

휘발유 자동차의 메탄(CH₄) 배출특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Methane Emissions from Gasoline Passenger Cars

전민선* · 류정호 · 유영숙 · 김종춘
임철수 · 김대욱 · 정성운 · 조석연¹⁾
국립환경과학원 교통환경연구소, ¹⁾인하대학교
(2005년 11월 22일 접수, 2005년 12월 13일 채택)

M.S. Jeon*, J.H. Ryu, Y.S. Lyu, J.C. Kim, C.S. Lim,
D.W. Kim, S.W. Jeong and S.Y. Cho¹⁾
*Transportation Pollution Research Center National Institute of
Environmental Research, ¹⁾Inha University*
(Received 22 November 2005, accepted 13 December 2005)

Abstract

Automotive exhaust is suspected to be one of the main reasons of the rapid increase in greenhouse effect gases in ambient air. Although methane emissions are generally orders of magnitude lower than emissions of CO₂, the global warming potential (GWP) of methane is greater than that of CO₂. The environmental impact of methane emissions from vehicles is negligible and is likely to remain so for the foreseeable future.

In this study, in order to investigate greenhouse gas emission characteristics from gasoline passenger cars, 20 vehicles were tested on the chassis dynamometer and methane emissions were measured. The emission characteristics by model year, mileage, vehicle speed were discussed. Test mode is CVS-75 mode that have been used to regulate for light-duty vehicle in Korea. It was found that CH₄ emissions showed higher for cold start, old model year and long mileage than hot start, new model year and short mileage, respectively. These results were compared with IPCC emission factors and the overall our results were anticipated to contribute for domestic greenhouse gas emissions calculation.

Key words : Methane emissions, Gasoline passenger cars, Hot start, Cold start, Vehicle speed

1. 서 론

2005년 2월 16일자로 교토의정서가 발효되면서

온실가스에 대한 관심이 집중되고 있으며, 세계 온실 가스 배출 9위인 우리나라는 앞으로 온실가스 배출 감소 의무부담 압력 가중이 예상된다(기후변화협약 대책위원회, 2005). 우리나라의 에너지 연소에 따른 CO₂ 배출량은 127,146천TC로 이 중 수송부문은 20%를 차지하며, 그 중 도로이동오염원부분은 수송

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)32-560-7690, E-mail : meansun@me.go.kr

부문의 73%를 차지하는 등 온실가스 배출기여율이 매우 높다(이성원, 1999). 특히, 자동차의 연간 CO₂ 배출량은 수송 등 전체 배출량의 14.5%를 차지하고 있으며, 차종별 CO₂ 배출량에서 트럭 44%, 승용차 34%, 버스 22% 순으로 배출비율을 보이고 있다. 우리나라의 수송부문 CO₂ 배출량은 다른 국가에 비해 적지만 1990년부터 매년 7.6%의 높은 증가율을 보이고 있다(엄명도 등, 2005). 꾸준히 증가하는 휘발유 자동차와 최근 몇 년간 높은 증가율을 보이는 경유, LPG 차량에 의해 더욱 증가할 것으로 예상된다.

자동차부문에서 배출되는 온실가스는 주로 CO₂, CH₄, N₂O가 배출되며, CH₄과 N₂O는 CO₂에 비하여 배출량은 매우 적으나, 지구온난화지수로 비교하면 단위체적당 CO₂에 비해 CH₄은 21배, N₂O는 310배로 지구온난화에 미치는 영향이 매우 크다(IPCC, 1997). 자동차에서 배출되는 CH₄은 연료 조성비와 밀접한 관계가 있으며, 주로 자동차 연료의 불완전연소에 의해 엔진에서 생성되고, 촉매장치에서 미처리된 CH₄이 대기에 배출된다. 현재 국내 휘발유 승용차는 삼원촉매(three-way catalyst)시스템이 장착되어 있어 배출가스로부터 THC(Total Hydrocarbons)가 제어되면서 THC에 포함된 CH₄도 제어된다(Degobert, 1995). THC는 CH₄과 같은 온실가스는 아니지만 광화학반응을 일으켜 간접적으로 지구온난화 영향을 미친다. 차량의 연료별로 보면 휘발유는 방향족이나 올레핀 성분이 경유보다 높아 더 많이 배출되며(정용일, 2005), 휘발유와 경유보다 CH₄이 주 연료인 CNG 차량에서 많이 배출된다(EPA, 2005).

본 연구에서는 휘발유 자동차에서 배출되는 온실가스인 CH₄의 차량 연식별 차종별 배출특성을 조사하고, 냉간 시동과 열간 시동 시험을 통해 촉매 온도에 따른 차량의 CH₄ 배출특성을 분석하여, 향후 자동차에서 배출되는 CH₄의 배출량 산출과 저감방안 마련을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구 및 방법

2.1 시료채취 및 분석방법

배출가스 시험장치는 차대동력계(Clayton사, DEC-80), 보조운전장치, 시료채취장치, 회석터널, 입자상물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다. 차대동력계는 자동차의 실측 주행모드를 모사



Fig. 1. Overview of Chassis Dynamometer.

Table 1. Specification of exhaust gas analysis system.

Model	Pollutant	Measuring principle	Measuring conc. range
867	CO	NDIR	500, 1,000, 2,500 ppm
402	THC, CH ₄	H-FID	100, 250, 1,000 ppmC
951A	NOx	CLD	250, 1,000, 2,500 ppm
868	CO ₂	NDIR	1, 3%

하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치이다. 배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 롤러위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS: Constant Volume Sampler)로 일정량의 공기로 희석한 후, 시료채취백에 채취하여 배출가스 분석기(Horiba사 MEXA-9200)로 분석하였다. 배출가스분석기는 자동차 배기관에서 배출되는 가스상물질 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄을 측정하는 것으로 시료채취와 분석이 on-line시스템으로 되어 있어 운전직후 분석결과를 알 수 있다. 배출가스 측정원리는 CO와 CO₂는 비분산적외선법(NDIR: Non-Dispersive Infrared), NOx는 화학발광법(CLD: Chemiluminescence), THC와 CH₄은 불꽃염이온화검출법(H-FID: Heated Flame Ionization Detector)이다.

2.2 시험 차량

시험차종은 우리나라의 등록대수 중 60%를 차지하는 휘발유 승용차로 시험대상차량은 차종별 점유율을 등을 고려한 대표차종을 선정하였다. 800~1,500

cc의 소형차 12대와 1,500~2,000 cc 이하의 중형차 8대를 대상으로 하였으며, 규제물질 기준에 따른 연식 구분은 그림 2와 같다. 이 중 시험차량의 연식기준을 1999년 이전과 2000년 이후로 구분하였다. 또한 촉매의 열화에 의한 배출특성 분석을 위해 차량의 주행거리를 내구보증거리인 8만km 전후로 구분

Table 2. Specifications of test vehicles.

Displacement (cc)	Model year	Test mode	
		Speed	CVS-75
800~1,500 cc	~'99	9	6
	'00~	3	2
1,500~2,000cc	~'99	6	2
	'00~	2	3
Total		20	13

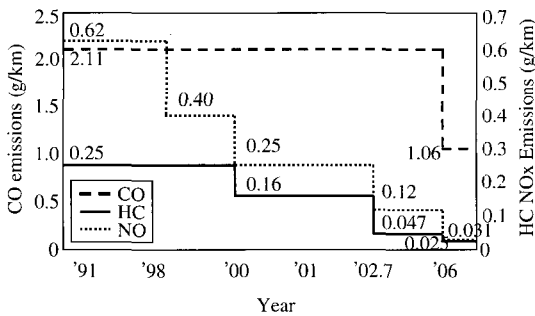


Fig. 2. Emission standards of gasoline passenger cars.

하여 시험하였다.

2.3 운전 모드

차량시험모드는 CVS-75모드와 차속별 모드로 실험하였다. CVS-75모드는 현재 대기환경보전법의 승용차 배출가스 규제시험모드로, 그림 3과 같이 총 3 단계로 구분되어 있으며, phase 1은 저온시동단계로서 505초동안 운전되며, phase 2는 저온시동의 안정화단계로 865초동안 운전된다. phase 2가 끝나면 10분동안 엔진을 정지시킨 후 phase 3은 고온운전조건에서 505초동안 운전된다. phase 1과 3은 주행패턴과 주행시간이 똑같으며 단지 시동단계의 엔진온도 차이를 나타내고 있다. CVS-75모드 이외에도 서울시내의 일정 구간을 운행하여 차속별로 분류시켜 만든 대표차속별 주행모드를 이용하였다. 이 주행모드는 총 15개의 각기 다른 대표차속으로 이루어져 있으며, 이 중 본 시험에서는 4.5, 10.5, 24.5, 65.0, 95.0 km/h의 5개 모드로, 각각 공회전, 저속, 서울시내 평균차속, 연비 우수 차속, 고속 차속을 대표하고 있다. 그림 4에 대표차속별 시간에 따른 주행모드의 예를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 차속별 배출특성

전체 차량의 차속별 CH₄ 배출량을 측정한 결과, 그림 5와 같이 저속 구간에서는 CH₄ 배출량이 높게

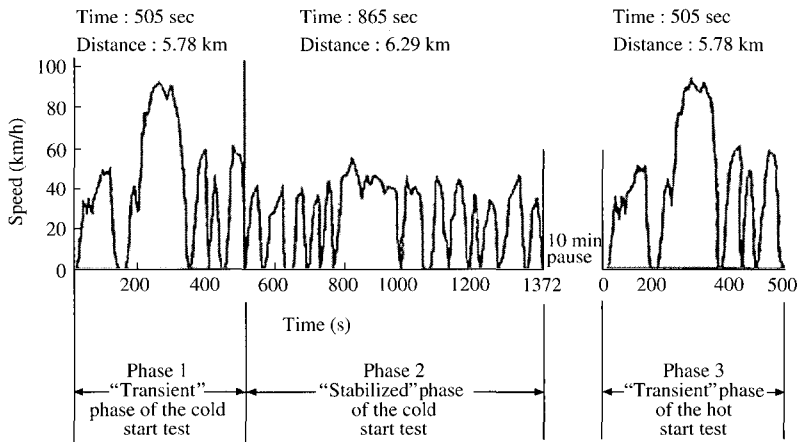


Fig. 3. Driving cycle of CVS-75 mode.

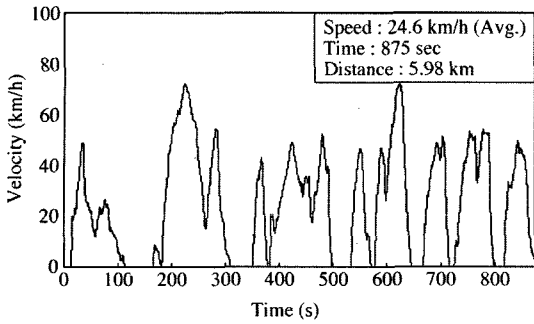


Fig. 4. Driving pattern of representative speed 26.4 km/h for light-duty vehicle.

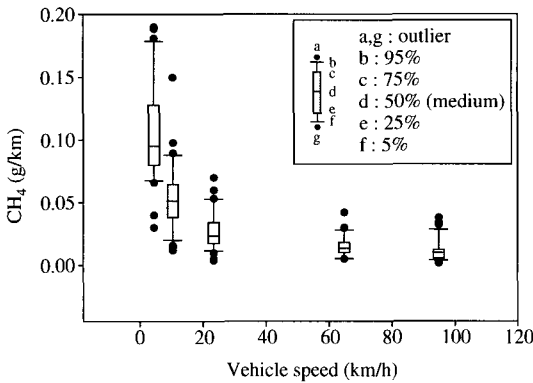
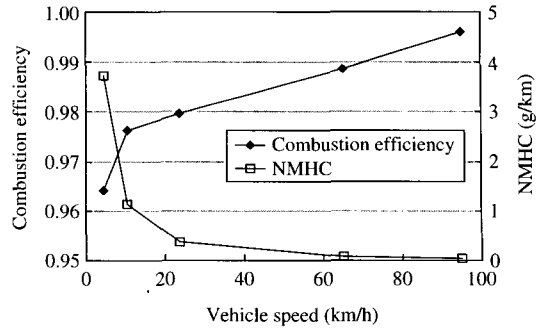


Fig. 5. Characteristics of CH₄ emissions by vehicle speed.

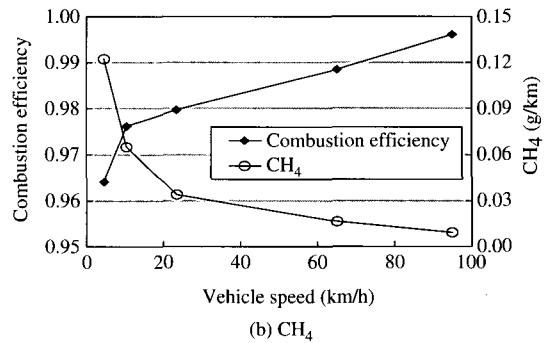
배출되고 차속이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 저속 주행시 낮은 공연비로 인해 산소 부족으로 불완전 연소에 의한 CH₄ 배출량이 많아지고, 엔진 온도가 높은 고속의 경우 촉매의 활성화에 의해 CH₄이 제거되거나 연소효율이 높아져 CH₄ 배출량이 감소한 것으로 사료된다.

3.2 연소효율과의 관계

최종 배출구의 총괄연소효율은 엔진에서 배출되고 촉매를 지난 CO₂와 CO의 비율로 구하였다. 그림 6은 차속별 연소효율 평균과 차속별 NMHC, CH₄ 배출량 평균을 나타내었다. 차속이 증가함에 따라 연소효율이 증가하고 NMHC와 CH₄ 모두 감소하는 것으로 나타나 총괄연소효율이 불완전연소에 의해 생성되는 CH₄과 밀접한 관계가 있음을 보여준다. 저속에서는 낮은 공연비로 인해 산소부족으로 연소효율이



(a) NMHC



(b) CH₄

Fig. 6. Overall combustion efficiency and NMHC, CH₄ emissions by vehicle speed.

낮아지고 불완전연소가 생성되면서 CH₄이 다량 배출된다(Degobert, 1995).

CH₄은 THC 배출량의 7~18%를 차지하며 THC 배출량에 대한 비가 평균 0.105로, 이는 다른 연구결과와도 유사하다(Cooper, 2004).

3.3 연식 및 주행거리와의 관계

차속별 모드로 시험한 승용차의 연식별, 주행거리에 따른 NMHC와 CH₄의 배출량을 조사하였다. 연식은 자동차 배출가스 규제물질 강화년도인 2000년도를 기준으로 1999년 이전 연식과 2000년 이후 연식으로 나누었다. HC의 경우 '99년의 규제기준이 0.25 g/km에서 '00년에는 0.16 g/km로 강화되었다. 그림 7은 연식별 NMHC와 CH₄의 차속별 배출량을 나타낸 것이다. NMHC와 CH₄ 모두 1999년 이전 연식보다 2000년 이후 연식의 배출량이 전 차속에서 감소하였다. 특히 NMHC는 '99년 이전연식보다 '00년 이후 연식이 각 차속별 구간에서 63~93%로 평균 81%의

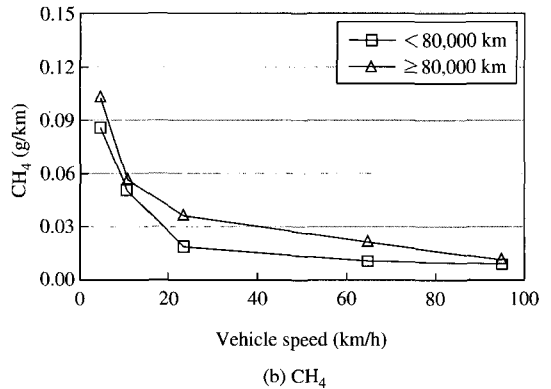
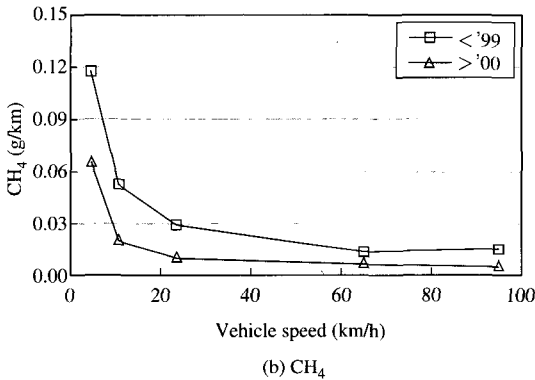
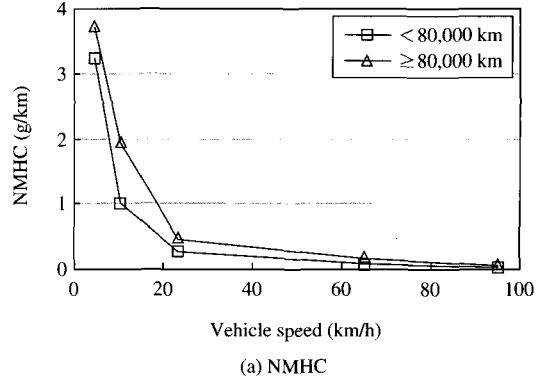
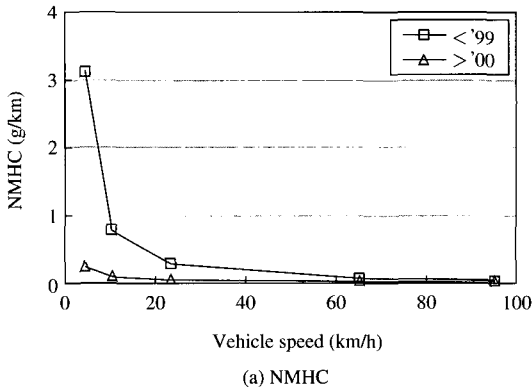


Fig. 7. Characteristics of NMHC and CH₄ emissions by model year.

Fig. 8. Characteristics of NMHC and CH₄ emissions by mileage.

저감을 보여주고 있으며, CH₄은 45~71%로 평균 59%의 저감을 보여주고 있다. HC에서 대부분을 차지하는 NMHC의 저감은 뚜렷하나, CH₄은 다른 탄화수소보다 촉매에서 산화되기 어려워 효과적으로 제어되지 않는 것으로 사료된다(EPA, 2005). CH₄은 직접적으로 규제되지 않지만 강화되는 THC와 NMOG (Non-Methane Organic Gases)의 규제에 의해 점차 낮게 배출될 것으로 예상되고 있다(Cooper, 2004).

주행거리 8만km 미만과 비교하여 8만km 이상 차량에서는 NMHC가 15~99%로 평균 62%, CH₄은 12~94%로 평균 48% 각각 증가하였으며, 이는 보증거리가 초과함에 따라 촉매기능이 약화되어 NMHC 및 CH₄이 많이 배출되는 것으로 사료된다.

3.4 냉간 시동과 열간 시동의 배출특성

차량의 냉간 시동과 열간 시동시의 CH₄ 배출특성

을 평가하여 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)는 주행거리가 3~5만km의 연식별 배출특성을 나타낸 것으로, 최근 연식에 따라 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며, 열간 시동시 냉간 시동보다 평균 53% 저감하는 경향을 보였다. CH₄이 열간 시동에 비해 냉간 시동에서 많이 배출되는 것은, 냉간 시동의 낮은 온도가 촉매 활성화가 되는 light-off 되기 전으로, 일정 온도 이상에서 작동하는 촉매가 정상 작동되지 않아 제어되지 않은 CH₄이 배출되는 것으로 사료된다(Nametal, 2004). 특히 '01년식과 '03년식의 차량을 비교했을 때, 냉간 시동에서는 두 연식의 CH₄ 배출량 차이가 없었으나 열간 시동에서는 '03년식의 차량 경우 '01년식보다 67% 감소하였다. 그림 2와 같이 '00년의 HC 기준 0.16 g/km에서 '02년 7월의 HC 기준 0.047 g/km로 강화되면서 '03년식의 차량 촉매가 열간 시동에서 정상 작동하여 더 낮게 배출된 것

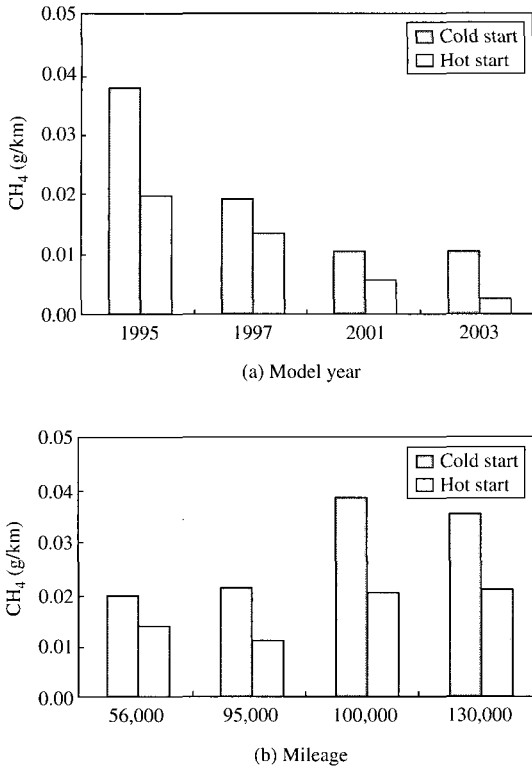


Fig. 9. Characteristics of model year and mileage by CVS-75 mode.

으로 사료된다.

그림 9(b)는 '95~'97년 연식을 가진 소형차량의 주행거리에 따라 배출특성을 나타낸 것이다. 주행거리가 증가함에 따라 CH₄ 배출량이 높게 나타났으며, 보증거리 이상의 차량은 그 미만 차량에 비해 냉간 시동에서는 평균 46%, 열간시동에서는 평균 42% 증가하였다. 주행거리 증가에 따라 촉매 열화에 의해 과다 배출된 것으로 사료된다. 또한 각각 차량의 열간 시동시 냉간 시동보다 평균 43% 저감하는 경향을 보였다.

3. 5 IPCC 배출계수와 비교

자동차 온실가스 배출량 산정방법 중 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 권장한 Tier 1 방법은 연료사용량과 연료별 배출계수를 곱하여 산정하는 방법이다. 표 3은 IPCC에서 권장한 CH₄의 연료별 배출계수를 나타낸 것이다 (IPCC,

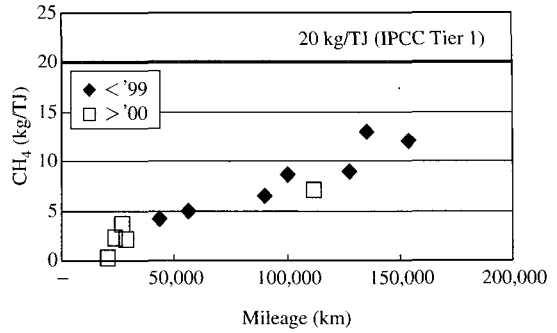


Fig. 10. Comparison of methane emission factor by mileage.

Table 3. Emission factor of CH₄.

	CH ₄ (kg/TJ)		
	Coal	Natural gas	Oil
Energy industries	1	1	3
Aviation	-	-	0.5
Transport	Road	50	Gasoline
			20
Railways	10	-	5
Navigation	10	-	5

1997).

실험데이터를 배출계수로 환산하여 그림 10과 같이 IPCC의 배출계수와 비교하였다. 실험데이터 (g/km)와 연비 (km/l), 연료 열량 (TJ/l)을 이용해 환산한 결과, 99년 이전 연식의 경우 4~13 kg/TJ, 00년 이후 연식의 경우 1~7 kg/TJ, 전체 평균 6 kg/TJ로 IPCC의 배출계수 20 kg/TJ보다 70% 낮게 나타났다. 특히 '00년 이후 연식의 경우 '99년 이전 연식에 비해 40% 낮게 나타났으며, 주행거리가 누적될수록 배출계수가 커지는 경향이 나타났다. 차량의 연식, 주행거리 등을 고려해 배출량을 산정할 경우, IPCC 배출계수를 적용한 기존의 Tier1 방법보다 적게 산출된 것으로 사료된다.

4. 결 론

우리나라 전체 등록대수의 60%를 차지하는 휘발

유 승용차에서 배출되는 CH₄의 배출특성을 알아보고자 소형차, 중형차 20대로 차속별, CVS-75모드를 이용하여 차속에 따른 배출특성과 엔진의 온도에 따른 배출특성을 알아보았다.

휘발유 승용차에서 배출되는 CH₄은 불완전 연소에 의해 발생하며, 이는 차속, 규제연식, 주행거리 및 촉매의 활성화 온도와 연관성이 높은 것으로 나타났다. 차량의 연식별, 주행거리별로 CH₄의 배출량을 비교한 결과, 차속이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, '99년 이전연식보다 '00년 이후 연식이 각 차속별 구간에서 59%의 저감을 보여주고 있다. 보증거리 8만km 이후 차량에서는 이전 차량보다 각 차속별 구간에서 48% 증가하여, 최근 규제연식에 가까울수록, 주행거리가 낮을수록 CH₄ 배출량이 낮은 것으로 나타났다. 규제시험 모드의 냉간 시동과 열간 시동의 비교로 촉매 활성화 온도에 따른 배출특성을 연구한 결과, 촉매가 정상 작동되는 열간 시동에서는 저온운전영역인 냉간 시동보다 CH₄이 53% 저감하는 것으로 나타났으며, 연식이 증가함에 따라 뚜렷한 차이를 보여주고 있다. 이는 규제강화에 따른 개선된 촉매기술 등으로 CH₄이 포함된 HC가 감소한 것으로 사료되며, 2006년 HC 규제기준은 현재의 0.047 g/km보다 낮은 0.025 g/km로, 강화되는 규제에 의해 서 앞으로 제어될 것으로 예상된다.

또한, IPCC에서 권장한 연료에 의한 CH₄의 배출

계수(Tier 1)를 본 연구의 실측값과 비교했을 때, 비교적 높게 나타나 배출가스 제어기술과 운전 조건 등 국내 실정을 고려한 배출계수를 산정해야 한다.

참 고 문 헌

- 기후변화협약대책위원회(2005) 기후변화협약대응 제3차 종합대책, 3-5.
- 엄명도, 류정호, 유영숙, 전민선, 김대옥, 정성운, 김득수(2005) 자동차 온실가스 저감대책 연구, 국립환경과학원, 1-4.
- 이성원(1999) 교통분야 온실가스 감축관련 : 온실가스 감축 대책 등 교통환경관련규제의 거시경제효과 분석, 건설교통부, 184-191.
- 정용일(2005) 자동차 환경특론, www.autoenv.org, Chapter 1, 2.
- Coralie Cooper, Dan M. and B. Stephen(2004), Reducing Greenhouse Gas Emissions from Light-Duty Motor Vehicles, NESCCAF, pp.E1-E27.
- EPA(2005) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and sinks : 1990~2003, 124-125.
- IPPC(1997) 「Revised 1996 IPCC Guidelines」-3, 1.33-1.35.
- Nam, E.K., T.E. Jensen, and J. Wallington(2004) Methane Emissions from Vehicles, Environmental science & Technology, 38(7), 2005 -2010.
- Degobert, P.(1995) Automobiles and Pollution, Society of Automotive Engineers, Warrendale, 243, 359-360.