

## RV차량 및 소형승합차량의 휘발성유기화합물 배출특성 연구

문선희\* · 홍희경\* · 김선문\* · 서석준\* · 정성운\* · 정택호\* · 홍유덕\* · 김정화†

### A Study on the VOCs Emission Characteristics of RV and MPV

Sunhee Mun, Heekyoung Hong, Sunmoon Kim, Seokjun Seo, Sungwoon Jung,  
Taekho Chung, Youdeog Hong and Jounghwa Kim

**Key Words:** RV(레저용차량), MPV(소형승합차량), VOCs(휘발성유기화합물), Emission characteristics(배출특성)

#### Abstract

Volatile organic compounds (VOCs) are well known as ozone precursors from photochemical reactions and contribute to the formation of photochemical smog which pose health hazards. Also, some of these compounds directly affect the human health due to their toxicity such as benzene. In this study, NMVOCs composition in exhaust gas from recreational vehicle (RV) and (MPV) were characterized using a chassis dynamometer. The results for NMVOCs have reported that alkanes emission was higher than alkenes, aromatics and cycloalkanes due to reactive of diesel oxidation catalysts. The NMVOCs composition according to carbon number was highly distributed between C3 and C6-C8. During the engine cold start condition, NMVOCs emission was higher compared to the engine hot start condition due to the increased catalytic activity. The NMVOCs emission with DPF increased compared to that without DPF. The results of this study will be provide to calculate VOCs emissions from mobile source.

#### 1. 서 론

국가대기오염물질 중 휘발성유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)의 배출량은 도로이동오염원에서 약 6%(2014년 기준)를 차지하고 있다<sup>(1)</sup>. VOCs는 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 공존 시 대기 중에서의 광화학반응을 통해 오존(O<sub>3</sub>) 및 질산과산화 아세틸(PAN, Peroxyacetyl Nitrate) 등을 생성하는 광화학스모그 유발 물질로 알려져 있다<sup>(1)</sup>. 또한 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서는 Benzene, 1,3-Butadien 등을 발암물질 1급(Group 1)으로 분류하였다<sup>(2)</sup>. 자동차에서 배출되는 미량유해물질은 미량으로 존재하나 인체 위해

성이 보다 높기 때문에<sup>(3)</sup> 지속적인 모니터링을 위하여 배출량 및 각 성분별 구성비(Speciation)를 파악하는 것이 필요하다.

유럽(EEA, European Environment Agency)에서는 Copert IV(Copert, Computer programme to calculate emissions from road transport) 모델을 이용하여 배출량을 산정하며, NMVOCs 61종에 대해 그룹별(Alkanes, Cycloalkanes, Alkenes, Alkynes, Aldehydes, Ketones, Aromatics) 구성비를 제시하고 있다<sup>(4)</sup>. 또한 Sial *et al.*(1999), Schmitz *et al.*(2000), Tsai *et al.*(2012), Wang *et al.*(2013) 등에 의해서도 자동차 배출 VOCs 구성비에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있다<sup>(5-8)</sup>. 그러나 국내에서는 이에 대한 연구가 미흡하며 VOCs 배출량 산정 시 유럽의 배출계수를 활용하고 있는 실정이다.

이에 따라 본 연구는 실측을 기반으로 한 현재 운행 중인 소·중형 RV(Recreational Vehicle) 및 소형승합차량(MPV, Multi-Purpose Vehicle)의 VOCs 배출특성을 파악하고 물질별 구성비를 도출하고자 수행하였으며, 국내

(Received: 28 Feb 2018, Accepted: 12 Apr 2018)

\*교통환경연구소

†책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : sds87@korea.kr

TEL : (032)560-7622 FAX : (032)561-7013

실정을 반영한 배출계수 및 배출량 산정 등 대기질 관리의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 연구내용 및 시험방법

### 2.1 시험차량

본 연구에서 사용 된 시험대상 차량은 국내 보급되고 있는 차량 중 판매 점유율이 높은 2,000 cc 미만의 소형 RV(3대), 2,000 cc 이상의 중형 RV(2대), 소형 승합차(3대)를 선정하였다. 또한 차량연식 및 후처리장치에 따른 VOCs의 배출특성을 조사하기 위하여 매연여과장치(DPF, Diesel Particulate Filter) 미부착 차량 ‘05년식과 ‘07년식 RV 차량을 추가로 선정하였다. 본 연구에 선정된 시험차량의 제원을 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 주행모드

주행모드는 국내 도로 운행조건을 반영하여 개발한 차속별 모드인 NIER 모드를 사용하였으며 각 모드의 주행특성과 운행패턴을 Table 2 및 Fig. 1에 나타내었다. 엔진미가열 조건에서는 NIER-5 모드, 엔진가열 조건에서는 NIER-9 모드를 적용하였다.

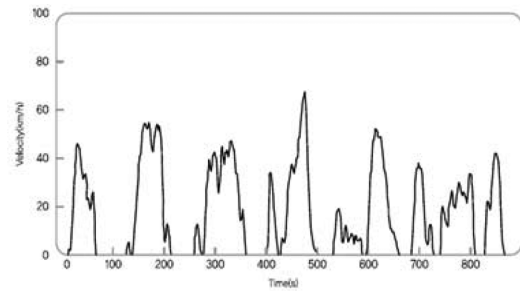
### 2.3 시험방법

#### 2.3.1 차대동력계 배출가스 측정장치 및 시스템

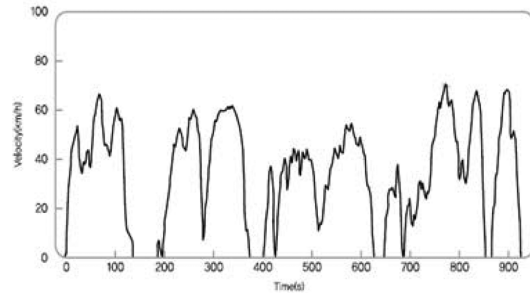
Figure 2에는 본 연구에 사용된 차대동력계(Chassis dynamometer)에 의한 배출가스 측정 시스템을 나타낸

Table 2 Specifications of driving mode

Test mode	Total driving distance (km)	Driving Time (s)	Average speed (km/h)	Maximum speed (km/h)
NIER-5	4.13	861	17.3	68.1
NIER-9	8.76	926	34.1	70.9



(a) NIER-5



(b) NIER-9

Fig. 1 The driving patterns on NIER modes

Table 1 Specifications of the tested vehicles

No.	Vehicle type	Displacement (cc)	Vehicle weight (kg)	Distance (km)	Emission Standard	After-treatment
RV1	RV	2,000	1,644	20,109	Euro-5	DOC+DPF
RV2		2,000	1,644	56,715	Euro-5	DOC+DPF
RV3		2,000	1,857	102,822	Euro-5	DOC+DPF
RV4		2,200	1,929	53,125	Euro-5	DOC+DPF
RV5		2,200	2,017	73,744	Euro-5	DOC+DPF
RV7		2,200	1,817	153,876	Euro-3	DOC
RV8		2,000	1,675	242,622	Euro-3	DOC
MPV1		MPV	2,200	2,095	71,328	Euro-5
MPV2	2,200		2,175	15,842	Euro-5	DOC+DPF
MPV3	2,500		2,290	67,679	Euro-5	DOC+DPF

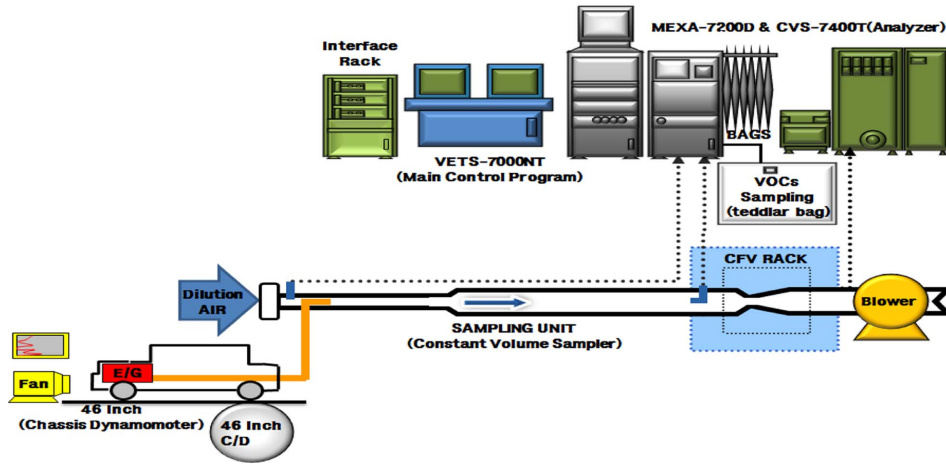


Fig. 2 Schematic diagram on vehicle emission test process

것으로, 차대동력계는 자동차가 실제 도로주행 시의 상태를 반영하기 위해 롤러 위에서 시험차량이 정지, 정속, 가속, 감속 등의 도로주행 조건을 모사하여 주행할 수 있도록 기계적으로 부하를 걸어 주는 장치이다. 배출가스 측정장치는 정용량 시료채취 장치, 희석터널, 보조운전 장치, 입자상물질 측정 장치, 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다.

### 2.2.2 배출가스 분석

시험 차량이 차대동력계의 롤러 위에서 설정된 주행 모드에 따라 운전 시 배기관으로 배출되는 가스는 희석 터널에서 희석공기와 함께 혼합된 후 정용량 시료채취 장치(CVS, Constant volume sampler)로 유입되며, 혼합 가스는 시료 채취백에 포집하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 배출가스 중 CO 항목은 비분산 적외선분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC 항목은 열식 불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NOx 항목은 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector)으로 각각 분석하였다.

### 2.2.3 휘발성유기화합물(VOCs) 분석

배출가스 중 VOCs 분석을 위해 희석터널에서 희석공기와 함께 혼합된 후 CVS로 유입되는 배기관의 배출가스를 유기화합물에 대한 흡착성이 적은 것으로 알려져 있는<sup>(9)</sup> 5 L 용량의 테들러 백(Teddlar bag)에 시료채취하였다. 또한 희석공기 중에 포함된 오염물질의 양을 보정하기 위하여 희석공기도 동시에 포집하여 배출량 정량 시 배경농도로 활용하였다.

VOCs 분석은 EPA TO-14A 방법을 활용하였으며<sup>(10)</sup>

Table 3 Analysis conditions of TD and GC/MS

Activity	Conditions
TD	
Prepurge Time	1 min
Trap Prepurge Time	1 min
Sample Flow Rate	20 ml/min
Trap Low Temperature	-15°C
Trap High Temperature	300°C
Trap Hold Temperature	5 min
Split Flow	30 ml/min
Gas Chromatography	
Column	DB-1, 60 m × 0.32 mm × 3 μm film thickness
Carrier Gas	Helium
Column flow	2 ml/min
Temperature Program	
Initial Column Temperature	30°C
Initial Hold Time	30 min
Program	5°C/min to 150°C and hold 10 min 15°C/min to 200°C and hold 10 min
Final Temperature	200°C
Final Hold Time	10 min
Mass Spectrometer	
Transfer Line Temperature	200°C
Ion Source Temperature	200°C
Electron Energy	70 volts
Ionization Mode	EI (Electron Ionization)
Mass Range	35~350 amu (SCANE Mode)

Table 4 Target VOCs

Group	Species				
Alkanes	Isobutane	n-Butane	Isopentane	n-Pentane	2,2-Dimethylbutane
	2,3-Dimethylbutane	2-Methylpentane	3-Methylpentane	n-Hexane	2,4-Dimethylpentane
	2-Methylhexane	2,3-Dimethylpentane	3-Methylhexane	2,2,4-Trimethylpentane	n-Heptane
	2,3,4-Trimethylpentane	2-Methylheptane	3-Methylheptane	n-Octane	n-Nonane
	n-Decane	Undecane	Dodecane		
Aromatics	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	Styrene
	o-Xylene	Isopropylbenzene	Propylbenzene	1-Methyl-3-ethylbenzene	4-Ethyltoluene
	1,3,5-Trimethylbenzene	1-Ethyl-2-methylbenzene	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,3-Trimethylbenzene	m-Diethylbenzene
	p-Diethylbenzene				
Cycloalkanes	Cyclopentane	Methylcyclopentane	Cyclohexane	Methylcyclohexane	
Alkenes	Propylene	1-Butene	trans-2-Butene	cis-2-Butene	1-Pentene
	Isoprene	trans-2-Pentene	cis-2-Pentene	1-Hexene	

테플러 백에 포집된 시료는 열탈착장치(Markes, Unity)에 주입하여 저온농축트랩(Cold trap)에 농축된 후 고온 열탈착하여 GC 분석 컬럼을 통해 GC/MS(Agilent 7890B/ALMSCO BenchTOF-Select, Markes)로 분석하였다. GC 오븐의 온도는 30°C에서 30분간 유지를 하고, 5°C/min의 온도 증가속도로 150°C까지 온도를 서서히 올려주어 10분간 유지한 후 15°C/min의 온도 증가속도로 200°C까지 온도를 올려주어 10분간 유지하였다.

VOCs 표준가스는 오존생성에 기여하는 전구물질(Precursor)이 혼합된 56 components (Supelco, USA)를 사용하였으며 Table 3에 VOCs 분석조건을 나타내었다. 분석대상 VOCs 항목은 C3~C12 물질로 Table 4에 나타내었다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 NMVOCs의 구성성분별 배출특성

Figure 3에 NMVOCs 개별물질을 그룹별로 분류하여 NMVOCs의 구성성분을 나타내었다. RV, MPV 차종 모두 알칸족(Alkanes)이 58.4~67.4%로 가장 높은 비율을 차지하였으며 주로 Isobutane, n-Octane, n-Nonane, n-Hexane, 3-methyl-hexane 등의 비율이 높게 나타났다. 특히 직선형 알케인(Straight-chain alkanes)의 비율이 높게 나타나는 경향을 확인 하였으며, Huang *et al.*(2015)는 엔진 유지관리 미비에 의한 경유 연료의 불완전 연소가

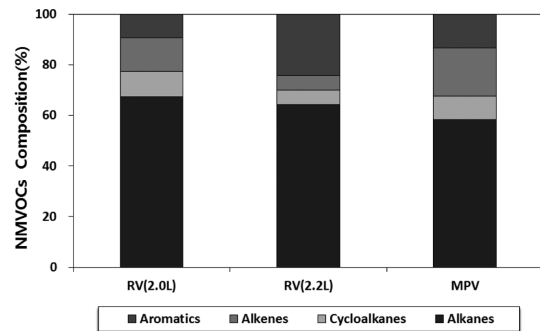


Fig. 3 Groups of NMVOCs composition

원인인 것으로 보고하고 있다<sup>(11)</sup>.

방향족(Aromatics)은 9.4~24.3%로 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)가 80% 이상 대부분을 차지하였으며, 우선관리대상물질로 선정·고려할 필요성이 있다고 사료된다. 알켄족(Alkenes)은 5.7~19.0%로 주로 1-butene, Propene 등의 비율이 높게 나타났으며 오존 생성능력(POCP, Photochemical Ozone Creation Potential)이 높기 때문에<sup>(12)</sup> 지속적인 모니터링이 필요한 물질로 사료된다. Alexander Knafel *et al.*(2007)에 의해 Alkynes와 Alkenes는 경유산화촉매장치(DOC, Diesel Oxidation Catalysts)에서 대부분 반응성이 좋은 물질이며 다음으로 Aromatics, Alkanes 순으로 나타났다는 연구결과<sup>(13)</sup>에 따라 본 연구에서 Alkanes의 비율이 높은 것은 DOC 장치에서의 반응성 영향인 것으로 판단된다.

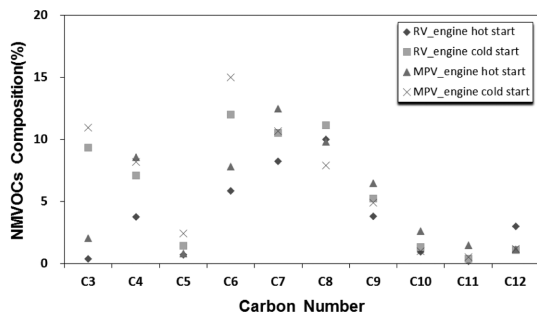


Fig. 4 NMVOCs Composition from the carbon number

RV, MPV 차량의 탄소수에 따른 NMVOCs 구성비율을 Fig. 4에 나타내었다. RV, MPV 차량 모두 C3 이하의 물질과 C6~C8 물질이 높게 분포하였다. 또한 엔진가열 및 미가열 조건에 따라 미가열 조건에서 저분자 물질의 비율이 높게 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 엔진가열 조건에서는 탄소수가 적은 물질이 상대적으로 쉽게 연소되는 특성인 것으로 보고하고 있다<sup>(14)</sup>.

Figure 5는 본 연구에서 측정된 NMVOCs의 배출량을 기반으로 구성비(Speciation)를 도출하여 구성비가 높은 주요 물질을 나타낸 것이다. RV 차량의 경우 n-Octane (4.1%), n-Heptane(3.5%), 1-Butene(3.3%), n-Nonane(3.2%), Dodecane(3.0%) 등의 순으로 나타났으며, MPV 차량은 1-Butene(8.0%), n-Nonane(5.2%), Isobutane(4.8%),

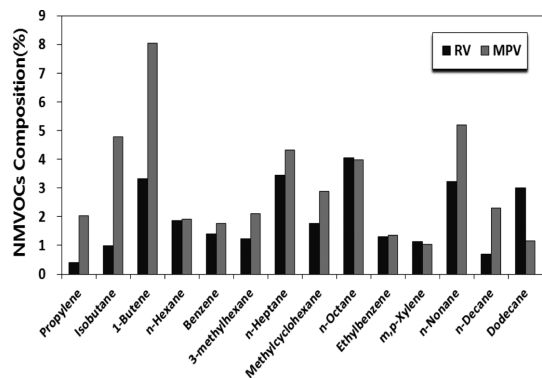


Fig. 5 NMVOCs composition of RV & MPV

n-Heptane (4.3%), n-Octane(4.0%) 등의 순으로 높게 나타났다. Benzene의 구성비는 RV, MPV 차량 각각 1.39%, 1.78%를 나타내었으며, 이를 유럽(EEA)의 결과 (1.98%)<sup>(4)</sup>와 비교해 본 결과 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.2 NMVOCs의 엔진가열 및 미가열 배출특성

Figure 6에 나타낸 바와 같이 NMVOCs의 배출량은 엔진가열 조건 대비 미가열 조건에서 배출량이 증가하였다. Georgios Karavalakis *et al.*(2012) 연구에 따르면 엔진미가열 조건 대비 가열 조건에서 배출량이 낮은 이유는 높은 배출가스 온도에 의한 촉매 활성의 증가

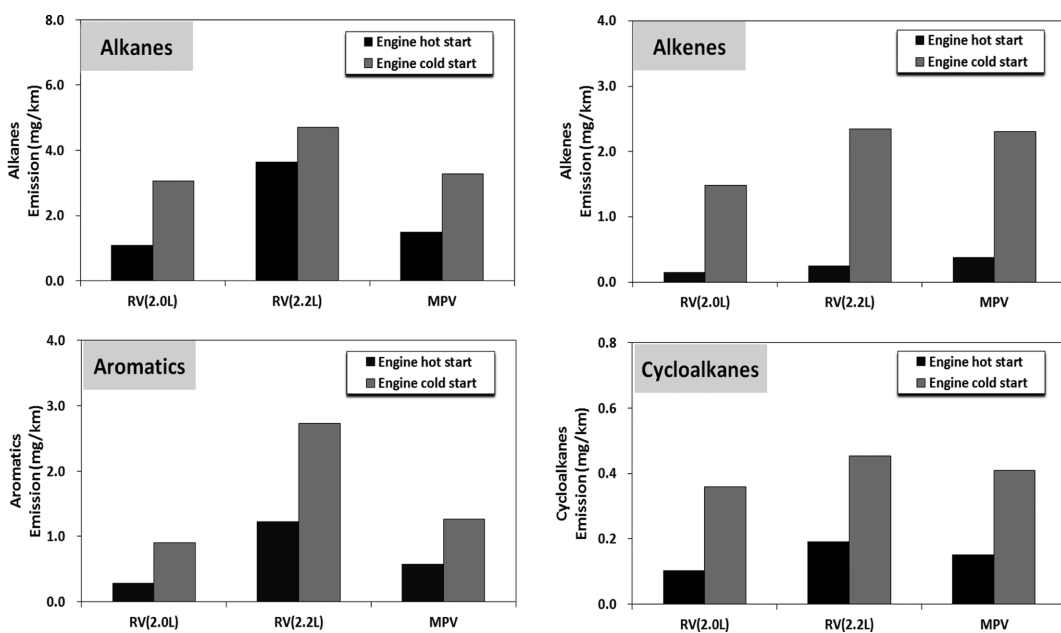


Fig. 6 NMVOCs emission according to engine hot and cold start condition

때문인 것으로 보고하고 있다<sup>(15)</sup>. NMVOCs의 배출량 증가율은 Alkenes가 6.1~9.9배로 가장 높게 나타났다. 다음으로 Aromatics와 Cycloalkanes이 각각 2.2~3.2배, 2.4~3.6배로 유사하게 나타났으며 Alkanes는 1.3~2.8배 높게 나타났다. Isabelle Caplain *et al.*(2006)의 연구결과에서도 VOCs 배출량은 엔진가열 조건 대비 미가열 조건에서 높게 배출되었으며 특히 Aromatics와 Alkenes는 미가열 조건에서 높은 비율로 배출 된다고 보고하고 있다<sup>(16)</sup>.

### 3.3 NMVOCs의 차량연식 및 후처리장치별 배출특성

국내에서는 최근 미세먼지 관리 종합대책 일환으로 수도권지역의 노후경유차 운행을 제한하고 있다. 이에 차량연식에 따른 NMVOCs 배출량을 살펴본 결과 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 '13년식 차량(Euro-5) 대비 '05년식 차량(Euro-3)에서 2.5~10.5배 높게 배출되었다. 이와 같은 결과는 차량 노후화 영향인 것으로 확인되었으며 향후 노후경유차 운행제한 지역의 확대가 필요할 것으로 사료된다. 또한 Paivi AAKKO *et al.*(2006)는 엔진과 후처리장치 기술의 발전에 따른 영향인 것으로 보고하고 있다<sup>(17)</sup>. 차량연식에 상관없이 Alkanes가 1.6~4.0 mg/km로 가장 높게 배출되었으며 Aromatics, Alkenes, Cycloalkanes 순으로 배출되었다.

Figure 8은 후처리장치 장착유무에 따른 배출특성을 확인하기 위하여 매연여과장치(DPF, Diesel Particulate Filter) 장착 차량(Euro-5)과 미장착 차량(Euro-3)의 NMVOCs 배출량을 비교한 결과로 DPF 미장착 차량에서 약 1.5~8.7배 높게 배출되는 것으로 확인되었다. Andrew May *et al.*(2014)에 의해 후처리기술은 가스상 물질을 상당히 저감한다고 보고하고 있다<sup>(18)</sup>. DPF 장착 차량 대비 DPF 미장착 차량의 Alkenes 배출량

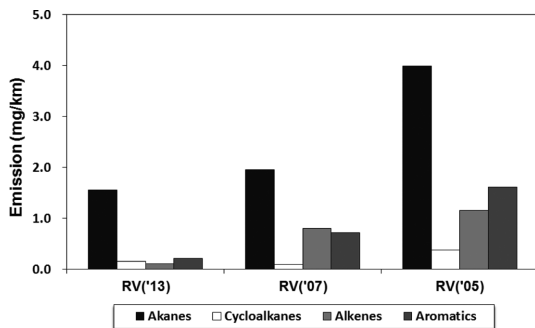


Fig. 7 NMVOCs emission composition according to RV model year

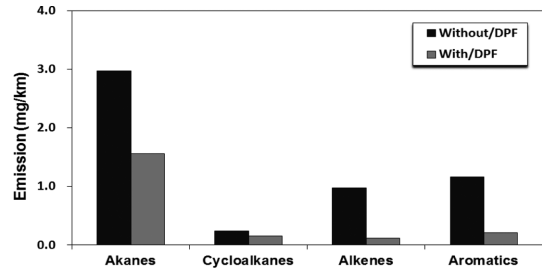


Fig. 8 NMVOCs emission composition according to after-treatment system

증가율이 약 8.8배로 가장 높았으며 Propen, 1-Butene 등 C3~C4 물질의 배출량이 증가하였다. 또한 DPF 미장착 차량에서 1-Pentene, 1-Hexene, (E)-2-Butene 등이 추가 배출되는 것으로 확인되었다. 다음으로 Aromatics는 DPF 미장착 차량에서 약 5.5배 높게 배출되었으며 BTEX, 1,2,4-Trimethylbenzene 등이 높게 배출되었다. Hong Zhao *et al.*(2014)에 의해서도 VOCs 배출량은 DPF 장착 엔진 대비 DPF 미장착 엔진에서 증가하는 연구결과를 보고하고 있다<sup>(19)</sup>.

## 4. 결 론

본 연구에서는 소·중형 RV 및 소형승합차량에 대한 NMVOCs 배출특성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) NMVOCs의 구성성분에 대한 분석결과 Alkanes의 비율이 58.4~67.4%로 가장 높게 나타났으며, 이는 DOC 장치의 영향으로 다른 물질에 비해 반응성이 낮은 것으로 판단된다.

(2) 탄소수에 따른 NMVOCs의 구성비율은 C3 이하의 저분자 물질과 C6~C8 물질이 높게 분포 하였으며, 엔진가열 대비 미가열 조건에서 저분자 물질의 비율이 높게 증가하는 경향을 확인하였다.

(3) 엔진가열 및 미가열 조건에 따른 NMVOCs 배출 특성 결과 엔진미가열 조건에서 배출량의 증가를 확인 하였으며, 이는 낮은 배출가스 온도에 의한 촉매 활성의 감소인 것으로 판단된다. 또한 Alkenes의 배출량 증가율이 6.1~9.9배로 가장 높게 나타났다.

(4) 차량연식에 따른 NMVOCs 배출특성 결과 차량 노후화의 영향으로 배출량이 2.5~10.5배 높게 증가하는 경향을 확인하였다. 또한 후처리장치(DOC+DPF) 장착

유무에 따라 미장착 차량(DOC)에서 배출량의 증가를 확인하였다.

(5) 본 연구결과는 이동오염원의 VOCs 배출량산정 및 우선관리대상물질 선정을 위한 기초자료로 활용될 것이며, 인체 위해성과 관련한 유해물질이 포함되어 있으므로 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2016-01-01-016).

## 참고문헌

- (1) NIER, "National air pollutants emission service", 2014.
- (2) WHO, "Agent classified by the IARC Monographs", Vols. 1-117, 2016.
- (3) EPA, "Health assessment document for diesel engine exhaust", EPA/600/8-90/057F, 2002.
- (4) EMEP/EEA, "Air pollutant emission inventory guide-book", 2016.
- (5) Walter O. Siegl, Robert H. Hammerle, Heiko M. Herrmann, Bernd W. Wenclawiak and B. Luers-Jongen, "Organic emissions problem for a light-duty diesel vehicle", *Atmospheric Environment*, Vol. 33, 1999, pp. 797-805.
- (6) Thomas Schmitz, Dieter Hassel and Franz-Josef Weber, "Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger cars", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, 2000, pp. 4636-4647.
- (7) Jiun-Horng Tsai, Sheng-You Chang and Hung-Lung Chiang, "Volatile organic compounds from the exhaust of light-duty diesel vehicles", *Atmospheric Environment*, Vol. 61, 2012, pp. 499-506.
- (8) Jun Wang, Liangmao Jin, Junhua Gao, Jianwu Shi, Yanlin Zhao, Shuangxi Liu, Taosheng Jin, Zhipeng Bai and Chang-Yu Wu, "Investigation of speciated VOC in gasoline vehicular exhaust under ECE and EUDC test cycles", *Atmospheric Environment*, Vols. 445-446, 2013, pp. 110-116.
- (9) NIER, "A Study on the estimation of the HAPs emission factors for the mobile source (II)", 2005.
- (10) EPA, "Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air", EPA/625/R-96/010b, 1999.
- (11) C. Huang, H. L. Wang, L. Li, Q. Wang, Q. Lu, J. A. de Gouw, M. Zhou, S. A. Jing, J. Lu and C. H. Chen, "VOC species and emission inventory from vehicles and their SOA formation potentials estimation in Shanghai, China", *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 15, 2015, pp. 11081-11096.
- (12) H. L. Kim, J. S. Han and S. Y. Kim, "A Study on the source profile of volatile organic compounds from major emission sources", *Journal of Korea Society for Atmospheric Environment*, Vol. 17, 2001, pp. 233-240.
- (13) Alexander Knafl, Manbae Han, Stanislav V. Bohac and Dennis N. Assanis, "Comparison of diesel oxidation catalyst performance on an engine and a gas flow reactor", SAE, 2007.
- (14) NIER, The study on the emission characteristics of mobile source air toxics and management strategy (II), 2015.
- (15) Georgios Karavalakis, Stavros Pouloupoulos and Efthimios Zervas, "Impact of diesel fuels on the emissions of non-regulated pollutants", *Fuel*, Vol. 102, 2012, pp. 85-91.
- (16) Isabelle Caplaina, Fabrice Cazier, Habiba Nouali, Agnes Mercier, Jean-Claude Dechauxa, Valérie Nollet, Robert Joumard, Jean-Marc Andre and Robert Vidon, "Emissions of unregulated pollutants from European gasoline and diesel passenger cars", *Atmospheric Environment*, Vol. 40, 2006, pp. 5954-5966.
- (17) Paivi AAK. K, Juhani LAURIK. K, Martin WEILENMANN, PeterMATTREL, Robert JOURMARD, Jean-Marc ANDRE, Maria Vittoria PRATI, Maria Antonietta COSTAGLIOLA, Tamas MERETEI, Fabrice CAZIER, A MERCIER, Habiba NOUALI, Laurent PATUREL, Evelyne COMBET and Oliver DEVOS, Jean-Claude DECHAUX, Isabelle CAPLAIN & Valerie NOLLET, "Emission factors of unregulated atmospheric pollutants for passenger cars - Task 322 of the EU ARTEMIS Project", *Environment & Transport*, Vol. 1, 2006, pp. 231-238.
- (18) Andrew A. May, Ngoc T. Nguyen, Albert A. Presto, Timothy D. Gordon, Eric M. Lipsky, Mrunmayi Karve, Alvaro Gutierrez, William H. Robertson, Mang Zhang, Christopher Brandow, Oliver Chang, Shiyang Chen, Pablo Cicero-Fernandez, Lyman Dinkins, Mark Fuentes, Shiu-Mei Huang, Richard Ling, Jeff Long, Christine Maddox, John Massetti, Eileen McCauley, Antonio Miguel, Kwangsam Na, Richard Ong, Yanbo Pang,

Paul Rieger, Todd Sax, Tin Truong, Thu Vo, Sulekha Chattopadhyay, Hector Maldonado, M. Matti Maricq and Allen L. Robinson, "Gas- and particle-phase primary emissions from in-use, on-road gasoline and diesel vehicles", *Atmospheric Environment*, Vol. 88, 2014, pp. 247~260.

(19) Hong Zhao, Yunshan Ge, Tiezhu Zhang, Jipeng Zhang, Jianwei Tan and Hongxin Zhang, "Unregulated emissions from diesel engine with particulate filter using Fe-based fuel borne catalyst", *Journal Environmental Science*, Vol. 126, 2014, pp. 2027~2033.