

## 주행모드에서 사용연료에 따른 자동차의 CO<sub>2</sub> 배출특성과 연료소비율의 상관관계 비교 분석

김용태 · 이호길 · 강정호 · 한성빈\* · 정연중<sup>†</sup>

자동차부품연구원, 인덕대학\*, 대구미래대학<sup>†</sup>

(2008년 9월 18일 접수, 2009년 3월 14일 수정, 2009년 3월 14일 채택)

### Relationship between CO<sub>2</sub> emission and fuel consumption rate according to used fuels at driving mode

Yongtae Kim, Hokil Lee, Jeongho Kang, Sung Bin Han\*, Yonjong Chung<sup>†</sup>

Korea Automotive Technology Institute

\*Department of Mechanical & Automotive Engineering, Induk Institute of Technology

<sup>†</sup>Department of Automotive Engineering, Daegu Mirae College

(Received 18 September 2008, Revised 14 March 2009, Accepted 14 March 2009)

#### 요 약

이산화탄소는 지구온난화를 일으키는 온실가스의 하나의 주요인자로 생각되어진다. CO<sub>2</sub>는 탄화수소를 연료로 사용하는 연소에서 배기가스의 주성분이다. 자동차의 CO<sub>2</sub> 배출물에 대한 규제는 최근에 더욱 절박하게 대두되어 왔다. 이러한 심각한 규제는 배기가스를 저감하는 대체연료를 개발할 수 있는 자동차 제품들에게 요구되는 것이다. 본 논문은 가솔린, 디젤, LPG 자동차를 사용하여, FTP-75와 NEDC (ECE15+EUDC) 모드에 따라서 CO<sub>2</sub> 배출물과 연료소비율(연비)과의 상관관계를 검토했다. 이 논문을 통해서 탄소중량비가 낮은 연료일수록 CO<sub>2</sub> 발생량의 감소율이 큰 것을 알 수 있다. 사용한 연료에 따라서 CO<sub>2</sub> 배출량과 연비와의 관계를 함수로 표현할 수 있었으며, 높은 상관관계를 갖는 것을 알 수 있었다. LPG차량은 휘발유와 디젤차량보다 CO<sub>2</sub> 배출량이 적게 배출되는 것을 알 수 있었다.

주요어 : 이산화탄소, 공인연비시험모드, 배출가스시험모드, 연료소비율

**Abstract** — Carbon dioxide is considered a major greenhouse gas that contributes to global warming. CO<sub>2</sub> is a major component of the exhaust in the combustion of any hydrocarbon fuel. The regulation for CO<sub>2</sub> emission from vehicles has become much more stringent in recent years. These more stringent regulations require vehicle manufacturers to develop alternative fuels that reduce exhaust emissions. This paper evaluated the correlation of CO<sub>2</sub> emission and fuel economy in the Gasoline, Diesel, and LPG vehicles according to FTP-75 and NEDC (ECE15+EUDC) driving mode. From this study, we discovered that the decrease rate of CO<sub>2</sub> emission is higher for fuels of lower carbon concentration. When the relationship between CO<sub>2</sub> emission and fuel consumption rate according to used fuels is expressed as a function, one can find out that they have a high correlation. LPG vehicles produce less CO<sub>2</sub> emission than gasoline and diesel vehicles.

**Key words** : CO<sub>2</sub>, FTP (Federal Test Procedure) test mode, NEDC (New European Driving Cycle) mode, Fuel Consumption rate

---

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed  
Dept. of Automotive Engineering, Daegu Mirae College,  
270 Pyungsan-dong, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-716, Korea.  
E-mail : jungyg@mail.ac.kr

### 1. 서 론

화석연료의 점증적인 사용량 증가로 인한 지구온난화 가스에 대한 관심이 고조되고 있으며, 자동차에서 배출되는 CO<sub>2</sub>가스가 온실효과에 영향을 미치는 여러 가스 중 지배적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>(1)</sup>. 따라서, 1997년 교토의정서 채택이후 유럽을 비롯한 여러 선진국에서는 자동차의 CO<sub>2</sub> 배출을 저감하기 위하여 자동차 제조사는 물론 범국가적으로 막대한 연구비용과 시간을 투자하고 있는 실정이다. 현재 운행 중인 자동차에서 CO<sub>2</sub>의 발생을 저감하기 위한 방안으로 탄소계 연료를 사용하지 않는 대체연료자동차와 전기자동차 및 하이브리드 전기 자동차를 비롯한 고효율 고연비자동차 개발 등 여러 가지 방안이 제시되고 있으나, 이들의 실용화 시기는 막대한 개발비와 인프라 구축 등 해결해야할 많은 문제점을 가지고 있는 실정이다. 그리고 현재 운행 중인 휘발유, 경유, LPG 등 탄소계 연료를 사용하는 자동차의 CO<sub>2</sub>를 저감하는 가장 효과적인 방법은 연료의 사용량을 절감시키는 방법이 제안되고 있다<sup>(2)</sup>.

따라서 본 연구에서는 동일차종에서 휘발유, 경유, LPG 자동차의 배출가스 중 CO<sub>2</sub> 배출특성과 연비와의 상관관계를 파악하기 위하여 주행모드는 현재 국내 및 북미의 배출가스 시험모드인 FTP-75모드와 국내 경유 차량 및 유럽의 배출가스 시험모드인 NEDC(ECE15+EUDC) 모드의 주행조건에서 발생하는 CO<sub>2</sub>배출특성과 연비의 상관관계를 조사하였다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

#### 2-1. 시험차량 및 주행모드

본 연구를 위하여 시험에 적용된 차량은 표 1과 같이 사용연료에 따른 CO<sub>2</sub>와 연비의 상관관계에 대한 시험의 정확성을 높이고자 동일 차종에서 휘발유, 경유, LPG 연료를 사용하는 각각의 차량을 사용하였다. 동일한 차종에서 사용 연료만 휘발유, 경유, LPG를 사용하는 것이

Table 1. Specification of test vehicles

공차중량 (kg)	배기량 (cm <sup>3</sup> )	변속기	사용연료	연료분사
1,480	1,998	자동 4단	LPG	LPLi
1,465	1,998	자동 4단	휘발유	MPI
1,601	1,991	자동 4단	디젤	CRDi

다를 뿐이므로, 주행모드시험에서 차량의 종류에 따른 시험오차를 최소한으로 줄일 수 있을 것으로 판단하였다. 동일 차종이라도 사용하는 연료에 따라 연료공급 및 엔진시스템이 바뀌므로 약간의 차량무게 변화는 불가피하며, 특히 경유연료 차량의 경우 엔진의 구조상 휘발유 연료 차량보다 165kg이 무겁다.

CO<sub>2</sub> 및 연비와의 상관관계를 해석하기 위한, 주행시험모드는 Fig. 1과 같이 국내 및 북미의 배출가스 시험모드인 FTP-75모드와 국내 경유 차량 및 유럽의 배출가스 시험모드인 NEDC (ECE15+EUDC)모드로 수행하였다.

Fig. 1의 FTP-75모드는 미국의 EPA 및 국내에서 생산되고 수입되어 판매되는 휘발유 및 LPG차량의 배출가스 및 연비시험방법으로 총 3개의 Phase로 구성되어 있으며, 예비주행을 수행한 차량을 25℃에서 12시간 이상 항온항습 시킨 후 배출가스시험을 진행한다. 차량의 평균 속도는 냉간 시동 구간인 Phase1에서는 40.4km/h이고 시간은 505초이며, 고온 안정화 구간인 Phase2에서는 평균속도가 25.6km/h이고 시간은 867초이다. Phase 1, 2의 시험을 진행한 후 10분간차량을 상온 25℃에서 방치(Soaking) 시킨 후 Phase 1과 같은 고온시동 구간인 Phase 3의 시험을 진행한다. Fig. 1의 NEDC(ECE15+EUDC)시험은 현재 유럽의 소형 화물차량 및 승용차량의 배출가스시험모드로서 역시 차량을 25℃에서 6시간이상 방치한 후, 2개의 Phase로 구성된 운전모드에 따라 배출가스시험을 수행한다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 ECE15구간의 3개 사이클을 4번 반복하고, ECE15구간에서 차량의 평균속도

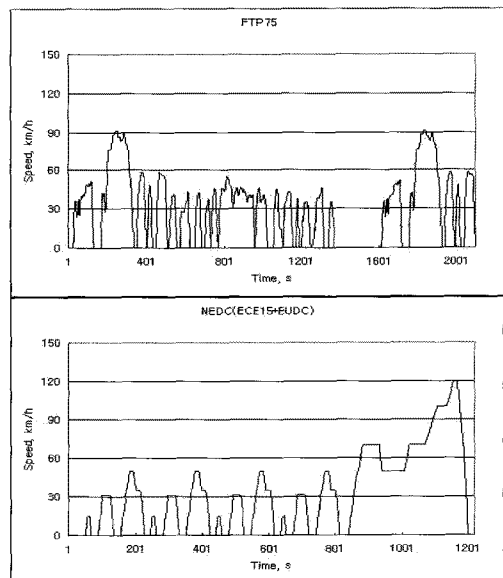


Fig. 1. Test Driving pattern

는 19km/h이며, FTP-75 모드와는 다르게 EUDC (Extra Urban Driving Cycle)모드인 시외주행구간이 포함되어 있고, 이 구간에서 차량의 평균속도는 62.6km/h이고 최고 속도는 120km/h까지 도달하는 구간이 포함되어 있다<sup>(3,4)</sup>.

**2-2. 연비 및 배출가스 측정 장치**

휘발유, LPG차량의 배출가스 시험에 사용된 차대동력계는 Clayton사의 DC80 8.65인치 트윈 롤 다이내모메타를 사용하였으며, 배출가스측정은 HORIBA사(MEXA-9500)의 배출가스 분석계를 사용하였고, 디젤 차량의 배출가스 시험은 AVL사의 48인치 싱글 롤 다이내모메타를 사용하였으며, 배출가스 측정은 Pierburg사(AMA-2000)의 배출가스 분석계를 사용하였다.

시험차량의 배출가스를 시료채취장치인 임계유량 벤츄리형 정용량 시료채취장치(CFV : 20m<sup>3</sup>/min)를 사용하여 일정량의 공기와 희석시킨 후 시료 채취백에 담았다. 희석된 배출가스 중 CO, CO<sub>2</sub>는 비분산적외선분석기(Non-dispersive Infrared Analyzer)로 분석하고, NO<sub>x</sub>는 화학발광분석기(Chemical Luminescence Analyzer)로 분석하였으며, HC는 불꽃 이온화법 검출기(Flame Ionization Analyzer)를 통하여 분석하여 자동차의 단위 주행거리(km)당 시험오염물질 배출량을 산출하였다. 또한 상기의 방법으로 분석한 배출가스 중 카본 성분을 분석하여 현재 국내를 비롯하여 미연방, 일본, 유럽연합에서 연비 산출 방법으로 사용되고 있는 카본 밸런스 법에 의하여 연비를 산출하였다.<sup>(3,4)</sup>

**3. 결과 및 고찰**

**3-1. 주행모드 및 배출가스 분석**

Fig. 3 및 Fig. 4는 사용연료에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출량을 분석하기 위하여, 동일한 차종의 휘발유, 디젤, LPG차량에서 FTP-75모드 및 NEDC(ECE15+EUDC)모드로 주행 실험하여 실시간으로 CO<sub>2</sub>의 배출량을 나타낸 것이다<sup>(5)</sup>. 이 그림에서 보는바와 같이 CO<sub>2</sub>의 배출량은 차량이 가속될 때는 차량의 속도와 비례하여 증가하는 것으로 나타나지만 정속 및 감속구간에서 CO<sub>2</sub>의 배출량은 차량의 속도와 격차를 나타내고 있는 것을 나타내고 있으므로 이에 대한 상세한 추가 해석이 필요하다.

**3-2. 주행모드에서 CO<sub>2</sub>와 연비분석**

Fig. 5는 동일한 차종의 FTP-75모드에서 휘발유, LPG, 디젤연료 시스템별로 발생하는 CO<sub>2</sub>와 연비를 비교하여 나타낸 그림이다. 이 그림에서 보는바와 같이 FTP-75모드에서 CO<sub>2</sub>의 배출량은 동일한 차종의 휘발유엔진과 디

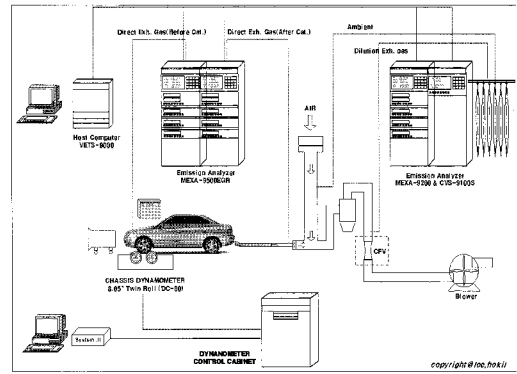


Fig. 2. Schematic of experimental device for vehicle emission test

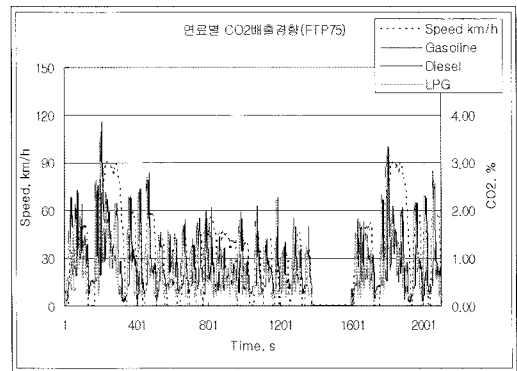


Fig. 3. CO<sub>2</sub> transient emission for FTP-75 test drive mode

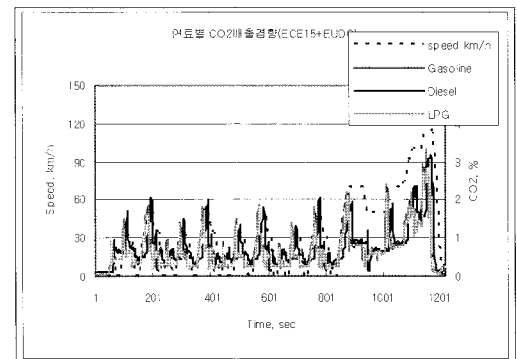


Fig. 4. CO<sub>2</sub> transient emission for ECE15+EUDC test drive mode

젤엔진시스템에서 212g/km로 거의 비슷한 수준으로 발생되고 있으며, LPG 엔진을 사용하는 차량에서는 CO<sub>2</sub>가 가솔린엔진을 사용하는 차량보다 7%정도 적게 발생하고 있다. 이것은 자동차 연료별 발생하는 CO<sub>2</sub>의 발생량은 연료에 포함된 탄소 중량비와 관계가 있을 뿐만 아

나라 다른 변수의 영향을 받는 것을 알 수 있다. 연비는 가솔린과 LPG의 연료특성상 가솔린엔진이 LPG엔진보다 22% 높은 것으로 나타나고 있고, 디젤엔진은 가솔린엔진보다 15% 연비가 높게 나타나고 있다. 이것은 디젤엔진의 압축비가 가솔린엔진보다 높음으로, 열효율 증가에 의하여 연비가 높은 것으로 판단된다. 또한 디젤엔진은 LPG엔진보다 연비가 40% 높은 것으로 나타나고 있다. CO<sub>2</sub>의 배출량이 단순히 연비와 상관관계가 있다면, 디젤엔진의 연비가 가장 높으므로 CO<sub>2</sub>의 배출량이 가장 적을 것으로 예상되지만 실제 실험결과 디젤연료내의 탄소중량비가 LPG연료보다 높음으로서 디젤엔진이 연비가 높음에도 불구하고 CO<sub>2</sub>의 배출량이 8%정도 높은 것으로 해석된다.

Fig. 6은 FTP-75모드에서 CO<sub>2</sub>의 발생량을 각각의 phase1, phase2, phase3 및 종합 구간으로 구분하여 나타내었다. 이것은 대표적인 주행조건인 냉간시동구간, 고온안정화구간, 고온시동구간에서 구간별로 발생하는 CO<sub>2</sub>의 발생량을 검토함으로써 주행모드별 엔진에 대한 CO<sub>2</sub>배출관련 제어전략을 세울 수 있는 자료가 될 것이다. Fig. 6에

서 보는 바와 같이 전체 FTP-75모드에서 배출되는 CO<sub>2</sub>는 동일차종에서 가솔린연료와 디젤연료에서 거의 비슷하게 배출되는 것을 나타내고 있다. 이것은 디젤연료의 탄소중량비의 구성 비율로 보아 더 많은 CO<sub>2</sub>의 배출이 예상되지만 디젤엔진의 고압축비에 의한 고효율 효과로 연비가 12.63km/L로 나타나고 가솔린엔진의 경우는 10.99 km/L로서 디젤엔진이 가솔린엔진보다 14.9% 높은 연비가 나타나므로 FTP-75모드에서는 연비상승에 의한 CO<sub>2</sub>의 저감효과가 나타나서 결과적으로 본 실험에 사용한 휘발유엔진과 디젤엔진이 발생하는 CO<sub>2</sub>의 배출량이 202 g/km로서 배출량이 비슷한 경향을 나타내고 있다. 또한 LPG 연료는 연료의 구성성분에서 탄소중량비가 낮아서 동일 연비의 경우 휘발유엔진에 비하여 CO<sub>2</sub>가 33%정도 적게 배출되어야 하지만 FTP-75모드 시험결과 CO<sub>2</sub>는 197 g/km가 배출되면서 7%정도 적게 배출되고 있다. 이것은 실제 주행 시 연비저하에 의하여 저탄소 함유 연료인 LPG 연료의 장점이 크게 감소된 것으로 나타나며, 구체적으로 LPG 엔진의 연비가 8.97km/L로서 휘발유엔진의 연비와 비교하여 18.4%정도 나쁜 것이 원인인 것으로 파악된다. 이것으로 보아 자동차에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 배출량을 저감하기 위해서는 가능한 탄소중량비가 낮은 저탄소 함유 연료를 사용하여야 하며, 또한 동일한 사용 연료에서 차량의 연비를 향상시키는 것이 CO<sub>2</sub>의 배출량을 감소시키기 위한 중요한 인자임을 알 수 있다. FTP-75모드의 냉시동 구간인 phase1과 고온시동구간인 phase3을 비교하여 보면, 자동차에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 배출량은 고온시동구간인 phase3가 phase1보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 냉시동구간인 phase1에서 엔진의 낮은 온도에 의한 마찰력 증가 및 냉각손실 증가 등에 의하여 연비가 감소하게 되고, 연비감소에 의한 연료사용량이 증가하여 CO<sub>2</sub>의 배출량이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 phase1에서 phase2로 모드가 바뀔 때 따라 CO<sub>2</sub>의 배출량은 휘발유와 LPG엔진에서 14%정도의 감소를 가져오는데 디젤엔진은 19%감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 디젤엔진이 엔진의 온도에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량의 변화가 크다는 것을 알 수 있으며, 이것은 고압축비 디젤엔진에서 온도에 영향을 많이 받는 마찰력과 디젤연료의 휘발성 및 점도에 미치는 온도영향이 큰 것으로 판단된다<sup>6)</sup>. 휘발유엔진과 LPG 엔진은 시스템이 비슷하며, 액체연료인 휘발유는 휘발성 및 연료의 점도가 가스연료인 LPG연료와 비교하여 크게 불리하지는 않은 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로 보아 엔진 냉시동 후 엔진의 빠른 온도상승이 연비의 개선 및 CO<sub>2</sub>의 발생량을 줄이는 효과적인 방법으로 판단되며, 특히 디젤엔진에서 시동 후 가능한 빠른 엔진의 온도상승이 연비상승 및 CO<sub>2</sub> 발생량 저감효과가 클 것으로 판단된다.

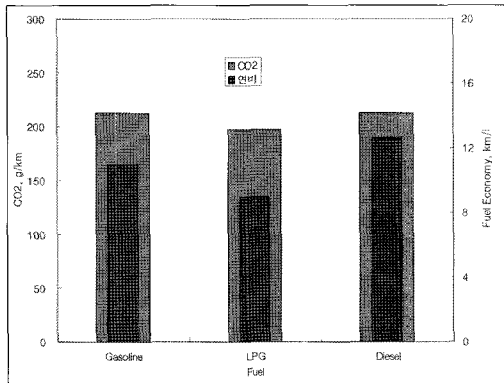


Fig. 5. CO<sub>2</sub> emission and Fuel economy at FTP-75 mode

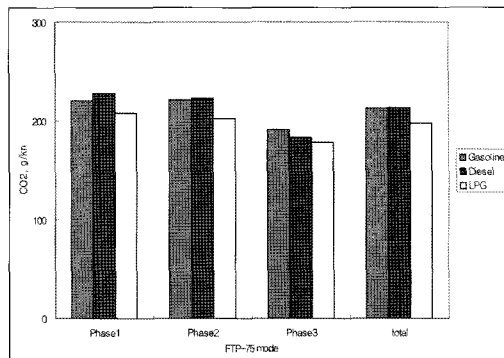


Fig. 6. CO<sub>2</sub> emission at FTP-75 mode

### 3.3. 사용연료에 따른 CO<sub>2</sub>와 연비의 상관관계분석

연비와 CO<sub>2</sub> 발생량의 상관관계의 분석에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 FTP-75모드의 phase1(냉간시동구간), phase2(고온 안정화구간), phase3(고온시동구간)와 ECE15+EUDC모드의 phase1(저속반복구간), phase2(시의주행구간)의 각각 5개의 phase에 대한 평균연비와 평균 CO<sub>2</sub>의 발생량을 구하여 Fig. 7에 나타내었다. 이상과 같은 대표적인 두가지 운전모드에서 포함하고 있는 각각의 5가지 운전구간에서 나타나는 연비 및 CO<sub>2</sub>의 발생량을 비교평가하면 비교적 대표적인 상관관계를 얻을 수 있을 것으로 판단하고 Fig. 7과 같이 나타내었다.

Fig. 7는 동일사양의 차량에 사용된 휘발유, 디젤, LPG 연료 시스템별로 연비와 CO<sub>2</sub>의 발생량과의 관계를 나타내는 그림이다. 그림에서 나타나는 것과 같이 CO<sub>2</sub>의 발생량은 연료의 종류와 관계없이 연비가 증가함에 따라 반비례 관계로서 1차함수적으로 감소하고 있는 것을 나타내고 있으며, 각각의 연료에 대하여 1차함수로 나타낼 경우 Table 2와 같이 다중상관계수가 0.98의 높은 상관계수를 나타내는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 본 실험에 사용한 동일차종의 경우 휘발유, 경유, LPG연료의 종류와 관계없이 CO<sub>2</sub>의 발생량은 연비와 1차함수적인 반비례관계를 가지고 있으므로 CO<sub>2</sub>의 발생량을 줄이기 위해서는 자동차의 연비를 증가시키는 것이 타당함을 알 수 있다.

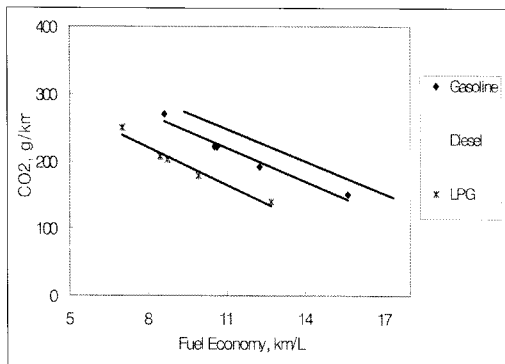


Fig. 7. Correlation of CO<sub>2</sub> and Fuel economy.

Table 2. Relation of linear correlation coefficient

	slope	constant	correlation coefficient
Gasoline	-16.434	399.7	0.981
Diesel	-15.967	422.61	0.984
LPG	-18.664	370.11	0.982

또한 동일 연비 12km/L에서 디젤연료는 231g/km, 휘발유연료는 202g/km, LPG연료는 136g/km가 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 동일 연비에서 CO<sub>2</sub>의 발생량은 휘발유를 기준으로 하면 디젤연료는 14%가 많이 발생하고 있으며, LPG연료는 33%가 적게 발생하고 있다. 이것은 연료의 종류에 따른 탄소중량비의 구성성분에 따른 것으로 판단된다.

차량에 사용되는 연료에 따라서 연비증가에 따른 CO<sub>2</sub>의 감소율은 휘발유 연료를 기준으로 디젤연료의 감소율은 2.9%가 적게 나타나고 있으며, LPG 연료의 CO<sub>2</sub> 감소율은 13.6% 큰 것으로 나타나고 있다. 이것은 연비증가에 따른 CO<sub>2</sub> 저감의 효과는 디젤, 휘발유, LPG연료의 순서로 점차 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이것 또한 연료종류에 따른 탄소중량비의 구성성분이 낮을수록 CO<sub>2</sub> 발생량의 감소율이 큰 것을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 자동차 사용연료에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량과 연비와의 상관관계를 분석하기 위하여 동일차종에서 휘발유, 경유, LPG를 사용하는 각각의 차량에 대하여 FTP-75모드 및 ECE15+EUDC모드에서 비교분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 동일 연비기준에서 CO<sub>2</sub>의 발생량은 휘발유를 기준으로 하면 디젤연료는 14%가 많이 발생하고 있으며, LPG연료는 33%가 적게 발생하고 있다. 이것은 연료의 종류에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출량은 탄소중량비의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있었다.
- 2) 연비증가에 따른 CO<sub>2</sub> 저감의 효과는 디젤, 휘발유, LPG연료의 순서로 점차 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이것 또한 연료종류에 따라 탄소중량비가 낮을수록 CO<sub>2</sub> 발생량의 감소율이 큰 것을 알 수 있다.
- 3) 동일 차종의 휘발유와 경유연료 차량에서 발생하는 CO<sub>2</sub>의 배출량은 비슷하였으며, 이것은 경유가 탄소중량비가 높음에도 불구하고 디젤 차량의 연비가 높아서 CO<sub>2</sub>발생이 상쇄되는 저감효과 때문으로 파악되며, LPG차량의 경우 탄소중량비가 가장 낮음에도 불구하고 연비가 감소하여 이에따른 CO<sub>2</sub>발생의 저감효과가 저하되어 휘발유엔진 기준으로 약 8%정도 적게 배출되는 것을 알 수 있었다.
- 3) 본 실험에 사용한 차량에서 CO<sub>2</sub> 배출량과 연비와의 관계는 휘발유, 디젤, LPG의 사용연료에 따라 각각 1차함수로 표현할 수 있었으며, 0.98의 높은 상관관계를 갖는 것을 알 수 있었다.

## Acknowledgments

본 논문은 지식경제부 산하 에너지관리공단에서 지원되는 “에너지·자원기술개발사업”의 일환으로 수행된 “LPG 연료 및 차량평가기술 개발”사업의 연구비로 수행되었으며, 관계기관에 감사의 뜻을 표합니다.

## References

1. “Greenhouse gas emission from a typical passenger vehicle” EPA420-F-05-004, 2005.
2. Fulcher, S. K., Gajdeczco, B. F., “The effects of fuel atomization, vaporization and mixing on the cold start UHC emission of a contemporary S.I engine with intake manifold injection” SAE952482, 1995.
3. Lee, H. K., Ryu, J. I, “Development of the Diesel Oxidation Catalyst Aging mode for Evaluation of aging characteristics”, 2000 fall conference proceeding Vol. I KSAE, 2000.
4. 환경부고시 2005-140호, “제작자동차배출허용기준·소음허용기준의검사방법및절차에관한규정”, 2005.
5. “Vehicle Emission Standards Manual” SAE HS-2004, SAE, 2004.
6. 조용석, 정대철, 박영준, 김득상, “가솔린엔진의 냉시동 천이구간에서 배출가스 온도 및 유해배출물 특성에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제30권 제12호, pp. 1181~1187, 2006.