

배출허용기준 강화에 따른 차속별 경유 중형트럭의 유해대기오염물질 배출특성

홍희경* · 정성운* · 손지환* · 문태영* · 이상은* · 문선희* · 윤현진* · 김정수* · 김정화†

Speed-dependent Emission Characteristics of the Hazardous Air Pollutants from Diesel Medium-duty Trucks according to Emission Standards

Heekyoung Hong, Sungwoon Jung, Jihwan Son, Taeyoung Moon, Sangeun Lee,
Sunhee Moon, Hyunjin Yoon, Jeongsoo Kim and Jounghwa Kim

Key Words: Aldehyde(알데히드), VOCs(휘발성유기화합물), PAHs(다환방향족탄화수소), Medium-duty truck(중형트럭), HAPs(유해대기오염물질)

Abstract

This study was designed to investigate the emission characteristics of unregulated pollutants (Aldehyde, VOCs, PAHs) as well as regulated pollutants (CO, HC, NOx and PM) from diesel medium-duty trucks. The emission characteristics of unregulated and regulated pollutants were assessed based on regulation standards (EURO 4 and EURO 5) and intake weight (2.5 ton and 5 ton). The results show that unregulated and regulated pollutants remained almost unchanged at higher speeds but decreased at below 23.5 km/h. Reduction in unregulated and regulated pollutants was noticeable in vehicles of recent regulation standards and light intake weight. The analysis of aldehyde using UPLC showed that formaldehyde and acetaldehyde of aldehyde were most dominant. The GC/MS analysis showed that benzene, toluene, ethylbenzene and xylene of VOCs was over 80% followed by toluene, xylene, ethylbenzene and benzene. In addition, the analysis of PAHs using GC/TOF-MS indicated that bi- and tricyclic aromatic ring of aromatic compounds was 73% and 53% at 2.5 ton and 5 ton vehicles, respectively. The results of this study will be contributed to establish HAPs inventory.

1. 서 론

산업발달이 가속화되고 고도화됨에 따라 오염물질이 다양해지면서 난방, 산업시설, 자동차 등에서 배출되는 이산화질소, 이산화황, 먼지 등 환경기준 물질에 대한 관심이 최근에는 유해대기오염물질(HAPs: Hazardous

Air Pollutants)로 확대되고 있다^(1,2). 자동차 배출가스 중 HAPs는 미량으로 배출되지만 직접적이고 장기적인 노출로 인하여 인간과 동물 및 식물에 악영향을 미칠 우려가 있으며 독성, 발암성, 생체축적과 대기 중 지속성, 확산 등의 특성을 지니고 있다⁽³⁾. 2012년 미국 환경청(EPA: Environmental Protection Agency)에서는 ‘실외에서 시민의 건강을 위협하는 HAPs의 약 78%는 경유자동차에서 배출되고 있다’는 조사결과를 발표하였다. 샌프란시스코의 경우 HAPs에 의한 시민의 추가 발암확률이 백만명당 2,600명 수준이며 이 중 90%의 위험요소는 주로 트럭과 버스, 불도저 등 경유자동차의 배출가스에 의한 것으로 나타났다⁽⁴⁾. 국립환경과학원에서 2013년도

Received: 13 Jun 2015, Received in revised form: 22 Jun 2015, Accepted: 23 Jun 2015

*국립환경과학원 교통환경연구소

†국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : jounghwa@korea.kr

TEL : (032)560-7620 FAX : (032)561-7013

에 발표한 대기정책지원시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System) 자료에 의하면 경유 중형트럭의 등록대수는 전체 차량등록대수에서 3.5%로 상대적으로 낮으나 EURO 4 및 EURO 5 차량 점유율은 16%, 8%⁽⁵⁾로 그 비율은 점차 증가하는 추세이다. 하지만 국내의 경우 경유 중형트럭의 규제물질 배출현황은 파악되지 않음에 대한 자료는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 국내 운행차에서 비율이 증가하고 있는 EURO 4 및 EURO 5 규제기준의 경유 중형트럭을 대상으로 차속별 규제물질과 미규제물질의 배출특성을 조사하여 분석하고자 한다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험차량

본 연구에서는 국토해양부에서 발표한 2012년도 국내 자동차등록대수 자료를 이용하여 차종별 점유율을 고려하여 「제작자동차인증방법 및 절차에 관한 규정」 “제17조 시험자동차의 길들이기”의 규정에 따라 3,000 km 이상 주행한 차량으로 EURO 4 및 EURO 5 기준의 2.5 ton 2대, 5 ton 2대의 차량을 선정하였으며 각 2회씩 시험하였다. 시험차량의 제원은 Table 1에 나타내었다.

2.2 시험모드

차속별 경유 중형트럭의 규제물질 배출특성을 분석하기 위하여 적합한 시험모드는 국립환경과학원에서 자체 개발한 차속모드인 NIER(National Institute of Environmental Research) 모드이며 본 시험에 사용된 대표차속은 4.7, 10.8, 23.5, 64.7, 94.8 km/h의 5개 모드이다. 또한 경유자동차의 규제시험모드인 NEDC (New European Driving Cycle) 모드를 적용하여 분석하였다. NEDC 모드의 경우 시내 주행모드와 고속도로 주행모드가 연속으로 구성된 모드로 유럽에서 연비 및 배출가스 측정에 사용되고 있으며 시험모드별 자세한 제원은 Table 2와 Fig 1에 나타내었다.

2.3 시료채취 및 분석방법

2.3.1 차대동력계를 이용한 배출가스 분석

차대동력계는 자동차가 실제 도로를 주행할 때 가속, 정속, 감속, 정지 등을 반복하는 과정을 동력계상에서 그대로 재현하여 모사 주행할 수 있도록 자동차에 부하를

Table 1 Specification of test vehicles

Emission standards	EURO 4		EURO 5	
	2.5 ton	5 ton	2.5 ton	5 ton
Intake weight	A	B	C	D
Test vehicle	A	B	C	D
Model	2008	2010	2012	2012
Distance (km)	147,082	298,453	130,447	122,106
Displacement (cc)	3,933	5,899	3,933	5,899
Gross vehicle weight (kg)	6,020	5,960	13,170	11,090
After treatment equipment	EGR ¹⁾ +p-DPF ²⁾			

1) EGR: Exhaust Gas Recirculation

2) p-DPF: Partioa-Diesel Particulate Filter

Table 2 Specification of each driving modes

Test mode	Driving distance (km)	Average speed (km/h)	Time (sec)
NIER-1	1.19	4.7	908
NIER-3	2.70	10.4	937
NIER-7	5.82	23.5	891
NIER-12	16.08	64.7	866
NIER-14	22.17	94.8	801
NEDC	10.92	33.3	1180

걸어주는 장치이며, 측정 장치는 차대동력계, 시료채취 장치, 보조운전 장치, 희석터널, 입자상물질 측정장치, 배출가스분석기로 구성되어 있다. 배출가스 측정은 시험차량이 차대동력계의 롤러 위에서 각 시험모드를 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS: Constant Volume Sample)로 일정량의 공기로 희석한 후 시료채취 백에 채취된 배출가스를 분석기로 분석하며 희석터널은 고온에 의한 입자상물질의 변화를 배제시키고 대기조건으로 제어하기 위해 시료채취 온도가 52°C 이내로 유지되도록 외부공기와 배기가스를 희석시키는 역할을 한다. Fig. 2에 시험모습을 나타내었다.

2.3.2 알데히드(Aldehyde) 분석

희석터널에 알데히드 샘플러를 연결하여 채취한 시료의 전처리를 진행하기 전까지 4°C 이하의 냉동고에 보

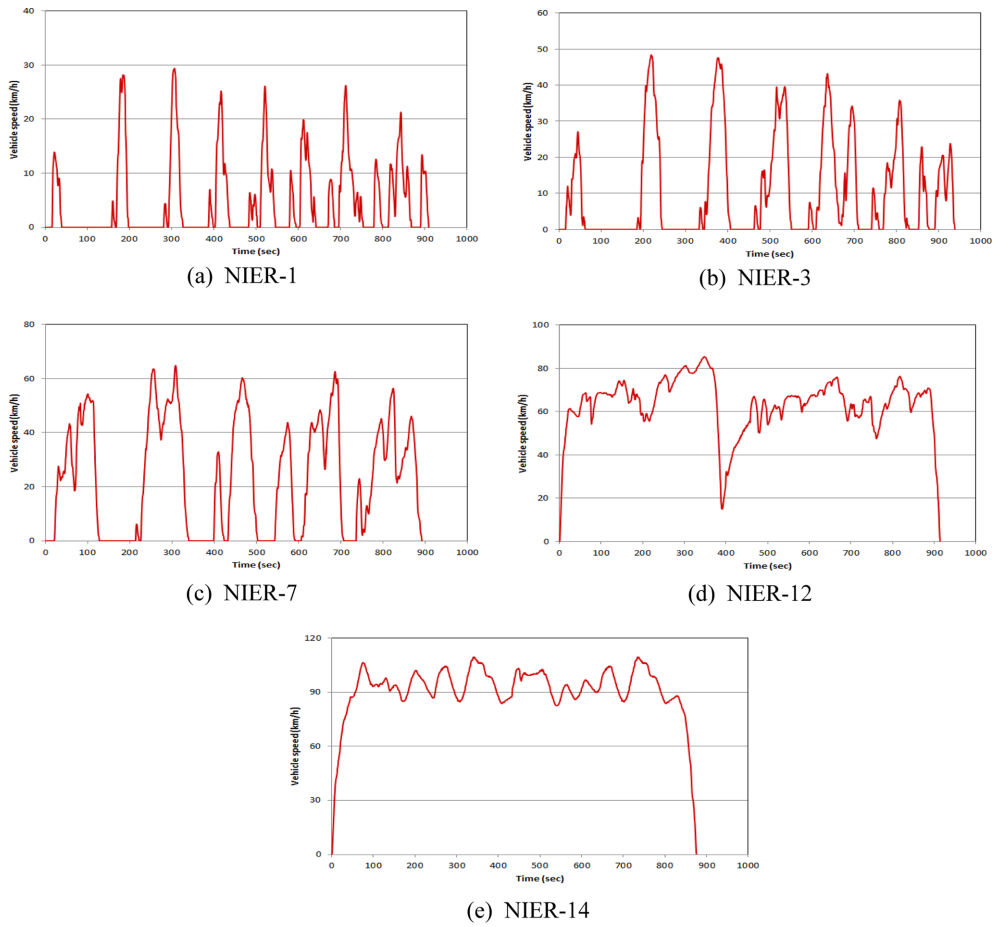


Fig. 1 Driving test mode.



Fig. 2 Overview of chassis dynamometer.

관한 카트리지를 Acetonitrile로 GHP Filter (47 mm, 0.2 μm)에 필터링 한 후 카트리지에 흡착되어 있는 시료를

10 ml 갈색 용량플라스크에 용출시켜 표선을 맞춘 후 시료가 평형을 이루면 2 ml 전용 Vial에 시료를 옮겨 UPLC(Ultra Performance Liquid Chromatography)로 분석 하였다. 표준물질은 13종의 물질이 혼합된 40 $\mu\text{g/ml}$ 표준용액을 희석하여 사용하였으며 40, 100, 200, 1000, 2000 ppb의 농도로 검정곡선을 확인하고 R^2 는 0.99 이상 유지하였다. Table 3에 분석조건을 나타내었다.

2.3.3 휘발성유기화합물(VOCs) 분석

차량주행 동안 대형 테들러백에 채취된 배출가스를 분석이 끝난 후 Purge line을 통해 5 L 테들러백을 사용하여 시료를 채취하였으며 6개의 시료주입구가 있는 Air-server장치에 연결하여 5 L 테들러백 안에 채취된 배출가스를 주입하였고 열탈착시스템장치를 사용하여 저온농축 하였다. 열탈착시스템장치를 통한 시료농축

Table 3 Analytical conditions of UPLC

Method	EPA TO-11A			
Model	Waters US/Quattromicro			
Detector	TUV ¹⁾ , 360 nm			
Column	ACQUITY UPLC™ BEH C18 1.7 μm 2.1×100 mm			
Mobile phase	Solvent A : 90% Water+10% Tetra Hydro Furan (THF) Solvent B : 100% Acetonitrile (ACN)			
Gradient	Time (min)	Flow (ml/min)	%A	%B
	Initial	0.3	60	40
	5.0	0.3	60	40
	10.0	0.3	0	100
	12.0	0.3	60	40
	15.0	0.3	60	40
Flow rate	0.3 ml/min			
Injection volume	2 μl			

1) TUV: Tunable Ultra Violet

및 전이하는 전처리과정은 시료가 Purge & Trap을 거치면서 Nafion dryer를 통해 수분과 이산화탄소를 제거하고 Unity의 Cold trap에 -15°C 상태에서 VOCs 성분을 저온농축 및 흡착을 시켜 농축된 시료를 300°C로 가열 및 탈착하여 GC/MS로 주입 및 분석하였다. Mass filter는 Ion trap이며 초기 온도조건은 35°C에서 8분의 지속 시간으로 시작하여 220°C까지 승온 후 최종 67.25분의 분석시간을 나타내었다. 표준물질은 EPA TO-14A의 43종 물질이 혼합된 100 ppb Standard gas를 사용하였고 10, 20, 40, 80, 100 ppb의 농도로 검정곡선을 확인하고 R²는 0.99 이상 유지하였다. Table 4에 분석조건을 나타내었다.

2.3.4 다환방향족탄화수소(PAHs) 분석

테프론으로 코팅된 유리섬유여지에 입자상물질을 채취하였으며 24±4시간 향온·향습 시킨 후에 전처리를 하였다. 포집한 전단 및 후단 필터를 용매가속 추출기 (ASE)의 11 ml 추출 셀에 넣고, 추출 시 오차 발생을 방지하기 위해 셀의 빈 공간을 규조토로 채웠다. ASE는 고온·고압에서 시료추출을 진행하며 온

Table 4 Analytical condition of TD & GC/MS

Method	EPA TO-14A				
TD ¹⁾	Purge	Prepurge time (ml/min)	3		
		Trap prepurge time (ml/min)	0.2		
	Sample flow	Sample flow late (ml/min)	20		
		Trap desorb	Trap low temp (°C)	-10	
	Trap high temp (°C)		300		
	Trap hold time (min)		5		
	Split flow (ml/min)	10			
GC/MS	Model	Varian CP-3800/Saturn2200			
	Column	DB-1 (60 m × 0.32 mm × 5.00 μm)			
	Column temp	Temp (°C)	Rate (°C/min)	Hold time (min)	Total time (min)
		35	0.0	8.00	8.00
		180	4.0	12.00	56.25
		220	8.0	6.00	67.25
	Column flow	1.0 ml/min			
	Split ratio	5:1			
	MS scan range	45~350 amu			

1) TD: Thermal Desorber

도 100°C, 압력 2000 psi 상태에서 15분간 Dichloromethane으로 약 20 ml로 추출하였다. 추출한 시료는 자외선에 의해 PAHs가 해리되지 않도록 알루미늄 호일로 추출용기를 감싸주었고 추출액은 질소가 연결된 회전감압농축기(Rotary evaporator)에서 약 1 ml 정도 1차 농축한 후 시료 보정을 위해 Hexane 2~3 ml를 넣고 최종 1 ml로 2차 농축을 하였으며 농축된 시료는 Vial에 담고 내부표준물질 4종을 주입한 후 분석하였다. 초기 온도조건은 50°C에서 1분의 지속 시간으로 시작하여 320°C까지 승온 후 최종 42.25분의 분석시간을 나타내었다. 표준물질은 16종의 물질이 혼합된 10 μg/ml 표준용액을 사용하였으며 2000 μg/ml의 내부표준물질 4종을 희석하여 사용하였다. 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2.5 ppm의 농도로 검정곡선을 확인하고 R²는 0.99 이상 유지하였다. Table 5에 분석조건을 나타내었다.

Table 5 Analytical conditions of GC/TOF-MS

Method	EPA TO-13A				
GC/ TOF ¹⁾ - MS	Model	Agilent 7890A/ALMSCO Bench TOF-dx			
	Column	HP-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)			
	Column temp.	Rate (°C/min)	Value (°C)	Hold time (min)	Total time (min)
			50	1	1
		8	180	0	17.25
		5	240	0	29.25
	10	320	5	42.25	
	Column flow	2.5 ml/min			
	Split ratio	10:1			
	Inlet heater	280°C			
Injection volume	1 μl				

1) TOF: Time of Flight

3. 시험결과

3.1 규제물질 특성

국내 경유 중형트럭의 배출허용기준은 2006년에 EURO 4, 2009년에는 EURO 5 기준이 도입되었다. 국내 중형트럭 대기오염물질 배출허용기준은 유럽기준과 1년의 적용시점 차이를 보이며 Fig. 3와 같이 유사하게 기준강화가 지속적으로 이루어지고 있으며 2006년에는 CO 29%, HC 30%, NOx 30%, PM 80%, 2009년에는 NOx의 기준이 43% 강화되었다.

적재중량 2.5 ton 대비 5 ton 차량의 차속별 규제물질 결과를 Fig. 4에 나타내었다. EURO 4는 CO 243%, NOx 80%, PM 241% 높은 것으로 확인되었으나 HC의 경우 19% 감소하였다. EURO 5의 경우 CO 143%, HC 225%, NOx 168%, PM 370% 높은 것으로 확인되었다. 2.5 ton 차량의 경우, NOx가 EURO 4 대비 EURO 5 차량이 30% 감소되었으며 5 ton 차량은 EURO 5 차량이 23.5 km/h 이후 증가하는 모습을 보였다. 적재중량 2.5 ton 차량의 NEDC 모드 시험 결과, EURO 4 대비 EURO 5 차량의 NOx가 41% 감소하였으며 두 차량 모

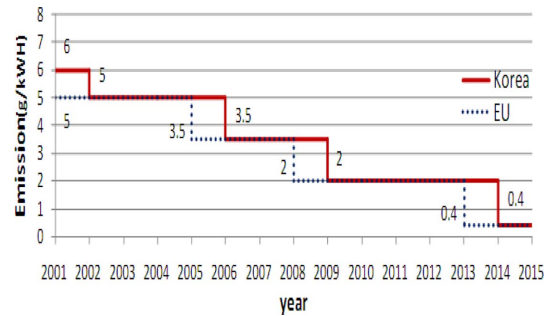


Fig. 3 Trends of NOx emission standards for medium-duty trucks

두 NOx 기준 강화율 43% 대비 다소 낮은 저감 수준을 보였다. 저속구간에서 고속구간으로 갈수록 모든 규제물질의 배출량이 감소하였으나 NOx와 PM 항목은 64.7 km/h 이후의 고속구간에서 배출량이 다소 증가하는 경향을 보였다. NOx는 대부분이 Thermal NOx에 기인하는데 이것은 높은 온도의 영향으로 생기는 NOx⁽⁶⁾로서 고속구간에서 배출가스의 온도가 상승하면서 NOx의 양이 증가된 것으로 사료된다.

3.2 미규제물질 특성

3.2.1 알데히드(Aldehyde)

차량시험 연료로 쓰인 경유는 합산소 물질이 혼합되어 있지 않아 Aldehyde류 배출이 휘발유에 비해 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. Aldehyde류에서 발생비율이 높은 Formaldehyde와 Acetaldehyde를 중점으로 적재중량에 따른 차속별 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 차속이 증가함에 따라 배출량이 점차 감소하는 경향을 보였으며 23.5 km/h 이후 배출량은 급격히 감소하였다. 이는 불완전연소가 많은 저속구간에서 Aldehyde류 배출이 많이 발생하고 고속구간으로 갈수록 엔진의 온도와 촉매의 온도가 높아지면서 완전연소로 바뀌어 배출량이 낮아짐을 알 수 있다⁽⁷⁾.

3.2.2 휘발성유기화합물 (VOCs)

본 연구에서 VOCs의 80% 이상을 차지하며 환경학적으로 중요한 BTEX를 중점으로 적재중량에 따른 차속별 특성을 Fig. 6에 나타내었다. 저속구간에서 고속구간으로 갈수록 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene의 배출량이 감소하는 경향을 보였으며 특히 23.5 km/h 이하 속도에서 배출량이 집중적으로 증가하는 것으로 나타나면서 대부분의 VOCs가 차량의 저속 운행 시 배출

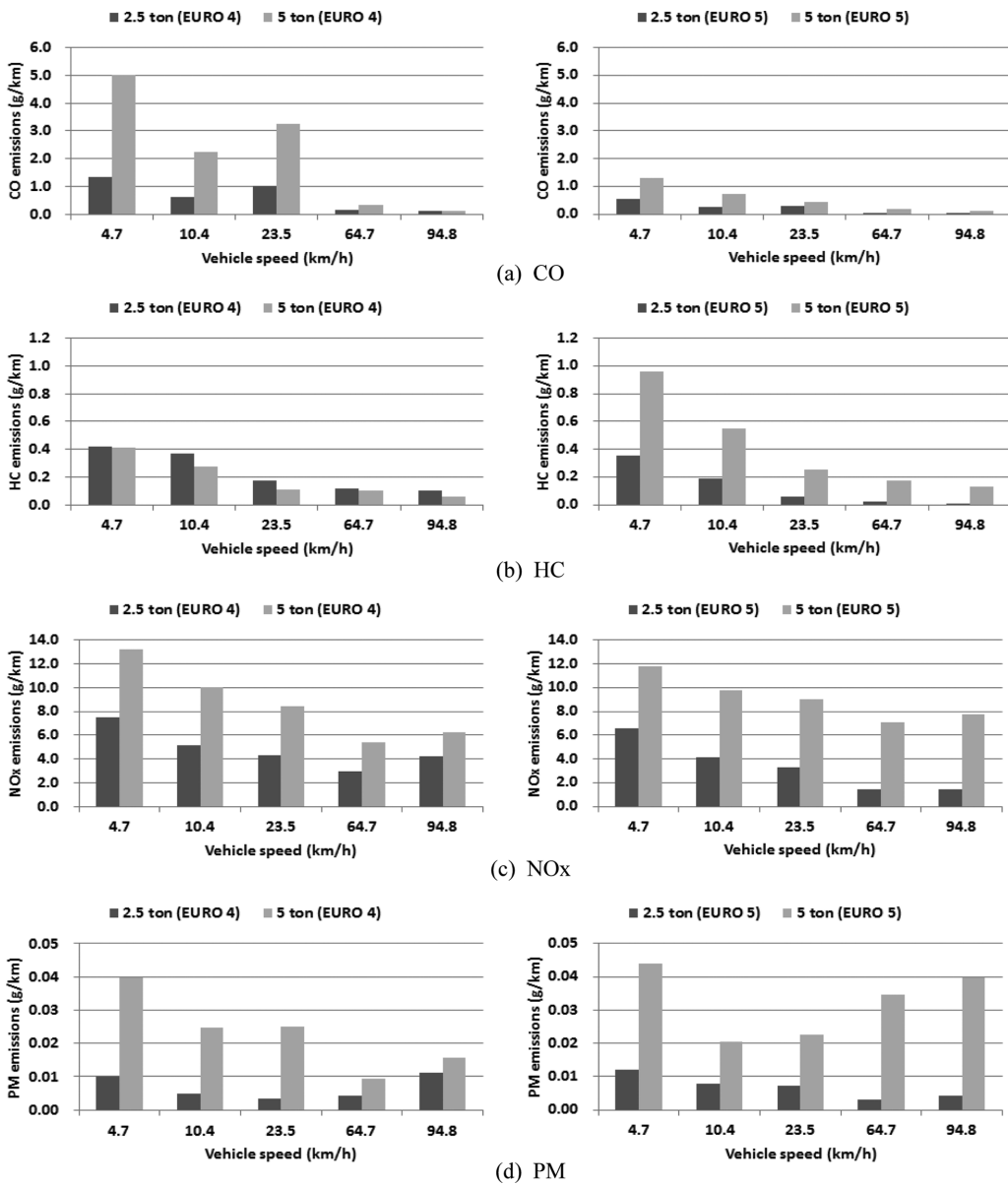


Fig. 4 Comparison of regulated emissions according to intake weight

되는 것으로 확인되었다. 2.5 ton 차량은 Benzene 13%, Toluene 35%, Ethylbenzene 23%, Xylene 29%, 5 ton 차량은 Benzene 17%, Toluene 62%, Ethylbenzene 25%, Xylene 37%로 Toluene의 발생비율이 가장 높았으며 Xylene > Ethylbenzene > Benzene 순으로 나타났다.

3.2.3 다환방향족탄화수소 (PAHs)

경유자동차에서 배출되는 PAHs는 입자상물질을 구성하고 있는 용해성유기분(SOF: Soluble Organic Fraction)

중에 포함되어 있으며 일반적으로 Aldehyde 및 VOCs 배출량에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있다⁽⁶⁾. 본 연구에서도 차속별 PAHs 배출량이 매우 낮아 배출된 물질들을 탄소 고리 수로 나누어 Fig. 7와 같이 결과를 나타내었다. 방향족화합물인 2~3 Aromatic ring이 2.5 ton 73%, 5 ton 53%를 차지하며 EPA에서 규정하고 있는 2-Aromatic ring은 Naphthalene, 3-Aromatic ring은 Phenanthrene, Fluorene⁽⁸⁾의 발생비율이 가장 높은

Table 6 Results of regulated pollutants according to vehicle speeds (g/km)

Mode	Pollutants	EURO 4		EURO 5	
		2.5 ton	5 ton	2.5 ton	5 ton
NIER-1	CO	1.348	5.006	0.546	1.306
	HC	0.417	0.411	0.358	0.960
	NOx	7.489	13.220	6.597	11.810
	PM	0.010	0.040	0.012	0.044
NIER-3	CO	0.601	2.228	0.249	0.731
	HC	0.368	0.275	0.186	0.546
	NOx	5.105	10.059	4.103	9.800
	PM	0.005	0.025	0.008	0.020
NIER-7	CO	1.004	3.262	0.284	0.419
	HC	0.177	0.108	0.058	0.253
	NOx	4.338	8.401	3.305	9.055
	PM	0.003	0.025	0.007	0.022
NIER-12	CO	0.134	0.320	0.029	0.172
	HC	0.115	0.102	0.023	0.174
	NOx	2.960	5.415	1.464	7.095
	PM	0.004	0.009	0.003	0.035
NIER-14	CO	0.103	0.122	0.023	0.125
	HC	0.104	0.056	0.010	0.132
	NOx	4.234	6.225	1.466	7.712
	PM	0.011	0.016	0.004	0.040

것으로 조사 되었다. 1급 발암물질로 알려진 Benzo[a]pyrene은 5-Aromatic ring으로서 본 연구에서는 검출되지 않았다.

4. 결 론

EURO 4 및 EURO 5 규제기준의 적재중량 2.5 ton 2대 및 5 ton 2대 경유 중형트럭을 선정 한 후, NIER 모드 4.7, 10.8, 23.5, 64.7, 94.8 km/h의 5개 모드와 경유자동차의 규제시험모드인 NEDC 모드를 적용하여 실험한 결과 발생하는 대기오염물질에 대해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 적재중량 2.5 ton 및 5 ton 경유 중형트럭 규제물

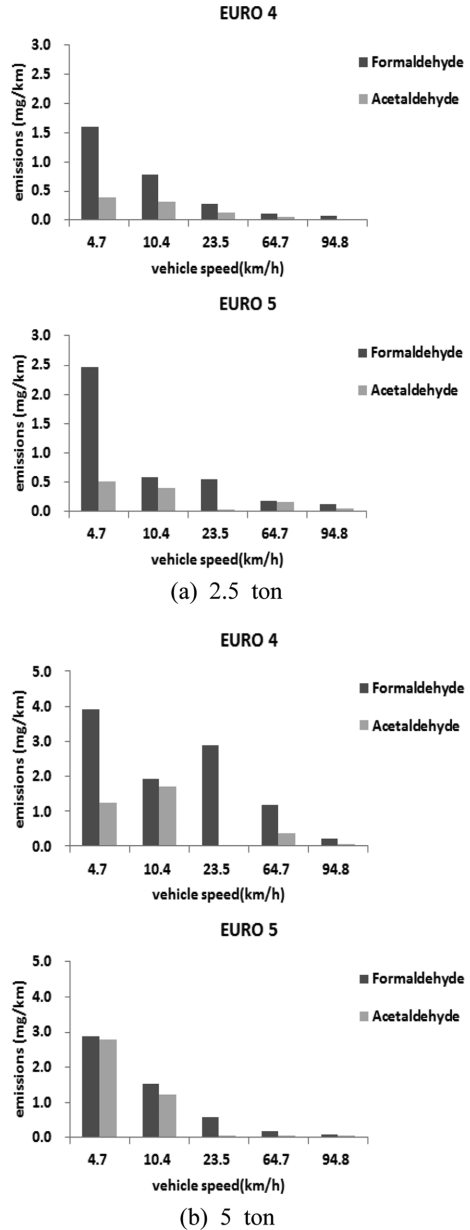


Fig. 5 Formaldehyde and acetaldehyde emissions according to vehicle speeds.

질의 차속별 배출특성을 비교하였다. 그 결과 EURO 4 2.5 ton 대비 5 ton 차량의 배출량은 CO 243%, NOx 80%, PM 241% 높은 것으로 확인 되었으나 HC의 경우 19% 감소하였다. EURO 5는 CO 143%, HC 225%, NOx 168%, PM 370% 높은 것으로 확인되었다. 저속구간에서 고속구간으로 증가함에 따라 모든 규제물질의

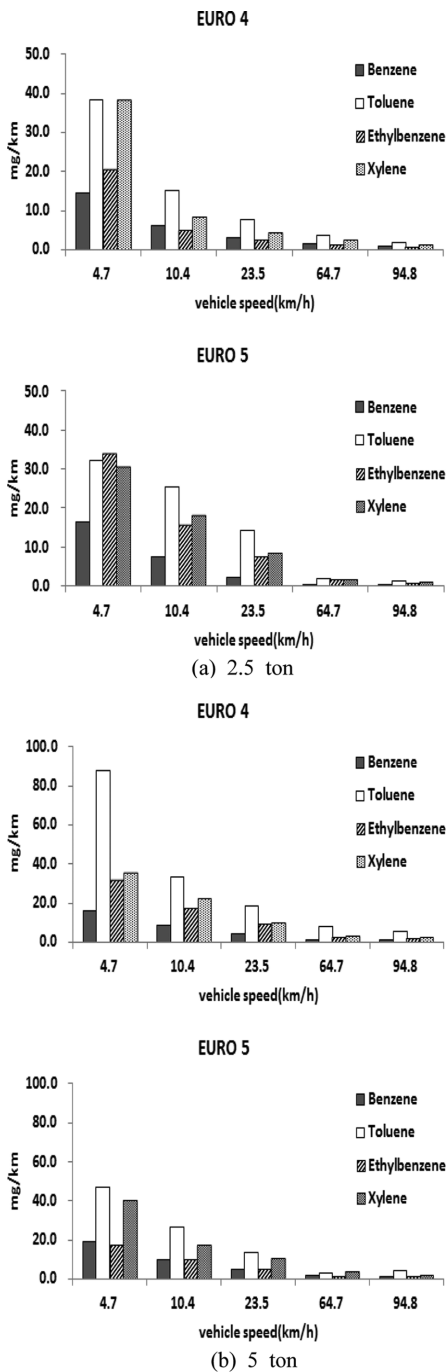


Fig. 6 Comparison of BTEX emissions according to vehicle speeds

배출량이 감소하였으며 NOx와 PM의 배출량은 고속구간에서 다소 증가하는 경향을 보였다.

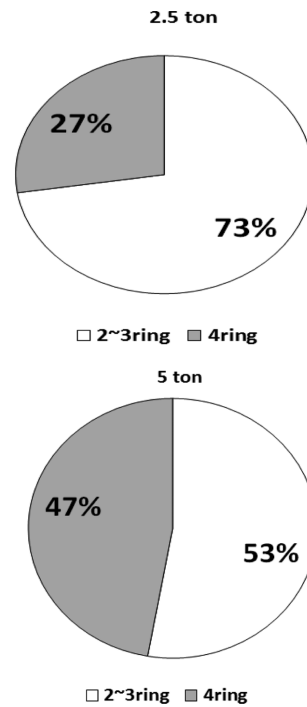


Fig. 7 Results of PAHs aromatic rings by PM.

(2) 적재중량 2.5 ton 및 5 ton 경우 중형트럭의 미규제물질 중 Aldehyde 차속별 배출특성 비교 결과, 저속 구간에서 고속구간으로 갈수록 Aldehyde류 배출량이 감소하는 경향을 보였다. VOCs 차속별 배출특성 비교 결과, 2.5 ton 차량은 Benzene 13%, Toluene 35%, Ethylbenzene 23%, Xylene 29%, 5 ton 차량은 Benzene 17%, Toluene 62%, Ethylbenzene 25%, Xylene 37%로 Toluene의 발생비율이 가장 높았으며 Xylene > Ethylbenzene > Benzene 순으로 발생하였다. PAHs의 배출특성 비교 결과, 방향족화합물인 2~3 Aromatic ring의 발생 비율이 2.5 ton 73%, 5 ton 53%로 높았으며 3-Aromatic ring 물질인 Phenanthrene, Fluorene의 발생비율이 가장 높았다. 1급 발암물질로 알려진 Benzo[a]pyrene은 5-Aromatic ring 물질로서 본 연구의 분석 결과에서는 검출되지 않았다.

(3) 본 연구를 통하여 최근 증가하고 있는 EURO 4 및 EURO 5 규제기준의 경유 중형트럭의 규제물질과 미규제물질의 배출특성 조사를 통해 국내 도로이동오염원 HAPs 인벤토리 구축의 기초자료로 활용하고자 한다.

참고문헌

- (1) S. J. Lee, "Present Research Situation and Future Plan for HAPs", Korean Society for Atmospheric Environment, 2004, pp. 277~280.
- (2) J. S. Han, M. D. Lee, S. W. Lee, Y. J. Lim, Y. M. Kim, Y. D. Hong, B. J. kong, J. Y. An, "Study on the Distributions of VOCs, Aldehyde, PAHs Concentration", Korean Society for Atmospheric Environment, 2006, pp. 418~419.
- (3) M. D. Eom, J. H. Ryu, Y. S. Lyu, D. I. Kang, J. C. Kim, Y. H. Park, D. W. Kim, S. W. Jung, "A Study on the Estimation of the HAPs Emission Factors for Light duty diesel vehicle", Korean Society of Automotive Engineers, 2006, pp. 353~358.
- (4) The Seoul Institute, "World City Trends", 2012, No. 28.
- (5) NIER, "Clean Air Policy Support System(CAPSS)", 2013.
- (6) B. H. Lee, D. I. Seol, Y. J. Jang, C. H. Jeon, "A numerical study on internal combustion characteristics of diesel engine", Korean Society of Automotive Engineers, 2007, pp. 118~124.
- (7) D. W. Kim, M. D. Eom, J. H. Ryu, Y. S. Lyu, M. S. Jeon, "A Study on the Aldehyde Emission Characteristics of Motor Vehicles", Korean Society for Atmospheric Environment, 2005, pp. 217~218.
- (8) Environmental Protection Agency, "Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)", 1999, Method TO-13A.
- (9) S. Y. An, S. W. Choi, "A Study on the Aldehyde Compounds Analysis in Ambient Air using DNPH Cartridge/HPLC Method", Korean Journal of Odor Research and Engineering, Vol. 4, No. 2, 2005, pp. 69~74.
- (10) Brian K. Gullett, Abderrahmane Touati, Lukas Oudejans, Shawn P. Ryan, "Real-time emission characterization of organic air toxic pollutants during steady state and transient operation of a medium duty diesel engine", Atmospheric Environment, Vol. 40, No. 21, 2006, pp. 4037~4047.
- (11) Peter F. Nelson, Anne R. Tibbett, Stuart J. Day, "Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles", Atmospheric Environment, Vol.42, No. 21, 2008, pp. 5291~5303.
- (12) J. Kim, Y. K. Jang, S. J. Choi, J. S. Kim, C. Y. Seo, J. H. Son, "Estimation of Gaseous Hazardous Air Pollutants Emission from Vehicles", Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 29, No. 1, 2013, pp. 1~9.
- (13) T. Y. Moon, J. H. Son, H. J. Yun, H. K. Hong, K. H. Choi, J. S. Kim, J. H. Kim, "Effect of DPF Regeneration on Emission Characteristics in Diesel Engines", Journal of ILASS-KOREA, Vol. 19, No. 3, 2014, pp. 142~148.