

자동차 엔진오일과 연비

Automotive Engine Oil and Vehicle Fuel Economy

이 영 재, 김 강 출, 표 영 덕*
Y. J. Lee, G. C. Kim, Y. D. Pyo

한국에너지기술연구소 수송에너지연구팀
Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

To improve the vehicle fuel economy, various technologies such as improvement of power train efficiency, use of light weight material, improvement of aerodynamic design, have been studied. One of the possible way to improve the vehicle fuel economy is to reduce the engine friction loss by improving the engine oil characteristics. In the present paper, it was examined the effect of the engine oil viscosity and the addition of friction modifier to engine oil on vehicle fuel economy improvements. Moreover, the effect of engine oil degradation on vehicle fuel economy was examined with two gasoline vehicles and one diesel vehicle by using the fuel economy test facility.

주요기술용어 : Automotive Engine Oil (자동차엔진오일), Fuel Economy (연비), Viscosity (점도), Friction Modifier (마찰조정제), Degradation (열화)

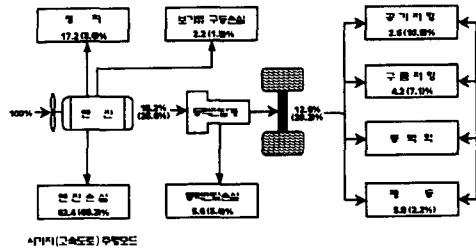
1. 머릿말

가솔린 자동차에 있어서, 투입에너지에 대한 유효이용에너지 및 손실에너지의 대표적인 예는 [그림 1]에서와 같다. 시가지 주행시에는 엔진에 투입된 총 에너지중에서 엔진에서 유효하게 이용된 에너지는 18.2%에 불과하며, 최종적으로 주행에 사용되는 유효에너지는 12.6% 정도에 불과함을 볼 수 있다. 고속도로 주행시

에는 약간 개선되나 이때에도 각기 25.6%와 20.2% 정도에 불과함을 볼 수 있다.

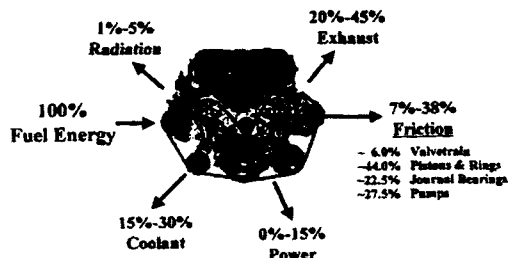
따라서, 자동차 제작사에서는 엔진 및 차량 각 부위에서의 손실ener지를 줄이고 유효이용에너지를 높여 연비를 개선하기 위하여, 엔진효율의 향상, 경량화, 주행저감의 저감, 동력전달효율의 향상 등 각종 연비개선기술의 개발을 활발히 추진하고 있다.

엔진효율의 향상과 관련하여 엔진에서 손실



[그림 1] 자동차에서의 에너지의 흐름

되는 에너지를 살펴 보면, [그림 2]에서와 같이 총투입에너지중에서 배기열로 20~45%가 손실되며, 엔진냉각손실이 15~30%, 엔진본체로부터의 방열손실이 1~5%, 보기류 구동과 피스톤이나 동벨브계를 비롯한 윤활부위에서의 마찰손실이 7~38%를 차지한다.



[그림 2] 엔진 각부에서의 에너지 흐름

이와 같이, 엔진 마찰손실에 의한 에너지손실이 상당히 큰 비중을 차지하고 있기 때문에, 엔진오일의 특성을 개선하여 마찰손실을 저감함으로써, 연비를 개선하고자 하는 노력이 활발히 추진되고 있으며, 이에 대응하여 엔진오일의 규격 역시 가솔린엔진의 경우에 API규격에서는 1983년의 SF규격에서부터 엔진오일의 저연비성이 고려되고 있으며, AAMA와 JAMA로 구성된 ILSAC에서는 1993년에 적용된 GF-1규격

(API SH급에 연비성능을 추가한 규격)에서부터 엔진오일의 요구성능에 저연비성을 추가하고 있다. 아울러, 연비와 관련된 엔진오일의 시험법도 진보되어, 초기의 5 Car시험법에서, Seq. VI, Seq. VIA, Seq. VIB로 변화하고 있다.

2. 엔진오일의 저연비화

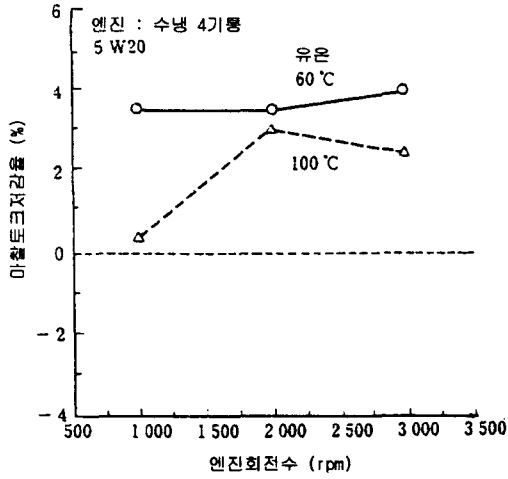
엔진오일을 저연비화하기 위한 수단으로서 크게 다음 2가지가 고려되고 있다.

- ① 엔진오일의 저점도화 : 엔진흡동부에서, 크랭크축베어링, 컨넥팅로드베어링, 피스톤링 등은 유체윤활이 지배적이다. 이들 엔진흡동부에서, 엔진오일의 점도를 낮추면 마찰이 저하하여 연료소비를 저감할 수 있다. 그러나, 엔진오일의 점도를 너무 낮추면 엔진흡동부품의 마찰 및 소부가 증대한다.
- ② 마찰조정제의 첨가 : 엔진흡동부에서 캠, 록커암타입의 동벨브계는 경계윤활이 지배적이기 때문에, 엔진오일에 마찰조정제(FM; Friction Modifier)를 첨가함으로써 마찰이 감소되어 연료소비를 저감할 수 있다. 그러나, 어느 종류의 마찰저감제는 다량으로 첨가하면 금속표면을 부식시킬 수 있다.

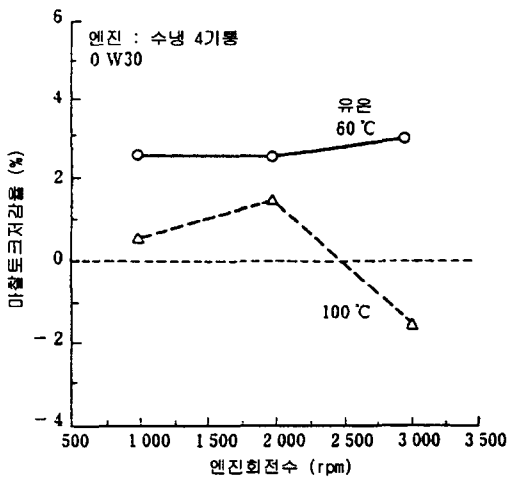
2.1 엔진오일의 저점도화와 연비

엔진오일에서 연비개선 잠재력이 가장 높은 것은 저점도화로서, 이를 통하여 엔진 각부의 교반손실과 마찰손실을 저감하여 연비를 향상시킬 수 있다.

마찰조정제를 첨가하지 않은 5W30에 고온측의 점도를 낮춰 5W20로 한 [그림 3]과 저



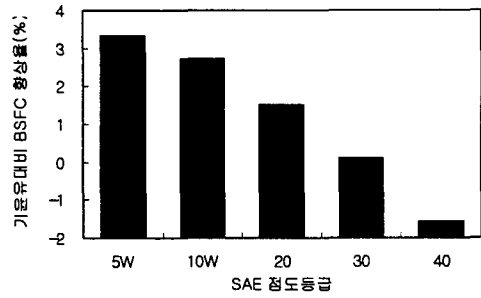
[그림 3] 엔진회전수와 유온이 5W20의 마찰토크 저감율에 미치는 영향



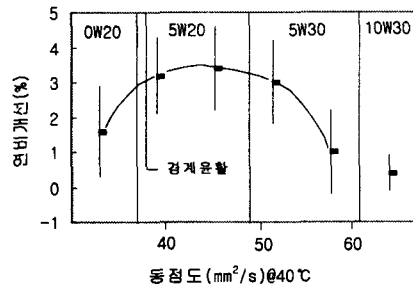
[그림 4] 엔진회전수와 유온이 0W30의 마찰토크 저감율에 미치는 영향

온축의 점도를 낮춰 0W30으로 한 [그림 4]에 의하면, 모든 엔진 회전속도에서 저유온(60°C) 조건에서의 마찰토크가 크게 저감하여, 기윤유인 5W30에 비해 5W20의 경우에는 3.5~4.5%, 0W30인 경우에는 2.5~3.0% 마찰토크 저감율이 높아지고 있다. 또한, 고유온(100°C) 조건에서도,

0W30의 높은 회전속도영역에서 마찰손실 저감율이 감소하는 외에, 대체적으로 기윤유에 마찰토크 저감율이 향상됨을 볼 수 있다



[그림 5] 단급 점도유에서의 점도등급과 연료소비율

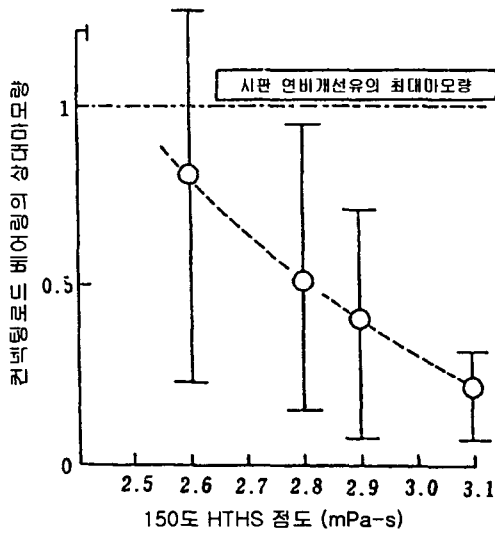


[그림 6] 다급 점도유에서의 저온동점도와 연비

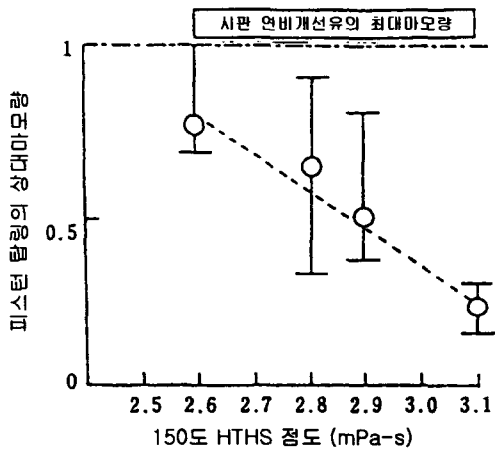
저점도화에 기인한 마찰손실 저감에 따른 연비 개선효과를 살펴 보면, [그림 5]에서와 같이, 단급 점도유에서 점도등급을 SAE 5W에서 40까지 변화시키면, 엔진동력계 시험에서 4% 이상 연료소비율이 향상됨을 볼 수 있고, [그림 6]에서와 같이 다급점도유를 사용한 EPA City/Highway Cycle에서의 연비시험 결과에서도, 저점도 엔진오일의 연비가 우수함을 볼 수 있다.

그러나, 엔진오일의 저점도화는 고온고전단점

도(HTHS점도)의 저하, 전단안전성의 저하, 증발량의 증가 등 문제점도 내포하고 있기 때문에 적절한 첨가제를 사용하거나 엔진측의 기술대응에 의해 해결해야 할 과제도 많다.



[그림 7] HTHS점도와 컨넥팅로드 베어링의 마모량

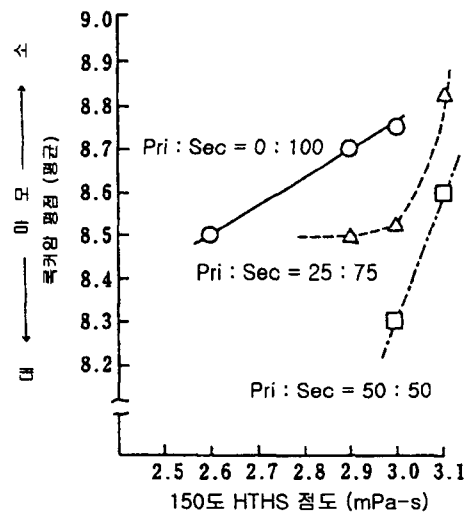


[그림 8] HTHS점도와 피스톤 링의 마모량

엔진오일의 저점도화가 베어링과 피스톤링의 마모에 미치는 영향을 조사한 [그림 7]과 [그림

8]에 의하면(150°C HTHS점도를 지표로 사용), 점도가 저하하면 컨넥팅로드 메탈베어링과 피스톤 링의 마모량이 증가함을 볼 수 있어서, 금속재료의 개량 등 엔진측 기술의 향상과 엔진오일중 첨가제의 내마모성의 향상 등이 요구됨을 알 수 있다. 또한 점도저하에 따른 유막두께의 대폭적인 저하에 따라서 베어링온도가 급격히 상승하기 때문에 이에 대비해서도 메탈재료의 개량이 필요함이 지적되고 있다.

저점도화가 동벨브계의 마모에 미치는 영향을 조사한 [그림 9]에 의하면, 역시 점도저하에 따라서 동벨브계의 마모량이 급증함을 볼 수 있으며, 점도저하에 따른 마모대책으로서 Sec 타입의 ZnDTP를 증량하면 마모를 줄일 수 있으나, Sec타입을 다량 사용하면 오일의 산화안정성이 저하하는 문제가 발생하므로, 동벨브계 구동시스템의 개량 등 엔진측에서의 대책이 필요함이 지적되고 있다.

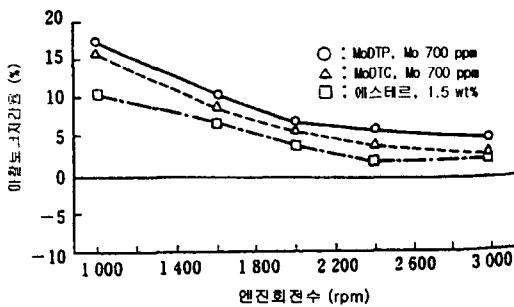


[그림 9] HTHS점도와 동벨브계 부품의 마모량

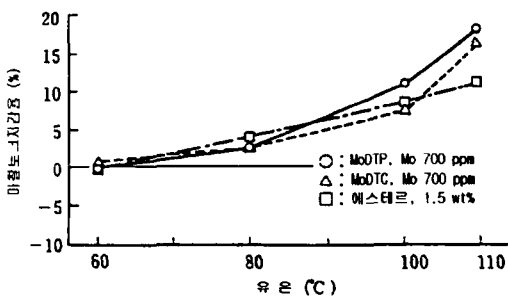
2.2. 마찰조정제와 연비

엔진오일에서의 연비개선방법으로서, 상술한 저점도화 외에 마찰조정제를 사용하는 방법도 고려되고 있다. 특히 동밸브계에서는 경계윤활이 지배적이기 때문에 적절한 마찰조정제를 사용하면 마찰계수를 줄이고 금속접촉을 감소시킴으로서 연비를 개선할 수 있다.

5W30의 엔진오일에 MoDTP(Mo : 700 ppm), MoDTC(Mo : 700ppm) 및 에스테르계(1.5wt%)의 마찰조정제를 첨가하여, 마찰손실 저감효과를 캠, 록커암타입의 동밸브계를 갖는 엔진에 대해 조사한 결과를 [그림 10]~[그림 12]에 나타낸다.

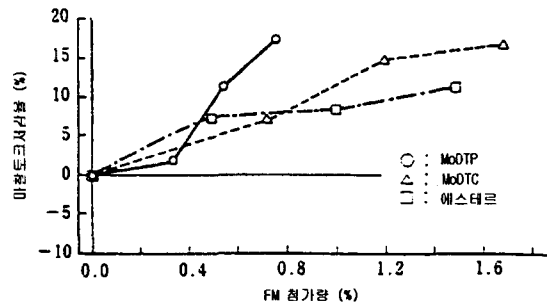


[그림 10] 마찰조정제 사용시의 엔진회전수 및 마찰토크 저감율



[그림 11] 마찰조정제 사용시의 엔진 유온 및 마찰토크 저감율

그림에 의하면, 마찰조정제를 첨가하지 않은 기유유 5W30에 비하여 3종류의 마찰조정제 모



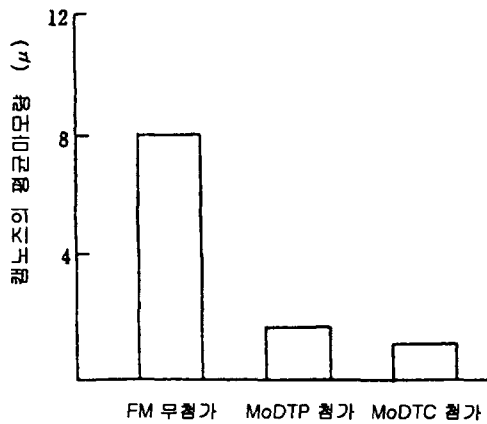
[그림 12] 마찰조정제 첨가량의 변화와 마찰토크 저감율

두 마찰토크저감율이 크게 개선됨을 볼 수 있으며, 엔진회전수가 저하할수록, 엔진유온이 상승할수록, 마찰조정제의 첨가량이 증가할수록 마찰토크저감율이 증가함을 볼 수 있다. 또한, MoDTP계와 MoDTC계의 마찰조정제가 에스테르계보다 마찰저감효과가 크고, MoDTP계는 소량 첨가시에도 커다란 마찰저감효과를 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

한편, MoDTP과 MoDTC계의 마찰조정제가 동밸브계 부품의 마모에 미치는 영향을, 공회전과 저중속운전 반복모드를 갖는 100시간의 엔진시험에 의해 조사한 결과에 의하면, [그림 13]에서와 같이 Mo계의 마찰조정제를 사용함에 따라서 캠노즈의 마모가 억제됨을 확인할 수 있다. 그러나, MoDTP나 MoDTC계의 마찰조정제는 고유온조건에서 그의 종류와 첨가량에 따라서는 부식을 유발할 가능성이 높은 것으로 알려져 있다.

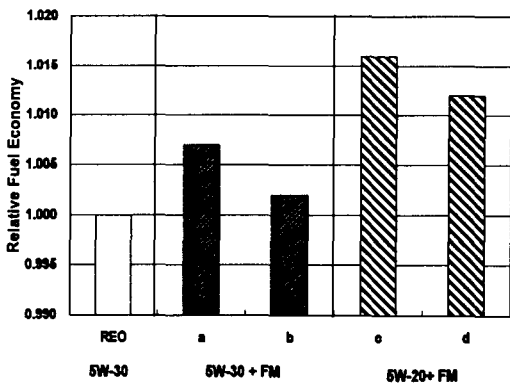
2.3 저점도화 및 마찰조정제에 의한 연비 향상

엔진오일의 저점도화는 연비개선에 효과가 있는 반면에, 엔진부품의 마모에 대해서는 가혹



[그림 13] 마찰조정제 사용시의 동밸브계의 마모

한 조건을 유발하기 때문에 적절한 마찰조정제의 사용은 필수적인 것으로 생각된다. 저점도화와 마찰조정제를 첨가한 엔진오일의 10·15모드 연비시험 결과를 [그림 14]에 나타낸다.



[그림 14] 저점도화 및 마찰조정제 사용에 따른 연비 개선효과

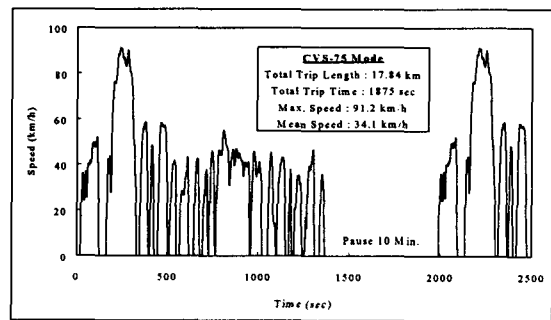
그림에 의하면 5W30의 기윤유 (REO; Reference Engine Oil)에 대해, 유기금속계의 마찰조정제를 첨가한 경우에는, 0.2~0.7%의 연비향상이 얻어지고, 유기금속계 마찰조정제를 첨가하고 5W-20으로 저점도화한 엔진오

일의 경우에는 기윤유에 비하여 1.2~1.6%의 연비향상 효과가 얻어짐을 볼 수 있다.

3. 신유와 사용유의 연비

엔진오일은 사용과정에서 계속 열화하여 점도가 변화하기 때문에 가솔린차량 2대와 디젤차량 1대를 사용하여, 사용과정에서의 엔진오일의 열화가 연비에 미치는 영향을 조사하여 보았다.

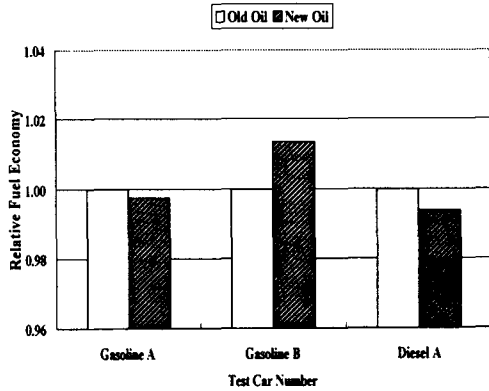
연비측정에 사용한 시험설비는, 항온항습시험실, 도로부하를 모의하는 차대동력계(Clayton, DCE-80), 주행패턴을 지시하는 Driver's Aid (Horiba, CSRD-3000), 배출가스분석기 (Horiba, Mexa 9200) 등으로 구성되며, 시험차량이 우리나라 공인연비측정모드인 CVS-75모드를 추적주행할 때에, 배출되는 CO, THC, CO₂를 측정하고, 이에 의해 연비를 산출하였다 (그림 15 참조).



[그림 15] CVS-75 Mode

[그림 16]에, 9,861km와 9,186 km를 주행한 가솔린차량 A, B와, 5,166km를 주행한 디젤차량 A에 있어서, 누적사용한 엔진오일과 새로운 엔진오일로 교체하였을 때의, CVS-75 모드

연비를 비교하여 나타낸다.



[그림 16] 사용유와 신유의 연비비교

그림에 의하면, 사용유에 대비하여 가솔린차량 A와 디젤차량 A는 신유에서 연비가 저하하고, 가솔린차량 B는 증가하는 경향을 보여주나, 이들 모두 그의 변화 폭이 작아서, 통상의 시험오차 정도에 불과함을 볼 수 있다. 따라서, 가솔린 및 디젤차량 모두 통상의 업체추천 엔진오일 교환주기 이내에는, 사용유의 물성변화가 연비에 미치는 영향은 극히 작을 것으로 생각되며, 이때에 분석한 40℃와 100℃ 동점도 모두 일반적인 엔진오일 사용한계의 허용범위 내에 들어 있음을 확인할 수 있었다.

4. 맺음말

이상 엔진오일의 저점도화 및 마찰조정제가 자동차의 연비에 미치는 영향을 검토하고, 사용유와 신유의 연비를 시험 평가하여 보았다. 최근의 고유가와 아울러 기후변화협약에 대비한 이산화탄소의 배출저감에 대응하여 자동차 연비의 향상이 요구되고 있으며, 자동차로부터 배출되는 유해배

출가스의 저감이나 엔진의 고성능화도 지속적으로 요구되고 있기 때문에, 엔진오일에 요구되는 특성은 점차 가혹해진다고 할 수 있겠다. 따라서, 고성능 기유의 개발과 아울러 마찰저감제를 비롯한 각종 첨가제의 기술개발을 위한 보다 많은 노력이 요구된다 생각된다.

5. 참고문헌

- 1) Kenji Hanada, et al., Fuel Consumption Reduction Technology in Relation to Gasoline Engine Oils, Jidousya Gijyutsu, Vol.47, No.5, 1993.
- 2) Takashi Nagashima, et al., Development of 5W-20 Fuel Economy Engine Oil, Jidousya Gijyutsu, Vol.50, No.5, 1996.
- 3) J.E.Clevenger, et al., The Effect of Engine Oil Viscosity and Combustion on Fuel Economy, SAE Paper 841389, 1984.
- 4) K. Akiyama, et al., Fuel Economy Performance of the Highly Efficient Fuel Economy Oils using Chassis Dyanmometer Test, SAE Paper 932690, 1993.
- 5) 문우식 외, 엔진유의 물성이 자동차 연비에 미치는 영향, 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1998.
- 6) 이영재 외, 윤활유 내구성 향상을 위한 인프라 구축연구, KIER 연구보고서, 1998.