

국내 휘발유 승용차의 CO₂ 배출 현황

유영숙* · 류정호 · 정성운 · 전민선 · 김대욱 · 엄명도 · 김종춘

국립환경과학원 교통환경연구소

A Study on the Characteristics of Carbon Dioxide Emissions from Gasoline Passenger Cars

Youngsook Lyu* · Jungho Ryu · Sungwoon Jung · Minseon Jeon · Daewook Kim · Myungdo Eom · Jongchoon Kim

Transportation Emission Research Center, National Institute of Environmental Research, Environmental Research Complex, Gyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-708, Korea
(Received 29 May 2006 / Accepted 18 September 2006)

Abstract : As the concerns regarding global warming were increased, the pressure of greenhouse gas(GHG) emission reduction on mobile source was also increased. Carbon dioxides contribute over 90% of total GHG emission and the mobile source occupies about 20% of this CO₂ emission. Therefore automotive exhaust is suspected to be one of the major reasons of the rapid increase in greenhouse effect gases in ambient air.

In this study, in order to investigate CO₂ emission characteristics from gasoline passenger cars(PC), which is the most dominant vehicle type in Korea, 106 vehicles were tested on the chassis dynamometer. CO₂ emissions and fuel efficiency were measured. The emission characteristics by displacement, gross vehicle weight, vehicle speed and CVS-75/vehicle speed mode were discussed. Test modes were vehicle speed modes and CVS-75 mode that have been used to develop emission factors and to regulate for light-duty vehicle in Korea. It was found that CO₂ emissions showed higher large displacement, heavy gross vehicle weight, low vehicle speed and CVS-75 mode than small displacement, light gross vehicle weight, high vehicle speed and vehicle speed mode, respectively. From these results, correlation between CO₂ emission and fuel efficiency was also determined. The results of this study will contribute to domestic greenhouse gas emissions calculation and making the national policy for climate change.

Key words : Greenhouse gas(온실가스), Carbon dioxide emissions(이산화탄소 배출량), Fuel efficiency(연비효율), Passenger cars(승용차), Chassis dynamometer(차대동력계), Gross vehicle weight(차량총중량)

1. 서론

자동차에서 배출되는 온실가스는 주로 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)가 있으며 이중 이산화탄소의 배출비율은 약 90% 이상으로 배출량에 있어서 메탄과 아산화질소에 비해 큰 비중을 차지하고 있다. 우리나라의 경우 수송부문의 CO₂

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 있으며¹⁾ 꾸준히 증가하는 휘발유 자동차와 최근 몇 년간 높은 증가율을 보이는 경유, LPG 차량에 의해 더욱 증가할 것으로 예상된다. 지속적인 자동차의 증가는 CO₂의 배출량 증가와 온실효과의 가속화를 초

*Corresponding author, E-mail: ssy0318@me.go.kr

래할 것으로 예상됨에 따라 최근 유럽, 미국 등의 선진국에서는 자동차 CO₂를 저감하기 위한 직접 규제 수단을 채택하고 있다. 유럽의 경우 자동차업체와 자발적인 협정을 체결함에 따라 유럽으로 수출되는 모든 승용차는 2012년까지 120 g/km를 만족시켜야 하며 우리나라의 자동차공업협회(KAMA)도 이 협정에 가입하였다.²⁾ 또한 미국 캘리포니아주의 경우 2009년부터 적용되는 CO₂ 규제기준을 설정하여 2020년까지 약 17%의 CO₂를 저감할 계획을 추진 중이다.

연료의 연소에 의해 배출되는 CO₂는 연료소비율과 매우 밀접한 관련이 있으며, 차량의 연비를 향상 시킴으로써 CO₂ 배출을 저감할 수 있다. 자동차에서 연비를 향상시키고 CO₂를 저감하는 방법으로는 기관효율 향상, 주행저항 저감, 동력전달효율 향상, 경량화 등이 있으며 제작사에서는 이러한 기술들의 개발을 통해 연비를 향상시키고 CO₂ 규제에 대응하기 위해 노력하고 있다. 또한 하이브리드나 연료전지자동차와 같은 초저연비 자동차기술도 상당한 수준의 개발이 이루어진 일본 등에서는 곧 상용화될 것으로 예상되고 있다.

본 연구에서는 승용차에서 배출되는 CO₂의 배기량별, 총중량별, 차속별, CVS-75/국내차속별 배출특성을 분석하고, 연비와의 상관관계를 분석함으로써 향후 자동차 CO₂ 배출량통계 구축과 국내 자동차의 CO₂ 규제기준 설정 및 저감기술 개발 등을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 시험내용

2.1.1 시험대상차량

시험대상차종은 휘발유 승용차로 시험대상차량은 차종별 점유율 등을 고려한 대표차종을 선정하였다. 배기량별로는 경형, 소형, 중형, 대형으로 구분하였으며 총 106대의 승용차를 시험하였다. 시험대상차종 및 대수를 Table 1에 나타내었다.

2.1.2 배출가스 측정장치

소형차 배출가스 시험장치는 차대동력계(Clayton사, DCE-80), 보조운전장치, 시료채취장치, 희석터

Table 1 Specifications of test vehicles

Vehicle type	Vehicle classification	Displacement	Fleet
Passenger car	Small	Below 800cc	8
	Light-duty	800~1500cc	35
	Medium-duty	1500~2000cc	33
	Heavy-duty	Over 2000cc	30
Total			106

널, 입자상물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다. 차대동력계는 자동차의 실측 주행모드를 모사하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치이다. 배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 물러위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS : Constant volume sampler)로 일정량의 공기로 희석한 후, 시료채취백에 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다. 차대동력계는 직류동력계(Clayton사, DCE-80)이며 배출가스 분석기는 자동차 배기관에서 배출되는 CO, CO₂, THC, 및 NO_x 등 가스상 물질을 측정하는 것으로 Horiba사 MEXA-9200모델을 사용하였다.



Photo. 1 Overview of chassis dynamometer

2.2 실험방법

2.2.1 시험모드

차량시험모드는 CVS-75 모드와 차속별 모드로 실험하였다. CVS-75모드는 현재 대기환경보전법의 승용차 배출가스 규제시험모드로, Fig. 1과 같이 총 3단계로 구분되어 있다. CVS-75 모드 이외에도 서

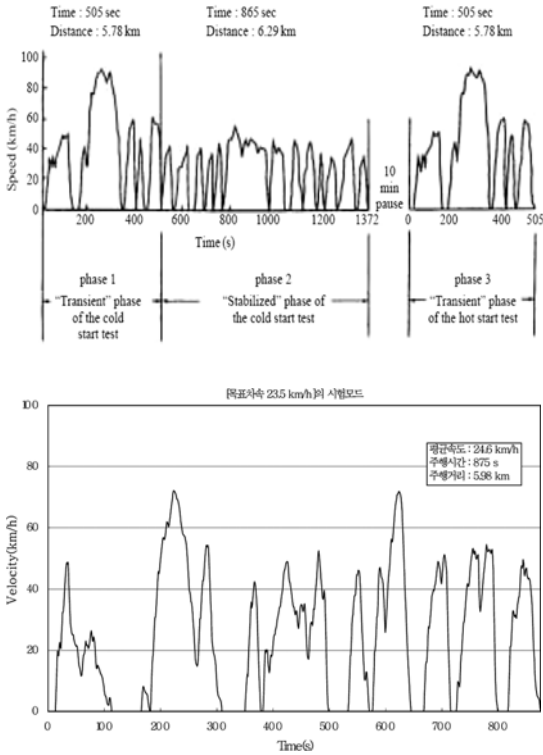


Fig. 2 Driving pattern of representative speed 24.6km/h for light-duty vehicle

울시내의 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, 95.0km/h의 5개 모드로, 각각 공회전, 저속, 서울시내 평균차속, 연비 우수 차속, 고속 차속을 대표하고 있다. Fig. 2에 대표차속별 시간에 따른 주행특성의 예를 나타내었다.

2.2.2 분석방법

본 연구에서는 사용한 배출가스분석기는 자동차 배기관에서 배출되는 가스상물질 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄을 측정하는 것으로 시료채취와 분석이 on-line시스템으로 되어 있어 운전직후 분석결과를 알 수 있다.(Photo. 2) 배출가스 측정원리는 CO와 CO₂는 비분산적외선법(NDIR: Non-Dispersive Infrared), NOx는 화학발광법(CLD: Chemiluminescence), THC와 CH₄은 불꽃염이온화검출법(H-FID: Heated Flame Ionization Detector)이다.

Table 2 Specification of exhaust gas analysis system

Model	Pollutant	Measuring principle	Measuring conc. range
867	CO	NDIR	500, 1000, 2500ppm
402	THC, CH ₄	H-FID	100, 250,1000ppmC
951A	NOx	CLD	250, 1000, 2500ppm
868	CO ₂	NDIR	1, 3%

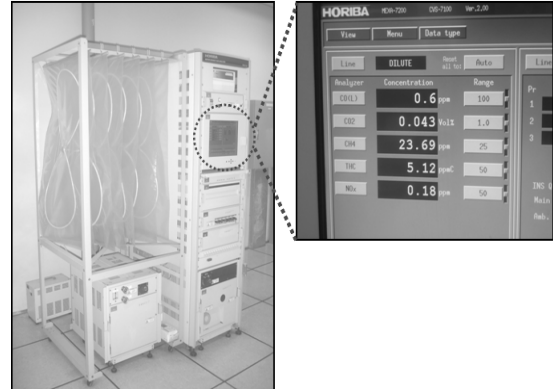


Photo. 2 Overview of exhaust gas analyzer

3. 결과 및 고찰

3.1 배기량별 및 총중량별 배출현황

휘발유 승용차의 배기량별 및 총중량별 CO₂ 배출의 직선회귀식 및 상관계수(r)를 Fig. 3~4에 나타내었다. CO₂ 배출량과 배기량 및 총중량의 상관계수(r)가 각각 0.922, 0.888로 양호한 상관성을 보이며 0.01수준(양쪽)에서 유의하였다. 이로 인해 동일연료, 동일운전조건하에서 차량의 배기량이 클수록, 차량무게가 증가할수록 연료소비는 많아지며 이에 따라 CO₂배출량은 늘어나는 것을 확인할 수 있었

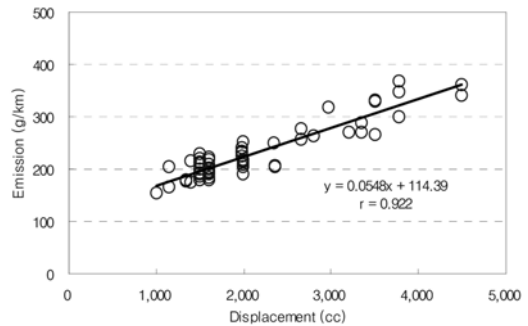


Fig. 3 Regression equation of CO₂ emissions by displacement

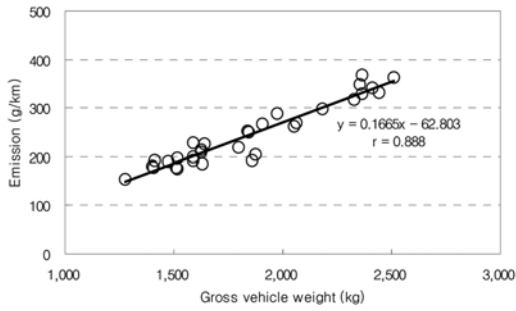


Fig. 4 Regression equation of CO₂ emissions by gross vehicle weight

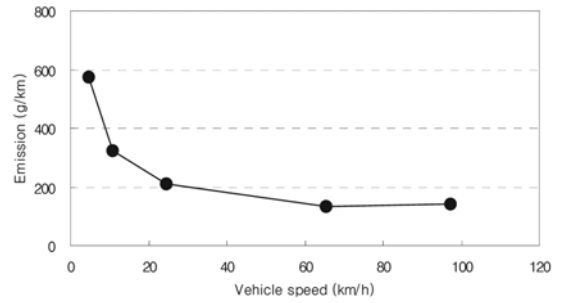


Fig. 6 Characteristics of CO₂ emissions by driving conditions

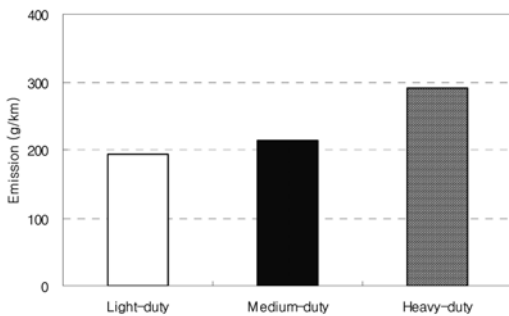


Fig. 5 Characteristics of CO₂ emissions by displacement and gross vehicle weight

다. 다른 연구결과에서도 관성중량(Inertia weight)이 증가할수록 CO₂ 배출이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.³⁾ Fig. 5에서 보여주듯이 배기량과 총중량이 작을수록 CO₂는 적게 배출되며 2000cc 이상의 대형차와 1500cc미만의 소형차를 비교할 경우 대형차가 소형차보다 약 36% 높게 배출하였으며, 1500~2000cc의 중형차도 소형차보다 약 9% 더 많이 배출하는 것으로 측정되었다.

3.2 차속별 배출현황

휘발유 승용차(800~5000cc)를 국내 시가지 차속별 주행조건에서 CO₂를 측정·분석하였다. Fig. 6에서 보여주듯이 자동차 속도가 증가함에 따라 CO₂ 배출은 전반적으로 감소하는 경향을 보여주고 있으며 25km/hr 이상의 차속에서는 감소율이 완만해지고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 공회전 및 감속이 많은 저속구간일수록 연료의 미연소로 인해 단위주행거리당 연료소비율이 증가하고 이로 인해 CO₂가 많이 배출되며 차속이 증가하면 연료의 완전연소가

진행되어 최적의 연소로 인한 연료소비율 향상으로 CO₂ 배출은 감소하게 된다. 이러한 배출경향은 경제속도인 60~70km/hr에서 최소의 배출수준을 나타내고 이후에 다시 증가하는 경향을 보여주고 있어 불필요한 공회전, 교통정체 및 급가속운전등이 온실가스인 CO₂ 배출을 증가시키는데 크게 기여함을 알 수 있다.

3.3 CVS-75모드 및 국내차속모드의 배출 비교

국내·외 휘발유승용차 배출가스 규제시험모드로서 1877초 동안 평균 34km/h로 주행하는 배출규제시험모드인 CVS-75모드와 국내주행패턴을 대표하는 대표시험모드 중 유사한 차속을 갖는 NIER모드(국내차속모드)에서 CO₂ 배출을 비교한 결과, 상관관계수가 0.947로 모드별 상관성이 높은 것으로 나타났다.(Fig. 7) 시험모드별 CO₂배출량을 비교해보면 Fig. 7에서 보여주듯이 NIER모드보다 CVS-75모드에서 CO₂ 배출이 많음을 알 수 있는데 이는 모드간의 정차횟수, 급가감속율 등의 차이로 사료된다.

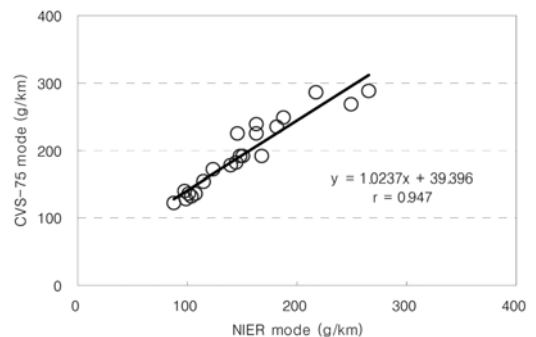


Fig. 7 Correlation between CVS-75 and NIER mode for CO₂ emissions

Fig. 8은 냉간시동시와 고온시동시의 CO₂ 배출율 차이를 고찰하기 위해 CVS-75모드에서의 냉간시동 구간인 Phase1과 동일운전이면서 고온운전영역인 Phase 3에서의 CO₂배출량을 각각 비교한 결과이다. Fig. 8에서 보여주듯이 CO₂ 배출수준에 따라 차이가 있지만 전반적으로 냉간시동운전단계인 Phase1에서 CO₂는 최소 12%에서 최대 28%까지 더 많이 배출하는 것으로 측정되었다. 이는 차량의 냉간운전으로 엔진 오일의 점도가 낮아져 엔진구동력이 감소하고 또한 이 순간에서의 급가속이나 급출발이 연료소비를 증가시키는데 기여하여 이로 인해 상대적으로 CO₂ 배출량이 증가한 것으로 사료된다.

한편 Fig. 9는 동일한 고온시동이면서 정차율, 가감속율 및 평균차속 등 주행조건이 다른 Phase 2와 Phase 3에서의 CO₂를 비교한 결과를 보여주고 있다. 교통정체구간에서의 주행패턴을 대표하는 Phase 2는 Phase 3에 비해서 저속주행이면서 정차율이 높은 반면 Phase 3는 고속운전구간으로 정차율이 낮은 주행특성을 갖고 있다. Fig. 9에서 보여주듯이 동일한 고온단계에서는 저속 및 정차율이 높은 Phase 2가 Phase 3보다 8~14% CO₂를 더 많이 배출하는 것으로 측정되어 빈번한 정차와 급발진 등이 CO₂ 배출에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

Fig. 10은 시험모드별 CO₂ 배출경향을 승용차 배기량별로 구분하여 나타낸 결과이다. 시험모드간의 CO₂배출량 차이는 배기량이 클수록 감소하는 경향을 보여주고 있어 경차에서의 시험모드간의 CO₂배출량 차이가 34%인 반면 배기량이 2000cc이상인 대형차에서는 그 차이가 19%로 다소 감소하는 경향을 보여주고 있다.

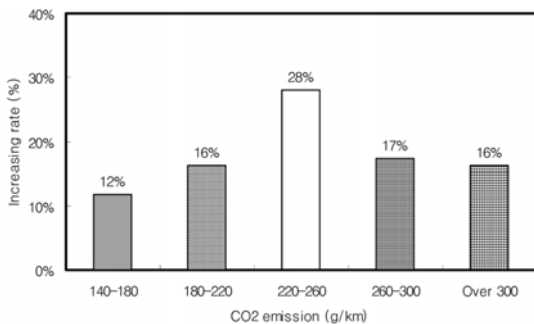


Fig. 8 Increasing rate of phase1 compared to phase3 at CVS-75 mode for CO₂ emissions

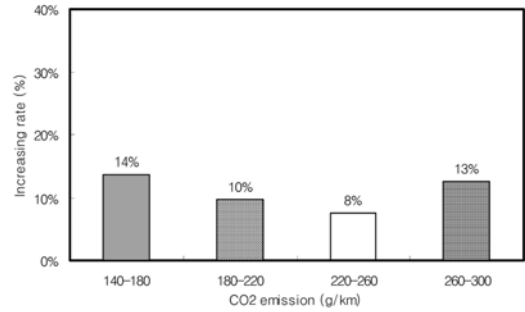


Fig. 9 Increasing rate of phase2 compared to phase3 at CVS-75 mode for CO₂ emissions

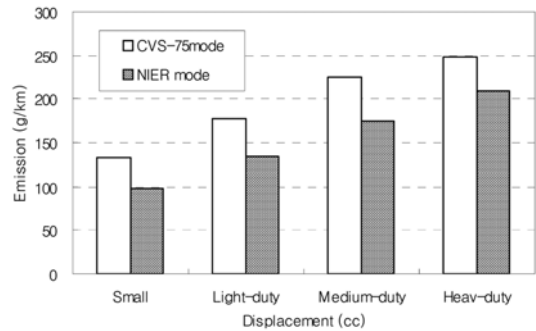


Fig. 10 Comparison between CVS-75 and vehicle speed mode of CO₂ emissions by displacement

3.4 변속기종류별 배출 비교

일반적으로 변속기 종류는 자동(automatic)과 수동(manual)으로 구분되는데, 자동변속기를 장착할 경우 동력전달손실과 가속주행시 기관회전수를 직접적으로 제어하지 못해 수동변속기에 비해 연비가 평균 20% 가량 악화되고 따라서 CO₂ 배출량은 증가하는 것으로 알려져 있으며, 연료별로는 자동변속

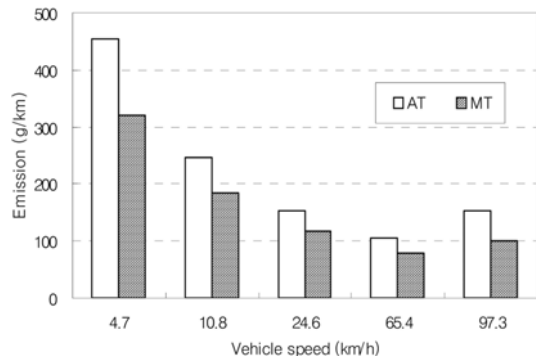


Fig. 11 Characteristics of CO₂ emissions by transmission type

기가 수동변속기에 비해 휘발유승용차는 6%, 경유 승용차는 5%가량 CO₂ 배출량이 높다고 제시하고 있다.³⁾ 본 연구에서는 승용차의 변속기종류별 배출율을 비교하였으며 자동변속기에서의 CO₂ 배출량이 수동변속기에 비해 30~50% 가량 높게 배출되는 것으로 조사되었다. 최근 국내 승용차 변속기의 90% 이상이 자동변속기를 채용하고 있는데 이러한 추세로 인해 CO₂ 배출량이 상당량 증가할 것으로 예상된다.

3.5 제작사별 배출수준 비교

Fig. 12는 연식이 2003~2005년인 승용차에 대해 국내 제작사별 CO₂ 배출수준을 비교·분석하였다. 2009년 EU의 CO₂ 배출강화기준인 140 g/km과 비교한 결과, A~C는 43~55%, D와 E는 78~90% 높은 배출수준을 나타내고 있어 향후 기후변화협약관련 국가 온실가스 감축대책추진 및 자동차제작사의 국가간 CO₂ 배출규제시 신중한 대응전략이 필요할 것으로 사료된다.

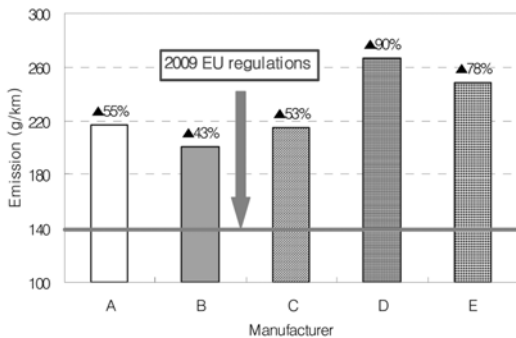


Fig. 12 Characteristics of CO₂ emissions by manufacturer

3.6 연비와의 상관관계

Fig. 13은 배기량별 평균연비와 CO₂ 평균배출량을 나타낸 그림이다. CO₂와 연비는 반비례관계로서 연비가 우수할수록 즉 단위연료소비량당 주행거리가 길수록 CO₂량은 감소한다. 본 연구결과에서처럼 차량 배기량이 클수록 연비는 나빠지고 CO₂배출량은 증가하는데 대형차보다 소형차의 연비가 50% 향상됨과 동시에 이산화탄소도 소형차에 비해 대형차가 50% 많이 배출하고 있어 경차를 선호하는 국민의식 필요할 때라 판단된다.

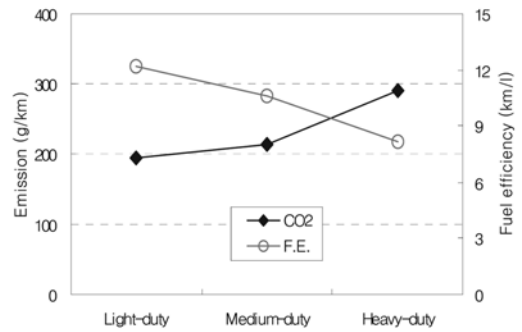


Fig. 13 Fuel efficiency and CO₂ emissions by displacement

Fig. 14에 나타낸 것과 같이 연비와 CO₂ 배출량은 높은 상관성을 갖는데 이것은 CO₂ 배출이 대부분 연료사용량에만 의존하기 때문이다. 본 연구에서 조사된 연비와 CO₂ 배출과의 결정계수는 0.8693이며 다른 연구결과에서 제시된 0.9381~0.9708과 비교적 유사한 수준을 나타내었다.^{4,5)}

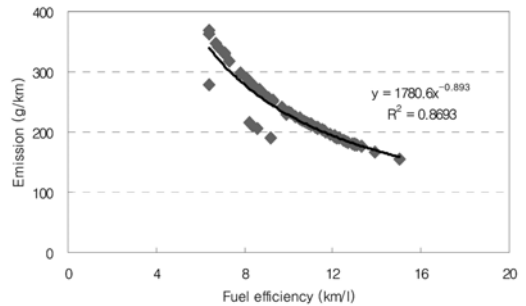


Fig. 14 Correlation between CO₂ emissions and fuel efficiency

4. 결론

국내 전체 등록대수의 60% 이상을 차지하는 승용차의 CO₂의 배출현황을 알아보려고 휘발유 승용차를 경, 소, 중, 대형으로 구분하여 총 106대를 시험하였으며 CVS-75모드와 차속별모드를 이용하여 배기량별, 총중량별, 차속별, CVS-75/국내차속모드 비교, 연비와의 상관관계 등을 조사하였다.

1) 동일연료, 동일운전조건하에서 차량의 배기량이 크고, 차량무게가 무거울수록, 자동변속기일수록 연료소비는 많아지며 이에 따라 CO₂배출량은 증가하는 것을 확인하였다.

- 자동변속기에서의 CO₂ 배출량이 수동변속기에

비해 30~50% 가량 높게 배출되었다.

- 2) 차속에 따른 CO₂ 배출특성을 조사한 결과, 자동차 속도가 증가함에 따라 CO₂ 배출은 전반적으로 감소하는 경향을 보여주고 있으며 25km/hr 이상의 차속에서는 감소율이 완만해지는 것으로 나타났다.
- 3) 국내의 승용차 배출규제시험모드인 CVS-75모드와 국내주행패턴을 모사한 NIER모드에서의 CO₂ 배출현황을 비교한 결과, CVS-75모드가 NIER모드보다 약 19~34% 높은 배출수준을 나타내고 있음을 확인하였다.
- 4) CVS-75모드에서의 저온 및 고온운전 그리고 고속운전조건이 CO₂ 배출에 미치는 영향을 측정, 분석한 결과, 저온운전조건인 Phase1이 고온운전조건인 Phase3보다 CO₂를 12~28% 더 많이 배출하는 것을 확인하였으며 저속운전 및 빈번한 정차도 CO₂ 배출증가의 원인임을 확인하였다.
- 5) 제작사별 승용차 CO₂ 배출수준을 측정, 분석한 결과, 2009년 EU의 자발적인 CO₂ 배출기준 140 g/km보다 43%~90% 높은 배출수준으로 조사되어 향후 기후변화협약관련 제작사의 대응전략이 필요할 것으로 사료된다.

향후 이러한 차종별 CO₂ 배출량 자료는 국가 수송 부문 온실가스 저감대책 수립 및 배출통계구축에

필요한 기초 자료로 활용 될 것이다.

References

- 1) J. H. Ryu, Y. S. Lyu, M. D. Eom, M. S. Jeon, D. W. Kim, S. W. Jung and D. S. Kim, "A Study on the Greenhouse Gas Control Strategies for Motor Vehicles," National Institute of Environmental Research, pp.81-89, 2005.
- 2) IEA(International Energy Agency), Dealing with Climate Change, OECD, pp.129-130, 2002.
- 3) J. L. Sullivan, R. E. Baker and B. A. Boyer, "CO₂ Emission Benefit of Diesel (versus Gasoline) Powered Vehicles," Environmental Science & Technology, Vol.38, No.12, pp.3217-3223, 2004.
- 4) W. Gis and P. Bielaczyc, "Emission of CO₂ and Fuel Consumption for Automotive Vehicles," Society of Automotive Engineers, pp.1-7, 1999.
- 5) J. H. Ryu, Y. S. Lyu, S. W. Jung, M. S. Jeon, D. W. Kim, M. D. Eom and J. C. Kim, "A Study on the characteristics of Carbon Dioxide Emissions from Gasoline Passenger Cars," Spring Conference Proceedings, KSAE, Vol.1, pp.21-26, 2006.