

## EURO III에 의한 이륜자동차의 미량유해물질 배출특성평가

유흥민 · 손지환 · 박규태 · 문선희 · 윤창완 · 김정수 · 이종태<sup>†</sup>

### Evaluation on Emission Characteristics of Trace Hazardous Material from Motorcycle Exhaust by EURO III

Heung-Min Yoo, JiHwan Son, Gyu-Tae Park, SunHee Mun, ChangWan Yun,  
JeongSoo Kim, and JongTae Lee

**Key Words:** 1,3-Butadiene, BTEX, Aldehyde, EURO III, Motorcycle, Trace Hazardous Materials

#### Abstract

Recently, the researches for air pollutant control technologies have been performing in Korea, while considering an one of the latest main topics as problems on air pollutant control. However, it is difficult to investigate emission amount of air pollutant by passenger cars, because of lack of the domestic information about mobile source; the number of research institutes are less in the whole. Especially, the informations on registered numbers and emissions of motorcycles are less. Thus, in this study, the analysis that is based on experimental results was conducted for finding out source profiling and emission characteristics on motorcycles exhaust. For these experiments, the domestic motorcycles were chosen and evaluated by EURO III standard. From the result, controlled pollutants (CO, HC, NOx) were met to EURO III, but low displacement motorcycles showed a higher incomplete combustion reaction than that of 250 cc motorcycles. Additionally, uncontrolled pollutants (BTEX and 1,3-butadiene) were decreased with increasing a displacement of motorcycles. However, the emission trend of aldehydes was not followed that of those; the formaldehyde ratio increased upto approximately 33%, with increasing a displacement of motorcycles. In the future, it would be used to support the CAPSS as basic data of Korea.

#### 1. 서 론

최근 세계적으로 대기오염물질의 관리에 대한 문제성이 부각되면서<sup>(1)</sup>, 국내에서도 대기오염물질의 제어방안에 대한 연구가 계속되고 있다. 특히, 최근까지 국립환경과학원으로부터 운영되고 있는 ‘CAPSS(Clean Air Policy System Support)’를 통하여 대기오염원으로부터 배출되는 물질을 목록화하고 해당 배출계수를 도출함으

로써 적정관리방안을 수립해왔으며, 이로 인해 현재까지 상당한 개선효과를 보인 바 있다<sup>(2)</sup>.

그러나 전체적인 대기오염물질의 발생량은 점차 감소하는 추세이나 배출원에 대한 세부적인 분류를 통해 조사해본 결과, 이동오염원에 대한 국내 실측자료의 부족으로 배출특성을 파악하는데 그 한계점이 드러난 바 있으며, 특히 주요 오염원인 자동차의 등록대수는 매년 증가하고 있어 자동차에서 발생하는 오염물질 저감에 대한 관심과 중요성이 대두되고 있다<sup>(3-5)</sup>. 그러나 이동오염원은 고정오염원과 달리, 그 특성상 실측에 의해 배출특성을 정확하게 파악하기란 현실적으로 한계가 있다. 그 이유는 차속과 주행패턴, 그리고 운전자의 습관 등 배출특성에 영향을 미치는 인자들이 너무 많기 때문이다<sup>(6-9)</sup>. 이에 실도로 주행패턴을 반영한 주행모드를 개발하여

(Received: 6 Sep 2015, Received in revised form: 20 Sep 2015, Accepted: 21 Sep 2015)

\*교통환경연구소

<sup>†</sup>책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : leelee@korea.kr

TEL : (032)560-7606 FAX : (032)561-7013

보다 현실성·신뢰성있는 측정데이터를 통해 자동차 배출가스에 대한 관리를 수행하여 대기질 개선에 이바지 한 바 있다. 그러나 관리물질 외에 인체위해성이 큰 미관리물질 또는 미량유해물질에 대한 배출량자료는 국내·외 연구사례가 많지 않아 매우 부족한 실정이다.

특히, 최근 수행된 오토오일 사업의 일환으로 수행된 ‘자동차 유해독성물질 배출량 산정’에 관한 연구로부터 이동오염원 배출원 중 인체발암성이 있는 그룹으로 지정된 1,3-Butadiene의 배출율이 이륜자동차로부터 약 72%에 이르는 것으로 보고된 바 있다<sup>(10)</sup>. 뿐만 아니라, M. Antonietta Costagliola *et al.*(2014)는 수송부문 중 이륜자동차에 의한 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)가 상대적으로 배출량이 많은 것으로 보고하고 있어<sup>(11)</sup>, 실측을 통해 이륜자동차에 대한 미량유해물질 배출특성 파악이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 국내의 경우 이륜자동차에 대한 국내 배출계수가 부족한 실정이며<sup>(6)</sup>, 국내에서는 50 cc 미만의 차량에 대한 등록이 2012년부터 시행됨에 따라 통계자료에 의한 수치보다 실제 운행차량은 더 많을 것으로 예상되어 국내 이륜자동차에 대한 정확한 배출특성을 파악하는 것이 중요하다.

이에 본 연구에서는 실측을 기반으로 한 국내 이륜자동차의 오염물질 목록을 파악하고 배출량을 산정하고자 하였고, 향후 1,3-Butadiene을 포함한 BTEX와 Aldehyde에 대한 국내 배출계수를 산정하는데 활용하고자 한다.

## 2. 시험장치 및 방법

### 2.1 차량선정

본 연구에서는 CAPSS와 국토부의 ‘이륜차 등록현황 통계자료’에 따라 시험대상을 배기량별 세 그룹(50 cc 미만/50~150 cc/150 cc 초과)으로 분류하였다<sup>(10,12)</sup>. 실험대상 차량을 각 그룹별로 나누는 것은 실험결과에 영향을 미치는 변수로 작용하기 때문에 중요한 절차이다. 또한 등록대수에 대한 자료를 근거로 차량을 선정하기 때문에 초기에 그룹을 설정하는 것이 매우 중요하여, 본 연구에서는 상기된 바와 같이 그룹을 설정하였다. 또한, 2013년 한해동안 이륜자동차의 신규 등록현황을 조사해본 결과, 국산차량의 보급률(66.49%)이 대부분을 차지하고 있어 본 연구에서는

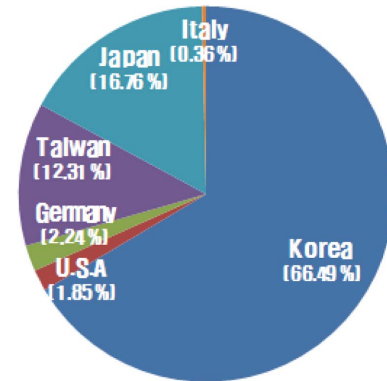


Fig. 1 The Status of Registration in 2013

Table 1 The Registration Status of Motorcycles

Year	Displacement			
	Sum	< 50 cc	50~150 cc	> 150 cc
2013	69,193	12,573	54,222	2,398
2014	72,465	8,478	60,821	3,166
Average	70,829	10,526	57,522	2,782
Ratio(%)	-	3	6	1
Number of Vehicles	19	4	12	3

국산차량을 대상으로 선정하였고, Fig. 1에 우리나라 제조국가별 이륜자동차 보급에 따른 점유율 현황을 나타내었다.

Table 1은 2013년, 2014년 2년간의 배기량에 따른 등록대수를 나타낸 것으로, 조사결과 그룹별로 각각 30%, 60%, 10%의 비율을 적용하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 이에, Table 1로부터 도출된 비율을 적용하여 총 19대의 차량을 선정하여 실험을 수행하였고, 더 많은 양의 데이터를 확보하기 위해 추가로 차량을 섭외하여 데이터의 신뢰성을 높이고자 하였다.

### 2.2 시험차량

Table 2는 본 연구에 선정된 시험차량을 나타낸 것으로 국내 제작사 ‘D’사와 ‘K’사로부터 제작되었다. Table 1에 명시된 바와 같이, 50~150 cc 그룹의 차량이 12대로 가장 많고, 50 cc 미만의 차량이 총 4대로 그 뒤를 이었다. 한편, 시험차종은 이륜자동차의 라이프사이클을 주로 고려하여, 최대 30,000 km를 넘지 않은 차량에

Table 2 List of Motorcycles

Displacement [Injection]	Motorcycle	Manufacture	Odometer (km)
50 cc [Carburetor]	A (2012)	D	14,500
	B (2014)	D	16,700
	C (2014)	D	19,020
	D (2013)	K	9,096
50 ~ 150 cc	E (2012)	D	24,302
	F (2012)	D	10,509
	G (2012)	D	9,000
	H (2014)	D	21,034
	J (2012)	D	17,005
	K (2012)	D	27,050
	L (2015)	D	13,250
	M (2015)	D	25,430
	N (2013)	D	24,501
	O (2013)	K	7,111
250 cc [Injection]	P (2013)	K	10,695
	Q (2011)	K	15,501
	R (2012)	D	30,403
	S (2012)	K	9,401
	T (2014)	K	21,000

대하여 우선적으로 선정하였다. 또한, 제조년도로부터 4년을 초과하지 않는 범위내에서 선정하여 최대한 현실적인 요인들을 반영하고자 하였다. 이는 선행연구로부터 이륜자동차의 라이프사이클이 33,821 km(4년 7개월)인 것으로 조사된 바 있어, 이를 근거자료로 활용하였다<sup>(13)</sup>.

2.3 시험방법

2.3.1 차대 동력계 배출가스 측정 시스템<sup>(14)</sup>

선정된 이륜자동차는 배기량별 차이가 있으므로 대기환경보전법의 인증시험모드인 EURO III에 따라 실험을 수행하였다. 실험은 차대동력계에서 진행되며, 실제 운행 시의 상태를 반영하기 위해 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복한다. 도로상에서의 주행패턴을 모사하기 위해 구현된 주행패턴은 Fig. 2에 나타내었다. EURO III에 따라 150 cc 미만의 배기량을 갖는 이륜자동차에 대

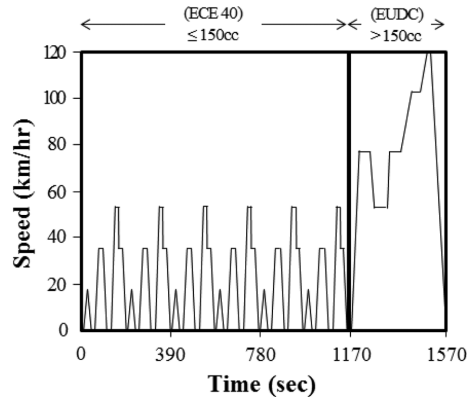


Fig. 2 Driving Pattern on UDC and ECE40+EUDC

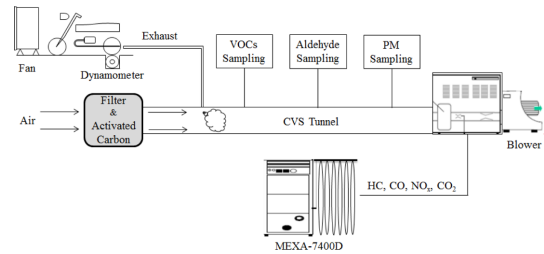


Fig. 3 Schematic Diagram on Dynamometer Process

해서는 ‘UDC Cold’ 모드로 주행하였고, 150 cc 이상의 배기량을 갖는 이륜자동차에 대해서는 고속구간이 포함된 ‘ECE40+EUDC Cold’ 모드로 주행하였다.

이륜자동차로부터 배출되는 배기가스는 시료채취 장치, 보조 운전 장치, 희석터널, 입자상물질 측정 장치 및 배기가스 분석기 등으로 구성된 공정을 거쳐 분석된다. Fig. 3은 차대동력계를 포함한 전체적인 실험공정을 나타낸 것으로 차대동력계 롤러 위의 시험차량으로부터 배출되는 가스를 정용량 시료채취방법(Constant Volume Sampler : CVS)으로 일정량 공기로 희석한 후, 시료 채취 백에 채취하여 배기가스 분석하였다. CO, HC, NOx는 각각 비분산 적외선 분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), 불꽃이온화 검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector)으로 분석하였다. 분석된 오염물질들은 EURO III의 기준에 의거하여 비교하였다.

또한, 관리물질 외에 VOCs, Aldehyde와 같은 미량유해물질 분석을 위해 Fig. 3과 같이 CVS 터널 중간부에서 시료를 포집하였으며(2.3.2 참조), 이 때 희석터널은 고온에 의한 입자상물질의 2차 반응을 방지하고 수분의 응축제어를 위해 터널내부온도를 52°C 이

내로 유지하였다.

2.3.2 미량유해물질(VOCs, Aldehyde) 분석

미량유해물질 분석을 위해 시료는 일반대기오염물질의 시료포집법과 같이 희석터널에서 시료를 포집하였다. 또한, 차량으로부터 배출되는 배출량만을 파악하기 위하여 이륜자동차의 배기가스와 희석공기가 섞이는 지점의 전단에서 희석공기를 동시에 포집하였고, 이는 측정된 데이터를 정량화하기 위해 배경농도로 활용하였다. 배기가스 중 VOCs는 EPA TO-14A 방법을 적용하였고, GC오븐의 온도는 크로마토그램의 분해능을 감안하여 최초 35°C에서 8분간 유지한 후, 4°C/min의 승온률로 180°C까지 상승시켜 12분간 유지하였다. 이후 8°C/min의 속도로 220°C까지 승온시켜 6분간 유지하였다. VOCs는 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-xylene, Styrene, o-Xylene, Xylene)과 1,3-Butadiene을 타겟으로 분석하였다. Table 3에 VOCs에 대한 분석방법을 요약·정리하였다.

배기가스 중 Aldehyde는 EPA TO-11A 방법을 적용하여 분석하였다<sup>(15)</sup>. Aldehyde는 DNPH 카트리지(Waters)에 흡착시키며, 이를 위해 가스채취라인을 희석터널에 연결하여 2 L/min의 유량으로 시료를 포집하였다. 또한,

VOCs 시료채취방법과 동일하게 희석공기와 배기가스가 섞이는 지점의 전단에서 동시에 시료를 채취하였고, 향후 정확한 정량을 위해 배경농도로 활용하고자 하였다.

채취가 완료된 카트리는 분석하기 전까지 빛이 차단된 곳에 -15°C에 보관한다. 본 연구에서 시료는 Acetonitrile을 이용하여 5 ml vial에 mass up하여 추출하며, 다시 분석용 vial에 옮겨 UPLC(Ultra Performance Liquid Chromatography, Waters)로 분석하였다. Table 4에 UPLC 분석조건을 요약·정리하였다.

3. 시험결과

3.1 오염물질 배출특성

본 연구에서는 배기량에 따른 오염물질의 배출특성변화를 파악하고자 시험차량의 배기가스로부터 분석된 오염물질 배출량을 파악하여 이를 평균값으로 비교하였다. 이는 EURO III에 의한 배출허용기준을 준용하여 실시하였으며, 차종별로 배출량이 상이한 점을 고려하여 최대값과 최소값을 포기하여 배출범위를 나타내었다. 이는 Fig. 4에 나타내었고, 해당 물질은 CO, HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>에 대한 결과를 나타내었다. 이에 대한 비교·

Table 3 The Analytic Conditions for VOCs (by GC-MS)

Instrument	Analytic Conditions				
	TD	Purge	Prepurge Time (ml/min)		
Trap Purge Time (ml/min)			0.2		
Sample Flow		Sample Flow Rate (ml/min)			50
Trap Desorb		Trap Low Temp (°C)			-10
		Trap High Temp (°C)			300
		Trap Hold Time (min)			5
		Split Flow(ml/min)			10
GC/MSD	Model	Varian Cp-3800/Saturn 2200			
	Column	DB-1 (60 m × 0.32 mm × 5.00 μm)			
	Conditions	Temp. (°C)	Rate (/min)	Hold (min)	Total (min)
	EPA TO-14A	35	0.0	8.00	8.00
		180	4.0	12.00	56.25
		220	8.0	6.00	67.25
	Column Flow	2.2 ml/min			
MS scan range	35~350 amu				

Table 4 The Analytic Conditions for Aldehyde (by UPLC)

Parameters	Analytic Conditions				
Method	EPA TO-11A				
Model	Waters UPLC				
Detector	TUV, 360 nm				
Column	ACQUITY UPLC™ BEH C18 1.7 2.1 × 100 Column				
Column Temp.(°C)	40°C				
Mobile phase	- Solvent A : 10%THF(Tetra Hydro Furan), 90% Water - Solvent B : ACN(100%)				
Gradient	Time (min)	Flow (ml/min)	%A	%B	Curve
	Initial	0.3	60	40	Initial
	5.0	0.3	60	40	6
	10.0	0.3	0	100	6
	12.0	0.3	60	40	1
	15.0	0.3	60	40	1
Flow rate	0.3 ml/min				
Injection volume	2 µl				

분석결과 전반적으로 각각의 오염물질에 대한 배출허용기준을 부합하는 경향을 나타내었으며, 특히 CO와 HC의 배출특성으로 미루어볼 때 배기량이 증가할수록 배출량 또한 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 엔진의 배기량과 연소효율에 의해 영향을 받은 것으로, 고배기량의 차량일수록 완전연소에 가까운 연소효율을 보이고 있음을 나타낸다. 그러나 50 cc의 배기량을 갖는 시험차량의 경우 CO 배출량이 6.71 g/km로 배출허용기준에 대해 3배 이상의 배출량을 보였는데, 이는 연료주입방식에 의해 실제공연비를 이론공연비에 맞게 조절하지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 가장 많은 양의 CO 배출대비 CO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 배출량이 현저하게 낮은 이유도 동일한 원리가 작용했기 때문인 것으로 사료된다.

한편, NO<sub>x</sub>와 CO<sub>2</sub>의 배출경향을 비교해본 결과, NO<sub>x</sub>의 경우 50~150 cc급의 시험차량에서 가장 높게 배출된 것을 확인할 수 있었다. 이 역시 연료주입방식에 기인한 것으로 판단된다. 기본적으로 배기량이 증가할수록 연료소모량이나 오염물질의 배출량은 증가하지만, NO<sub>x</sub>의 경우 고배기량을 갖는 차량일수록 전자제어 방식(ECU, Electronic Control Unit)에 의해 공연비가 약 14.7로 유지되어 공기의 유입이 제한되기 때문에 이로

인해 ‘Thermal NO<sub>x</sub>’의 배출량도 감소하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 배기량별로 비교해본 결과, 카브레터 방식과 전자제어 방식에 따라 CO, NO<sub>x</sub>의 배출경향 변화가 뚜렷하다고 할 수 있겠다. 반면에, CO<sub>2</sub>의 배출량은 배기량의 증가에 따라 배출량도 증가하는 경향이 명확하게 드러났다. 이는 연소효율에 의한 영향보다는 연료소모량에 의해 기인한 것으로 특히 250 cc 차량의 경우 고속모드가 추가된 ECE40+EUDC 모드에 의해 시험되었기 때문에 더 많은 양의 연료가 소모된 것으로 판단된다. 오염물질 배출결과에 대한 내용과 EURO III에 의한 배출허용기준치는 Table 5에 나타내었다.

Table 5 The Experimental Results and EURO III Standard<sup>(16)</sup> Unit : g/km

	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
50 cc	6.71	0.36	0.04	44.26
50 ~ 150 cc	2.21	0.21	0.1	58.43
250 cc	1.21	0.16	0.08	70.72
<EURO III>				
= 150 cc	2.0	0.8	0.15	-
> 150 cc	2.0	0.3	0.15	

### 3.2 미량유해물질

#### 3.2.1 VOCs

Table 6에 1,3-Butadiene을 포함한 BTEX에 대한 배출량을 나타내었다. 전체적으로 저배기량의 시험차량에서 배출량이 더 높은 것으로 나타났다.

Maryam Hajbabaee *et al.*(2013)에 의해 1,3-butadiene은 휘발유 내에 존재하는 Olefinic, cyclohexane, cyclohexene의 연소과정에서 발생하는 것으로 밝혀졌으며, 이는 연료마다 성분들의 함량이 다르고 정제시설에서부터 분리시키는 것이 매우 어려운 것으로 보고하고 있다. 특히, cyclohexane과 cyclohexene을 열분해하면 Cracking되어 소량의 부타디엔과 에틸렌이 발생하는 것으로 보고하였다.<sup>(17-19)</sup>

이를 확인하기 위해 본 연구에서는 연료에 대한 성분 분석을 수행하였고, 휘발유 내에 약 13 wt.%의 Olefinic이 함유되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 1,3-Butadiene의 배출율이 이륜자동차로부터 약 72%에 이르는 것으로 보고된 선행연구 결과는 측정범위를 넓혀 향후 가솔린엔진 차량에 대한 측정·비교로써 검증할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 선행연구로부터 BTEX 중 Ethylbenzene과 Xylene의 비율을 활용한 상관관계로부터 자동차 배기가스의 기여율을 평가할 수 있는 가능성이 보고되었다<sup>(1, 20)</sup>. 본 연구에서도 이를 확인하기 위해 측정된 데이터를 활용하여 상관관계를 도출하였고, 그 결과를 선행연구의 결과와 비교하였다. 선행연구로부터 m,p-Xylene/Ethylbenzene의 비율결과는 각각 2.1(터널), 1.7(도로변), 1.2(주거지역)으로 나타났고, 도시대기질에서의 m,p-Xylene/o-Xylene의 비율은 2.7로 나타났다.

선행연구결과로부터 m,p-Xylene/Ethylbenzene의 경우 자동차의 영향이 높을 것으로 판단되는 지역으로 접근할수록 비율이 높아지는 것을 확인할 수 있었는데, 그 이유는 자동차의 배기가스 중 Xylene의 배출량이 Ethylbenzene보다 더 높고 Xylene의 반응성이 더 크기 때문에 발생원으로부터 멀어질수록 분해가 더 빨리 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서 분석된 값은 자동차 배기가스를 포집하여 분석하였기 때문에 상대적으로 더 높게 나올 것으로 예상하였다. 반면에, m,p-Xylene/o-Xylene의 비율은 Xylene의 이성질체라는 특성상 탈알킬화후에도 비율이 일정하게 유지되는 것은

Table 6 The Experimental Results and EURO III Standard

		1,3-butadiene	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	Styrene	o-Xylene
50cc	A (2012)	0.54	24.40	19.75	4.45	17.87	0.98	7.04
	B (2014)	0.32	6.68	4.03	1.56	4.45	0.89	1.92
	C (2014)	0.18	11.36	5.73	1.89	5.85	0.07	2.42
	D (2013)	0	14.85	13.11	4.04	13.33	0	5.02
50-150 cc	E (2012)	0	2.92	3.31	1.67	4.68	0	2.00
	F (2014)	0	0.97	1.55	0.97	2.12	0.76	0.98
	G (2012)	0	7.56	9.41	3.09	9.90	0.7	4.06
	H (2012)	0.05	5.33	6.81	2.57	7.43	0.79	2.99
	I (2015)	0	7.17	3.76	1.36	3.86	0.75	1.69
	J (2015)	0	11.54	5.01	1.50	4.56	0.79	1.99
	K (2013)	0.08	5.42	8.40	3.27	9.65	0.82	3.79
	L (2013)	0	3.97	4.27	2.21	5.87	1.21	2.54
	M (2013)	0	3.30	3.14	1.85	4.59	1.23	2.03
N (2011)	0	2.23	2.70	1.88	4.53	1.18	2.00	
250 cc	O (2012)	0	2.59	3.07	1.15	3.26	0.49	1.32
	P (2012)	0.11	5.92	5.31	2.24	6.20	0.82	2.51
	Q (2014)	0.20	1.66	2.23	1.12	3.01	0.79	1.29

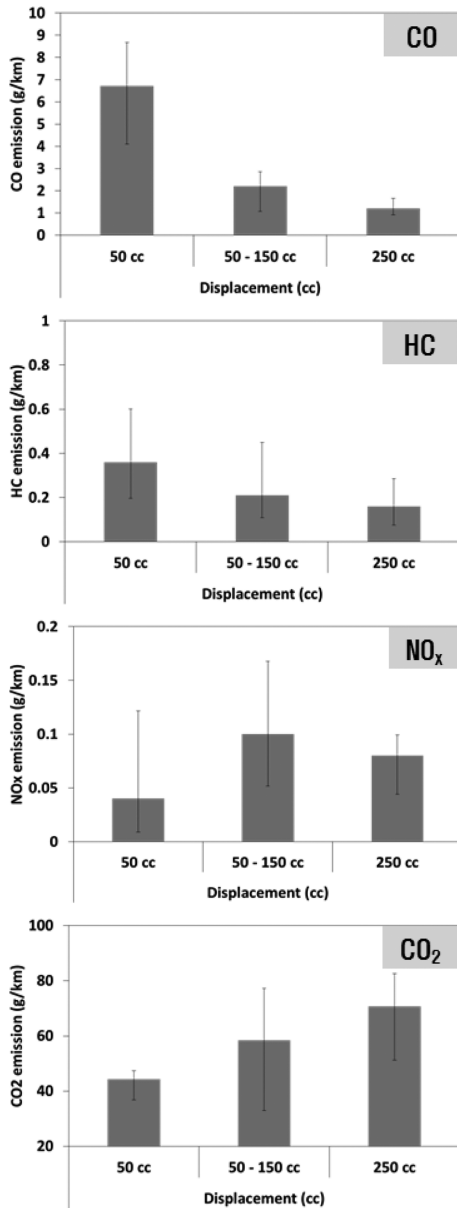


Fig. 4 The Experimental Results

로 알려져 있어, 해당 비율을 활용한다면 향후 자동차 배기가스에 의한 대기오염영향의 기여율을 추적할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 본 연구에서 분석된 결과는 도시대기질의 m,p-Xylene/o-Xylene 비율과 유사할 것으로 예상하였다.

Fig. 5는 본 연구로부터 분석된 자동차 배기가스 중 m,p-Xylene/Ethylbenzene과 m,p-Xylene/o-Xylene의 비율에 의한 상관관계를 나타낸 것이다. 결과를 보면, m,p-

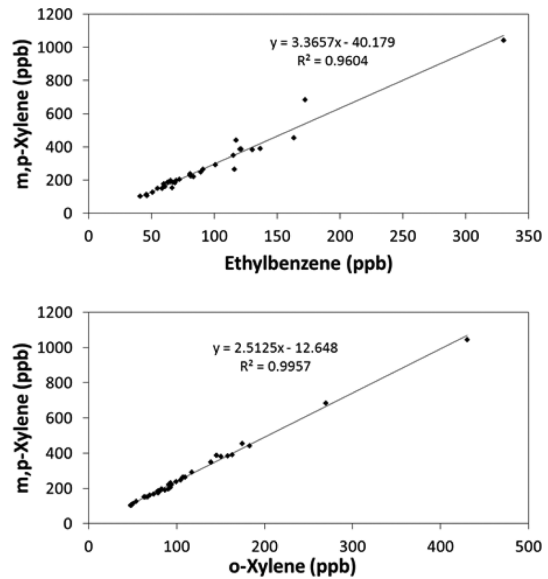


Fig 5. Correlation between Xylene and Ethylbenzene

Xylene/Ethylbenzene의 비율은 3.4로 터널의 값보다 약 1.3정도 높게 나타났고, m,p-Xylene/o-Xylene의 경우 2.5로 도시대기질의 값보다 약 0.2정도 낮게 나타났다. m,p-Xylene/Ethylbenzene와 m,p-Xylene/o-Xylene의 R<sup>2</sup> 값은 각각 0.96, 0.99로 모두 높은 상관성을 보였고, 이러한 연구를 지속적으로 수행한다면 향후에는 대기오염원 추적을 위한 자동차 배기가스의 영향을 평가하는 기법 중 하나로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.2.2 Aldehyde

CVS 터널에서 시료를 채취하여 Aldehyde를 분석해 본 결과, 배기량에 따라 배출물질과 비율이 다르게 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 50 cc미만의 차량에서는 Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein 배출비율이 각각 17, 39, 23%로 분석되었고, 50-150 cc 급의 이륜차량에서는 29, 31, 12%, 그리고 250cc 급의 이륜차량에서는 33, 18, 12%로 분석되었다. 공통적으로는 Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein 세 가지의 물질이 주로 배출되는 경향을 나타내었고, 특히 배기량이 커질수록 Formaldehyde의 비율은 약 17%에서 33%로 증가하여 배기량에 따라 높아지는 경향을 확인할 수 있었다. 이에 대한 분석결과는 Fig. 6에 나타내었다.

한편, 고배기량의 이륜차량에서는 Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein와 Benzaldehyde까지 총 네 가지의 물질이 주로 검출되었는데, 이는 승용차의 배출경향

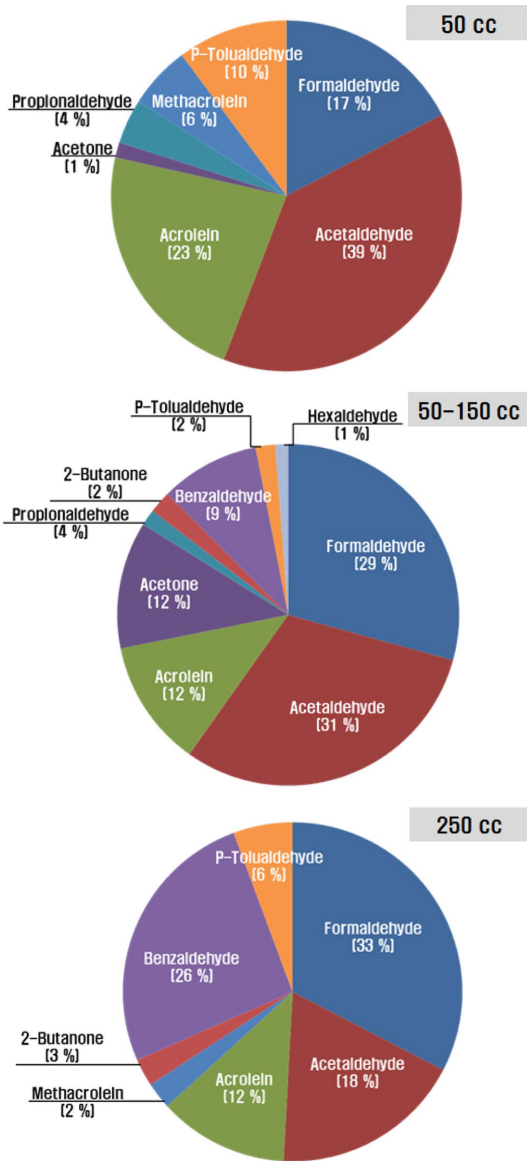


Fig. 6 Aldehyde Emission Ratio on Motorcycle's Exhaust gas

과 유사함을 알 수 있다<sup>(21)</sup>. Usama M. Elghawi와 Ahmed M. Mayouf(2014)는 GDI 차량을 대상으로 차속에 따른 카르보닐화합물의 배출변화특성을 연구하였고, 이로부터 GDI차량에서는 Acetaldehyde와 Formaldehyde를 비롯하여 Acrolein, Benzaldehyde, o-tolualdehyde 그리고 m-tolualdehyde가 주로 검출되는 것으로 보고하였다. 또한, 차속이 증가함에 따라 Acetaldehyde는 감소하고 Benzaldehyde는 증가하는 경향을 확인하였는데 이는 연료의 연소방식에 따른 것으로, SI (Spark-Ignited)방식

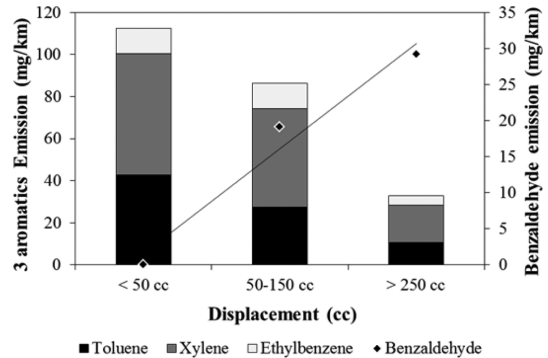


Fig. 7 Correlation between 3 Aromatics and Benzaldehyde

이 HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) 방식보다 방향족 화합물의 배출량이 높다는 연구결과를 발표하였다. 뿐만 아니라 Benzaldehyde의 경우 Toluene, Xylene 그리고 Ethylbenzene의 알킬기가 산화됨으로써 발생한다고 보고하기도 하였다.

이에, 본 연구에서는 선행연구의 결과에 따라 3종의 방향족화합물(Toluene, Xylene, Ethylbenzene)과 Benzaldehyde의 상관관계를 도출하였다. 분석결과, 배기량이 증가할수록 방향족화합물의 배출량은 감소하였으며, 이와 반대로 Benzaldehyde의 배출량은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 앞선 Fig. 4로부터 알 수 있듯이, 고배기량의 전자제어방식을 적용하는 차량과 비교하여 불배, 상대적으로 저배기량/카브레타 연료주입방식을 적용하고 있는 차량일수록 공연비 조절이 어려워 불완전 연소반응이 우세한 것으로 해석할 수 있고, 이로 인해 완전연소에 요구되는 산소량이 낮았을 것으로 사료된다. 이에 대한 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

이 외에도 Lenhart *et al.*(2009)는 Benzaldehyde는 연료 중의 방향족으로부터 형성된다는 연구결과를 발표하였다<sup>(22)</sup>. 그러나 이에 대한 추가해석을 위해서는 향후 연료성분과의 상호비교가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 배기량에 따른 이륜자동차의 배출가스 중 오염물질에 대한 배출특성을 비교·분석해본 결과, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 오염물질에 대한 분석결과, 전반적으로 배출허용 기준을 부합하는 경향을 나타내었으며, 특히 CO와 HC의 배출특성으로 미루어 볼 때 배기량이 증가할수록 배



출량 또한 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 연료주입방식에 의해 실제공연비와 이론공연비가 상이하기 때문인 것으로 판단된다.

(2) NO<sub>x</sub>의 경우 고배기량을 갖는 차량일수록 전자제어 방식(ECU, Electronic Control Unit)에 의해 공연비가 약 14.7로 유지되어 'Thermal NO<sub>x</sub>'의 배출량이 감소하기 때문에 카브레타 방식의 차량에서 상대적으로 높게 배출되는 것으로 판단된다.

(3) 1,3-butadiene의 배출량을 볼 때, 휘발유 내에 함유되어 있는 Olefinic(약 13 wt.%)에 의한 것으로 판단되며, 향후 측정범위를 넓혀 향후 가솔린엔진 차량에 대한 측정·비교로써 검증할 필요가 있다.

(4) 본 연구로부터 분석된 자동차 배기가스의 m,p-Xylene/Ethylbenzene의 비율은 3.4로 터널의 값보다 약 1.3정도 높게 나타났고, m,p-Xylene/o-Xylene의 경우 2.5로 도시대기질에서의 값보다 약 0.2정도 낮게 나타났다. R<sup>2</sup> 값은 각각 0.96, 0.99로 모두 높은 상관성을 보여 향후에는 대기오염원 추적을 위한 자동차 배기가스의 영향평가 기법으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

(5) Aldehyde 분석결과, 공통적으로 Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein가 주로 배출되었고, 특히 배기량이 증가할수록 Formaldehyde의 비율이 33%로 가장 높게 배출되는 것을 확인할 수 있었다.

(6) 한편, 고배기량의 이륜차량에서는 Formaldehyde, Acetaldehyde, Acrolein와 Benzaldehyde까지 총 네 가지의 물질이 주로 검출되었는데, 이는 승용차의 배출경향과 유사하며, 특히 Benzaldehyde의 경우 Toluene, Xylene 그리고 Ethylbenzene의 알킬기가 산화되어 발생하는 것으로 판단된다.

(9) 본 연구로부터 도출된 결과는 국내 이동오염원의 배출계수 산정을 위한 기초자료로써 활용하고자 한다. 또한, 배기량(연료주입방식)에 따른 오염물질의 배출경향이 변화하는 것으로 보아, 전자제어방식에 의한 이륜자동차는 연소효율이 높고 오염물질 배출량이 적은 것을 알 수 있었다. 이는 향후 EURO IV에 의한 이륜자동차를 설계할 때 고려되어야 할 것이다.

### 참고문헌

(1) California air resources board. California's Air Quality History Key Events (2003).  
 (2) J. T. Lee, H. M. Yoo, J. H. Son, C. W. Yun, S. H. Mun,

G. T. Park and J. S. Kim, "A Study on Emission Characteristics of VOCs During Cold Start Test Mode for Motorcycle", Journal of ILASS-KOREA Vol. 20, No. 1, pp. 28-34 (2015).  
 (3) NIER, "National Air Pollutants Emissions Statistics" (2012).  
 (4) www.MOLIT.go.kr, "The number of vehicle registration, press released" (2014).  
 (5) Carlier P, Hannachi H and Mouvier G, "The chemistry of carbonyl compounds in the atmosphere", Atmospheric Environment 20, 2079-2099 (1986).  
 (6) Y. K. Jang, J. Kim, P. S. Kim, Y. I. Shin, W. S. Kim and Y. J. Choi, "Estimation of vehicle kilometers travelled and air pollution emission from motorcycles", Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 26, No. 1, pp. 48-56 (2010).  
 (7) T. Huai, S. D. Shah, J. Wayne Miller, T. Younglove, D. J. Chernich, A. Ayala, "Analysis of heavy-duty diesel truck activity and emissions data", Atmospheric Environment, 40, 2006, pp. 2333-2344.  
 (8) C. Chen, C. Huang, Q. Jing, H. Wang, H. Pan, L. Li, J. Zhao, Y. Dai, H. Huang, L. Schipper, D. G. Streets, "On-road emission characteristics of heavy-duty diesel vehicles in Shanghai", Atmospheric Environment, 41, 2007, pp. 5334-5344.  
 (9) L. Pelkmans, P. Debal, "Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles", Transportation Research Part D, 11, 2006, pp. 233-241.  
 (10) Y. K. Jang, J. Kim, Y. J. Kim, J. W. Kwon, C. H. Heo, B. W. Kim and J. W. Koh, "Development of Calculation System for Transportation Source Air Toxic Emission", Korean Society for Atmospheric Environment, 52-90 (2014).  
 (11) M. Antonientta Costagliola, Fabio Murena and M. Vittoria Prati, "Exhaust emissions of volatile organic compounds of powered two-wheelers: Effect of cold start and vehicles speed. Contribution to greenhouse effect and tropospheric ozone formation", Science of the Total Environment, Vol. 468-469, 1043-1049 (2014).  
 (12) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The status on number of registered vehicles for motorcycles (annual)", (2014).  
 (13) Y. D. Jung, U. S. Yeo, Y. J. Lim, I. H. Ryu and Y. A. Yun, "Research on the Feasibility Study of 2-Wheeled Vehicle Emission Inspection", The Korean Society of

- Automotive Engineers, 860-865 (2010).
- (14) Hsi-Hsien Yang, Lien-Te Hsieh, Hsu-Chung Liu and Hsiao-Hsuan Mi, "Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from motorcycles", *Atmospheric Environment*, 39, 17-25 (2005).
- (15) Murari Mohon Roy, "HPLC analysis of aldehydes in automobile exhaust gas: Comparison of exhaust odor and irritation in different types of gasoline and diesel engines", *Energy Conversion and Management*, 49, 1111-1118 (2008).
- (16) National Institute of Environmental Research, "Criteria on emission standard for manufactured vehicle", p. 114 (2013).
- (17) Maryam Hajbabaee, Georgios Karavalakis, J. Wayne Miller, Mark Ville, Huaying Xu and Thomas D. Durbin, "Impact of olefin content on criteria and toxic emissions from modern gasoline vehicles", *Fuel*, 107, 671-679 (2013).
- (18) Kaiser WE, Siegl WO, Cotton DF and Anderson RW, "Effect of fuel structure on emissions from a spark-ignited engine. 3 olefinic fuels", *Environmental Science & Technology*, 27, 1440-1447 (1993).
- (19) Ying Liu, Min Shao, Linlin Fu, Sihua Lu, Limin Zeng and Dagang Tang, "Source profiles of volatile organic compounds (VOCs) measured in China: Part I", *Atmospheric Environment*, 42, 6247-6260 (2008).
- (20) J. S. Lee, Y. R. Choi, H. S. Kim, S. M. Eo and M. Y. Kim, "Characteristics of Hazardous Volatile Organic Compounds (HVOCs) at Roadside, Tunnel and Residential Area in Seoul, Korea", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 27, No. 5, pp. 52-90 (2014).
- (21) Usama M.. Elghawi and Ahmed M. Mayouf, "Carbonyl emissions generated by a (SI/HCCI) engine from winter grade commercial gasoline", *Fuel* 116, 109-115 (2014).
- (22) Lenhert DB, Miller DL, Cernansky NP and Owens KG, "The oxidation of a gasoline surrogate in the negative temperature coefficient region", *Combust Flame*, 156, 549-564 (2009).