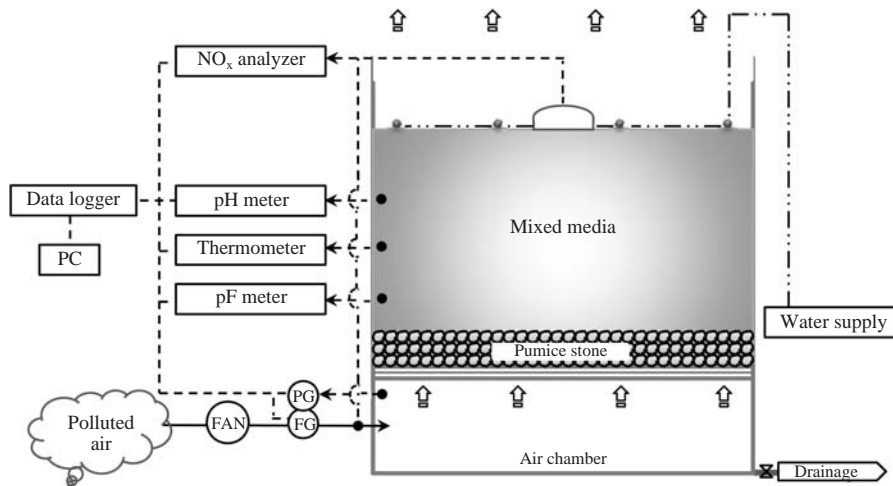


Fig. 1. Schematic diagram of system for removal of NO_x.

Table 1. Physicochemical properties of peat used in this study.

Organic matter	70~85%	Specific gravity	0.25~0.30 kg/L
Humic acid	30~40%	Porosity	88~97%
pH	5.0~6.5	Cation Exchange Capacity (C.E.C)	85~140 meq/100 g
Nitrogen	1.0~3.0%	Particle size	1~8 mm
Water contents	30~50%		

각을 분쇄하여 망목 2 mm sieve를 사용하여 이를 통과한 폐각분말을 일정량 혼합하여 혼합담체의 pH를 6정도로 조정하였다. 팽창펄라이트는 혼합담체의 투수성과 통기성을 원활하게 하는 기능을 하며, 부엽토는 정화시설의 장기운전에 대비하여 부족할 수 있는 유·무기영양소를 공급하게 된다.

2. 2 실험방법

질소산화물 정화시설의 장기적인 모니터링 결과는 2009년 3월 4일부터 8월 10일까지 실시하였으며, 세부적으로는 2단계로 구분하여 운전하였다. 1단계기간인 3월 4일부터 7월 4일까지는 일산화질소를 이산화질소로 산화시켜 제거시킬 목적으로 오존(O₃)을 주입하여 운전하였으며, 2단계기간인 7월 7일부터 8월 10일까지는 오존을 주입하지 않은 상태에서의 질소산화물 제거경향을 파악하였다. 급수는 옥외급수전을 이용하여 타이머에 의한 자동급수시스템(점적관수)을 적용하였으며, 3~4월은 강우상당량으로 2 mm/d 그리고 5~8월간은 10 mm/d를 하루 30분씩 급수하도록 설정하였다. 강설 및 강우시에는 급수를 인위적으로 차단하였다. 실험기간 동안의 운전조건을 표 2에 언급하였다.

3. 실험결과

3.1 장기운전에 따른 질소산화물(NO_x) 제거효율 변화

일본의 선행연구자료에 의하면, 안도소일(Ando soil)과 마사토를 이용하여 질소산화물 제거효율을 검증한 결과, 안도소일의 경우 운전초기 일산화질소 제거율이 약 10~40%이었으나 운전 2년째 하절기에는 90%, 동절기는 20~30%의 제거율을 보였으며, 이산화질소는 전체 운전기간 동안 약 90% 이상의 제거효율을 보였다. 반면, 마사토를 사용하였을 경우에는 전체 운전기간 동안 일산화질소 제거율은 10~30%에 그쳤으며, 이산화질소는 안도소일의 경우와 유사한 것으로 보고되었다. 또한 오존 전처리를 하지 않을 경우, 토양에 의한 일산화질소의 제거율은 20~30% 정도이고 이산화질소의 제거율은 오존전처리와 상관없이 90% 이상인 것으로 보고하고 있다(大阪府 and フジタ, 1998). 자동차배기가스의 대부분을 차지

Table 2. Conditions for operation of NO_x removal facility.

Operating factors	Values
Operating period	Mar. 4. 2009 ~ Aug. 10. 2009
Composition of mixed media	Peat, Expanded perlite, Leaf mold
Linear velocity (mm/sec)	20 ~ 100
Air volume (CMH)	270 ~ 1,220
Ozone injection concentration (ppm)	0.3
Inflow NO _x concentration	
NO (ppm)	0.044 ~ 0.473 (avg. 0.309)
NO ₂ (ppm)	0.047 ~ 0.600 (avg. 0.332)
Temperature (°C)	
Inflow air	5.7 ~ 33.6 (avg. 23.2)
Mixed media	1.9 ~ 29.8 (avg. 21.3)
Water content (pF) in mixed media	1.1 ~ 1.8
pH in mixed media	5.9 ~ 6.5

하는 일산화질소를 이산화질소로 산화시키기 위한 목적은 일산화질소의 물에 대한 용해도가 0.00983 g/L (0°C)로 매우 작기 때문에 혼합담체층에 존재하는 수분과의 반응성을 증대시키기 위함이다. 이산화질소는 혼합담체내에 존재하는 물과 반응하여 $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{L}) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$ 로 된다. 동시에 HNO_3 는 NO_3^- 와 H^+ 형태로 혼합담체층 수분에 이온상태로 존재하게 되며 담체층에 생육하는 미생물에 의해 소비되게 된다. 미생물에 의한 소비·제거과정은 크게 3단계로 구분할 수 있다. 제1단계의 반응은 질소산화물이 토양에 흡수·흡착하는 반응으로써 이산화질소의 흡수·흡착반응은 우선적으로 토양입자에의 물리흡착이 위주가 되고, 혼합담체에 존재하는 미생물이 재차 흡수·흡착반응을 촉진하는 것이다. 이 과정에서 일산화질소도 물리적인 흡착·흡수반응이 어느 정도는 이뤄지게 된다. 제2단계는 흡수·흡착된 질소산화물이 화학반응에 의해 질산이온(NO_3^-) 혹은 아질산이온(NO_2^-)이 되어 미생물이 이용하기 쉬운 상태가 된다. 제3단계는 토양에서 보편적으로 이뤄지고 있는 미생물의 질소순환과정, 분자상태까지의 탈질과정, 더불어 미생물균체 혹은 원생동물 등의 관여를 통해 질소고정이나 질소가스(N_2)로 대기방출되는 과정을 포함한다. 따라서 혼합담체층에 존재하는 미생물이 많은 반응에 관여하게 되며 수분, 온도, 질소 부하 등이 시스템의 성능에 영향을 줄 것이다.

대기 중에서 질소산화물은 다양한 가스상 물질, 자외선 그리고 여러 가지 라디칼과의 연쇄반응을 통해 변화한다. 산소와 오존은 잘 알려진 일산화질소 산화

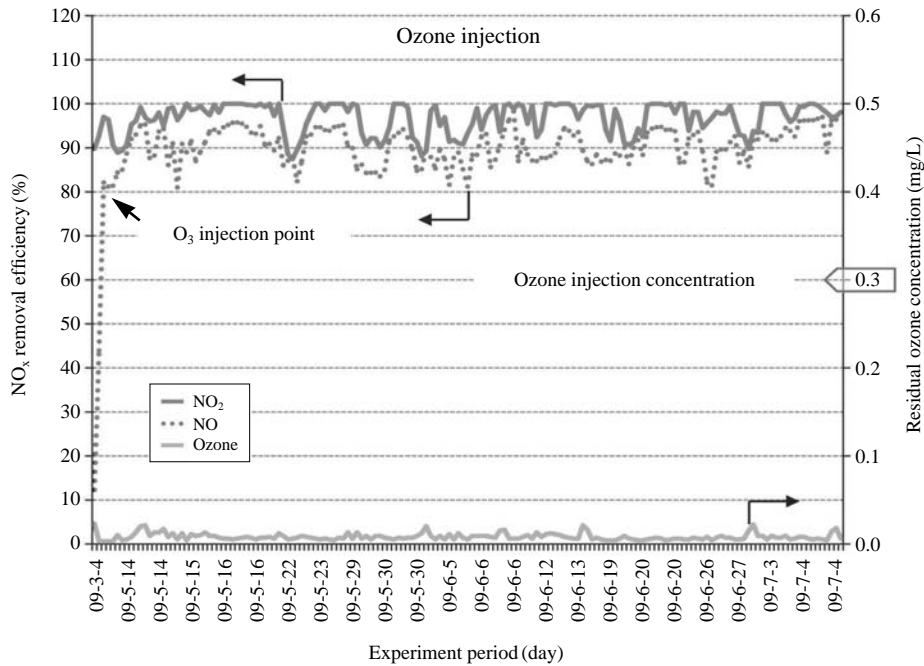


Fig. 2. Variations of NO_x removal efficiency and residual ozone concentration as a function of ozone injection.

제이다. 대기 중에서 일산화질소와 산소의 반응은 $\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$ 이며, 반응속도상수 $K = 1.4 \times 10^{-9} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 이다. 반면 오존과 일산화질소의 반응은 $\text{O}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 이고 이때 반응속도상수 $k = 300 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 이다. 이처럼 일산화질소와의 반응에서 오존은 산소보다 훨씬 더 빠르다. 일본의 선행연구 결과와 여러 가지 화학반응을 근거로 하여 질소산화물의 전반적인 제거효율을 높일 수 있다. 본 실험에서는 운전기간 동안 오존 주입여부에 따른 질소산화물의 제거경향을 모니터링하였으며 측정된 운전인자와 그 결과는 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

그림 2는 제1단계인 오존산화단계의 결과를 나타내었으며 실험기간 동안의 질소산화물 제거효율과 잔류오존농도의 변화를 보여주고 있다. 동일기간 동안 운전인자인 통기선속도는 송풍량에 따라 35~40 mm/s로 변화시켰고, 오존주입농도는 유입되는 질소산화물의 평균농도를 고려하여 0.3 ppm을 주입하였다. 혼합담체온도와 유입공기온도는 시간별, 계절별 변화에 따라 각각 1.9~28.3°C (평균 17.4°C)와 5.7~29.8°C (평균 19.7°C)를 보였다. 정압은 송풍량

과 혼합담체층의 수분함량에 따라 가변하여 20.2~34.8 mmAq (평균 26.4 mmAq)를 나타내었으며 수분함량지표인 pF는 1.4~1.8로 측정되었다. 운전기간 동안 유입된 일산화질소 농도는 0.044~0.473 ppm으로 평균 0.292 ppm이었으며 유입 이산화질소는 0.047~0.600 ppm으로 평균 0.325 ppm으로 측정되었다. 혼합담체층을 통과하여 배출된 배기 일산화질소 및 이산화질소농도는 각각 0.011~0.094 ppm (평균 0.031 ppm)과 0.009~0.075 ppm (평균 0.037 ppm)인 것으로 측정되었다. 유입·유출농도에 따른 일산화질소와 이산화질소의 제거효율은 각각 12.3~98.3% (평균 89.6%)와 87.4~100% (평균 96.8%)인 것으로 확인되었다. 일산화질소 제거율은 운전초기 20시간 동안에는 12~44%의 낮은 제거율을 보이다가 오존주입 후 80% 이상의 제거율을 나타내었다. 이는 앞서 설명한 일산화질소의 물에 대한 낮은 용해도에 기인하여 초기에는 낮은 제거효율을 나타내었고 오존산화 이후 생성된 이산화질소가 혼합담체층의 수분과 반응하여 흡수·흡착과정을 거쳐 높은 제거효율을 보이는 것으로 사료된다. 이산화질소의 제거경향을 살펴보면, 운전기간동안 80~100% (평균 97%)의 제거율

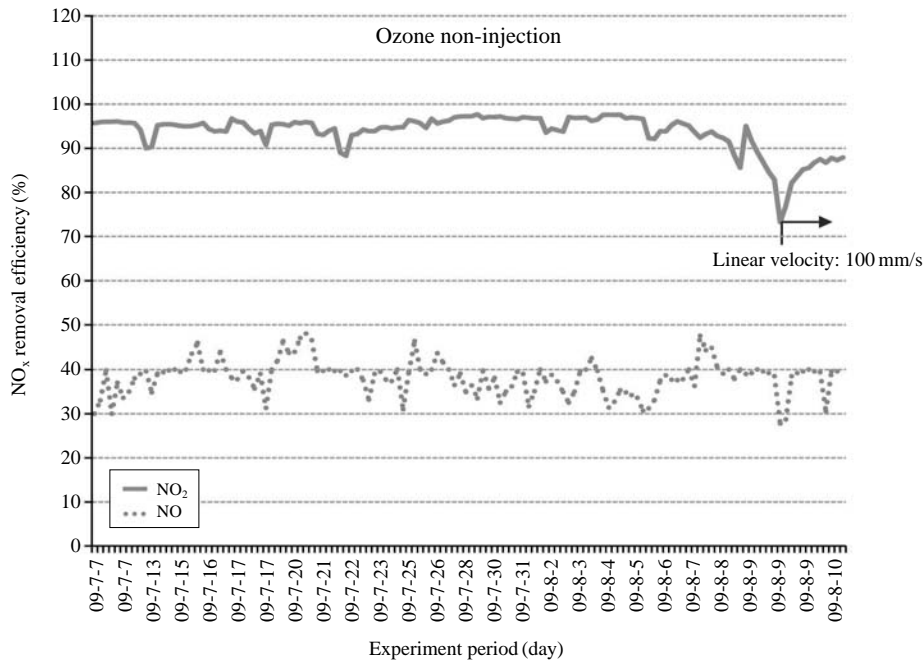


Fig. 3. Variations of NO_x removal efficiency as a function of ozone non-injection.

을 나타내었다. 이산화질소의 경우 혼합담체층의 수분과 쉽게 반응하여 NO₃⁻ 상태로 혼합담체층에 흡수·흡착되는 것으로 판단된다. 잔류오존농도는 0.003~0.022 ppm (평균 0.008 ppm)으로 계측되어 일산화질소와 오존과의 반응효율이 92~99% (평균 97%)로 나타나 산화반응은 잘 일어난 것으로 판단한다.

오존주입실험이 종료된 이후 약 30일간 오존전처리 없이 시설운전을 실시하였으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 오존주입시와는 달리 운전기간동안 일산화질소의 제거효율은 평균 38%의 낮은 제거율을 보였으며, 이산화질소의 경우는 오존주입 여부와 상관없이 평균 94%의 높은 제거율을 나타내었다. 일산화질소의 낮은 제거효율은 앞서 설명한 물에 대한 용해도가 상당히 작기 때문인 것으로 사료되며 일산화질소의 경우는 1단계 실험결과와 유사한 제거효율을 보였다. 운전기간 중 8월 8일부터는 통기선속도를 100 mm/s로 증가시켜 운전하였으며, 당시 일산화질소와 이산화질소 제거효율의 일시적인 저하를 보였으나 곧 바로 회복되는 양상을 보이기도 했다. 본 정화시설에서 선속도의 증감은 현장설치시 설치면적의 증감과 관련이 있으며 여유부지가 적은 국내실정에

서는 중요한 운전인자로 고려해야한다. 제2단계인 무오존 단계에서는 송풍량을 조절하여 통기선속도를 20~100 mm/s로 하여 운전하였으며, 혼합담체온도와 유입공기온도는 운전기간이 하절기인 이유로 각각 21.2~33.6°C (평균 24.9°C)와 23~38.4°C (평균 27.9°C)로 계측되었다. 정압은 잦은 강우와 송풍량 증대로 인해 10.3~43.8 mmAq (평균 27.1 mmAq)로 나타났으며 혼합담체층의 수분함유지표인 pF는 1.1~1.6로 계측되어 1단계 운전기간보다 수분함량이 다소 증가한 것으로 확인되었다. 운전기간 동안 유입된 일산화질소 농도는 0.039~0.462 ppm으로 평균 0.308 ppm을 나타내었으며 유입 이산화질소는 0.127~0.478 ppm으로 평균 0.335 ppm으로 계측되었다. 정화시설을 통과하여 배출된 배기 일산화질소 및 이산화질소 농도는 각각 0.025~0.324 ppm (평균 0.210 ppm)과 0.008~0.069 ppm (평균 0.019 ppm)인 것으로 계측되었다. 유입·유출에 따른 일산화질소와 이산화질소의 제거효율은 각각 27.8~48.0% (평균 38.3%)와 73.3~97.7% (평균 93.7%)로 나타났다.

전체 실험기간 동안 수분함량지표인 pF는 1.1에서 1.8정도의 변화도를 보여 혼합담체내에 서식하는 미

생물에 의한 생물학적 처리가 원활하게 이루어진 것으로 사료된다. 혼합담체에 수분함량이 높은 상태에서는 일반적으로 담체 중의 혐기부분이 많이 발생하는 것으로 생각되지만, 본 시스템처럼 연속적으로 공기를 통기하고 있는 상황에서는 pF 값이 낮다고 하여 반드시 혐기부분이 증가한다고는 단언하기 어렵다. 실험기간 동안 혼합담체의 혐기도를 측정하지 않았기 때문에 혐기도에 의한 일산화질소 발생에 따른 영향은 확인할 할 수 없었다. 일본의 선행연구결과와 비교했을 때 제거효율 측면에서 실험에 사용된 혼합담체의 물리화학적 특성에 따라 약간의 차이는 있었으나 미생물에 의한 생물학적 처리가 주를 이루어 운전조건이 유사할 경우 비슷한 질소산화물 제거경향을 보일 것으로 판단한다.

3.2 혼합담체층의 물리적 변화

혼합담체에 공기를 통기 시 압력손실이 발생하며 이는 통기량, 혼합담체층 두께, 혼합담체 중의 기상을 뿐 아니라 급수여부와 그 양 등에 따라 크게 변화한다. 본 실험에서는 실규모에서의 운전을 전제로, 통기용 송풍기의 능력설정에 필요한 자료수집을 목적으로 혼합담체층의 pF변화와 압력손실을 7일간 계속하였다. 통기를 개시하기 직전에 집적관수를 통해 혼합담체층에 39 L를 급수하였으며, 이는 강우량 10 mm/d에 상당하는 것이다. 급수를 마치고 혼합담체층에 완전히 흡수된 것을 확인하고 통기를 개시하였다. 혼합담체층에서의 통기선속도를 40 mm/sec로 통기하고 이때의 pF 변화를 7일간 연속 계속하였으며 모니터링 결과를 그림 4에 나타내었다. 급수 직후 일시적으로 pF치는 0.5까지 낮아졌다가 서서히 pF 1 정도로 상승하고, 이후 완만하게 지속적으로 상승하였다. 반면, 혼합담체층의 압력손실은 pF치의 변화와는 반대로 급수 후에 30 mmAq의 높은 수치를 나타내지만, 이후 서서히 감소하여 7일에는 20 mmAq로 확인되었다. 이는 급수초기 혼합담체간에 형성된 공극이 수분에 의해 어느 정도 폐쇄됨으로써 상대적으로 높은 압력손실이 발생되었고 이후 지속적인 통기로 수분이 증발하고 다시 공극이 회복되어 압력손실이 낮아지게 된다. 이는 시설운전시 송풍기의 효율, 최대 정압 및 풍량선정에 중요한 자료가 된다. 그림 5는 혼합담체층의 압력손실과 통기선속도간에 관계를 나타내고 있다. 본 실험에서는 pF 등 다른 운전조건이

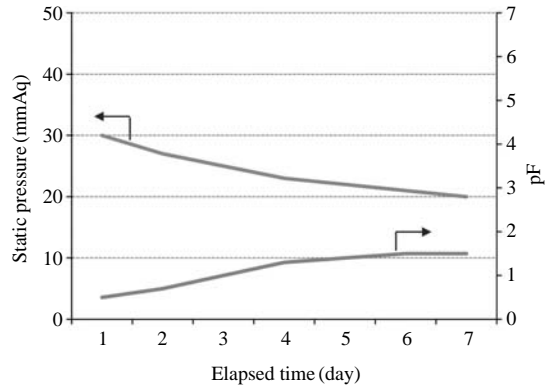


Fig. 4. Relationships of water content in mixed media and static pressure.

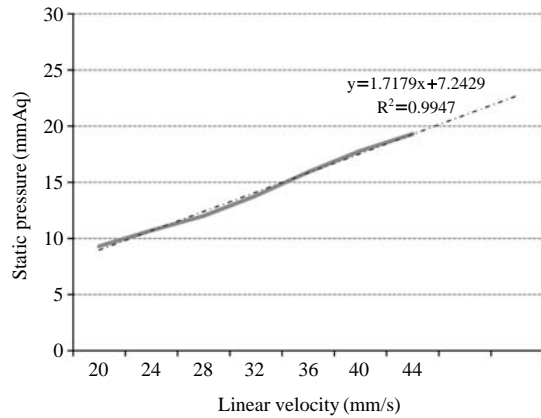


Fig. 5. Relationships of linear velocity and static pressure.

동일할 경우 통기선속도를 20 mm/s에서 40 mm/s로 증가시켰을 때, 그에 따른 압력손실도 약 2배 정도 증가하는 것으로 확인되었으며 관계신뢰지수인 R²가 0.9947로 매우 큰 상관관계를 보이고 있다. 그림 6은 제1단계 운전기간 동안의 송풍량, 정압 그리고 통기선속도의 변화를 나타낸 것이다.

4. 결 론

도로이동오염원에 의해 발생하는 배기가스 중 질소산화물(NO_x)의 제거를 위해 피트(peat)를 혼합한 담체를 이용하여 그 제거경향을 장기적으로 모니터

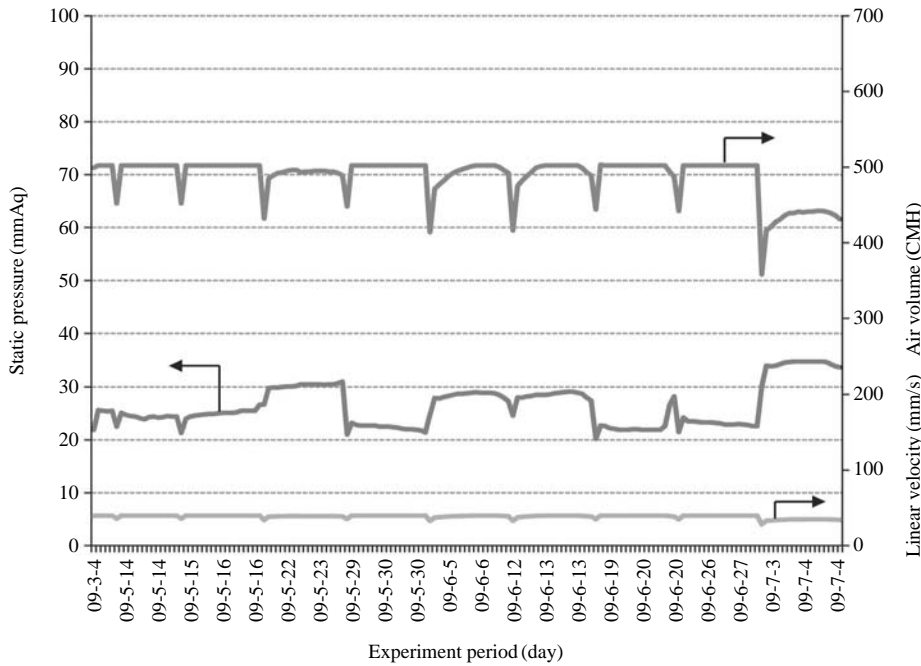


Fig. 6. Variations of air volume, linear velocity and static pressure for experiment period.

링 하였으며 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1) 장기운전에 따른 질소산화물 제거경향을 파악하기 위하여 일산화질소 전처리공정으로서 오존산화여부에 따라 실험결과를 모니터링하였다. 오존산화단계에서는 통기선속도를 35~40 mm/s, 오존주입농도를 0.3 ppm으로 하여 운전한 결과, 일산화질소 및 이산화질소의 제거효율은 각각 평균 80%와 97%를 나타내었다. 오존산화시 유입 일산화질소 농도가 0.05 ppm 이상일 경우 적합한 것으로 확인되었다.

2) 일산화질소를 오존전처리하지 않고 실시한 실험은 통기선속도 20~100 mm/s 상태에서 이루어졌으며, 일산화질소 및 이산화질소의 제거효율은 각각 평균 38%와 94%를 나타내었다. 이산화질소의 제거효율의 경우, 미생물의 활동이 원활한 하절기에 이루어진 것과 무관하지 않을 것으로 판단하며 추후 그에 따른 미생물학적 조사가 필요할 것으로 사료된다.

3) 통기가 이루어지는 동안 혼합담체층의 물리적 변화를 확인하기 위하여 수분과 압력손실 그리고 통기선속도와 압력손실과의 관계를 규명하였다. 그 결과 혼합 담체층의 수분함량이 증가할수록 압력손실도 증대되었으며, 통기선속도의 증가에 따라 압력손

실도 비례하여 증가하는 것으로 나타나 시설설계 및 운전시 중요하게 고려해야 할 것이다.

4) 앞으로 좀 더 다양한 운전조건과 장기적이고 세부적인 모니터링 자료가 뒷받침될 필요가 있으며 혼합담체층에 식물식재를 통한 추가적인 질소산화물 제거효율 획득과 녹지조성효과 등에 대한 결과 등도 정립해 나아가야 할 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

Apel, W.A. and C.E. Turick (1993) The use of denitrifying bacteria for the removal of nitrogen oxides from combustion gases, *Fuel*, 72, 1715-1718.

Barnes, J.M., W.A. Apel, and K.B. Barrett (1995) Removal of nitrogen oxides from gas stream using biofiltration, *J. Hazard, Mater.*, 41, 315-326.

Fujita (2010) Fujita innovative products-Earth Air Purification, <http://www.fujita.com/products/eap.html>.

Han, Y.S., H.J. Kim, and J.K. Park (2004) Characteristics of NO_x reduction using V₂O₅-TiO₂ catalyst coated on Ceramic Foam Filters, *J. KOSAE*, 20(6), 773-781. (in Korea with English abstract)

- Kong, N.S. (2004) Characteristics of toluene vapor treatment using biofiltration, Ph. D. Dissertation, Changwon National University, Korea, 33. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J. (2002) The effect of promoters addition on NO_x removal by NH₃ over V₂O₅/TiO₂, J. KOSAE, 18(E1), 29-36.
- Lim, J.Y., T.W., Kim, W.S. Jeoung, and K.L. Lim(1996) A study of CO, C₃H₃ and SO₂ oxidation for diesel emission control over Pt, Pd, Pt-W and Pd-W catalysts and their characterization, J. KAPRA, 12(2), 121-130.
- Ministry of Environment (2009) Center for Environmentally Friendly Vehicle.
- Ministry of Environment (2006) Environmental Statistics Yearbook, 19, 109-115.
- Ministry of Environment (1999) Development of Biological Deodorization Technology for Sulfur-containing Malodorous Mixed Gases to Reduce Odor Pollution, Final Report, 14-15.
- Nagase, H., K. Yoshihara, K. Eguchi, Y. Yokota, R. Matsui, K. Hirata, and K. Miyamoto (1997) Characteristics of biological NO_x removal from flue gas in a *Dunaliella tertiolecta* culture system, J. Ferment. Bioeng., 83, 461-465.
- Okuno, K., M. Hirai, M. Sugiyama, K. Haruta, and M. Shoda (2000) Microbial removal of nitrogen monoxide (NO) under aerobic conditions, Biotechnology Letters, 22, 77-79.
- Park, S.J. and I.T. Kim (1994) A experimental study on biological odor removal using peat moss, Korean society for atmosphere environment, Proceeding of KOSAE, 2, 103-104.
- Roger, T.H. and T.H. Haug (1993) The Practical Handbook of Compost Engineering, Crc Press.
- Shanmugasundram, R., C.M. Lee, and K.L. Sublette (1993) Reduction of nitric oxide by denitrifying bacteria, Appl. Biochem. Biotech., 39, 727-737.
- Shin, B.S., S.S. Kim, G.W. Lee, M.G. Jung, J.H. Bae, and S.J. Choung (1999) Studies on the activity properties of Pd-only three-way catalyst for the purification of automobile exhaust emissions, J. KOSAE, 15(5), 667-676.
- Yoshihara, K., H. Nagase, K. Eguchi, K. Hirata, and K. Miyamoto (1996) Biological elimination of nitric oxide and carbon dioxide from flue gas by marine micro-alga NOA-113 cultivated in a long tubular photobioreactor, J. Ferment. Bioeng., 82, 351-354.
- 大坂橋大氣淨化公募實驗檢討委員會 (平成19年 3月) 大坂橋交差点における大氣淨 化公募實驗-實驗結果について, 最終報告書, 7-23.
- 大阪府, フジタ (1998) 健康被害 豫防事業 環境改善調査 研究 報告書, 8, 7-86.