

## 엔진오일의 저점도화가 차량 연비에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

김 한 구<sup>†</sup>

다불산업 기술연구소

### Experimental Study on the Effects of Low Viscosity Engine Oils on Fuel Economy

Han Goo Kim<sup>†</sup>

Double Industrial Co., Ltd. R&D Institute

(Received August 5, 2010; Revised August 31, 2010; Accepted September 1, 2010)

**Abstract** – The purpose of this paper is to study the fuel economy improvement experimentally when the viscosity of engine oil is lowered. The emissions are measured for CVS-75 mode with SAE viscosity grades. The test results indicate that a close correlation has been found between the engine oil viscosity and the fuel economy. The lowering of engine oil viscosity causes the reduction of friction loss which has a very close relation with the fuel economy. These results as the lowering of engine oil viscosity will be a important factor for improvement of the fuel economy and reduction of the CO<sub>2</sub> emission.

**Keywords** – fuel economy(연비), CAFE(corporate average fuel economy, 기업평균연비), CVS-75(Constant Volume Sampler 75)

#### 1. 서 론

기계는 항상 하중을 담당하면서 상대접촉 마찰운동을 하기 때문에 하중을 분산/완화 시키고, 동시에 마찰손실을 감소 시키기 위해 윤활유를 공급하여 마찰에너지 발생을 줄여주고, 특히 운동부품의 내구성을 향상하여 시스템의 수명을 연장하기 위한 노력을 기울인다. 운반기계의 대명사라고 할 수 있는 자동차에서 마찰손실을 줄이면서 수명을 연장하고, 배출가스 감소에 기여하면서 출력을 향상시켜주는 윤활유의 기능은 매우 중요하다.

최근 자동차 연비(fuel economy)에 대한 규제가 점점 강화되면서 연비향상(fuel economy improvement)을 위한 기술개발이 가속화 되고 있다. 이러한 연비향상은

연료소비를 줄임으로써 지구온난화가스인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 배출량을 저감시키기 때문에 환경문제 해결에 있어서도 필수적으로 요구되는 기술 사항이다.

현재 미국에서는 생산/판매되는 자동차가 연비기준 미달시 벌과금을 해당 차량대수에 곱해 부과하는 기업 평균연비(CAFE, corporate average fuel economy)제도를 시행해 연비향상에 크게 기여하고 있으며 우리나라도 2006년부터 국내에서 생산/판매되는 자동차에 기준 평균연비가 적용되는 평균 에너지 소비효율제도가 시행된다.

기존의 연비향상을 위한 연구방법인 엔진 연소분야에 대한 기술개발은 한계에 부딪혔기 때문에 엔진요소 마찰저항으로 인해 발생하는 에너지 손실을 줄여 줌으로써 그 목적을 실현할 수 있다. 또한, 마찰저감 기술은 자동차의 성능뿐만 아니라 자동차의 내구성과도 직접적 관련이 있기 때문에 매우 중요한 기술이라고 할

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : hangoo.kim@gmail.com

수 있다.

마찰저감을 위한 방법 중 윤활개선에 의한 방법이 연비향상에 가장 큰 효과를 기대할 수 있다. 이 방법은 엔진오일(engine oil)을 저점도화 함으로써 엔진 각 부분에서의 교반손실 및 마찰손실을 감소시키는 것이다. 단급점도유의 경우 SAE 5 W에서 40까지 점도등급을 변화시킬 경우 엔진동력계 시험에서 연비가 4% 이상 변화 된다고 보고 되고 있다. 이와 같은 엔진오일 저점도화에 따른 연비개선에 대한 연구는 최근에 들어서 더욱 더 활발히 진행되어지고 있다[14].

현재 일반적으로 사용하고 있는 연비란 자동차의 연료소비를 나타내는 것으로서 연료 1리터 또는 1갤런으로 주행 가능한 거리인 km/나 mpg(miles per gallon), 또는 100 km를 주행하는 데에 소비되는 연료량인 // 100 km로 표시하며, 자동차의 에너지소비효율이라고도 부른다. 연비는 차량이 실제의 도로상을 주행할 때에 구해지는 실 주행 연비와 차량의 인증 시에 측정되는 공인연비로 대별할 수 있으나, 이 중에서 공인연비는 차량 구입자가 여러 차량사이의 연비 값을 비교하여 연비가 우수한 차량을 구입하는 데에 활용하도록 합과 동시에, 우리나라의 목표연비제도나 미국의 CAFE제도에서와 같이 정부차원에서 자동차 제작사의 평균연비를 관리하는 데에 사용되기도 하기 때문에 차량들 사이의 객관성 있는 비교척도로 사용될 수 있도록 일정한 룰에 의해 측정된다.

본 연구에서는 엔진오일의 저점도화가 차량연비에 미치는 영향을 파악하기 위하여 우리나라 대기환경보전법의 승용차 배출가스 규제시험 모드인 CVS-75 모드로 차량시험을 수행한 후 공인연비를 계산함으로써 엔진오일의 점도와 연비와의 관계를 규명 하고자 한다.

## 2. 실험조건 및 방법

### 2-1. 엔진제원 및 엔진오일

본 연구에서 사용한 디젤 엔진은 4기통 2000 cc의 직접 분사식 연료분사 시스템을 채택하고 있으며 디젤 엔진의 구체적 사양은 Table 1에 나타내었다. 또한, Table 2에는 실험에 사용된 10 W40, 10 W30, 5 W40 엔진오일의 물성치를 나타내고 있다.

### 2-2. 배출가스 측정 장치

배출가스 측정은 새시 다이내모미터(Chassis dynamometer)에서 실시하였다. 측정장치는 새시다이내모미터,

**Table 1. Engine specification**

Number of Cylinder	4-stroke, In-Line 4
Type of Combustion	Direct Injection
Valve arrangement	DOHC
Max. Power PS/rpm	133/4200
Max. Torque kgm/rpm	30/2000

**Table 2. Properties of engine oil**

Viscosity grade	10W40	10W30	5W40	
Density at 15°C, kg/m <sup>3</sup>	0.858	0.881	0.86	
Viscosity	40°C, cSt	91.7	72.3	82.5
	100°C, cSt	14.3	10.8	14.4
Viscosity index	162	138	-	

**Table 3. Specification of chassis dynamometer**

Chassis Dynamo	Clayton (USA) DC-80
Roller Type	Twin (F220 mm)
Max. Power, HP	40
Max. Speed, km/h	145
ETW Range, lbs	1000 ~ 6875

냉각팬(Cooling fan), 운전 모니터링장치(Driving controller), 희석터널(Dilution tunnel), 송풍기(Blower), 정용량 시료채취장치(CVS : Constant volume sampler), 입자상물질 여과장치(PM filter), 시료 채취백(Bag), 배출가스 분석기(Gas analyzer) 등으로 구성되어 있다.

새시 다이내모미터는 자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 모사 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 주는 장치로 그 제원은 Table 3에 나타내었다.

배출가스 측정은 시험 자동차가 새시 다이내모미터의 롤러 위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량 시료채취장치(CVS : Constant volume sampler)에서 일정량의 공기로 희석한 후 시료 채취백(Bag)에 채취하여 배출가스 분석기로 분석하였다.

운전 모니터링장치(Driving monitor)는 운전자가 자동차를 도로에서 주행하는 상태로 운전할 수 있도록 화면에 운행상태를 표시해 주는 장치이다.

시료 채취장치(Constant volume sampler)는 자동차 배출가스를 공기와 희석하여 채취할 수 있는 장치이며

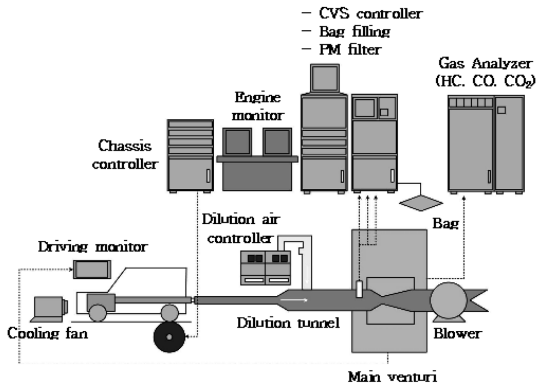


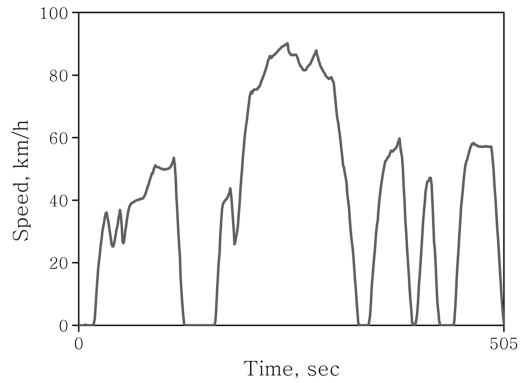
Fig. 1. Chassis dynamometer.

희석터널(Dilution tunnel)은 고온에 의한 입자상물질의 변화를 배제시키고 대기조건으로 제어하기 위해 시료 채취 온도가 항상 52°C 이내로 유지되도록 외부공기와 배출가스를 희석시키는 기능을 한다. Fig. 1은 새시다이어나모미터를 이용하여 시험하는 장치도를 보여주고 있다.

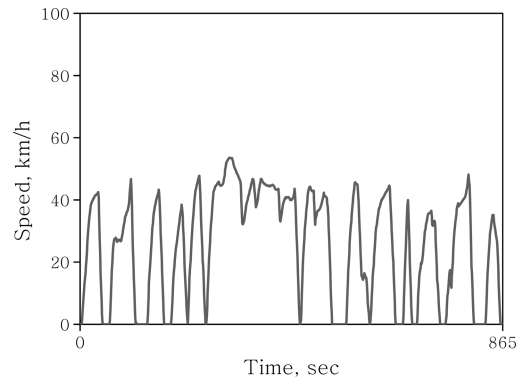
2.3. 배출가스 측정모드

배출가스 측정에 사용하는 주행모드는, 차량이 도로 상을 실제로 주행할 때와 유사한 여건을 시험실에서 재현하도록 하는 것으로서, 가능한 한 실제의 주행흐름을 최대한 반영하는 것이 바람직하기 때문에, 미국, 일본, 유럽 등지에서는 자기 나라의 실제 도로 주행상황을 대표할 수 있는 주행흐름을 실측·분석에 의해 도출하여, 공인측정모드로서 사용하고 있다.

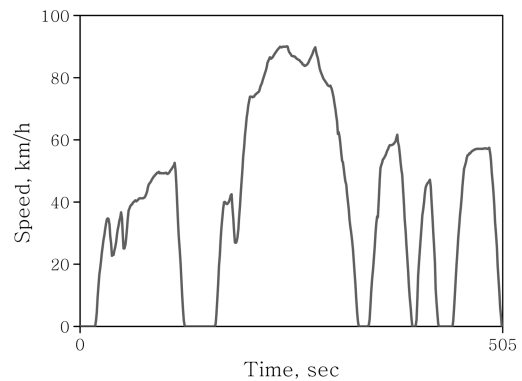
현재 우리나라 대기환경보전법의 승용차 배출가스 규제시험 모드로 측정모드이기도 한 CVS-75 모드(Constant Volume Sampler 75)는 1954년 로스앤젤레스 스모그 사건이 일어난 주(州)이고 자동차 배출규제의 선도적인 역할을 하여 항상 미국연방정부보다 한 단계 앞서 배출가스 규제를 하고 있는 캘리포니아 주의 자동차 배출가스 시험모드로 1975년에 제정되었다. 이 측정모드는 공회전(Idle), 가속(Acceleration), 감속(Deceleration), 정속(Cruising)이 되풀이되는 과정을 시험목적상 대표화한 주행패턴이다. 또한, Fig. 2에 나타난 주행곡선은 phase 1은 저온시동단계로서 505초 동안 운전되며, phase 2는 저온시동의 안정화단계로 865초 동안 운전된다. Phase 2가 끝나면 10분 동안 엔진을 정지시킨 후 phase 3은 고온운전조건에서 505초 동안 운전된다. Phase 1과 3은 주행패턴과 주행시간이



(a) Phase 1 : Transient phase of the cold start test



(b) Phase 2 : Stabilized phase of the cold start test



(c) Phase 3 : Transient phase of the hot start test

Fig. 2 Driving cycle of CVS-75 mode.

똑같으며 단지 시동단계의 엔진온도 차이를 나타내고 있다. 평균차속은 34 km/h, 총 주행거리는 17.85 km이다[5,6].

2-4. 배출가스 측정 및 분석방법

배출가스 측정은 시험 자동차가 실제도로를 달릴 때 발생하는 저항력과 똑같은 저항력을 만들어서 자동차는 정지해 있지만 실제도로를 주행하는 것처럼 만들어 주는 새시 다이내모미터에서 CVS-75 모드에 따라 주행할 때 배출되는 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 입자상물질(PM), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등의 배출가스를 측정하게 된다.

배출가스의 농도를 분석하는 방법은 각각의 배출가스마다 차이가 있다. 우선 탄화수소 경우는 열식불꽃이온화검출(HFID : Heated Flame Ionization Detection) 방법을 사용하여 농도를 분석한다. 분석원리는 화염에 탄화수소가 섞여 타면서 탄소이온이 발생한다. 이 때 이온 감지기가 탄소의 이온을 감지하여 전기적 신호로 변화시켜 탄화수소를 분석한다.

질소산화물의 경우는 화학발광검출(CLD : Chemi-Luminescent Detection)방법을 사용한다. 분석원리는 일산화질소(NO)가 이산화질소(NO<sub>2</sub>)로 변할 때 발생하는 화학적 빛을 빛 감지기가 감지하여 전기적 신호로 변화시켜서 질소산화물의 농도를 분석한다. 이때 이산화질소 중에 10%만 화학적 발광을 일으킨다.

일산화탄소와 이산화탄소의 경우는 비분산적외선분석(NDIR : Non-Dispersive Infra Red)방법을 사용한다. 분석원리는 적외선 발생기에서 발생된 적외선이 분석가스가 들어 있는 관을 지나면서 일산화탄소와 이산화탄소에 흡수되고 그 나머지 적외선만 검출기에 감지된다. 이때 참조 셀을 통과한 적외선과 분석셀을 통과한 적외선의 차이를 검출기의 센서에서 전기적 신호로 변화하여 일산화탄소와 이산화탄소의 농도를 분석한다.

2-5. 공인연비 계산방법

배출가스 중에서 탄소성분을 함유한 HC, CO, CO<sub>2</sub>의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 이용하여 카본 밸런스법에 의해 공인연비를 계산하게 된다. 이와 같이 카본 밸런스법에 의해 구한 연비는 연료유량계를 사용하여 직접 측정한 연비와 거의 차이가 없으며, 연료유량계를 사용하는 방식보다 간편하기 때문에 전 세계적으로 모든 연비는 이러한 방법을 사용하여 계산된다.

카본 밸런스법에서 사용하는 공인연비 계산식은 가솔린, 경유, LPG 연료에 따라서 물성이 다르기 때문에 연료의 종류에 따라 다른 계수 값을 사용한다. 연료에 따른 공인연비를 계산하는 식은 다음과 같다.

■ 가솔린

$$\frac{640(g/l)}{(0.866 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)}$$

여기서, CH비는 1.85이고 HC, CO, CO<sub>2</sub>는 각각의 단위주행거리당 배출가스량(g/km)이다.

■ 경유

$$\frac{734(g/l)}{(0.866 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)}$$

여기서, CH비는 1.85이고 HC, CO, CO<sub>2</sub>는 각각의 단위주행거리당 배출가스량(g/km)이다.

■ LPG

$$\frac{483(g/l)}{(0.866 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)}$$

여기서, CH비는 2.5이고 HC, CO, CO<sub>2</sub>는 각각의 단위 주행 거리당 배출가스량(g/km)이다.

3. 실험결과 및 고찰

Figs. 3~7에는 공인연비 측정 시 배출되는 HC, CO, NOx, PM, CO<sub>2</sub>의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 각각의 엔진오일에 대하여 나타내었다.

Fig. 3에는 각각의 엔진오일에 대한 HC의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 보여주고 있다. 10 W30 엔

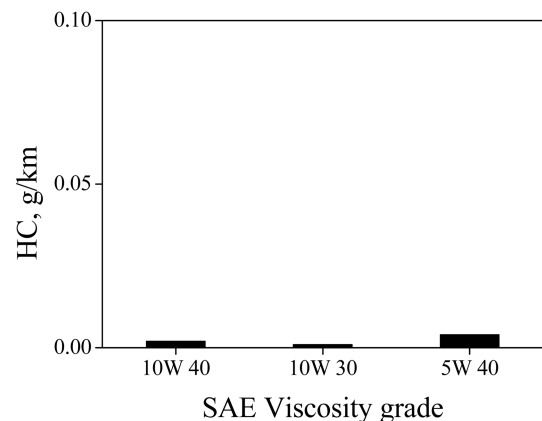


Fig. 3. HC emission for CVS-75 mode with SAE viscosity grades.

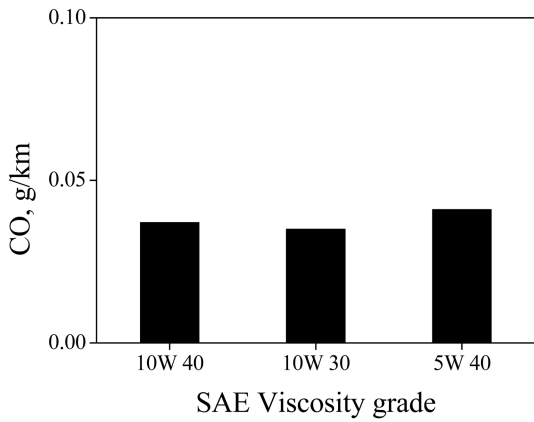


Fig. 4. CO emission for CVS-75 mode with SAE viscosity grades.

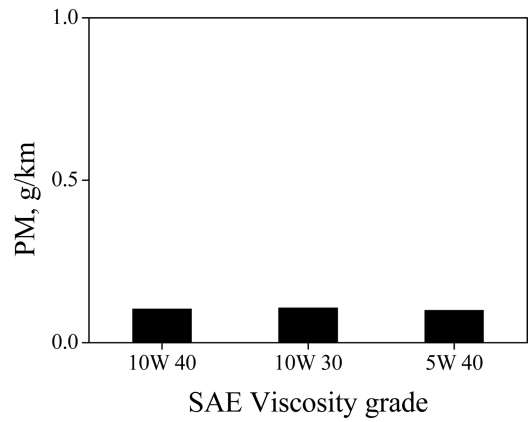


Fig. 6. PM emission for CVS-75 mode with SAE viscosity grades.

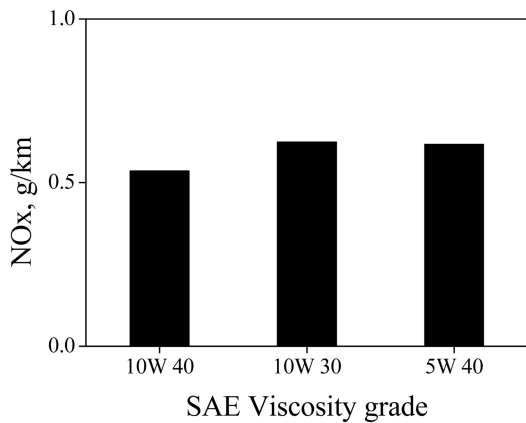


Fig. 5. NOx emission for CVS-75 mode with SAE viscosity grades.

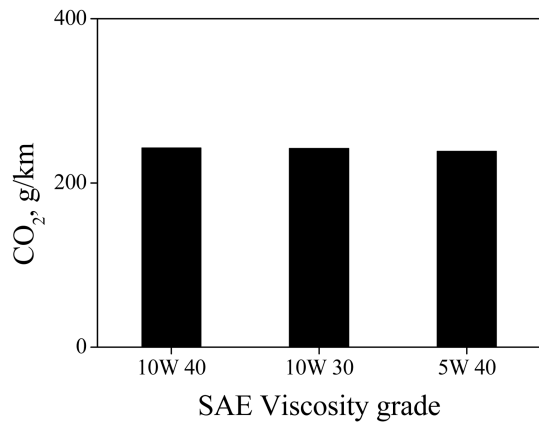


Fig. 7. CO<sub>2</sub> emission for CVS-75 mode with SAE viscosity grades.

진오일인 경우 가장 적은 HC 배출량을 나타내고 있으며 5W40 엔진오일이 10W30보다 4배 정도 많은 HC 배출량을 나타내고 있다. 하지만 HC의 경우 다른 배출가스보다 상대적으로 매우 적은 양을 배출하므로 공인연비에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에는 각각의 엔진오일에 대한 CO의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 보여주고 있다. 10W30 엔진오일인 경우 가장 적은 CO 배출량을 나타내고 있으며 5W40 엔진오일이 가장 많은 CO 배출량을 나타내고 있지만 각각 엔진오일의 CO 배출량이 거의 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 HC와 마찬가지로 다른 배출가스보다 상대적으로 매우 적은 양을 배출하므로 공인연비에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 5에는 각각의 엔진오일에 대한 NOx의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 보여주고 있다. HC와 CO의 배출량과는 다르게 10W30 엔진오일인 경우 가장 많은 NOx 배출량을 나타내고 있지만 각각 엔진오일의 NOx 배출량이 거의 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 6에는 요즘 경유차량에서 큰 관심분야인 PM의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 보여주고 있다. 역시 각각의 엔진오일의 PM 배출량은 거의 비슷하게 나타나고 있으며 특히 10W30 엔진오일이 가장 많은 PM 배출량을 나타내고 있다.

Fig. 7에는 배출가스 중에서 가장 많은 배출량을 나타내고 있는 CO<sub>2</sub>의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 각각 엔진오일에 대하여 보여주고 있다. 10W40 엔진

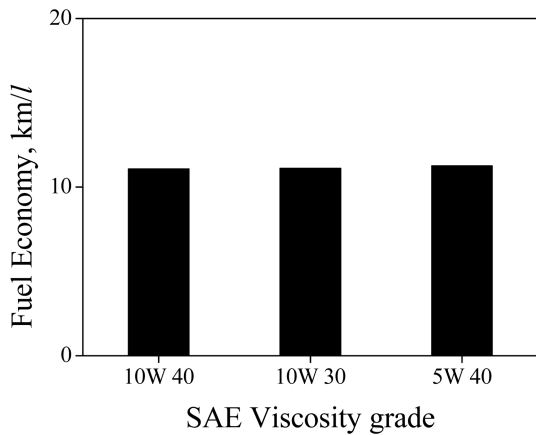


Fig. 8. Fuel economy for CVS-75 mode with SAE viscosity grades.

오일이 가장 많은 CO<sub>2</sub> 배출량을 나타내고 있으며 5W40 엔진오일이 가장 적은 CO<sub>2</sub> 배출량을 나타내고 있다. 특히, CO<sub>2</sub>는 배출가스 중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있기 때문에 공인연비에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8에는 시험에서 측정된 HC, CO, CO<sub>2</sub>의 단위 주행 거리당 배출량(g/km)을 이용하여 카본 밸런스법에 의해 공인연비를 산출한 값을 나타내고 있다. 시험에 사용한 엔진오일 중 점도가 가장 낮은 5W40 엔진오일의 경우 점도가 가장 높은 10W40 엔진오일 보다 연비가 약 2%정도 개선되는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

엔진오일의 저점도화로 상대마찰운동이 발생하는 엔진부품에 대한 마찰손실 감소가 차량 연비에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 알아보았다.

공인연비를 구하기 위한 시험은 우리나라 대기환경보전법의 승용차 배출가스 규제시험 모드인 CVS-75 모드로 차량시험을 수행하여 공인연비를 계산하였다. 그 결과는 다음과 같다.

차량 배출가스 중 HC와 CO의 배출량이 매우 미비하였으며 그 중에서도 HC의 배출량이 가장 적은 양을

나타내었다. 이와 반대로 지구온난화에 직접적으로 영향을 미치는 CO<sub>2</sub>의 배출량이 가장 많은 양을 나타내었다. 시험결과 10W40 엔진오일을 사용하였을 때 CO<sub>2</sub> 배출량은 5W40 엔진오일을 사용하였을 때 CO<sub>2</sub> 배출량보다 2% 증가하였다. 또한, 시험결과를 바탕으로 계산된 연비는 5W40 엔진오일을 사용한 차량이 10W40 엔진오일을 사용한 차량보다 2% 정도 연비가 향상되는 것을 알 수 있었다. 따라서 배출가스 중 가장 많은 배출량을 차지하는 CO<sub>2</sub>의 배출량과 연비는 반비례 관계를 나타내고 있으며 연비가 좋아짐으로써 지구온난화가스인 CO<sub>2</sub>의 배출량도 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 저점도 엔진오일을 사용할 경우 상대마찰운동이 발생하는 엔진부품의 마찰손실을 줄임으로써 차량의 연비가 개선되는 것을 알 수 있었고 지구온난화가스인 CO<sub>2</sub>의 배출량도 감소한다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 엔진오일의 저점도화는 차량연비의 향상과 지구온난화가스인 CO<sub>2</sub>의 배출량 감소에 기여할 것으로 판단되어 진다.

#### 참고문헌

1. H. G. Kim and C. K. Kim, "On the Oil Film Behaviors of Engine Bearing with Low Viscosity Engine Oils," *40th Proceedings of KSTLE Conference*, pp. 202-207, 2005.
2. Clevenger, J. E., Carlson, D. C., and Kleiser, W. M., "The Effects of Engine Oil Viscosity and Composition on Fuel Economy," *SAE 841389*, 1984.
3. Tanaka, H., Nagashima, T., Sato, T., and Kawachi, S., "The Effect of 0W-20 Low Viscosity Engine Oil on Fuel Economy," *SAE 1999-01-3468*, 1999.
4. Bennett, J. and Chudasama, D., "The Use of Low Viscosity Oils to Improve Fuel Economy in Light Duty Diesel Engines," *SAE 2000-01-2054*, 2000.
5. S. W. Jung, J. H. Ryu, and Y. S. Lyu, "Comparison of Correlation between CVS-75 Mode and Korea Mode to Estimate Emission Factors from Vehicles," *J. KOSAE*, Vol. 22, No. 3, pp. 383-391, 2006.
6. M. S. Jeon etc. "A Study on Characteristics of Methane Emissions from Gasoline Passenger Cars," *J. KOSAE*, Vol. 21, No. 6, pp. 649-655, 2005.