

승용차의 CO₂ 배출가스 영향인자 특성에 관한 연구

류 정 호¹⁾ · 김 대 옥¹⁾ · 유 영 숙¹⁾ · 엄 명 도¹⁾ · 김 종 춘¹⁾ · 이 성 옥²⁾ · 백 두 성^{*3)}

국립환경과학원 교통환경연구소¹⁾ · 국민대학교 기계 · 자동차공학부²⁾ · 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과³⁾

Study on the Characteristics of Carbon Dioxide Emissions Factors from Passenger Cars

Jeong-ho Yoo¹⁾ · Dae-wook Kim¹⁾ · Young-sook Yoo¹⁾ · Myung-do Eum¹⁾ ·
Jong-choon Kim¹⁾ · Sung-wook Lee²⁾ · Doo-sung Baik^{*3)}

¹⁾Transportation Emission Research Center, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

²⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

³⁾Department of Computer-aided Mechanical Design Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea

(Received 28 November 2007 / Accepted 16 February 2009)

Abstract : Emission regulations on greenhouse gas(GHG) in automobiles have been stringent because of global warming effect. Over 90% of total GHG emission are carbon dioxides and about 20% of this CO₂ emission are emitted from automobiles. In this study, 110 vehicles were tested on a chassis dynamometer and CO₂ emissions and fuel economy were measured in order to investigate the characteristics of CO₂ emission factor from passenger vehicles which are the most dominant vehicle type in Korea. The characteristics of emissions in accordance with displacements, gross vehicle weight, NIER and CVS-75 speed mode were discussed. It was found that vehicles having larger displacement, heavier gross vehicle weight, automatic transmission and specially at cold start emitted more CO₂ emissions. From these results, correlation between CO₂ emission and fuel economy was also obtained. This study may contribute to evaluate domestic greenhouse gas emissions and establish national policies on climate changes in future.

Key words : Greenhouse gas(온실가스), Carbon dioxide emission factor(이산화탄소 배출영향인자), Fuel efficiency(연비효율), Gross vehicle weight(차량총중량), NIER(국립환경과학원)

1. 서 론

자동차에서 배출되는 온실 가스는 여러 가지가 있지만 우리가 흔히 알고 있는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)가 가장 대표적인 물질이다. 전 세계적으로 지구온난화의 문제가 크게 부각되고 있는 상황에서 이산화탄소의 배출비용은 국가 배출량 측면에서는 약 90% 이상이고 그 중의 수송 부문에서는 약 98% 이상으로 배출량에 있어서 메탄과 아산화질소에 비해 큰 비중을 차지하고 있다. 이

에 따라 세계적으로 온실가스 저감을 위해 많은 자본과 노력을 쏟고 있다.

지구온난화 문제를 해결하고자 1992년 도입된 교토의정서가 발효되어 온실가스에 대한 심각성을 더하고 있다. 현재 우리나라는 교토의정서의 의무 감축대상국은 아니지만 99년 이후 기후변화 협약에 대응하는 종합대책을 수립하고 있으며 이에 대한 적극적인 R&D가 진행 중이다. 국내 수송 부문의 CO₂ 배출량은 전체 에너지 연소에 의한 배출량의 약 20%를 차지하며, 차종별로는 트럭 44%, 승용차 37%, 버스 19% 순의 배출 비율을 보이고 있다. 또한

*Corresponding author, E-mail: dsbaik@daejin.ac.kr

1990년부터 이산화탄소 배출량은 매년 평균 7.2-7.6%의 높은 증가율을 보이고 있으며¹⁾ 꾸준히 증가하는 자동차의 증가는 CO₂의 배출량 증가와 온실효과의 가속화를 초래할 것으로 예상된다. 이에 따라 최근 유럽, 미국 등의 선진국에서는 자동차 CO₂를 저감하기 위한 직접적인 규제 수단을 채택하고 있다.²⁾ 또한 이러한 규제 역시 상당히 강화되고 있는 실정이다. 유럽의 경우 현재 EURO4-5를 거쳐 EURO6로 진입할 단계이며 또한 전 세계적으로 배출권 거래제의 시행 등 자동차업계와 공공기관, 일반기업체등 자발적인 협정을 체결함에 따라 유럽으로 수출되는 모든 승용차는 2012년까지 120 g/km를 만족시켜야한다. 또한 미국 캘리포니아주의 경우 2009년부터 적용되는 CO₂ 규제기준을 설정하여 2020년까지 수송부문에서 약 17%의 CO₂를 저감할 계획이다.

연료의 연소에 의해 배출되는 CO₂는 연료소비율에 매우 밀접한 관련이 있으므로 차량의 연비를 향상시킴과 동시에 연소효율을 올리는 것으로 CO₂ 배출을 저감할 수 있다. 자동차에서 연비를 향상시켜 CO₂를 저감하는 방법으로는 기관효율 향상, 주행저항 저감, 동력전달효율 향상, 경량화, 대체에너지의 이용 등이 있으며 현재 자동차 제작사에서는 이러한 기술들의 개발을 통해 연비를 향상시키고 CO₂ 규제에 대응하기 위해 노력하고 있다. 대체에너지의 이용측면에서는 하이브리드나 연료전지자동차와 같은 초저연비 자동차기술도 상당한 수준의 개발이 이루어졌고 일본, 미국, 유럽의 선진국에서는 이미 상용화되어 판매하고 있다.

본 연구에서는 승용차에서 배출되는 CO₂의 영향인자를 연료별, 배기량별, 총중량별, 차속별, 온도별, 변속기별, 운전조건별 배출특성을 분석하고, 연비와의 상관관계를 분석함으로써 향후 자동차 CO₂ 배출계수 구축을 통한 배출량 산정 등 국내 자동차의 CO₂ 규제기준 설정 및 저감기술 개발 등을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

2.1.1 실험 대상차량

시험대상차종은 승용차종별 점유율 등을 고려한 대표차종을 위주로 선정하였다. 배기량별로는 경형, 소형, 중형, 대형으로 구분하였으며 총 110대의 승용차를 시험하였다. 시험대상 차종 및 대수를 Table 1과 Table 2에 나타냈다.

Table 1 Numbers of test vehicles (fuels)

Fuels	Gasoline	LPG	Diesel
Numbers of test vehicles	81	19	10

Table 2 Numbers of test vehicle (displacements)

Vehicle type	Vehicle classification	Displacement	Fleet
Passenger car	Compact	Below 800cc	18
	Light-duty	800~1500cc	30
	Medium-duty	1500~2000cc	44
	Heavy-duty	Over 2000cc	18

2.1.2 배출가스 측정 장치

소형차(승용차) 배출가스 시험 장치는 차대동력계(Clayton사, DEC-80), 보조운전장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어있다. 차대동력계는 자동차의 실측 주행모드를 모사하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치이다. 배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 톨러위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(CVS : Constant Volume Sampler)로 일정량의 공기로 희석한 후, 20L 테들러 백에 채취하여 배출가스 분석기로 분석했다.

2.2 실험방법

2.2.1 시험모드

차량시험모드는 CVS-75 모드와 NIER 차속별 모드로 실험하였다. CVS-75모드는 현재 대기환경보전법의 승용차 배출가스 규제시험모드로, Fig. 1과 같이 총 3단계로 구분되어 있다. Phase 1과 Phase 3는 같은 주행패턴을 가지며 차이점으로는 Cold start와 Hot Start이다. CVS-75 모드 이외에도 서울시내의 일정 구간을 운행하여 차속별로 분류시켜 만든 대표차속별(NIER) 주행모드를 이용하였다.

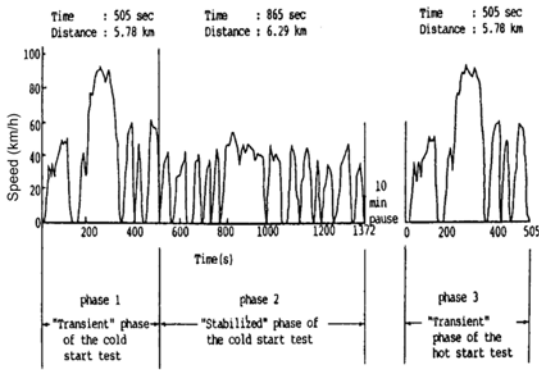


Fig. 1 Driving cycle of CVS-75 mode

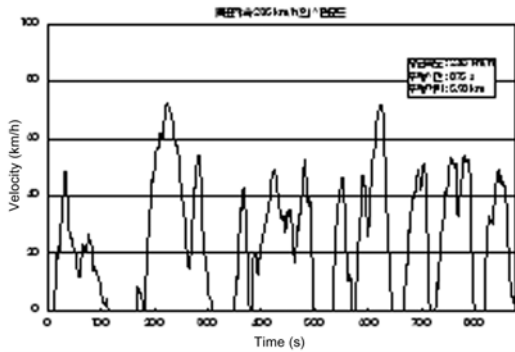


Fig. 2 Driving pattern of representative speed 26.4km/h for light-duty vehicles

이 주행모드는 총 15개의 각기 다른 대표차속으로 이루어져 있으며, 이 중 본 시험에서는 4.7, 10.8, 24.6, 34.1, 65.4, 97.3km/h의 6개 모드로, 각각 국내의 주행여건을 모사하여 정체시, 저속, 서울 시내 평균차속, 연비 우수 차속, 교외지역 평균차속, 고속도로 평균차속을 대표하고 있다. Fig. 2에 대표차속별 시간에 따른 주행 특성의 예를 나타내었다.

2.2.2 분석방법

본 연구에서는 사용한 배출가스분석기는 차량의 배기관에서 배출되는 가스상물질 CO₂, CH₄을 측정하는 것 이외에도 CO, THC, NO_x도 분석할 수 있으며 시료채취와 분석이 on-line시스템으로 되어 있어 시험 직후 분석결과를 알 수 있다. 배출가스 측정원리로 CO₂는 비분산적외선법(NDIR : Non-Dispersive Infrared), CH₄은 불꽃염이온화검출법(H-FID: Heated Flame Ionization Detector)로 분석했으며 측정범위는 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Specification of exhaust gas analysis system

Pollutant	Measuring principle	Measuring conc. range
CO ₂	NDIR	1, 3%
CH ₄	H-FID	100, 250, 1000ppmC

3. 결과 및 고찰

3.1 배기량별, 총중량별, 연료별 배출현황

승용차의 배기량별 및 총중량별 및 연료별 CO₂ 배출경향의 그래프를 Fig. 3~5에 나타내었다. Fig. 3은 CVS-75모드를 통하여 시험한 배기량에 따른 CO₂ 배출량의 그래프로 배기량별 시험차량의 평균값을 사용하여 계산한 배출량은 경형은 120~140, 소형은 160~190, 중형은 200~240, 대형은 220~260 g/km 정도로 배출됨을 확인할 수 있었고 각 그룹별로 배기량의 증가에 따라 약 20~23% 정도 많게 배출되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4의 총중량에 따른 배출량의 그래프를 살펴보면 총중량이 1.5ton에서 2ton으로 증가하였을 때 배출량이 약 41.7% 증가하게 됨을 확인할 수 있었으며 부가적으로 상관계수(R²)가 0.8944로 양호한 상관성을 보였다. 이는 배기량이 클수록, 엔진에 걸리는 부하가 커질수록 실린더 내에 유입되는 연료량이 많아지기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 5는 가솔린, LPG 및 경유 자동차의 연료별 CO₂ 배출량을 나타낸 것이다. LPG 자동차가 CO₂를 가장 많이 배출하고 디젤자동차가 가장 적게 배출되었다. 디젤자동차는 압축비가 높고 희박 연소함으로써 열효율이 높아 연비가 좋고 CO₂도 적게 배

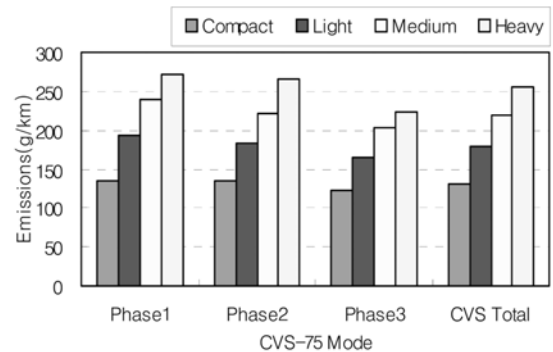


Fig. 3 CO₂ emissions by displacements

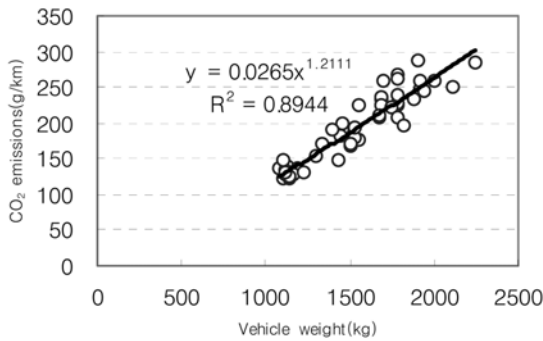


Fig. 4 Regression equation of CO₂ emissions by gross vehicle weight

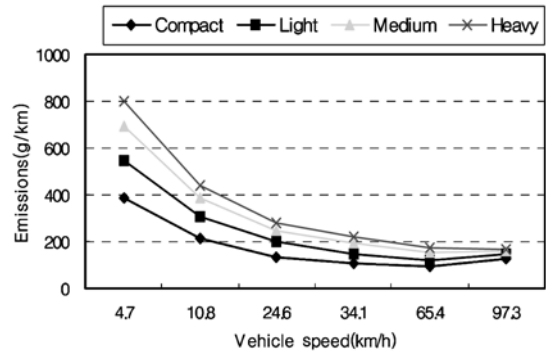


Fig. 6 CO₂ emissions by driving conditions

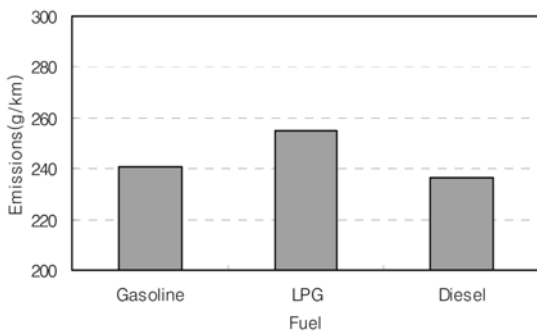


Fig. 5 CO₂ emissions by fuel types (NIER 7 MODE : 24.6km/hr)

출되었다. 특히 현재 출시되는 경유 자동차는 VGT와 CRDi 등 기술이 적용됨으로써 연비와 CO₂ 측면에서 더욱 향상되었다. LPG 자동차는 아직 기술개발이 미흡한 Mixer 방식이 적용된 차량으로 시험함으로써 연비가 좋지 않고 CO₂가 많이 나왔으나, 최근 출시되는 LPG 자동차는 LPLi 기술이 개발되고 상용화됨에 따라 연비와 CO₂ 측면에서 많은 개선이 이루어진 것으로 알려져 있다.³⁻⁵⁾

3.2 차속별 배출현황

국내 승용차에 대하여 주행조건에 따라 NIER 차속별 CO₂의 배출량을 시험·분석하였다.

Fig. 6에서 보여 주듯이 자동차 속도가 증가함에 따라 CO₂ 배출은 전반적으로 감소하는 경향을 보여 주고 있으며 24.6km/hr 이상(서울시 대표차속)의 차속에서는 감소율이 완만해지고 배출량이 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 배기량과 연료 등 기타 영향인자에 관계없이 일반적으로 공회전 및

감속이 많은 저속에서는 기어비가 높은 저단기어운전을 하면서 상대적으로 엔진부하와 회전수가 높기 때문에 연료 소비가 많아져서 CO₂가 많이 배출되며, 반대로 차속이 증가하면 연료의 완전연소가 진행되어 최적의 연소상태에 근접하며 연료소비율이 향상되고 CO₂배출은 급격히 감소하게 되는 것을 알 수 있었다.

3.3 변속기종류와 온도에 따른 배출 비교

일반적으로 변속기 종류는 자동(automatic)과 수동(manual)으로 구분되며 근래에는 하이브리드차량이나 대체연료 차량에서 무단변속기(CVT) 차량도 증가하는 추세이다. 자동변속기나 무단변속기를 장착할 경우 동력전달 손실과 가속 주행 시 기관회전수를 직접적으로 제어하지 못해 수동변속기에 비해 연비가 평균 10~20% 가량 악화되고 이에 따라 CO₂ 배출량은 증가하는 것으로 알려져 있다. 연료별로는 자동변속기가 수동변속기에 비해 휘발유승용차는 6%, 경유승용차는 5% 가량 CO₂배출량이 높다고 제시하고 있다.⁶⁾

Fig. 7은 승용차의 변속기종류별로 배출가스 양을 보여주며 수동 변속기에 비해서 자동변속기와 무단변속기에서의 평균적으로 각각 7%와 13% 가량 높게 배출되는 것으로 파악되었다.

또한 초기 시동시(Cold Start) 온도의 영향을 고찰하기 위해서 CVS-75 모드에서 1Phase 와 3Phase를 비교해 본 결과, 냉간 시동시 주행할 경우 열간 시동시보다 공통적으로 평균 15~18% 더 많이 배출 되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8).

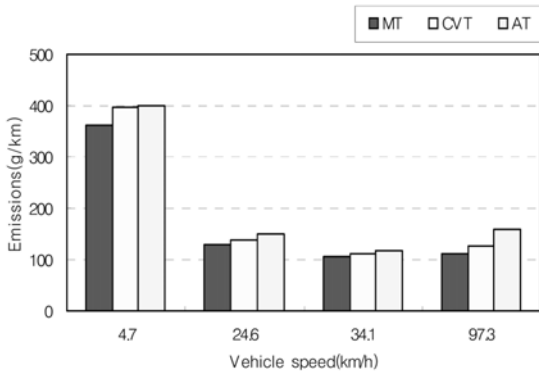


Fig. 7 CO2 emissions by transmission types

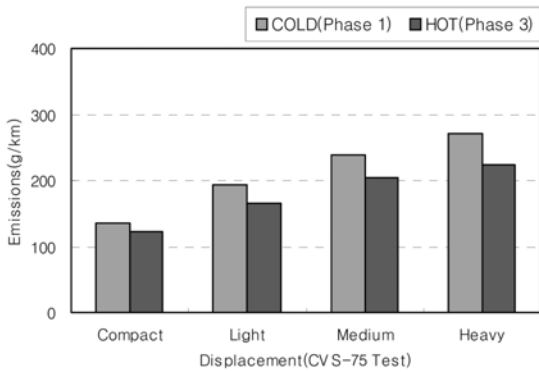


Fig. 8 CO2 emissions by temperatures

3.4 연비와의 상관관계

Fig. 9는 배기량별 평균연비와 CO₂ 평균배출량의 관계를 나타낸 그림이다. CO₂의 배출량과 연비는 Trade-off 관계로서 연비가 우수할수록 즉 단위 연료 소비량 당 주행거리가 길수록 CO₂량은 감소하는 것을 알 수 있다. 연비와 CO₂ 배출량은 Trade-Off적

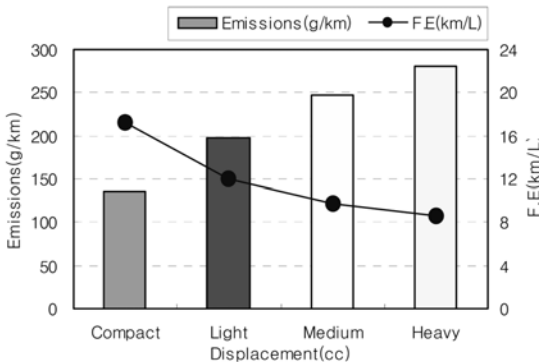


Fig. 9 Fuel economy and CO2 emissions by displacements

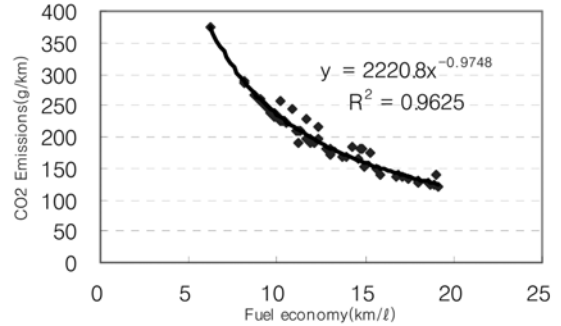


Fig. 10 Correlation between CO₂ emission and fuel economy of gasoline vehicles

성격을 갖는데 이것은 CO₂의 배출이 대부분 연료사용량에 의존하기 때문이다. 따라서 이는 연료소비율(연비)의 측면이 민감도분석 시 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 조사된 연비와 CO₂ 배출량과의 상관계수는 0.9625이며 다른 연구 결과와⁷⁾ 유사한 경향을 보여주고 있다(Fig. 10).

4. 결론

국내 전체 등록대수의 60% 이상을 차지하는 승용차의 CO₂의 배출현황을 알아보고자 승용차를 경, 소, 중, 대형으로 구분하여 총 110대를 시험하였으며 CVS-75모드와 차속별 모드를 이용하여 배기량별, 연료별, 총중량별, 차속별, CVS-75/국내차속모드 비교, 변속기별, 온도별, 연비와의 상관관계 등을 조사하였다.

- 1) 동일연료, 동일운전조건하에서 배기량에 따라 CO₂배출량은 약 20~23% 증가하고, 차량중중량이 1.5ton에서 2ton으로 500kg증가하였을 때는 약 41.7%가 증가하였다.
- 2) 차속에 따른 CO₂ 배출특성을 조사한 결과, 자동차 속도가 증가함에 따라 CO₂ 배출은 일반적으로 감소했으며 서울시 대표 차속 24.6km/hr 이상의 차속에서는 감소율이 완만했다. 한편 고속도로 대표차속 97.3km/h에서는 최고연비 속도를 넘어 연료가 많이 소모되므로 CO₂가 증가했다.
- 3) CVS-75모드에서의 저온 및 고온의 운전조건이 CO₂배출에 미치는 영향을 측정, 분석한 결과, 저온운전조건인 Phase1이 고온운전 조건인 Phase3보다 CO₂를 15~18% 더 많이 배출하는 것을 확인

하였으며, 이는 저온에서 연료, 엔진오일 및 미션 오일의 점성도 증가로 인한 기계적 에너지 손실과 촉매의 활성화 온도(Light-off Temperature)에 빠르게 도달하게 하기 위한 ECU의 제어에 따른 연료 사용량의 증가가 CO₂ 배출 증가의 원인으로 사료된다.

- 4) 향후, 이러한 차종별 CO₂ 배출영향 인자에 대한 자료는 국가 수송부문 온실가스 저감 대책 수립 및 배출통계 구축이나 배출계수 산정에 있어서 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

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) EEA Report, Climate for a Transport Change, No.1, ISSN 1725-9177, 2008.
- 3) Y. Park, B. Lee and D. Lee, "A Study of Fuel Composition Effect on Fuel Injection Amount in a Gaseous LPG Injection System," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.632-637, 2007.
- 4) M. Kajiwara, K. Sugiyama, M. Sagara, M. Mori and S. Goto, "Performance and Emissions Characteristics of an LPG Direct Injection Diesel Engine," SAE 2002-01-0869, 2002.
- 5) K. Sugiyama, M. Kajiwara, M. Iwama and M. Mori, "Performance and Emissions of a DI Diesel Engine Operated with LPG and Cetane Enhancing Additives," SAE 2003-01-1920, 2003.
- 6) 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.
- 7) W. Gis and P. Bielaczyc, "Emission of CO₂ and Fuel Consumption for Automotive Vehicles," Society of Automotive Engineers, pp.1-7, 1999.