

## 국내휘발유 승용차량으로부터의 N<sub>2</sub>O배출인자 특성연구

김 득 수 · 류 정 호 · 유 영 숙 · 정 성 운 · 김 대 옥  
\*군산대학교 환경공학과, 국립환경과학원 교통환경연구소  
(2006년 6월 28일 접수; 2006년 12월 28일 채택)

### Characteristics of N<sub>2</sub>O Emission Factor and Measurements from Gasoline-Powered Passenger Vehicles

Deug-Soo Kim\*, Jeong-Ho Ryu, Young-Sook Yoo, Sung-Woon Jung, Dae-Wook Kim

*Department of Environmental Engineering, Kunsan National University  
Motor Vehicle Emission Research Laboratory, National Institute of Environmental Research  
(Manuscript received 28 June, 2006; accepted 28 December, 2006)*

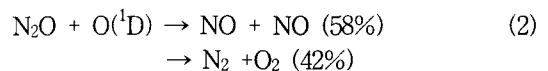
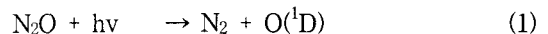
Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) is an important trace gas in the atmosphere not only because of its large global warming potential (GWP) but also because of the role in the ozone depletion in the stratosphere. It has been known that soil is the largest natural source of N<sub>2</sub>O in global emission. However, anthropogenic sources contributing from industrial section is likely to increase with rising the energy consumption, and transportation as well. In this study, a total of 32 gasoline-powered passenger vehicles (ranging from small to large engine's displacement and also ranging from aged catalyst to new catalyst) were tested on the chassis dynamometer system in order to elucidate the characteristics of N<sub>2</sub>O emission from automobiles under different driving modes. Ten different driving modes developed by NIER were adapted for the test. The results show that the N<sub>2</sub>O emission decreases logarithmically with increase of vehicle speed over the all test vehicles (N<sub>2</sub>O emission = -0.062 Ln (vehicle speed) + 0.289, r<sup>2</sup>=0.97). It revealed that the larger engine's displacement, the more N<sub>2</sub>O emission were recorded. The correlation between N<sub>2</sub>O emission and catalyst aging was examined. It found that the vehicles with aged catalyst (odometer record more than 8,0000km) emit more N<sub>2</sub>O than those with new catalyst. Average N<sub>2</sub>O emission was 0.086±0.095 N<sub>2</sub>O-g/km (number of samples=210) for the all test vehicles over the test driving modes.

Key Words : Nitrous oxide, N<sub>2</sub>O emission, Gasoline-powered vehicles, Greenhouse gas, Dynamometer testing, Catalyst

#### 1. 서 론

아산화질소(nitrous oxide, N<sub>2</sub>O)의 주요배출은 자연배출로 분류되는 토양 내 미생물 활동과 밀접한 연관을 갖고 있으며, 토양으로부터 배출된 N<sub>2</sub>O는 화학적 안정성으로 인하여 오랫동안 대류권에 머물게 된다(residence time: 166±16 yr<sup>-1</sup>)<sup>1)</sup>. 지표 부근에서 배출된 N<sub>2</sub>O는 대류·수송과정 등을 통해 성층권으로 유입되고, 200< $\lambda$ <300 nm 영역의 자외선에 의

해 (1)의 광분해 과정을 거치거나, 또는 (2)의 반응을 통해 성층권 내에 NO를 생성에 기여한다<sup>2)</sup>.



이러한 일련의 반응들은 성층권 중간부와 상부에서 우세하게 일어나며, 이 때 발생된 NO가 성층권 내에서 오존을 제거하는 반응으로 이어진다.

성층권에서의 오존파괴 메커니즘에 관여하는 것 이외에도 N<sub>2</sub>O는 대류권내에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와 함께 지구온난화를 가속시키는 주요 온실기체(greenhouse

Corresponding Author: Deug-Soo Kim, Department of Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Jeonbuk 573-701, Korea  
Phone: +82-(0)63-469-4764  
E-mail: dskim@kunsan.ac.kr

gas)이다. 매년 0.6~0.9 ppbv (0.2~0.3% yr<sup>-1</sup>) 평균 증가율과 지구온난화지수(GWP; global warming potential-대기 중 열을 흡수할 수 있는 능력을 CO<sub>2</sub>와 비교해서 나타낸 수치)는 CO<sub>2</sub>의 310배 정도로 보고되어<sup>3)</sup>, 지구온난화 기여율도 농도증가율과 비례하여 해마다 증가할 전망이다. 대기 중 N<sub>2</sub>O의 농도는 대략 300~330 ppbv 수준으로 남반구에서 보다는 북반구에서의 평균농도가 약 0.75 ppbv정도로 더 높아 북반구에 더 많은 배출원이 분포되어있는 것으로 추정된다<sup>2)</sup>.

N<sub>2</sub>O의 전지구배출규모(global budget)를 보면 ~25.8 Tg yr<sup>-1</sup>이며, 자연배출원(natural sources) 규모가 약64% 정도로 인위적 배출규모를 초과하는 것으로 보고되었다<sup>2,9)</sup>. 약 16.4 Tg yr<sup>-1</sup>의 자연배출량 중 토양으로부터의 배출(~10.7 Tg yr<sup>-1</sup>)이 상당부분을 차지하고 있으며, 해양이 남은 대부분을 기여하고 있다(~5.7 Tg yr<sup>-1</sup>). N<sub>2</sub>O의 토양배출과정은 토양미생물(microorganism)활동과 밀접한 연관이 있어 미생물활동에 영향을 미치는 토양의 물리화학인자(토양온도, 토양수분량, 토양pH, 토양공극율, organic carbon 등)들이 중요한 역할을 하는 것으로 보고되었다<sup>4-8)</sup>. Bouwman et al.<sup>9)</sup>이 제시한 바에 의하면 지구전체 N<sub>2</sub>O배출량 중 인위적인 배출량은 9.4 Tg yr<sup>-1</sup> (4.3~8.9 Tg yr<sup>-1</sup>)로 가장 많은 부분을 차지하는 부분이 농업활동과 관련된 부분으로 비료사용, 가축분뇨, 생체소각(biomass burning)이었으며, 이어서 촉매전환장치(catalyst conversion)가 장착된 휘발유차량으로 인한 배출을 포함한 화석연료 연소, 그리고 adipic acid와 nitrous acid생산과 연관된 산업부문 순으로 나타났다. 그러나 이미 과거 여러 연구에서 보고된 바와 같이 자연 상태에 널리 분포하고 있는 다양한 N<sub>2</sub>O배출원으로 인한 영향과 측정결과의 빈곤으로 해서 각 배출원으로부터의 배출량에 대한 불확실도는 아직 폭 넓게 존재하고 있다.

전지구배출량에 기여하는 자동차로 인한 배출을 포함한 화석연료연소 부문의 N<sub>2</sub>O 배출은 0.2~0.5 Tg yr<sup>-1</sup>으로 추정되고 있으며<sup>10)</sup>, 이는 점차적으로 증가추세에 있는 국내 연료 사용량과 자동차 수요를 고려할 때 결코 간과할 수 없을 것이다. 또한 연료연소에 따른 수송부문의 온실가스 배출량은 국내의 경우 전체의 약 20% 가량을 차지하였으며, 향후 꾸준히 증가될 것으로 예상되어 그 대응 방안 마련을 위해 자동차 운행에 따른 정확한 온실기체 배출량 산정이 필수적이다. 차량배출과 관련된 N<sub>2</sub>O배출량에 관한 연구는 1970년대부터 이루어졌으며, 보다 최근의 연구는 차대동력장치(chassis dynamometer)를 이용하거나, 터널연구, 엔진실험과 촉매장치실험 등을 통해 다양하게 이루어지고 있다<sup>11)</sup>. 촉매전환장

치와 관련된 과거 실험결과들에서는 촉매전환장치가 있는 경우의 차량에서 장치가 없는 차량의 경우에서 보다 더 많은 N<sub>2</sub>O배출이 있는 것으로 보고되었으며<sup>12,13)</sup>, 그 외 다수 연구자들의 결과에서는 사용연수가 오래된 촉매장치에서의 배출이 새로운 촉매의 경우 보다 더 높게 나타나는 것으로 보고되기도 하였다<sup>14)</sup>.

자동차 N<sub>2</sub>O배출은 일반적으로 N<sub>2</sub>O를 생성하는 촉매반응에 의해서 이루어지는 것으로 알려져 있으며, 엔진배기량과 주행속도, 연료 성상 등에 의해 영향을 받는다. 이번 연구는 국가 N<sub>2</sub>O배출량 산정에 필수적인 수송 부문의 N<sub>2</sub>O배출계수 산출을 위한 기초연구의 일환으로 국내 운행되고 있는 휘발유 승용차로부터 배출되는 N<sub>2</sub>O의 배출특성을 이해하기 위한 것이다. 운행 시에 N<sub>2</sub>O배출량에 영향을 미치는 인자(controlling factor)를 도출하고, 주요 인자에 따른 배출량 변화를 조사하여 국내 자동차 배출계수 목적이다. 이를 위해 국내에서 운행되고 있는 대표적인 휘발유 승용차의 차량크기별(배기량으로 구분), 촉매사용연수별 (주행거리에 따라 구분), 주행속도 변화에 따른 N<sub>2</sub>O배출농도를 측정하여 국내 승용차 운행에 따른 N<sub>2</sub>O배출계수를 추정·비교하였다. 이러한 연구결과는 향후 수송부문에 기인하는 국가온실기체배출량 산정에 고려되어 국가차원의 온실기체 저감대책 수립에 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 시험대상 차량

휘발유승용차의 N<sub>2</sub>O배출에 영향을 주는 인자들에 따른 변화 특성을 조사하기 위해 엔진배기량에 따라 경차(800cc 미만), 소형(800~1500cc), 중대형(1500cc이상)으로 나누고, 승용차에 장착된 촉매전환장치의 노후화에 따른 배출변화를 보기 위해서는 차량제작 년도 보다는 실제 주행거리에 따른 변화를 조사하는 것이 보다 합리적으로 생각되어, 일차적으로 장치의 내구 보증기간인 80,000km를 기준으로 하여 80,000km미만과 80,000km이상으로 주행거리를 구분하여 시험대상 차량을 선정하였다. 연식별로는 규제연식과 같이 1999년 이전, 2002년 7월 이전과 이후로 구분하였다. 이상의 차량특성을 고려하고 국내에서 운행되고 있는 차종별 점유율 등을 고려하여 선정한 대표차종 중 경차 8대, 소형 10대, 중형 8대와 대형 6대로 총 32대의 시험차량으로부터 차대동력계를 이용하여 배출시료를 채취하였다. 시험에 사용된 차량의 특성을 Table 1에 나타내었다. 시험차량으로부터 채취된 시료로부터 각 차종별 영향인자에 따른 N<sub>2</sub>O의 배출농도를 측정하여 주행거리 당 N<sub>2</sub>O 배출계수(N<sub>2</sub>O-mg/km)를 산출하고, 그

Table 1. Characteristics of the vehicles tested in the study

Test date	Engine's displacement	Model	Year	Odometer record (km)	Test date	Engine's displacement	Model	Year	Odometer record (km)
2001.11.29	light <sup>†</sup>	Matiz	1998	39,200	2005.04.25	small	Sephia	1995	167,617
2001.12.07	light	Tico	1993	100,000	2005.05.02	small	Avante XD	2004	4,925
2004.11.29	light	Matiz	2001	71,125	2001.10.16	middle <sup>*</sup>	Sonata III	1998	43,500
2004.12.13	light	Visto	2002	42,347	2001.11.15	middle	Sonata 2	1995	63,000
2005.03.28	light	Atoz	1998	97,390	2001.12.11	middle	Credos	1996	88,900
2005.04.11	light	Visto	2002	54,234	2004.11.01	middle	Sonata 2	1995	180,000
2005.04.18	light	Matiz	1999	95,105	2004.11.08	middle	SM5	2003	23,526
2005.05.09	light	Matiz II	2002	27,603	2005.02.21	middle	Grendure XG	2000	111,937
2001.10.22	small <sup>‡</sup>	Avante	1995	100,600	2005.05.16	middle	EF Sonata	2002	20,646
2001.11.21	small	Accent	1995	110,000	2005.05.30	middle	EF Sonata	2001	54,592
2001.12.08	small	Avante	1996	55,128	2001.10.31	large <sup>*</sup>	Grendure	2001	17,000
2004.11.22	small	Avante XD	2003	20,745	2001.12.18	large	Grendure	1997	88,700
2005.01.24	small	Spectra	2001	28,696	2004.12.20	large	Dinasty	1996	138,492
2005.01.26	small	Sephia	1993	153,808	2005.02.14	large	Equus	2002	49,096
2005.02.01	small	Elantra	1994	135,431	2005.03.21	large	New XG	2002	35,000
2005.03.07	small	Avante	1997	94,650	2005.05.23	large	Grendure XG	1999	130,000

light<sup>†</sup>: engine's displacement < 800cc, small<sup>‡</sup>: engine's displacement < 1500cc, middle<sup>\*</sup> and large<sup>\*</sup>: engine's displacement > 1500cc,

특성을 조사 분석하였다.

2.2. 배출시료 채취 및 N<sub>2</sub>O분석 장치

승용차 배출가스 시험용 측정 장치는 차대동력계 (Clayton사, DEC-80), 운전보조장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정 장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어있다. 차대동력계는 직류동력계 (Clayton사, DCE080)이며 자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 모사 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치로, 관성중량(inertia weight), 동력흡수계(power absorption unit), 제어기(controller)로 구성되어있다. 차대동력계와 함께 설치되는 운전보조장치는 시험운전자가 도로에서 직접 주행하는 것과 동일한 상태로 운전할 수 있도록 화면에 운행상태를 표시해 주는 장치이다.

배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 물러위에서 각 모드별로 주행할 때 시험차량 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS : constant volume sampler)로 일정량의 공기로 희석한 후, 시료 채취용 teflon bag에 채취하여 배출가스 분석기로 분석된다. 배출가스 분석기는 자동차 배기관에서 배출되는 일산화탄소, 총탄화수소 (THC, total hydrocarbon) 및 NO<sub>x</sub> 등 가스상 물질을 측정하는 것으로 Horiba사 MEXA-9200모델을 사용하였다. 이때 N<sub>2</sub>O분석을 위한 시료는 3리터

teflon bag에 따로 분취하여 전자포획검출기(ECD)를 장착한 기체크로마토그래피(GC-ECD)를 사용하여 분석하였다. Fig. 1은 차량시험을 위해 차대동력계에서 차량배출량을 측정중인 장면과 차대동력계의 계통도를 함께 나타낸 것이다.

2.3. 시험모드

실측 시험주행모드는 국립환경과학원에서 1999년 개발한 것으로 총 15개의 각기 다른 대표차속으로 이루어져 있으며, 이번 연구에서는 이들 중 10개 대표차속(4.5, 10.5, 13.4, 17.3, 23.5, 34.1, 46.4, 65.4, 79.6, 95km/h)별 주행모드를 사용하여 시험하였다.

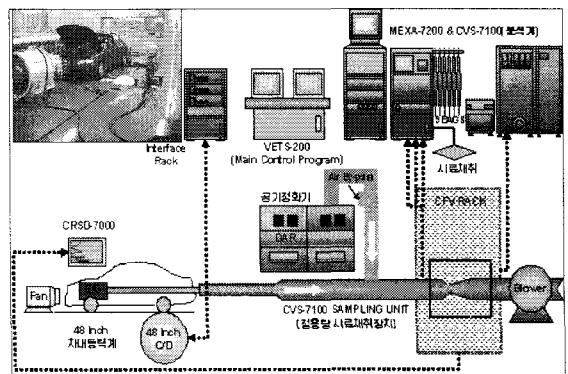


Fig. 1. A schematic of chassis dynamometer system and snapshot the testing vehicle for the gas emission.

사용된 주행모드는 서울시내의 일정구간을 운행하여 차속별로 분류시켜 만든 대표차속별 주행모드로 실제 도로에서 직접 주행하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있도록 고안된 것이다. Fig. 2는 시험 중 대표차속별(23.5km/h) 시간에 따른 주행특성을 나타내었다.

2.3. N<sub>2</sub>O 분석방법

차대동력계 상에서 시험모드로 운행 중인 시험차량에서 배출된 시료를 정용량시료채취장치(constant volume sampler, CVS)에서 일정량의 공기·회석한 후 N<sub>2</sub>O의 배출농도 분석을 위해 분취(3리터 부피)된 가스시료 시료채취 후 가체크로마토그래피(GC)분석실로 보내지고, 전자포획검출기(ECD, electronic capture detector)를 장착한 기체크로마토그래피를 이용하여 분석하였다. 분석에 사용된 Varian 3800-GC는 methanizer를 장착하고 수소불꽃이온화검출기(FID, flame ionization detector)도 함께 장착되어 N<sub>2</sub>O 이외의 온실기체(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)를 동시에 분석할 수 있도록 구성되었다. 시료 중의 N<sub>2</sub>O는 농도는

Pye-Unicam <sup>63</sup>Ni를 장착한 전자포획검출기에 의해 정량 분석되었다. 시료 분석을 위해 사용된 GC의 장치 구성도는 Fig. 3에 도시하였다. N<sub>2</sub>O 기체분석에 사용된 분리컬럼은 Porapak Q (80/100 mesh) stainless steel column (1/8")이 사용되었으며, 운반기체로는 순도 99.9999% N<sub>2</sub>와 P5혼합기체(Ar-95%/CH<sub>4</sub>-5%)가 사용되었다. 분석조건은 컬럼온도 150 °C, 검출기 온도 350 °C이었으며 시료주입량은 30ml/min로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. N<sub>2</sub>O 표준시료의 분석

시료분석에 사용된 N<sub>2</sub>O표준기체(Alltech Associates, Deerfield, IL 60015, USA)의 농도는 0.5ppm, 1ppm, 7.4ppm (NIST: National Institute of Standards and Technology농도인증)로 농도 오차 2%내의이었으며, 분석시 반복의 정밀성과 재현성 확보를 위하여 시료분석 전에 각 표준기체들을 5회씩 분석하였다. 반복정밀성을 위한 실험에서는 각 표준기체 농도에

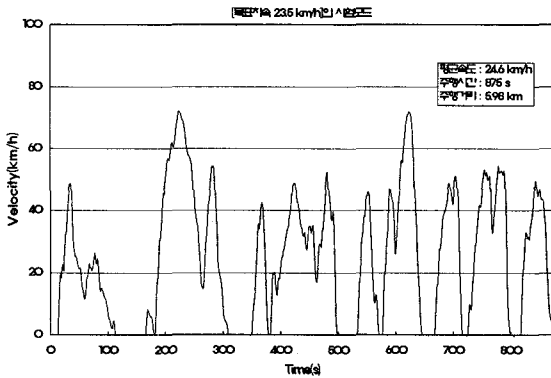


Fig. 2. Driving pattern of representative speed 26.4 km/h for light-duty vehicle.

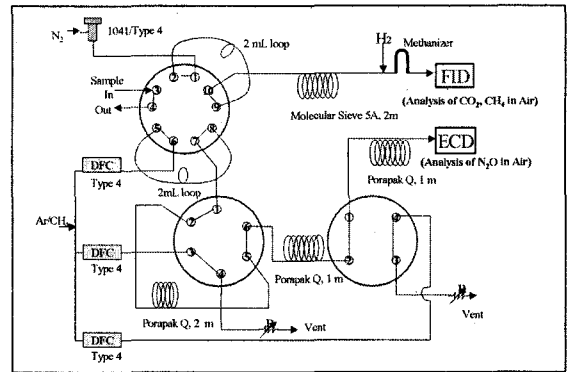


Fig. 3. Schematic diagram of the gas chromatography (Model CP-3800, Varian) for N<sub>2</sub>O analysis.

Table 2. N<sub>2</sub>O reproducibility test result for peak area and retention time

Standard N <sub>2</sub> O Conc.	Peak area							
	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average	SD	RSD
0.5 ppm	39675	37875	38459	38610	37915	38507	729	1.9
1.0 ppm	73340	74108	73344	72949	73334	73015	1202	1.6
7.4 ppm	543148	539925	551207	547739	539925	544388	4452	0.8
Standard N <sub>2</sub> O Conc.	Retention time (min.)							
	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average	SD	RSD
0.5 ppm	4.234	4.236	4.243	4.244	4.238	4.239	0.004	0.103
1.0 ppm	4.236	4.242	4.236	4.237	4.239	4.238	0.003	0.060
7.4 ppm	4.238	4.240	4.238	4.238	4.240	4.239	0.001	0.026

대한 peak면적을 조사하였으며, 그 결과 반복정밀성 (RSD = SD/AVG x100 %)은 0.8~1.9%로 극히 우수한 결과를 나타내었다. 또한 retention time (4.23 분)재현성에 대한 실험에서도 평균에 대한 표준편차의 비율이 0.1% 미만으로 나타나 지극히 만족한 결과를 보였다. Table 2는 분석결과의 신뢰수준 검증을 위한 재현성 결과를 나타낸 것이다. 직선성을 확인하기 위한 다중 검량선(3점; 0.5, 1.0, 7.4 ppm) 실험확인 결과도  $r^2=0.9999$  로 나타났다.

3.2. 차량속도에 따른 N<sub>2</sub>O배출특성

차량 특성에 상관없이 모든 차량배출시료의 분석 결과(평균과 표준편차)를 Fig. 4에 나타냈으며, 일반적으로 전체 시험차량에서 모두 N<sub>2</sub>O의 평균 배출량은 주행 평균속도 증가에 따라 대수함수적으로 감소(N<sub>2</sub>O emission =  $-0.062 \ln(\text{vehicle speed}) + 0.289$ ,  $r^2=0.97$ )하는 것으로 나타났다. 이는 주로 촉매장치의 경우 탄화수소와 CO는 산화시키고, 배기가스 중의 질소산화물을 질소로 환원시키는 역할을 하는 과정에서 삼원촉매전환 장치에 사용하는 촉매의 온도가 저온(250~320°C 미만)일 때 N<sub>2</sub>O생성이 증가하고, 약 320°C이상의 고온으로 상승함에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 보인 과거 연구<sup>11,14)</sup> 결과를 고려하면, 출발 이후 촉매온도가 저속모드에서 저온상태를 유지하게 되고, 가속함에 따라 점차적으로 상승하는 촉매온도의 영향으로 N<sub>2</sub>O생성이 감소되는 것으로 추정해 볼 수 있다. 그러나 이번 실험의 경우 실제 배출시험 중 촉매장치 내의 온도를 함께 모니터링하지 못하였으며, 또한 저속모드에서도 장시간 주행할 경우는 전환장치 내의 온도가 상승할 수 있어 이에 따른 지속적인 분석이 있어야 할 것으로 사료된다. 전반적인 N<sub>2</sub>O 배출량은 0.001 ~ 0.507g/km의 범위로 나타났으며, 가장 높은 N<sub>2</sub>O평

균배출은 저속모드인 평균시속 4.5km/h에서 0.205 ± 0.147g/km, 가장 낮은 배출량은 고속모드인 평균시속 95km/h에서 0.042 ± 0.037g/km로 나타났다. 이후 결과 분석에서는 시험차량의 배기량과 주행거리에 따른 배출계수의 변화를 각각 차량속도별로 구분하여 조사하였다.

3.3. 차량 배기량에 따른 N<sub>2</sub>O배출 특성

시험대상 승용차는 경차 (800 cc이하), 소형차 (800~1500 cc), 중대형차 (1500 cc이상)으로 구분하였으며, 차량의 배기량별 N<sub>2</sub>O배출량 변화를 주요 평균주행속도별로 Fig. 5에 나타내었다. 전체 차량 시험결과 각 대표차속에서 배기량이 큰 차량 일수록 평균N<sub>2</sub>O배출이 높게 기록되었다. 경차의 경우 4.5km/h의 저속모드에서 평균N<sub>2</sub>O배출량이 0.148 ± 0.036g/km로 가장 높았고, 고속모드인 95km/h에서 0.013 ± 0.008g/km로 가장 낮았다. 소형과 중형이상에서는 4.5km/h의 저속모드에서 평균N<sub>2</sub>O배출량이 각각 0.164 ± 0.049g/km, 0.240 ± 0.135로 가장 높았고, 고속모드인 95km/h에서 각각 0.019 ± 0.005g/km, 0.026 ± 0.029g/km로 가장 낮게 나타났다. 한편, 전체 시험 주행모드에서 평균주행속도 80km/h의 경우에 경차와 소형차의 경우 95km/h의 고속주행 시 보다 다소 낮은 N<sub>2</sub>O배출 (경차: 0.010 ± 0.007g/km, 소형: 0.018 ± 0.006g/km)이 기록된 것은 특이할 만한 것으로 결과에 의미를 갖기 위해서는 보다 세밀하고 충분한 자료확보와 분석이 요구될 수 있다. 평균주행속도에 따른 차량크기별 배출량의 변화에서는 배기량크기에 상관없이 주행속도 증가에 따라 배출이 감소함을 보였으며, 각각의 감소율은 서로 차이가 있었으나, 이번 연구에서는 엔진배기량별 속도변화에 따른 배출 감소율은 분석된 시료 수의 제한으로 산출하지 않았다. 중대형차량의 경우 경차와 소형차에 비

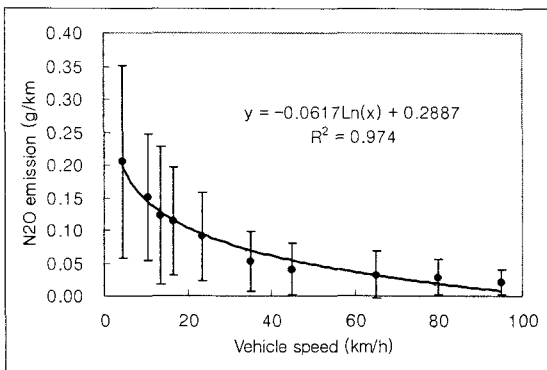


Fig. 4. Change of N<sub>2</sub>O emission rate with increase in vehicle speed. (samples during 2004~2005 periods).

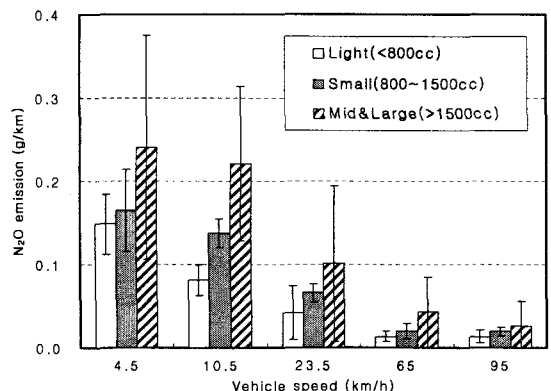


Fig. 5. N<sub>2</sub>O emissions from light duty gasoline vehicles with different engine volumes.

해 배출량의 변화폭이 크게 나타났으며, 이는 배기량이외에도 N<sub>2</sub>O배출에 관여할 수 있는 요소가 있음을 시사하는 것으로 사료된다. 또한 4.5 km/h의 저속주행 중인 시험차량들에게서 배출량이 높고, 가속됨에 따라 그 감소폭이 비교적 크게 나타난 점은 차량정체가 심한 시간대의 배출량변화에 유의해야 함을 나타내는 것이다.

3.4. 주행거리별 N<sub>2</sub>O배출특성

휘발유승용차로부터의 N<sub>2</sub>O배출은 자동차 주요배출물질인 CO, HC, NO<sub>x</sub>를 제거하기위해 장착된 삼원촉매전환 장치가 상당부분 기여하는 것으로 알려져 있다. 이 때 촉매전환장치는 이들 배출오염물질을 산화시키거나 환원시킴에 의해 배출시 오염농도를 저감하는 것으로 N<sub>2</sub>O의 배출량변화는 이러한 이유로 촉매장치의 효율과 관련될 수 있다. 이와 같은 촉매사용에 따른 N<sub>2</sub>O배출변화를 조사하기 위하여 촉매의 내구보증거리인 80,000km를 기준으로 차량의 주행거리를 구분하여 배출변화를 살펴보았다. 분석결과는 Fig. 6에 제시하였으며, 일전체적으로는 80,000km이상 주행한 차량(장거리 주행으로 상대적으로 노후된 촉매장치임을 가정)에서 상대적으로 더 많은 배출이 있는 것으로 나타났으며, 주행속도 증가에 따른 평균N<sub>2</sub>O배출량의 감소율도 80,000km이상인 경우 더 작게 나타났다. 실질적으로 주행거리와 N<sub>2</sub>O배출사이의 상관관계에 대해서는 논란의 여지가 상당부분 남아있으며<sup>11)</sup>, 이는 차량의 주행거리와 촉매사용연수와 노후화 단계 등이 반드시 비례관계가 아닐 수도 있음을 고려한다면, 실제 시험 차량의 경우에 대해서는 장착한 촉매장치의 종류와 사용하고 있는 촉매의 성분, 실제 사용연수 등의 상세한 정보가 함께 분석되어지는 것이 바람직할 것이다.

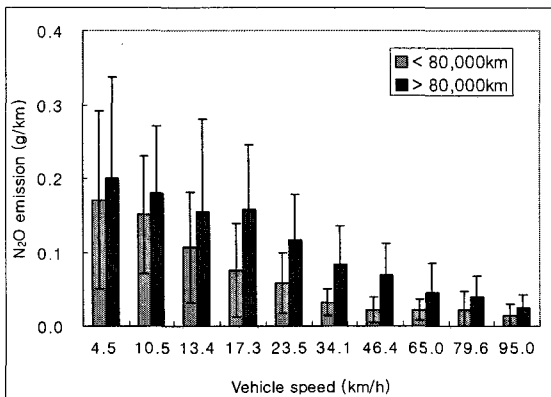


Fig. 6. N<sub>2</sub>O gas emissions from light duty gasoline vehicles with different mileages (odometer readings).

4. 요약 및 결론

휘발유승용차의 N<sub>2</sub>O배출특성을 조사하기 위해 주행속도에 따른 배출조사를 수행하였으며, 배기량과 촉매내구보증거리인 80,000km를 기준으로 구분하여 주행거리에 따른 N<sub>2</sub>O배출의 변화를 조사 분석하였다. 전체시험차량의 모든 평균주행속도별로 채취된 시료들의 측정결과 산출된 N<sub>2</sub>O배출인자의 전체 평균값은 0.087±0.095 g/km이었으며, 배출범위는 0.001~0.507 g/km이었다. N<sub>2</sub>O의 배출량은 주행속도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 과거 여러 연구들에서도 보고된 바와 같은 유사한 경향을 보였다. 차량의 평균주행속도에 따른 N<sub>2</sub>O배출량을 추정하기 위해 두 인자 사이의 상관성을 조사하였으며, 대수함수적인 관계를 나타내는 최선의 회귀식은 N<sub>2</sub>O배출량 [g/km] = -0.062Ln(주행속도 [km/h]) - 0.029, r<sup>2</sup>=0.97로 나타났다. 엔진크기를 기준으로 분류된 차량크기에 따른 N<sub>2</sub>O배출량 변화에서는 동일규모의 차량의 경우 평균주행속도 증가에 따라 N<sub>2</sub>O배출이 감소함을 보였으며, 엔진배기량이 증가할수록 N<sub>2</sub>O의 배출도 증가하는 것으로 나타났다. 세분화된 주행속도에 따른 배출량변화는 최고속 모드 전단계인 평균 80km/h에서 최저배출이 나타나고, 이후 95km/h에서 다소 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 고속운행 시 경제속도 부근에서 배출량도 저감될 수 있음을 시사하며, 이의 입증을 위해서는 향후에 보다 독립적이고 세분화된 실험을 통한 연구가 요구된다. 촉매의 내구보증거리인 80,000km를 기준으로 차량의 주행거리를 구분하여 살펴 본 배출변화에서는 80,000km이상 주행한 차량에서 상대적으로 높은 배출이 기록되었으며, 주행속도 증가에 따른 평균배출감소율도 80,000km이상인 경우 더 낮게 나타났다. 이상에서 수행되고 논의된 결과는 시험차량의 수량 확보가 매우 어려워, 실제 운행 중인 시험차량의 종류별, 그리고 N<sub>2</sub>O배출에 영향을 미칠 수 있는 인자들의 충분한 확보를 통해 실험을 통제하기가 힘들었으며, 따라서 어려운 현실을 극복하고 지속적인 실험과 분석이 필연적으로 요구되어진다. 이번 연구와 같이 양적으로 제한된 시험차량들을 대상으로 배출에 영향을 줄 것으로 예상되는 인자들을 선정함에 있어서 아직 불확실함(uncertainties)과 한계가 있음은 분명할 것이다. 그러나 이와 같은 자료제한의 한계에도 불구하고, 이번 실험을 통해 수행된 연구와 분석결과는 국내 운행승용차량으로부터의 N<sub>2</sub>O배출량을 밝히기 위한 최초의 시도라는 점에서, 그리고 향후 기대될 수 있는 지속적인 연구들로부터 신뢰성 있는 자료확보가 가

능하다는 점에서 이번 연구가 이동오염원에 의한 장래 국가온실가스 N<sub>2</sub>O배출계수 산출에 기여할 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 연구는 국립환경과학원 교통환경연구소의 지원과 일부 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2005-015-C00519)이며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- 1) Prinn, R., D. Cunnold, R. Rasmussen, P. Simmonds, F. Alyea, A. Crawford, P. Fraser and R. Rosen, 1990, Atmospheric emissions and trends of nitrous oxide deduced from 10 years of ALE-GAGE data. *J. Geophys. Res.*, 95, 18369-18385.
- 2) Warneck, P., 2000, *Chemistry of the Natural Atmosphere*. Second Edition, Academic Press, San Diego, California. p926.
- 3) IPCC, 1994, *Radiative Forcing of Climate Change-Intergovernmental Panel on Climate Change*, WMO -UNEP.
- 4) Stange, F., K. B. Bahl, H. Papen, S. Z. Boltenstern, C Li, and J. Aber, 2000, A process-oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils, 2. Sensitivity analysis and validation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. D4, 4385-4398.
- 5) Kim, D-S and J. C. Kim, 2002, Soil nitric and nitrous oxide emissions from agricultural and tidal flat field in southwestern Korea, *Canadian Journal of Environmental Engineering and Science*, 1, 359-369.
- 6) Kim, D. S, Y. Harazono, M. A. Baten, H. Nagai and H. Tsuruta, 2002, Surface flux measurements of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O from a dried rice paddy in Japan during a fallow winter season, *J. Air & Waste Manage., Assoc.*, 52, 416-422.
- 7) 김득수, 오진만, 2003, 밭 토양으로부터 아질산(N<sub>2</sub>O)기체의 배출량 측정과 배출특성, *한국대기환경학회지*, 19(5), 529-540.
- 8) 김득수, 오진만, 2004, Closed chamber를 이용하여 측정한 토양N<sub>2</sub>O 배출량과 주요 토양인자들과의 상관성, *한국대기환경학회지*, 20(6), 749-758.
- 9) Bouwman A. F., K. W. Van der Hoek, and J. G. J. Olivier, 1995, Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide, *J. Geophys. Res.*, 100, 2785-2800.
- 10) Bouwman, A. F., 1994, Estimated global source distribution of nitrous oxide, in *CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O: Global Emission and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources*, NIAES, 1994, pp. 147-159.
- 11) Behrentz, E., R. Ling, P. Rieger and A. M. Winer, 2004, Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: a pilot study, *Atmos., Environ.*, 38, 4291-4303.
- 12) Ballantyne, V.F., P. Howers, L. Stephanson, 1994, Nitrous oxide emissions from light-duty vehicles, Society of Automotive Engineers (SAE) Paper No. 940304.
- 13) Barton, P. and J. Simpson, 1994, The effects of aged catalysts and cold ambient temperatures on nitrous oxide emissions, Mobile sources emissions division (MSED), Environment Canada, MSED Report, #94-21.
- 14) Sasaki, S. and A. Kameoka, 1992, Nitrous emissions from automobiles. *Proceedings of 5th International Workshop on Nitrous Oxide Emissions*, 10-2, 1-8.
- 15) Koike, N., M. Odaka and H. Suzuki, 1999, Reduction of N<sub>2</sub>O from automobiles equipped with three-way catalyst-Analysis of N<sub>2</sub>O increase due to catalyst deactivation, SAE Technical Paper Series 1999-01-1081, 1-8, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, March 1-4, 1999.