이륜자동차의 대기오염물질 배출계수 산정을 위한 연구 Estimation of Air Pollutant Emission Factors for Motorcycle

임재현* · 김현민¹⁾ · 이상문²⁾ · 강희준³⁾ · 임윤성¹⁾ · 서충열⁴⁾ · 김종춘⁴⁾

국립환경과학원 기후변화연구과, ¹⁾국립환경과학원 교통환경연구소,

²⁾대림 자동차, ³⁾S&T모터스 (주), ⁴⁾국립환경과학원 대기제어연구과

(2009년 9월 9일 접수, 2009년 10월 23일 수정, 2010년 1월 4일 채택)

Jae-Hyun Lim*, Hyun-Min Kim¹⁾, Sang-Moon Lee²⁾, Hee-Jun Kang³⁾,

Yoon-Sung Lim¹⁾, Choong-Yeol Seo⁴⁾ and Jong-Choon Kim⁴⁾

Climate Change Research Division, National Institute of Environmental Research

¹⁾*Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research*

²⁾*DAELIM MOTOR, ³⁾S&T MOTORS*

⁴⁾*Air Quality Control Research Division, National Institute of Environmental Research*

(Received 9 September 2009, revised 23 October 2009, accepted 4 January 2010)

Abstract

While increased use of motor cycles in the recent years for various demands could worsen air quality, only few studies have been conducted on estimation of emission factors and characterization of emissions from motorcycle. In this study, emissions from selected six models of motorcycle based on largest market share and production rate were investigated. To investigate gaseous and carbonaceous air pollutants, such as carbon monoxide (CO), total hydrocarbon (THC), nitrogen oxide (NO_x), elemental carbon (EC) and organic carbon (OC), total 124 motorcycles between 2003 and 2007 model year were tested with regulatory driving conditions, such as CVS-40 and CVS-47 mode. These motorcycles were further sub-categorized based on their displacement (< 50 cc, 50 ~ 150 cc, and ≥ 150 cc), type of stroke (2- and 4 strokes) and model year (2003 ~ 2005 and 2006 ~ 2007).

Tested motorcycles with recent model year (2006 ~ 2007) exhibited less emissions of regulatory gaseous and carbonaceous air pollutants compared to old model year (2003 ~ 2005). Chemical analysis showed that CO present in highest concentration followed by THC and NO_x for all tested motorcycles. Interestingly, two strokes motorcycle produced higher THC emission but less CO and NO_x than those of four strokes. For all types of displacement and stroke, emission factors (gram per kilometer) of THC and CO except NO_x with recent model year (2006 ~ 2007) showed decreased trend compared to old model year (2003 ~ 2005). In addition to this, due to mixed combustion between gasoline fuel and lubricant, two strokes motorcycle showed OC > EC emission trend.

Key words : Emission factor, Motorcycle, Gaseous air pollutants, Carbonaceous particles

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-560-7358, E-mail : dr4earth@korea.kr

1. 서 론

급격한 자동차의 증가로 인하여 도로 여건이 악화되고 주차문제가 심각해짐에 따라 이륜자동차의 이용은 매년 증가하고 있는 상황이다. 특히 인터넷 등을 이용한 주문 배달문화의 대중화와 쿠팡 서비스 등 물류 분야에서 이용되는 이륜자동차의 중요성 때문에 이제는 생활 주변에서 이륜자동차를 이용한 배달 및 운송 방법은 보편화가 되었다(Choi, 2005). 미국의 경우 EPA에서 개발한 배출량 산정 모델인 MOBILE 5(U.S. EPA, 2003)에 이륜자동차의 배출계수가 사용되고 있으며, 유럽의 경우에는 CORINAIR의 배출량 산정 모델인 COPERT 4(EEA, 2007)에서 이륜자동차의 배출계수가 사용되고 있다. 하지만 매년 증가하고 있는 이륜자동차에서 배출되는 대기오염물질에 대한 국내 조사 및 연구는 과거 자동차공해연구소(Kim *et al.*, 2003, 2002, 2001a, b)에서 실시한 연구를 제외하고는 전무한 실정이다. 외국의 경우에는 이륜자동차 규제 대상 대기오염물질인 CO, THC 및 NO_x에 대한 연구(Chen *et al.*, 2003)외에도 발암성 물질로 알려진 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs)(Yang *et al.*, 2005), 휘발성유기화합물질(Volatile Organic Compounds: VOCs)(Tsai *et al.*, 2003) 및 벤젠(Benzene)(Leong *et al.*, 2002) 등과 같은 미규제 유해대기오염물질에 대한 연구 결과가 활발히 발표되고 있어 국내에서도 이륜자동차에 대한 보다 심도 있는 연구가 시급하다고 하겠다. 더구나 기존의 자동차공해연구소(Kim *et al.*, 2002)에서 발표된 이륜자동차 배출계수의 경우도 2002년도 연식을 마지막으로 더 이상 보완된 배출계수가 산정되지 못하였다. 따라서 2006년도 이후에 강화된 제작차 배출허용기준(Korea Ministry of Environment, 2008)을 반영하고 2003년도 이후 연식의 이륜자동차 배출계수를 산정하고자, 본 연구에서는 2003년도 이후 판매 연식의 실제 도로에서 운행 중인 이륜자동차를 대상으로 실차 시험을 실시하였다.

선진국과 동등한 수준의 보다 대표성 있는 이륜자동차 배출계수를 산정하기 위하여 국내 최대 이륜차 제작사인 대림자동차 및 S&T Motors와 공동연구를 수행하였으며, 두 이륜자동차 제작사의 판매량 자료를 통해 국내에서 가장 많이 생산되고 운행되는 이륜차

동차 6개 기종을 선정하였다. 또한 2006년 이전 제작차 배출허용기준에 따라 50cc 미만, 50cc 이상~125cc 미만, 125cc 이상 배기량으로 분류하여 산정되었던 과거 배출계수를, 금번 연구를 통하여 2006년 이후 제작차 배출허용기준을 만족할 수 있는 50cc 미만, 50cc 이상~150cc 미만, 150cc 이상 배기량으로 재분류하고 개선하였다.

2. 연구방법

2.1 시험 대상 이륜자동차의 선정

보다 신뢰성 있고 대표성을 가질 수 있는 이륜자동차의 대기오염물질별 배출계수를 산정하기 위해서는 시험대상 차종 선정이 매우 중요하므로, 국내 주요 이륜자동차 생산업체인 대림자동차와 S&T Motors의 협조를 얻어 최근 3년간 판매된 이륜자동차의 모델별 판매량 자료를 분석하였다. 대기환경보전법에 따른 배기량별(50cc 이하, 50cc 이상~150cc 미만, 150cc 이상) 이륜차 구분에 따라 2005년부터 2007년까지의 모델별 판매현황을 분석한 결과, 국내에서 판매량이 가장 높은 모델들 중 차량 확보가 용이하고 실차 시험이 가능한 최종 6개 시험 대상 기종을 선정하였다. 제작사별로 선정된 모델을 살펴보면 대림자동차의 New Major(50cc 이하), Delfino(50cc 이상~150cc 미만), Freewing(150cc 이상) 및 S&T Motors의 SF 50(50cc 미만), KR-110(50cc 이상~150cc 미만), GV 250(150cc 이상) 등 6개 기종으로 배기량별 구분에 따라 제작사별로 대표 기종을 선정하였다. 시험 대상 차종을 확보하는 과정에서는 모델명이 상이 하더라도 동일 엔진 및 기술이 적용된 경우 같은 차종으로 분류하여 실차 시험을 실시하였다. 이와 같이 선정된 시험 대상 이륜자동차에 대해서 대림자동차 및 S&T Motors, 그

Table 1. Tested number of motorcycle by displacement.

Model year	Displacement (cc)	Tested number	Total number
2003~2005	Below 50	27	124
	From 50 to below 150	30	
	Above 150	22	
2006~2007	Below 50	9	15
	From 50 to below 150	21	
	Above 150	15

리고 교통환경연구소가 공동연구를 통해 동시에 입차 및 실차 시험을 실시하여 대기오염물질별 배출가스 분석을 실시하였다. 이때 선정된 배기량별 차량 시험 대수를 표 1에 나타내었다.

연식별 시험 대상 차량 대수는 국토해양부의 이론차 등록대수 통계자료(Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008)에 근거하여, 가장 많은 등록대수 분포를 보이고 있는 50 cc 이상~150 cc 미만 배기량 구분에 보다 많은 시험 차량이 할당될 수 있도록 고려하였다. 총 124대의 실제 운행 중인 이륜자동차를 임차하여 실험을 실시하였으며, 연식구분은 대기환경보전법상 제작차 배출허용기준이 강화된 시점인 2006년 연식 이전과 2006년 연식 이후로 분류하여 배기량별 대상 차량을 시험하였다. 2003년~2005년 연식의 경우 총 79대가 시험되었으며, 2006년~2007년 연식의 경우 총 45대가 시험되었다. 50 cc 미만의 경우 2행정으로 분류되었으며, 50 cc 이상은 대부분이 4행정으로 조사되었다.

2.2 실차 시험 및 배출가스 분석 방법

이륜자동차에서 배출되는 대기오염물질을 측정하는 시험방법은 이륜자동차의 실제 도로주행상태를 실험실에서 재현할 수 있어야 한다. 하지만 현재 국내에서는 실제 이륜자동차의 도로 주행 패턴을 모사할 수 있는 주행모드가 개발되어 있지 않기 때문에, 본 연구

에서는 대기환경보전법 (Korea Ministry of Environment, 2008)의 제작 이륜자동차 대기오염물질 배출허용기준을 판정하는 방법으로 개발된 CVS-47모드(50 cc 미만) 및 CVS-40모드(50 cc 이상)를 사용하였다 (그림 1).

배출가스 시험장비는 차대동력계, 운전보조 장치, 시료채취 장치 및 배출가스 분석기로 구성되어 있다. 차대동력계는 전기동력계(AVL-ZOELLNER)로서 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 되어 있으며, 이륜자동차가 실제 도로상을 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 실험실내에서 모사 주행할 수 있도록 기계적으로 부하를 걸어주는 장치이다. 또한 운전 보조장치(CRSD-3000)는 운전자가 차대동력계상에서 이륜자동차가 도로를 주행하는 상태와 유사하게 운전할 수 있도록 화면에 주행모드를 표시해 주는 장치이다. 이륜자동차에서 배출되는 배기가스는 배기관에서 정용량 시료채취장치(Horiba CVS-9100S)로 채취하여 배출가스 분석기(Horiba Mexa-9300)로 분석하였고 배출가스 측정 방법은 그림 2와 같다.

배출가스 특징은 그림 2에서 보는바와 같이 운전자가 이륜자동차를 직접 타고 차대동력계의 roller 위에서 입력되어 있는 주행모드를 따라서 실제 주행을 하도록 되어있다. 이때의 배기관으로부터 배출되는 가스를 적용량 시료채취장치(CVS: Constant Volume Sam-

Fig. 2. Exhaust emission test using motorcycle dynamometer.

pler)로 일정량의 공기와 함께 희석하여 teflon 재질의 시료채취 bag에 채취한 후 분석기로 CO, HC, NO_x를 분석하여 중량단위(g/km)로 측정한다. 배출가스 분석기의 분석원리는 CO는 비분산 적외선 분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC는 열식 불꽃이온화 검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NO_x는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector)이다. 특히 이번 연구에서는 윤활유와 연료가 혼합되어 연소되는 특성상 50cc 미만 이륜자동차에서 많이 배출되는 것으로 알려진 탄소화합물(무기탄소; Elemental Carbon 및 유기탄소; Organic Carbon)도 열광학 탄소 분석법(Thermal Optical Carbon Analysis Method)을 이용한 실시간 탄소화합물 분석 장치(Sunset Semi-continuos OCEC Instrument)로 분석하였다. 이륜자동차 배출가스 측정을 위해서 사용한 시험용 연료품질 규격은 자동차에서 사용하는 것과 같은 일반 주유소에서 판매한 휘발유를 사용하였으며, 연료품질 규격은 대기환경보전법에 규정되어 있다. 휘발유 검사항목에 따라 분석한 시험용 연료의 분석결과는 모두 연료품질 규격에 적합한 것으로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이륜자동차의 배기량 및 행정별 대기오염물질 배출특성

그림 3은 이륜자동차의 대기오염물질별 배출특성을 배기량 및 행정별로 나타낸 것이다.

Fig. 3. Emission characteristics of pollutants by displacement and stroke.

2003년~2005년 연식 이륜자동차 및 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배기량에 따른 대기오염 물질별 배출특성의 경우, 배기량이 증가할수록 THC는 감소하고, CO는 증가하는 경향을 보였으며, NO_x의 경우에도 다소 증가하는 것으로 조사되었다. THC의 경우, 대기환경보전법의 제작차 배출허용기준이 2006년부터 강화됨에 따라 2003년~2005년 연식 이륜자

동차에 대한 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 대기오염물질 배출농도는 배출허용기준이 강화되는 경향에 맞춰 28%~130%까지 감소되었다. 특히 50cc 미만 배기량의 경우 배출허용기준의 강화율(3.3배)이 다른 배기량(2.5배~3.0배)에 비해 큰 만큼 대기오염물질 배출농도도 다른 배기량에 비해 더 큰 폭으로 감소되는 경향을 보였다. 2003년~2005년 연식 이륜자동차에 대한 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 CO 배출농도는 상대적으로 규제가 강화된 50cc 이상~150cc 미만 배기량으로부터 배출되는 CO 농도가 크게 감소되었으나, 150cc 이상 배기량의 경우는 감소 폭이 크지 않았다. 전체 CO 배출수준은 규제 수준이 강화됨에 따라 76%~185%까지 감소된 것으로 나타났다. 이와 달리 NO_x의 경우, 50cc 미만 배기량에 대해서는 규제수준이 완화되었으며, 50cc 이상 배기량에 대해서는 규제 수준의 변화가 없었기 때문에 오히려 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배출 농도가 2003년~2005년 연식에 비해 14%~62%까지 다소 증가된 것으로 조사되었다.

2003년~2005년 연식 이륜자동차에 대한 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 행정별 대기오염물질 배출 특성 변화를 살펴보면, THC 및 CO의 경우 배출허용기준이 강화됨에 따라 2행정과 4행정 모두 대기오염물질 배출농도가 낮아지는 경향을 보이고 있었다. 그러나 NO_x의 경우는 배출허용기준이 강화되었음에도 불구하고 2006년 이전 배출 농도보다 다소 증가하는 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 THC와 CO의 경우에는 제작차 배출허용기준이 2006년 이후부터 강화되어 새로운 촉매 등이 부착됨에 따라 배출가스 중 농도가 저감되었으나 NO_x의 경우에는 이러한 새로운 기술적용이 크게 효과를 나타내지 못한 것으로 사료된다. 특히 NO_x는 다른 이동 오염원의 경우에도 새로운 저감기술의 개발이 요구되고 있는 대기오염물질이기 때문에 배출허용기준의 강화에 맞추어 이륜자동차로부터 배출되는 NO_x를 저감시킬 수 있는 저감기술에 대한 연구와 투자가 필요하다고 하겠다(Hews *et al.*, 2004). 대기오염물질별 증감 수준을 살펴보면, THC의 경우 28%~130% 감소하였으며, CO의 경우는 76%~132% 감소하였다. 하지만 NO_x의 경우는 14%~53% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 연식에 관계없이 2행정 이륜자동차에 비해 4행정 이륜자동차에서 배출되는 THC 농도는 감소하는 것으로 조사되었으나,

CO와 NO_x의 경우는 반대로 4행정 이륜자동차에서 증가하는 것으로 나타났다. 또한 조사 대상 모든 이륜자동차에서 배출되는 대기오염물질 농도는 배기량, 행정 및 연식의 구분과 상관없이 CO>THC>NO_x 순으로 높게 배출되는 것으로 나타났다.

3.2 이륜자동차의 배기량 및 행정별 대기오염물질 배출계수 산정 결과

표 2 및 표 3은 이번 연구를 통하여 산정된 배기량 및 행정별 이륜자동차의 대기오염물질 배출계수를 규제기준이 강화된 2006년 이전과 이후로 구분하여 나타낸 것이다.

배기량에 따른 배출계수 산정 결과를 보면, THC의 경우 2003년~2005년 연식 이륜자동차의 배출계수에 비해 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배출계수가 각각 배기량별로 50cc 미만의 경우 59%, 50cc 이상~150cc 미만은 37%, 150cc 이상이 34% 감소하였다. CO의 경우에도 50cc 미만은 46%, 50cc 이상~150cc 미만이 52%, 150cc 이상의 경우 17% 줄어드는 경향을 보였다. 하지만 NO_x 배출계수는 오히려 50cc 미만이 10%, 50cc 이상~150cc 미만은 4%, 150cc 이상 배기량의 경우 26% 증가된 것으로 나타났다.

행정별로 산정된 배출계수 결과를 보면, THC의 경우 2003년~2005년 연식 이륜자동차의 배출계수에 비해 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배출계수는 각각 2행정이 59%, 4행정은 36% 감소하였다. CO의 경우에도 2행정은 46%, 4행정이 38% 감소하는 경향을 보였다. 하지만 NO_x 배출계수는 오히려 2행정의 경우 10%, 4행정의 경우에는 13% 증가하는 것으로 나타났다.

3.3 이륜자동차의 탄소화합물 배출 특성

그림 4는 3개 제작사별로 각기 다른 기종의 50cc 미만 이륜자동차를 대상으로 2행정 기관 이륜자동차에서 많이 배출되는 것으로 알려진 입자상 물질(Particulate Matter; PM) 중에서 입경크기 2.5μm 이하 입자상 물질(PM_{2.5})로부터 측정된 무기탄소(Elemental Carbon; EC)와 유기탄소(Organic Carbon; OC)의 배출 특성을 나타낸 것이다. 2003년~2005년 연식 이륜자동차 및 2006년~2007년 연식 이륜자동차 모두 EC에 비해 OC의 배출 농도가 높았으며, 이는 윤활유가 함께 혼소되는 2행정 기관의 연소 조건과 관계가 높

Table 2. Emission factors for motorcycle by displacement.

(unit: g/km)

Pollutants	Model year	Displacement	Emission factor	Standard deviation	Maximum value	Minimum value	Tested number
THC	2003 ~ 2005	< 50 cc	3.772	1.145	5.565	2.002	27
		50 ~ 150 cc	0.889	0.253	1.487	0.625	30
		≥ 150 cc	0.838	0.431	1.629	0.494	22
	2006 ~ 2007	< 50 cc	1.561	0.299	1.809	1.006	9
		50 ~ 150 cc	0.562	0.110	0.704	0.444	21
		≥ 150 cc	0.551	0.024	0.583	0.523	15
CO	2003 ~ 2005	< 50 cc	7.694	0.939	9.320	5.363	27
		50 ~ 150 cc	11.396	3.727	17.313	6.900	30
		≥ 150 cc	12.215	2.088	15.324	9.182	22
	2006 ~ 2007	< 50 cc	4.189	1.642	5.361	1.852	9
		50 ~ 150 cc	5.471	1.762	7.059	2.817	21
		≥ 150 cc	10.200	0.135	10.353	10.017	15
NO _x	2003 ~ 2005	< 50 cc	0.039	0.019	0.064	0.013	27
		50 ~ 150 cc	0.138	0.052	0.201	0.060	30
		≥ 150 cc	0.148	0.031	0.190	0.106	22
	2006 ~ 2007	< 50 cc	0.043	0.033	0.088	0.016	9
		50 ~ 150 cc	0.144	0.084	0.260	0.058	21
		≥ 150 cc	0.187	0.049	0.225	0.132	15

Table 3. Emission factors for motorcycle by stroke.

(unit: g/km)

Pollutants	Model year	Stroke	Emission factor	Standard deviation	Maximum value	Minimum value	Tested number
THC	2003 ~ 2005	2 strokes	3.772	1.145	5.565	2.002	27
		4 strokes	0.867	0.334	1.629	0.494	52
	2006 ~ 2007	2 strokes	1.561	0.299	1.809	1.006	9
		4 strokes	0.558	0.086	0.704	0.444	36
CO	2003 ~ 2005	2 strokes	7.694	0.939	9.320	5.363	27
		4 strokes	11.747	3.109	17.313	6.900	52
	2006 ~ 2007	2 strokes	4.189	1.642	5.361	1.852	9
		4 strokes	7.290	2.748	10.353	2.817	36
NO _x	2003 ~ 2005	2 strokes	0.039	0.019	0.064	0.013	27
		4 strokes	0.142	0.043	0.201	0.060	52
	2006 ~ 2007	2 strokes	0.043	0.033	0.088	0.016	9
		4 strokes	0.161	0.073	0.260	0.058	36

은 것으로 보고되고 있다(Volckens *et al.*, 2008). 이륜 자동차로부터 배출되는 입자상물질은 현재 국내 이륜 자동차 배출허용기준에 포함되어 있지 않기 때문에 측정되고 있지 않는 물질이지만, 유럽 등 선진국에서는 이미 배기량별로 배출계수를 갖추어 놓고 다른 대기오염물질 배출량과 함께 산정하고 있는 실정이다(EEA, 2007). 국내에서도 50cc 이하 2행정 이륜자동차의 경우 윤활유와 연료가 함께 혼소되는 특성상 다

량의 입자상 물질이 이륜자동차로부터 배출될 것으로 예상되고 있으며 본 연구에서는 특히 그러한 입자상 물질 중 주요성분인 EC와 OC의 배출특성을 조사하였다. 제작차 배출허용기준이 강화된 2006년 이전과 이후 연식을 비교한 결과 2006년 이후 연식 이륜자동차에서 배출되는 EC와 OC의 배출농도가 모두 감소하는 경향을 보이고 있었으나, 제작사별 저감기술의 차이로 인하여 탄소화합물의 배출농도는 최대 2배 이

Fig. 4. Emission characteristics of EC and OC from 50 cc motorcycle by model and year.

상 차이를 보이는 것으로 나타났다. 특히 입자상 물질의 배출된 지표로 사용되는 EC/OC ratio (Lim *et al.*, 2008)를 살펴 본 결과, 2003년~2005년 연식 이륜자동차의 경우 평균 0.624 였으며 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 경우 평균 0.759로 나타나, 2006년 이후 연식 이륜자동차의 OC 배출율이 상대적으로 2006년 이전 연식 이륜자동차에 비해 낮아진 것으로 조사되었다. 이 같은 결과는 OC 입자상 물질 농도에 영향을 미치는 THC의 배출농도가 2006년 이후 강화된 배출허용기준 때문에 2006년 이전 연식 이륜자동차에서 배출되는 THC 농도에 비해 감소되었기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

국내 최대 이륜자동차 생산업체인 대림자동차와 S&T Motors의 모델별 판매현황을 조사·분석하여 선정한 대표적인 6개 기종 이륜자동차 총 124대에 대하여 CVS-47 모드 및 CVS-40 모드를 이용하여 실차 시험을 실시하였다. 실차 시험은 배기량, 행정 및 연식별로 수행하였으며, 2006년 이후로 강화된 제작자 배출허용기준에 따라 2003년~2005년 연식 이륜자동차 및 2006년~2007년 연식 이륜자동차로 구분하여 배출계수를 산정하였다. 또한 50 cc 미만 이륜자동차의 경우 입자상 물질의 주요성분인 탄소화합물의 배출특성도 함께 조사되었으며 주요 결론들은 다음과 같다.

1) 2003년~2005년 및 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배기량에 따른 대기오염물질 배출특성은 배

기량이 증가할수록 THC는 감소하고, CO는 증가하는 경향을 보였으며, NO_x의 경우에도 다소 증가하는 것으로 조사되었다.

2) 2003년~2005년 연식 이륜자동차에 대한 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 행정별 대기오염물질 배출특성 변화를 살펴보면, THC 및 CO의 경우 배출허용기준이 강화됨 따라 2행정과 4행정 모두 대기오염물질 배출농도가 낮아지는 경향을 보이고 있으나, NO_x의 경우는 배출허용기준이 강화되었음에도 불구하고 2006년 이전 배출 농도 보다 다소 증가하는 것으로 조사되었다.

3) 연식에 관계없이 2행정 이륜자동차에 비해 4행정 이륜자동차에서 배출되는 THC 농도는 감소하는 것으로 조사되었으나, CO와 NO_x의 경우는 반대로 4행정 이륜자동차에서 증가하는 것으로 나타났다.

4) 조사 대상 모든 이륜자동차에서 배출되는 대기오염물질 농도는 배기량, 행정 및 연식의 구분과 상관없이 CO>THC>NO_x 순으로 높게 배출되는 것으로 나타났다.

5) 배기량에 따른 배출계수 산정 결과, THC의 경우 2003년~2005년 연식 이륜자동차의 배출계수에 비해 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배출계수가 각각 배기량별로 50 cc 미만 59%, 50 cc 이상~150 cc 미만 37%, 150 cc 이상 34% 감소하는 것으로 나타났으며, CO의 경우에도 50 cc 미만 46%, 50 cc 이상~150 cc 미만 52%, 150 cc 이상 17% 줄어드는 경향을 보였다. 하지만 NO_x 배출계수는 오히려 50 cc 미만 10%, 50 cc 이상~150 cc 미만 4%, 150 cc 이상 26% 증가된 것으로 나타났다.

6) 행정별로 산정된 배출계수 결과를 보면, THC의 경우 2003년~2005년 연식 이륜자동차의 배출계수에 비해 2006년~2007년 연식 이륜자동차의 배출계수는 각각 2행정은 59%, 4행정은 36% 감소하는 것으로 나타났다. CO의 경우에도 2행정은 46%, 4행정은 38% 감소하는 경향을 보였다. 하지만 NO_x 배출계수는 오히려 2행정의 경우 10%, 4행정의 경우에는 13% 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 대기환경보전법의 제작 이륜자동차 대기오염물질 배출허용기준을 판정하는 방법으로 개발된 CVS-47모드(50 cc 미만) 및 CVS-40모드(50 cc 이상)를 적용하였으나, 향후 실제 이륜자동차의 도로 주행 패턴을 정확히 모사할 수 있는 주행모드의 개발

및 이를 이용한 신뢰성 높은 배출계수의 산정이 필요하다. 하지만 본 연구의 배출계수 산정 결과는 이륜자 동차에서 배출되는 대기오염물질의 체계적인 관리 및 평가와 함께 도로이동오염원에 대한 대기보전정책 수립에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Chen, K.S., H.M. Wang, C.F. Chen, C.F. Lin, H.C. Hsu, H.H. Kao, and M.T. Hu (2003) Motorcycle emissions and fuel consumption in urban and rural driving conditions, *The Science of the Total Environment*, 312, 113-122.
- Choi, B.H. (2005) Estimation of vehicle kilometers, KTSA Report, Korea Transportation Safety Authority.
- EEA (European Environment Agency) (2007) EMEP/CORIN-AIR emission Inventory Guidebook, B710.
- Hews, I., P. Etheridge, and B. Mason (2004) Motorcycle exhaust emissions factors and test cycles programme-final report, Ricardo Consulting Engineers.
- Kim, J.C., M.D. Eom, Y.H. Park, J.T. Lee, S.M. Lee, and Y.H. Shin (2001a) A study of exhaust emission characteristics of motorcycles, *Proceeding of the Korean Society of Automotive Engineers*, 2001(1), 539-543. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.C., M.D. Eom, J.T. Lee, Y.H. Park, S.H. You, S.M. Kim, E.S. Jang, S.M. Lee, and Y.H. Shin (2001b) A study on the evaluation of motorcycle exhaust emission (I), NIER Report, National Institute of Environmental Research, Motor Vehicle Emission Research Laboratory. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.C., M.D. Eom, J.T. Lee, S.C. Gwoak, Y.H. Park, J.H. Ryu, S.B. Lee, J.W. Choi, D.W. Lee, S.I. Kwon, J.W. Hwang, C.W. Yun, Y.S. Lim, and S.M. Lee (2002) A study on the evaluation of motorcycle exhaust emission (II), NIER Report, National Institute of Environmental Research, Motor Vehicle Emission Research Laboratory. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.C., J.T. Lee, M.D. Eom, Y.H. Park, S.C. Gwoak, Y.S. Lyu, and Y.S. Lim (2003) A study on the evaluation of motorcycle exhaust emission, *Proceeding of the 36th Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, 167-168.
- Korea Ministry of Environment (2008) Clean air conservation act.
- Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008) www.mltm.go.kr/USR/statistics/, Statistics of motorcycle registration.
- Leong, S.T., S. Muttamara, and P. Laortanakul (2002) Influence of benzene emission from motorcycles on Bangkok air quality, *Atmospheric Environment*, 36, 651-661.
- Lim, J., L.E. Yu, Y.Y. Kostetski, C. Lim, J. Ryu, and J. Kim (2008) Effects of driving conditions on diesel exhaust particulates, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58, 1077-1085.
- Tsai, J.H., H.L. Chiang, Y.C. Hsu, H.C. Weng, and C.Y. Yang (2003) The speciation of volatile organic compounds (VOCs) from motorcycle engine exhaust at different driving modes, *Atmospheric Environment*, 37, 2485-2496.
- U.S. EPA (2003) Final regulatory support document: control of emissions from highway motorcycles, Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality, EPA 20-R-03-015.
- Volckens, D.A., J. Olson, and M.D. Hays (2008) Carbonaceous species emitted from handled two-stroke engines, *Atmospheric Environment*, 42, 1239-1248.
- Yang, H.H., L.T., Hsieh, H.C. Liu, and H.H. Mi (2005) Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from motorcycles, *Atmospheric Environment*, 39, 17-25.