

## 승용차의 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 배출특성에 관한 연구

### A Study on Characteristics of Carbon Dioxide Emissions from Passenger Cars

유영숙\* · 류정호 · 전민선 · 김대욱  
정성운 · 김선문 · 엄명도 · 김종춘  
국립환경과학원 교통환경연구소

(2006년 5월 2일 접수, 2006년 6월 13일 채택)

Y.S. Lyu\*, J.H. Ryu, M.S. Jeon, D.W. Kim, S.W. Jung,  
S.M. Kim, M.D. Eom and J.C. Kim  
*Transportation Pollution Research Center, National Institute of  
Environmental Research*

(Received 2 May 2006, accepted 13 June 2006)

#### Abstract

Automotive exhaust is suspected to be one of the major reasons of the rapid increase in greenhouse effect gases in ambient air. As the concerns regarding global warming were increased, the pressure on mobile source greenhouse gas (GHG) emission were also increased. Carbon Dioxides contribute over 90% of total GHG emission and the mobile source occupies about 20% of this CO<sub>2</sub> emission. In this study, in order to investigate CO<sub>2</sub> emission characteristics from gasoline and LPG passenger cars (PC), which is the most dominant vehicle type in Korea, 53 vehicles were tested on the chassis dynamometer. CO<sub>2</sub> emissions and fuel consumption efficiency were measured. The emission characteristics by fuel type, model year, mileage, vehicle speed and transmission type were also discussed. Test modes used in this study were NIER 10 modes and CVS-75 mode, which have been used for developing emission factors and testing new vehicles respectively. The results of this study showed that the main factors which have significant influences on the CO<sub>2</sub> emissions are fuel type, transmission type, displacement of vehicle and mileage. The correlation between CO<sub>2</sub> emission and FE was also determined by comparing CO<sub>2</sub> emission and fuel consumption efficiency. The overall results of this study will greatly contribute to domestic greenhouse gas emissions calculation and designing national strategies for climate change.

**Key words** : CO<sub>2</sub>, Carbon dioxide emissions, Passenger cars, Fuel consumption efficiency, Greenhouse gases, Vehicle speed

#### 1. 서 론

자동차에서 배출되는 온실가스는 주로 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)가 있으며 이 중

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)32-560-7682, E-mail : ssy0318@me.go.kr

이산화탄소의 배출비율은 약 90% 이상으로 배출량에 있어서 메탄과 아산화질소에 비해 큰 비중을 차지하고 있다(류정호 등, 2001). 우리나라의 경우 수송부문의 CO<sub>2</sub> 배출량은 전체 에너지 연소에 의한 배출량의 약 20%를 차지하며, 차종별로는 트럭 44%, 승용차 34%, 버스 22% 순의 배출비율을 보이고 있다. 또한 1990년부터 매년 7.6%의 높은 증가율을 보이고 있으며(류정호 등, 2005) 꾸준히 증가하는 휘발유 자동차와 최근 몇 년간 높은 증가율을 보이는 경유, LPG 차량에 의해 더욱 증가할 것으로 예상된다. 지속적인 자동차의 증가는 CO<sub>2</sub>의 배출량 증가와 온실효과의 가속화를 초래할 것으로 예상됨에 따라 최근 유럽, 미국 등의 선진국에서는 자동차 CO<sub>2</sub>를 저감하기 위한 직접 규제 수단을 채택하고 있다. 유럽의 경우 자동차업체와 자발적인 협정을 체결함에 따라 유럽으로 수출되는 모든 승용차는 2012년까지 120 g/km를 만족시켜야하며 우리나라의 자동차공업협회(KAMA)도 이 협정에 가입하였다(IEA, 2002). 또한 미국 캘리포니아주의 경우 2009년부터 적용되는 CO<sub>2</sub> 규제기준을 설정하여 2020년까지 약 17%의 CO<sub>2</sub>를 저감할 계획을 추진 중이다(CARB, 2004).

연료의 연소에 의해 배출되는 CO<sub>2</sub>는 연료소비율과 매우 밀접한 관련이 있으며, 차량의 연비를 향상시킴으로써 CO<sub>2</sub> 배출을 저감할 수 있다. 자동차에서

연비를 향상시키고 CO<sub>2</sub>를 저감하는 방법으로는 기관효율 향상, 주행저항 저감, 동력전달효율 향상, 경량화 등이 있으며 제작사에서는 이러한 기술들의 개발을 통해 연비를 향상시키고 CO<sub>2</sub> 규제에 대응하기 위해 노력하고 있다. 또한 하이브리드나 연료전지자동차와 같은 초저연비 자동차기술도 상당한 수준의 개발이 이루어진 일본 등에서는 곧 상용화될 것으로 예상되고 있다(조강래, 2000).

본 연구에서는 승용차에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 연료별, 차종별 배출특성을 분석하고, 차속 및 연비의 상관관계를 분석함으로써 향후 자동차 CO<sub>2</sub> 배출량통계 구축과 국내 자동차의 CO<sub>2</sub> 규제기준 설정 및 저감 기술 개발 등을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 연구 및 방법

### 2.1 시료채취 및 분석방법

배출가스 시험장치는 차대동력계(Clayton사, DEC-80), 보조운전장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어있다. 차대동력계는 자동차의 실측 주행모드를 모사하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치이다(그림 1). 배출가스 측정은 시험자동차가 차대

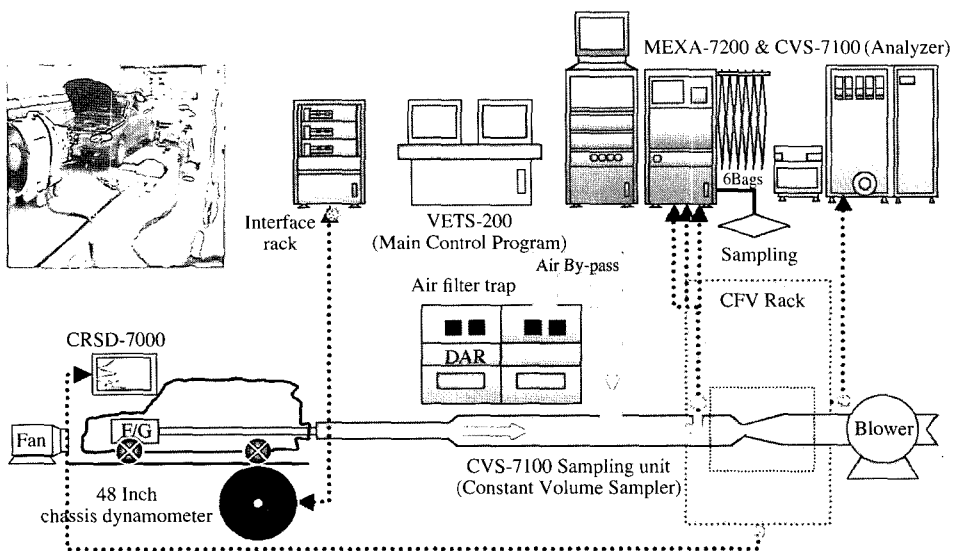


Fig. 1. Schematic Diagram of Chassis Dynamometer.

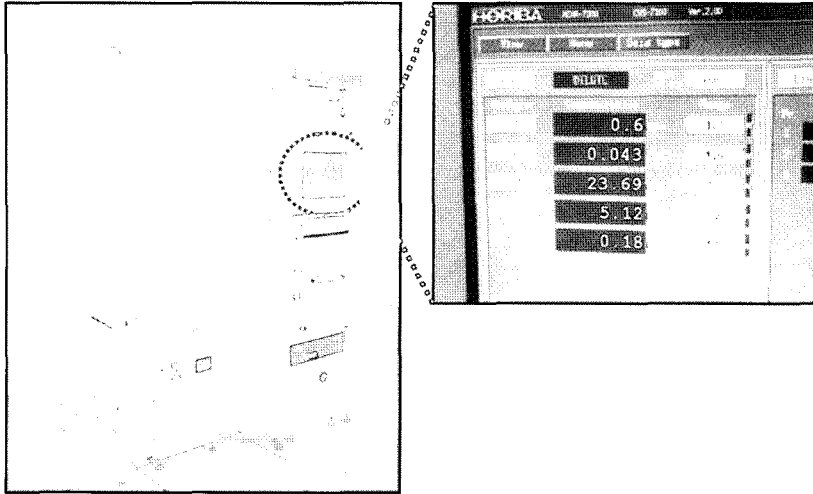


Fig. 2. Overview of exhaust gas analyzer.

Table 1. Specification of exhaust gas analysis system.

Model	Pollutant	Measuring principle	Measuring conc. range
867	CO	NDIR	500, 1000, 2500 ppm
402	THC, CH <sub>4</sub>	H-FID	100, 250, 1000 ppmC
951A	NO <sub>x</sub>	CLD	250, 1000, 2500 ppm
868	CO <sub>2</sub>	NDIR	1, 3%

동력계의 물러위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS : Constant Volume Sampler)를 이용하여 일정량의 공기로 희석하며 희석비율은 일반적으로 10~15배이다. 희석된 배출가스는 시료채취관에 채취하여 배출가스 분석기(Horiba사 MEXA-9200)로 분석하였다. 배출가스분석기는 자동차 배기관에서 배출되는 가스상물질 CO, THC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>을 측정하는 것으로 시료채취와 분석이 on-line시스템으로 되어 있어 운전직후 분석결과를 알 수 있다(그림 2). 배출가스 측정원리는 CO와 CO<sub>2</sub>는 비분산적외선법(NDIR : Non-Dispersive Infrared), NO<sub>x</sub>는 화학발광법(CLD : Chemiluminescence), THC와 CH<sub>4</sub>은 불꽃염이온화검출법(H-FID : Heated Flame Ionization Detector)이다.

2.2 시험 차량

시험차량은 우리나라의 자동차 중 70% 이상을 차지하는 승용차를 대상으로 하였으며, 연료별로는 휘

Table 2. Specifications of test vehicles.

Vehicle type	Fuel type	Displacement	Test mode	
			Speed	CVS-75
Passenger Car	Gasoline	800 cc >	8	5
		800~1,500 cc	16	12
		1,500~2,000 cc	11	7
		2,000 cc <	5	5
		LPG	1,500 cc <	13
Total			53	38

발유와 LPG로 구분하여 휘발유차 40대, LPG차 13대 등 총 53대의 in-use 승용차를 시험하였다. 배기관별로는 휘발유차의 경우 경형, 소형, 중형, 대형으로 구분하였으며, 택시의 점유율이 높은 LPG차의 경우 중대형차량 위주로 차종별 점유율 등을 고려하여 대표차종을 선정하였다. 또한 열화에 의한 배출특성 조사를 위해 차량의 주행거리를 내구보증거리인 8만 km 전후로 구분하였다(환경부, 2004).

2.3 운전 모드

차량시험모드는 CVS-75 모드와 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 안정

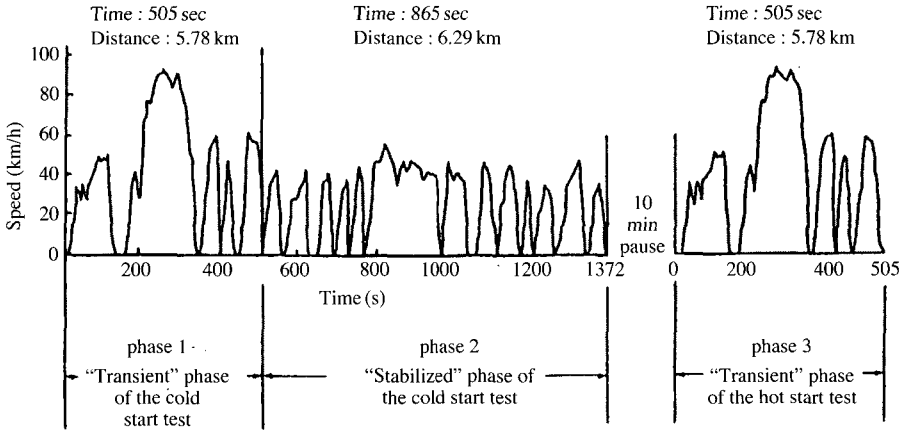


Fig. 3. Driving cycle of CVS-75 mode.

화단계로 865초동안 운전된다. phase 2가 끝나면 10분동안 엔진을 정지시킨 다음, phase 3을 고온운전조건에서 505초동안 운전된다. phase 1과 3은 주행패턴과 주행시간이 똑같으며 단지 시동단계의 엔진온도 차이를 나타내고 있다. CVS-75 모드 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, 23.5, 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 주행특성의 예를 나타내었다.

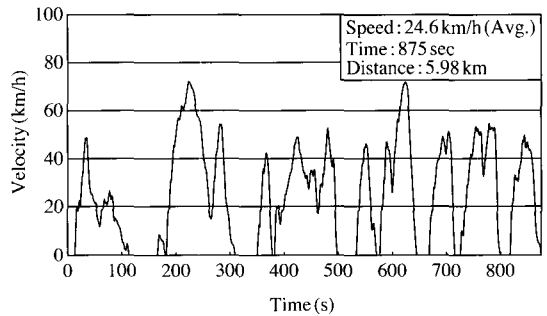


Fig. 4. Driving pattern of representative speed 24.6 km/h for light-duty vehicle.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연료별, 차속별 배출량 비교

연료별 CO<sub>2</sub> 배출특성을 비교·분석하기 위하여 동일 배기량(2,000 cc)의 승용차를 휘발유차와 LPG 차로 구분하여 국내 시가지 차속별 주행조건에서 CO<sub>2</sub>를 측정·분석하였다. 일반적으로 연료별 CO<sub>2</sub> 배출수준은 휘발유, 경유, 에탄올, 메탄올, LPG, CNG, 수소연료 순이며 최근 관심이 높은 CNG의 경우 휘발유의 약 66% 배출한다. 이러한 CO<sub>2</sub> 배출량은 엔진 배출량 뿐만 아니라 차량부품의 제조와 조립, 연료의 생산 및 공급, 이용 등을 포함한 CO<sub>2</sub> 전과정배출

(Life cycle emission)을 고려할 경우 다소간의 배출 순서에 차이가 있다(정용일, 2005). 그림 5에서 보여 주듯이 연료유형에 상관없이 자동차 속도가 증가함에 따라 CO<sub>2</sub> 배출은 전반적으로 감소하는 경향을 보여주고 있으며 45 km/hr 이상의 차속에서는 감소율이 완만해지고 있음을 알 수 있다. 연료별로는 차속에 따라 약간의 차이를 보이나 휘발유차량이 LPG차량보다 약 20% 가량 CO<sub>2</sub>를 높게 배출하고 있는 것으로 조사되어 CO<sub>2</sub> 배출측면에서 LPG차량이 휘발유차량보다 유리한 측면이 있지만 휘발유차량의 연료 분사방식을 GDI(휘발유직접분사)방식으로 변경할 경우 CO<sub>2</sub>는 거의 동일한 배출수준을 나타낼 것으로 사료된다. 휘발유차량의 CO<sub>2</sub> 배출수준을 유럽 및 미국의 배출수준과 비교할 경우 동일차속에서 유럽보다는 약 15%, 미국보다는 약 6% 더 많이 배출하는

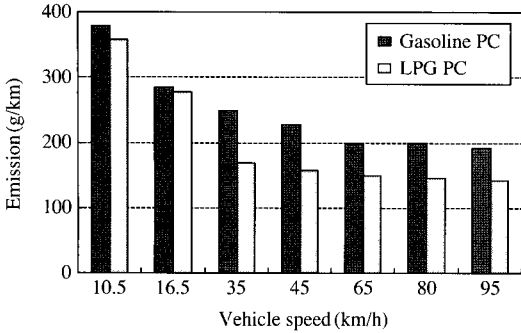


Fig. 5. Characteristics of CO<sub>2</sub> emissions by fuel type.

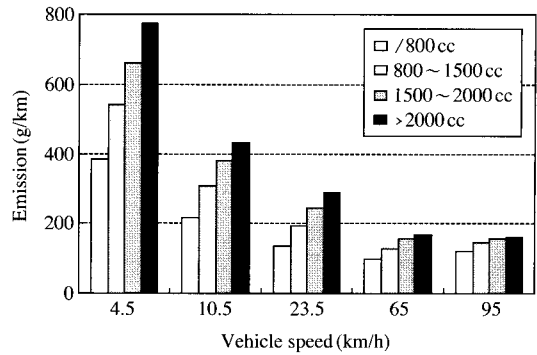
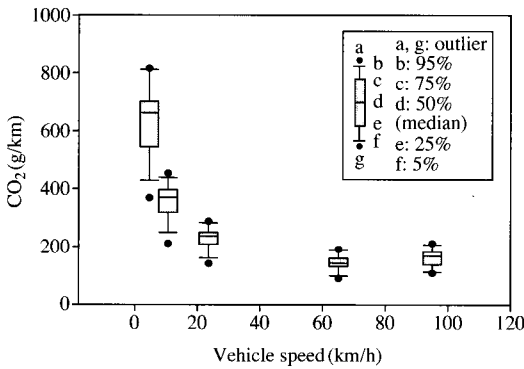
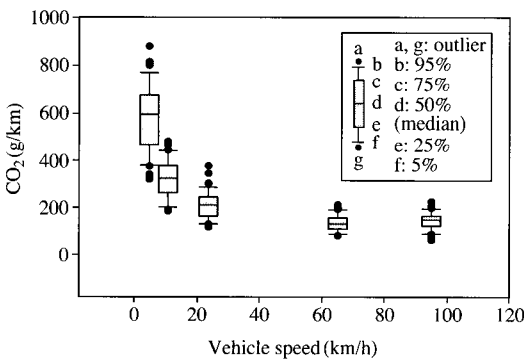


Fig. 7. Characteristics of CO<sub>2</sub> emissions by displacement.



(a) LPG passenger car (n=3)



(b) Gasoline passenger car (n=40)

Fig. 6. Characteristics of CO<sub>2</sub> emissions by vehicle speed.

것으로 조사되고 있어 향후 기후변화협약관련 국가 온실가스 감축대책추진 및 자동차제작사의 국가간 CO<sub>2</sub> 배출규제시 신중한 대응전략이 필요할 것으로 사료된다.

그림 6은 휘발유 및 LPG 차량에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 데이터분포를 차속별로 나타낸 것이다. 앞에서 설명한 것처럼 차속증가에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량은 감소하고 있으며 20 km/h 이하의 저속에서는 데이터간의 편차가 크게 나타나고 있어 불안정한 연소상태가 유지됨을 알 수 있다. 또한 경제속도영역 (60~70 km/h)에서 CO<sub>2</sub> 배출이 가장 낮게 나타나고 있는데 이는 최적의 연소조건에 따른 연비향상이 그 원인인 것으로 사료된다.

### 3.2 배기량별 배출 비교

휘발유 승용차의 배기량별 CO<sub>2</sub> 배출특성을 그림 7에 나타내었다. 일반적으로 CO<sub>2</sub> 배출은 연료소비량과 비례적인 관계로서 연료소비량이 증가할수록 CO<sub>2</sub>는 거의 선형적으로 증가한다. 동일연료, 동일운전조건하에서 차량의 배기량이 클수록, 차량무게가 증가할수록 연료소비는 많아지며 이에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량은 늘어난다. 그림에서 보여주듯이 배기량이 작을수록 CO<sub>2</sub>는 적게 배출되며, 2,000 cc 이상의 대형차량과 800 cc 미만의 경차를 비교할 경우 30 km/h 이하의 저속구간에서는 대형차량이 경차보다 약 2배 정도의 CO<sub>2</sub>를 배출하였으며, 2,000 cc 미만의 소형 및 중형차량도 경차보다 36, 63% 각각 더 많이 배출하는 것으로 측정되었다. 자동차 온실가스를 저감시키는 여러 가지 저감대책 중 대중교통수단 이용율을 증대시키고, 저연비차량을 개발하는 등의 적극적인 CO<sub>2</sub> 감축대책이 추진되고 있지만 이러한 정책추진에는 상당한 재정적지원이 필요하다. 그러나 국민의식 전환만으로도 추진가능한 경차보급대책은 재정적지

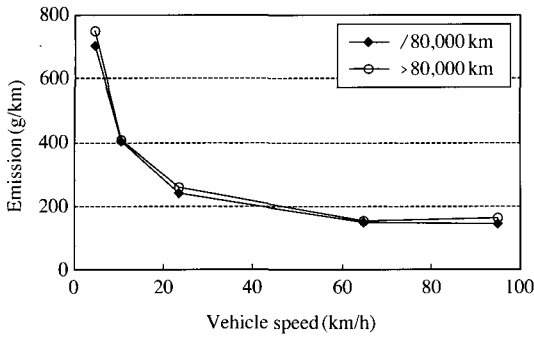


Fig. 8. Characteristics of CO<sub>2</sub> emissions by accumulated mileage.

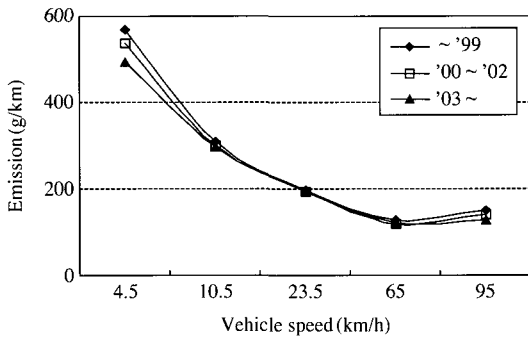


Fig. 9. Characteristics of CO<sub>2</sub> emissions by regulation year.

원이 그리 크지 않은 반면 CO<sub>2</sub> 감축효과는 매우 커, 최근 유럽을 중심으로 매우 선호하는 온실가스 감축 대책중의 하나로서 검토되고 있다(IEA, 2002).

### 3.3 차량 노후화에 따른 배출 열화특성

차량열화에 의한 CO<sub>2</sub> 배출경향을 조사하기 위하여 휘발유 중형승용차와 소형승용차에 대하여 누적주행거리 및 차령(규제연식)별 CO<sub>2</sub> 배출경향을 차속별로 측정·분석하여 그림 8, 9에 나타내었다. 자동차 배출가스 관련부품은 대기환경보전법에 근거한 결합확인검사제도에 의해서 배출가스 보증기간(휘발유차량('03년 이전 연식) 80,000 km)동안 관련부품의 결합이 발생되지 않도록 자동차 제작사가 차량 제작 단계에서부터 자체 관리하도록 유도하고 있다. 따라서 배출가스 보증기간인 80,000 km는 자동차 제작사가 차량의 배출가스관련 부품의 내구성능을 보증하

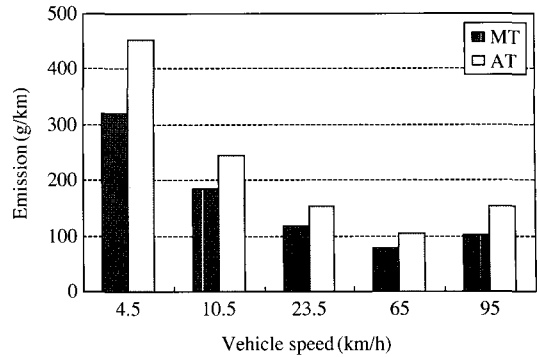


Fig. 10. Characteristics of CO<sub>2</sub> emissions by transmission type.

는 누적주행거리를 의미하여 보증기간 이전 차량 대부분은 CO, THC, NO<sub>x</sub> 등 규제대상물질이 배출기준 이내로 배출되어야 한다. 그러나 온실가스인 CO<sub>2</sub> 배출은 배출가스 보증거리에 따라 큰 차이가 없어 배출가스 관련부품의 열화성능과는 큰 관계가 없음을 알 수 있다. 한편 배출규제연식별 CO<sub>2</sub>는 그림에서 보여주듯이 '99연식 이전 대비 '00~02연식은 5%, '03연식 이후는 8% 감소하는 것으로 나타났다. 차량의 연식구분은 CO, HC, NO<sub>x</sub> 등 규제오염물질의 규제강화수준을 고려하여 구분하였으나 현재 CO<sub>2</sub>에 대한 배출규제기준은 없기 때문에 규제강화에 의한 영향이라기보다는 차량자체의 열화에 의한 영향으로 사료된다.

### 3.4 변속기종류에 따른 배출 비교

일반적으로 변속기 종류는 자동(automatic)과 수동(manual)으로 구분되는데, 자동변속기를 장착할 경우 수동변속기에 비해 연비가 평균 20% 가량 악화되고 따라서 CO<sub>2</sub> 배출량은 증가하는 것으로 알려져 있으며, Sullivan *et al.* (2004)은 자동변속기가 수동변속기에 비해 휘발유승용차는 6%, 경유승용차는 5% 가량 배출량이 높다고 제시하였다. 본 연구에서는 경형승용차의 변속기종류별 배출율을 비교하였으며 자동변속기에서의 CO<sub>2</sub> 배출량이 수동변속기에 비해 30~50% 가량 높게 배출되는 것으로 조사되었다. 최근 국내 승용차 변속기의 90% 이상이 자동변속기를 채용하고 있는데 이러한 추세로 인해 CO<sub>2</sub> 배출량이 상당량 증가할 것으로 예상된다.

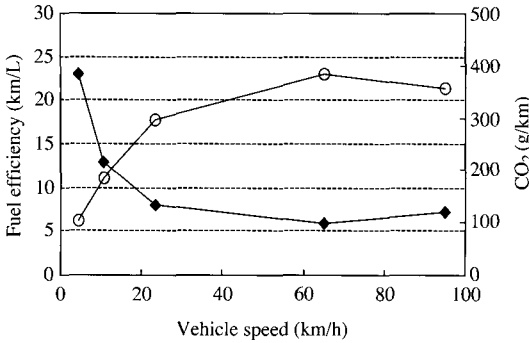


Fig. 11. Fuel efficiency and CO<sub>2</sub> emissions by vehicle speed.

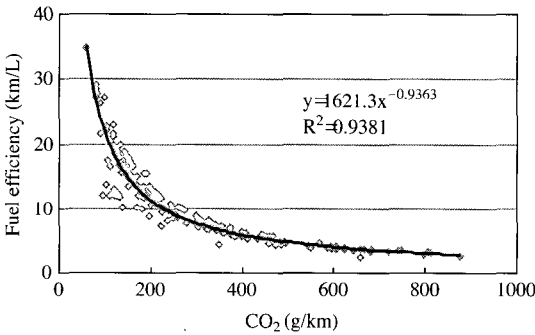


Fig. 12. Corelation between CO<sub>2</sub> emission and fuel efficiency.

### 3. 5 연비와의 상관관계식 산출

그림 11은 차속별 연비 평균과 차속별 CO<sub>2</sub> 배출량 평균을 나타내었다. 차속이 증가함에 따라 연비는 증가하고 CO<sub>2</sub> 배출량은 감소하다가 70 km/h 전후에 연비는 감소하고 CO<sub>2</sub> 배출은 증가하는 것으로 조사되었다. 그림 12에 나타난 것과 같이 연비와 CO<sub>2</sub> 배출량은 매우 높은 부의 상관성을 갖는데 이것은 CO<sub>2</sub> 배출이 대부분 연료사용량에만 의존하기 때문이다. 본 연구에서 조사한 연비와 CO<sub>2</sub> 배출과의 결정계수는 0.9381로 상관성이 매우 높음을 알 수 있으며, 이는 다른 연구결과에서 제시된 0.9708과 유사한 수준이다(Wojciech and Bielaczyc, 1999).

### 4. 결 론

우리나라 전체 등록대수의 60% 이상을 차지하는

승용차의 CO<sub>2</sub>의 배출특성을 알아보려고 휘발유와 LPG 승용차를 경, 소, 중, 대형으로 구분하여 총 53대를 시험하였으며, 차속별모드와 CVS-75모드를 이용하여 차속 및 연료에 따른 배출특성, 차량열화에 의한 영향, 연비와의 상관관계 등을 조사하였다.

자동차에서 배출되는 CO<sub>2</sub>는 연료의 연소에 의해 발생하며, 이는 차속, 연료소비율, 배기량과 연관성이 높은 것으로 나타났다. 승용차의 차속에 따른 CO<sub>2</sub> 배출특성을 조사한 결과, 연료유형에 상관없이 자동차 속도가 증가함에 따라 CO<sub>2</sub> 배출은 전반적으로 감소하는 경향을 보여주고 있으며 45 km/hr 이상의 차속에서는 감소율이 완만해지는 것으로 나타났다. 연료별로는 휘발유차량이 LPG차량보다 약 20%가량 CO<sub>2</sub>를 높게 배출하고 있어 CO<sub>2</sub> 배출측면에서 LPG차량이 휘발유차량보다 유리한 측면이 있지만 휘발유차량의 연료분사방식을 GDI(휘발유직접분사)방식으로 변경할 경우 CO<sub>2</sub>는 거의 동일한 배출수준을 나타낼 것으로 사료된다.

또한 동일연료, 동일운전조건하에서 차량의 배기량이 클수록, 차량무게가 증가할수록 연료소비는 많아지며 이에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량은 늘어난다. 2,000 cc 이상의 대형차량과 800 cc 미만의 경차를 비교할 경우 30 km/h 이하의 저속구간에서는 대형차량이 경차보다 약 2배 정도의 CO<sub>2</sub>를 배출하였으며, 2,000 cc 미만의 소형 및 중형차량도 경차보다 36, 63% 각각 더 많이 배출하는 것으로 나타났다.

차량의 변속기 종류에 따른 CO<sub>2</sub> 배출특성을 경험 승용차를 이용하여 시험한 결과 자동변속기에서의 CO<sub>2</sub> 배출량이 수동변속기에 비해 30~50% 가량 높게 배출되는 것으로 조사되었다. 또한 차량열화에 의한 CO<sub>2</sub> 배출경향을 조사하기 위하여 휘발유 중형승용차와, 소형승용차에 대하여 차령(규제연식) 및 누적주행거리별 CO<sub>2</sub> 배출경향을 차속별로 측정·분석한 결과, 배출규제연식별로는 '99연식 이전 대비 '00~02연식은 5%, '03연식 이후는 8% 감소하는 것으로 나타났으며 배출가스 보증거리에 따라 큰 차이가 없어 CO<sub>2</sub> 배출량은 배출가스 관련부품의 열화성능과는 큰 관계가 없이 차량자체의 열화에 의해 배출이 다소 증가하는 것으로 나타났다.

차량의 연비와 CO<sub>2</sub> 배출량은 매우 높은 부의 상관성을 갖는데 이것은 CO<sub>2</sub> 배출이 대부분 연료사용량에만 의존하기 때문이다. 본 연구에서 조사된 연비와

CO<sub>2</sub> 배출과의 결정계수는 0.9381로 상관성이 매우 높음을 확인할 수 있었다. 이러한 조사결과는 향후 기후변화협약 대응을 위한 정부종합대책 추진과 수송부문은 온실가스 배출통계구축을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

## 참 고 문 헌

- 류정호, 유영숙, 엄명도, 전민선, 김대욱, 정성운, 김득수 (2005) 자동차 온실가스 저감대책 연구, 환경부 국립환경과학원, 81-89.
- 류정호, 엄명도, 김종춘, 권상일, 전민선, 김기호 (2001) 자동차의 온실가스 배출량 조사, 환경부 국립환경연구원, 40-77.
- 정용일 (2005) 자동차와 환경, <http://www.AutoEnv.org>, 63-66.
- 조강래 (2000) 자동차환경개론, 문운당, 191-197.
- 환경부 (2004) 대기환경보전법, 시행규칙 별표 21 배출가스 보증기간.
- CARB (California Air Resource Board) (2004) Climate Change, <http://www.arb.ca.gov>, II-3-II-32.
- IEA (International Energy Agency) (2002) Dealing with Climate Change, OECD, 129-130.
- Sullivan, J.L., R.E. Baker, and B.A. Boyer (2004), CO<sub>2</sub> Emission Benefit of Diesel versus Gasoline Powered Vehicles, *Environmental Science & Technology*, 38(12), 3217-3223.
- Wojciech, G. and P. Bielaczyc (1999) Emission of CO<sub>2</sub> and Fuel Consumption for Automotive Vehicles, *Society of Automotive Engineers*, 1999-01-1074, 1-7.