

<논문> SAE NO. 933763

가솔린 엔진오일의 개선을 통한 연비절감에 관한 연구

Experimental Study on the Development of Fuel-Efficient Gasoline Engine Oil

문우식,* 이종훈,** 김성환,* 이동호,*** 유성춘****
W.S.Moon, J. H. Lee, S. H. Kim, D. H. Lee, S.C.Ryoo

ABSTRACT

In order to develop a fuel-efficient gasoline engine oil, an experimental study was conducted using an engine dynamometer, a passenger car and the SRV machine. Oil samples with different viscosity were prepared by adding several friction modifiers to select the best one and also to investigate the effect of the viscosity grade. From the study, we have developed engine oils which result in good fuel economy. The viscosity grade of 7.5W/30 was best among the oils investigated with respect to fuel economy and a fatty amine type friction modifier had the good fuel-economy property.

주요기술용어 : Gasoline Engine Oil(가솔린엔진유), Fuel Economy(연비절감), Friction Modifier(마찰저감첨가제), Viscosity Grade(점도등급), Friction Loss(마찰손실)

1. 서 론

자동차를 저연비화하기 위해서는 차량전체를 경량화하는 것이 가장 효과적인 방법인데, 이는 설계의 최적화를 통하여 가능하지만 강도 및 안전성의 측면에서 한계가 있으며 현시점에서 이미 극한을 추구하고 있다고 해도 과언이 아니다. 따라서 경량화를 위해서는 비철금속 등의 경량재료 뿐만 아니라 세라믹재료 및 복합재료 등의 신재료에 주목해야만 하겠다.^{1,2)} 엔진설계의 최적화를 통한 마찰저감으로는 구름마찰을 이용하는 롤러태핏의 적용이라든지 피스톤스커트의 접

촉면적 저감 그리고 2-링 피스톤의 적용등이 실용화되고 있다.¹⁾

또한, 엔진의 설계 및 재질의 변경 없이도 저연비화가 가능한 엔진오일의 성능개선을 통한 마찰손실의 저감이 주목되고 있다. 이러한 엔진오일에 의한 마찰감소에는, (1) 유체윤활 영역에서의 점도에 의한 마찰손실 및 교반손실을 감소시키는 저점도화와, (2) 금속접촉이 일어나는 경계윤활 영역에서의 마찰손실을 첨가제의 작용으로 감소시키는 저마찰화의 두가지 방법이 있다.

미국 EPA(환경청) 사이클로 측정된 승용차의 에너지 배분의 경우,³⁾ 전 에너지중 엔진내부에서

* 정희원, (주)유공 대덕연구소
** (주)유공 대덕연구소
*** 연암공업전문대학 기계공학과
**** 현대자동차 기술연구소

발생되는 마찰손실이 7.5%에 달하는데 이 손실을 가능한 한 줄이는 것이 저연비화와 직결되기 때문에 엔진내부의 접동부에서 일어나는 마찰손실을 윤활유에 의하여 개선하려는 노력이 시도되고 있다.⁴⁻⁷⁾

마찰손실이 많이 일어나는 엔진부위의 마찰조건을 보면, 베어링 각부가 유체윤활 영역에, 피스톤링과 라이너부가 유체윤활 및 혼합윤활 영역에 그리고 밸브계통이 혼합윤활 및 경계윤활 영역에 속한다.^{8, 9)} 따라서, 저점도화의 효과는 유체윤활 영역에 있는 베어링부위에서 그리고 마찰저감제의 효과는 경계윤활 영역에 있는 밸브계통에서 특히 기대된다. 그 중에서도 마찰저감제의 첨가는 저회전 및 고온의 운전조건과 같이 유막형성이 상대적으로 어려운 조건에서의 저연비화에 효과가 있다.¹⁰⁻¹⁴⁾

엔진시험을 통한 연비성능의 평가 외에도 벤치시험인 4구시험기, 저속마찰시험기, 왕복동식 마찰시험기, 팔렉스식 마찰시험기 등을 사용하여 마찰저감제의 특성을 조사한 예도 적지 않다.¹⁵⁻¹⁷⁾

본 논문에서는 가솔린 엔진오일에 대하여 저점도화 및 마찰저감제의 첨가에 의한 효과를 조사하고 최적의 엔진오일을 개발하기 위하여, 엔진동력계, 사시동력계, 승용차 및 왕복동식 마찰시험기를 사용하여 수행한 실험연구의 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 시료유

본 연구에서는 실제 승용차에 많이 사용되고 있는 다급점도의 오일만을 검토의 대상으로 한정하여 선택하였다. Table 1에 그 물성을 보인 바와 같이, 점도등급이 10W30, 5W30, 7.5W30, 10W40으로 서로 다른 4종류의 시료유를 제조하였으며, 이에 사용한 기유 및 첨가제는 같은 것으로 API SG급의 성능을 가진다. 기유는 시판되는 용제추출형 파라핀계 광유이며, 점도지수향상제는 에틸렌프로필렌공중합체형을 사용하였다. 또한, 점도조정을 위하여 기유 및 점도지수향상제의

Table 1 Lubricants of different viscosity grades

| | Oil A | Oil B | Oil C | Oil D |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Viscosity Grade | 10W30 | 5W30 | 7.5W30 | 10W40 |
| Kinematic Viscosity (100°C, ASTM D445), cSt | 10.2 | 10.3 | 10.7 | 14.5 |
| Viscosity Index (ASTM D2270) | 146 | 167 | 144 | 153 |
| Low Temperature Viscosity, mPa · s (ASTM D2606) | 3300 (-20°C) | 3300 (-25°C) | 2800 (-20°C) | 3400 (-20°C) |

Table 2 Lubricants with friction modifiers

| Lubricant | Formula |
|-----------|---|
| A | Gasoline Engine Oil : API SG, 10W30 |
| A1 | A+0.2wt% of a Fatty amine |
| A2 | A+0.2wt% of a Phosphoric acid ester |
| A3 | A+0.2wt% of a dispersed Molybdenum disulfide |
| A4 | A+0.2wt% of a Molybdenum dialkyldithiocarbamate |
| C | Gasoline Engine Oil : API SG, 7.5W30 |
| C1 | A+0.2wt% of a Fatty amine |

배합량을 조정하였기 때문에 이들의 함량은 시료유에 따라 차이가 있으나, 여타 첨가제의 함량은 동일하다. 10W30급인 오일A를 기준유로 하고 이보다 저점도 등급의 오일로서 5W30 및 7.5W30인 오일B 및 오일 C를 그리고 고점도 등급의 오일로서 10W40인 오일D를 준비하였다.

또한, 마찰저감제의 첨가에 의한 효과를 평가하기 위하여 기준유인 10W30급의 오일A에 4종류의 마찰저감제를 일정량(0.2wt%) 첨가한 시료유 4종을 준비하였다. Table 2는 시료유의 배합내용을 나타낸 것이다. 오일 A1 및 A2에는 무회형인 지방산아민계와 인산에스테르계 마찰저감제를 각각 첨가하였으며, 오일A3에는 이황화몰리브덴이 분산, 첨가되어 있고, 오일A4는 유용성 폴리브덴계 첨가제인 MoDTC(Molybdenum dialkyldithiocarbamate)를 함유하고 있다.

2.2 실험장치 및 방법

점도등급의 차이 및 마찰저감제의 첨가가 엔진유의 연비변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 두가지 다른 모드의 엔진동력계 시험(Table 3 및 Table 4), 승용차에 의한 실차시험(Table 5), 왕복동식 마찰시험(Table 6) 그리고 최종적으로 새시동력계 시험¹⁰⁾등을 포함하는 5종류의 시험을 수행하였다.

엔진동력계 시험에는 4기통, 1.6L, DOHC(Double Overhead Cam)형 엔진을 사용하였으며, 연료로는 무연가솔린을 사용하였다. 시내주행을 모사한 발전정지가 반복되는 운전모드를 자체 개발하여 적용하였으며, 정속모드에서도 시험하였다. 시내주행 모드는 Table 3에 나타난 바와 같이 엔진속도를 800rpm에서 3000rpm까지 변화시키는 가속과 감속이 반복되는 운전모드로 4.5분이 1주기이며 총 시험시간은 60시간이다. 시험중 오일온도, 냉각수 온도 및 흡기온도는 일정 범위내로 유지 및 기록된다. 연료소비량은 시험 전후의 연료무게의 변화로부터 산출한다.

정속주행 모드에서는 Table 4에 나타난 바와 같이 엔진의 속도 및 토크를 1500rpm, 38N·m로 일정하게 유지하였으며, 오일온도 및 냉각수온도는 95°C로 하였다.

실차시험에는(Table 5) 4기통, 2.0L, MPI(Multi-Point Injection)형 엔진과 자동변속기가 장착된 일반승용차를 연료소모량의 측정이 가능하도록 개조하여 사용하였다. 시험은 동일 기후조건에서 동일 운전자에 의하여 수행하였으며 에어컨은 항상 일정 조건으로 가동한 상태로 운전하였다. 1회 시험당 주행거리는 220km인데 시내주행 20km와 고속도로 주행 200km로 구성된다. 연료소비량은 시험전후의 연료 무게변화로부터 산출하며, 본 시험에서는 4차례 수행 후의 평균값을 취하였다.

새시동력계 시험은 연비향상물의 최종 확인을 위하여 실시하였는데, 미국의 환경처 시험법이며 국내에서도 적용되고 있는 EPA FTP 75(Federal Test Procedure)방법¹⁰⁾에 준하여 수행하였으며, 여기에는 시내주행 모드와 고속주행 모드가 모두 포함되어 있다.

마찰마모시험에는 왕복동식 마찰시험기(Optimol 모델)를 사용하였으며, 시험기의 개략도는 Fig.1에 나타낸다. 시험조건은 Table 6에 나타난 바와 같으며, 볼/디스크 접촉모드, 왕복행정, 왕복주기, 총마찰거리, 시험시간 및 시험온도 등은 모든 시험에서 동일한 조건으로 수행하였으며, 하중은 50N, 100N, 200N으로 변화시켰다. 볼 및 디스크의 재질은 베어링강(SUJ2)이며 볼의 직경은 10mm이다. 마찰계수는 실험중 연속적으로 기록하였으며, 마찰량은 시험후 광학현미경을 사용하여 볼 및 디스크 표면에 발생될 마찰흔의 폭을 측정하여 구하였다.

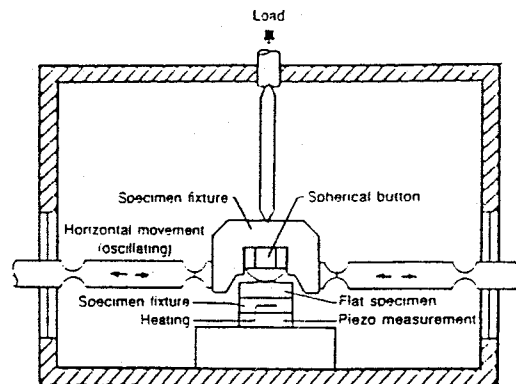


Fig.1 SRV machine

Table 3 Engine dynamometer test(Stop-and-go mode)

Engine : 4 cyl., 1.6L, DOHC type
 Fuel : Unleaded gasoline
 Test duration : 60h
 Fuel consumption : Determined from the change in fuel weight after test
 Test mode : Cyclic mode of 4.5min in period arranging from 800 to 3000 rpm
 Oil temperature : 95-100°C
 Coolant temperature : 85-95°C
 Intake air temperature : 25-35°C

Table 4 Engine dynamometer test(Constant-speed mode)

Engine : 4 cyl., 1.6L, DOHC type
 Fuel : Unleaded gasoline
 Test duration : 1h
 Fuel consumption : Determined from the change in fuel weight after test
 Test mode : Constant engine speed and torque of 1500rpm and 38 N · m
 Oil temperature : 95°C
 Coolantnt temperature : 95°C
 Intake air temperature : 25°C

Table 5 Field test (High-speed Operation) with a passenger car

Engine : 4 cyl., 2.0L, MPI type
 Automatic Transmission
 Fuel : Unleaded gasoline
 Test milage : four times of 220km test
 Fuel consumption : Determined from the change in fuel weight after test
 Test mode : City mode of average 36km/h(20km)+highway mode of average 86km/h(200km)
 etc. : -the same driver and the same atmospheric conditions
 -the air conditioner is always running
 -Averaged after four tests

Table 6 Friction test(SRV machine)

Test mode : Ball-on-disk contact
 Load : 50, 100, 200N
 Stroke : 1mm
 Frequency : 50Hz
 Total friction run : 720m
 Temperature : 100°C
 Test duration : 2h

3. 결과 및 고찰

3.1 저점도화의 효과

유행개선에 의한 연비절감으로 가장 큰 효과를 기대할 수 있는 방법은 엔진오일을 저점도화함으로써 엔진각부에서의 교반손실 및 마찰손실을 감소시키는 것이다. 단급점도유의 경우 SAE 5W에서 40까지 점도등급을 변화시킬 때 연비가 4% 이상 변화된다고 보고되고 있으며,¹³⁾ 다급점도유의 경우 동일 점도유일지라도 사용된 점도지수항상제의 종류에 따라 연비성능이 달라진다.¹⁴⁾ 또한, 고온고전단 점도와 연비개선을 사이에는 상관관계가 있다고 한다.¹⁵⁾

Fig.2는 정속모드의 엔진시험(시험조건: Table 4) 및 실차시험(시험조건: Table 5)에서의 저점도화에 의한 효과를 나타낸 것이다. 정속모드의 엔진시험에서 점도등급이 5W30인 오일B는 10W30인 오일A에 비하여 연비가 2.0% 향상되며 실차시험에서는 7.5W30급인 오일C가 오일D에 비하여 1.1% 향상되는 결과를 보여준다. 이 결과는 고속도로 주행 및 정속주행에서 저점도화에 의한 연비절감 효과가 크다는 것을 단적으로 나타내고

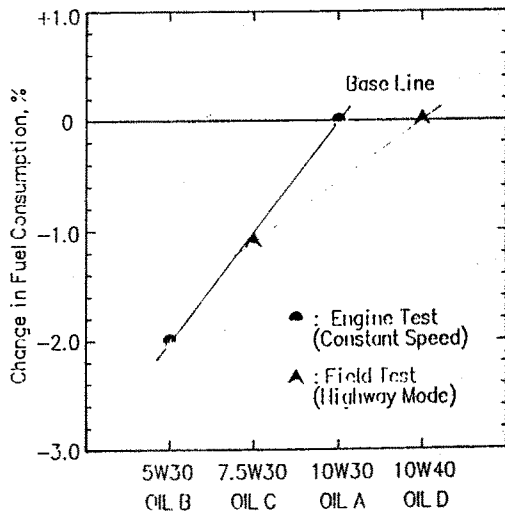


Fig.2 Change in fuel consumption with viscosity grade(Constant speed and highway operation mode)

있다.

한편 시내주행 모드인 발진정지형의 엔진시험(시험조건: Table 3)에서는 Fig.3에 나타낸 바와 같이 전술한 결과와는 다른 경향을 가진다. 즉, 10W40인 오일D에 비하여 10W30인 오일A와 7.5W30인 오일C의 경우 각각 0.9% 및 1.0%의 향상된 연비를 보이는 한편, 5W30인 오일B는 오일A보다 오히려 0.3% 악화되는 결과를 나타낸다. 이는 Fig.2에서 보인 정속운전 모드에서 오일B의 연비가 2.0%나 향상된 것과는 상반되는 결과이다.

위의 실험 결과로부터 저속이든 고속이든 정속운전이 지배하는 운전조건에서는 저점도등급의 오일일수록 연비가 향상되는 반면, 시내주행과 같이 발진과 정지가 반복되는 운전조건에서는 최적 점도등급이 존재한다는 것을 알 수 있다. 이는 정속조건에서는 유체유행 조건으로 운전되는 유행부위가 지배적이기 때문에 저점도화에 의해 교반손실 및 점성손실이 감소되지만, 발진정지 모드의 운전조건에서 5W30과 같은 저점도 등급오일을 사용할 경우 유막형성이 어렵게 되고 따라서 금속접촉이 증가되기 때문에 마찰손실이 저점도화에 의하여 역으로 증가된다는 것을 의미한다.

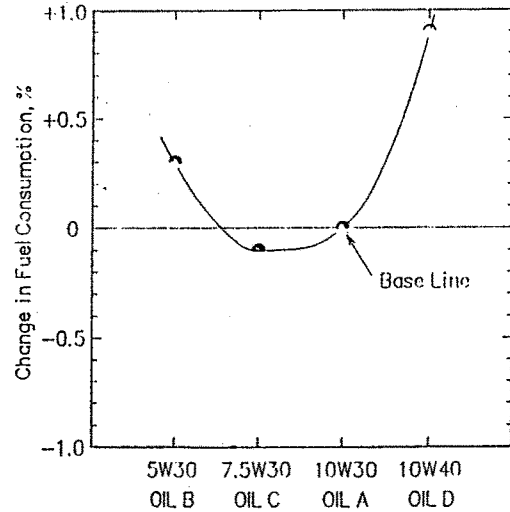


Fig.3 Change in fuel consumption with viscosity grade(Stop-and-go operation mode)

3.2 마찰저감제의 효과

엔진오일에 의한 연비절감 방법으로서 저점도화 외에 마찰저감제의 첨가가 있다. 마찰저감제는 고유온 및 저속 운전시의 연비절감에 특히 효과적인데,¹⁰⁾ 유체유흥 상태에 있는 엔진내의 유흥부위에서는 그 효과를 기대하기 어려우나 피스톤링과 라이너 및 밸브계통 등의 경계유흥 및 혼합유흥상태에 있게 되는 부위에서는 상당한 효과를 기대할 수 있다.

본 시험에서는 10W30급인 오일A를 선택하여 4종류의 마찰저감제의 첨가에 의한 효과를 조사하였다. 시료유의 조성은 Table 2에 나타난 바와 같다. 실험은 Table 6에 기술한 조건으로 일정 온도에서 하중을 50, 100, 200N으로 변화시키며 왕복동 마찰시험을 실시하였다. 또한, 발전지모드의 엔진동력계 시험(시험조건: Table 3)을 실시하여 그 결과와 왕복동 마찰시험에서의 결과와 비교 및 검토한다.

Fig.4는 마찰저감제가 첨가된 각 시료유에 대하여 실시한 왕복동 마찰시험에서의 마찰계수 변화율을 나타낸 것이다. 지방산아민형 마찰저감제를 첨가한 오일A1의 경우, 저하중(50N)에서 13%의 마찰감소 효과를 나타내나, 100N 및 200N의 중하중 및 고하중에서는 마찰저감효과가 없어지며 마찰계수가 약간 증가한다. 한편 여타 마찰저감제 첨가오일의 경우 저하중 및 중하중 영역(50N, 100N)에서는 마찰저감 효과가 나타나지 않으나 고하중(200N)에서 우수한 효과를 보인다. 특히, 인산에스테르계 마찰저감제를 첨가한 오일A2는 200N의 하중에서 22%의 마찰저감 효과를 주고 있다.

위와 동일한 실험에서 얻은 마멸량의 측정 결과를 Fig.5에 나타낸다. 하중의 증가에 따라 마멸량도 따라서 증가되는 일반적인 경향을 가진다. 50N, 100N의 저하중 및 중하중에서는 MoDTC를 제외한 3종류의 마찰저감제의 첨가에 의한 마멸량의 변화는 매우 미미하나, MoDTC를 첨가한 오일A4는 하중 100N에서의 마멸량이 오일A에 비하여 약 40%가 증가되어 마멸방지성에 악영향을 주는 것을 알 수 있다. 그리고 하중 200N의 조건에서는 우수한 마찰저감 효과를 주었던 오

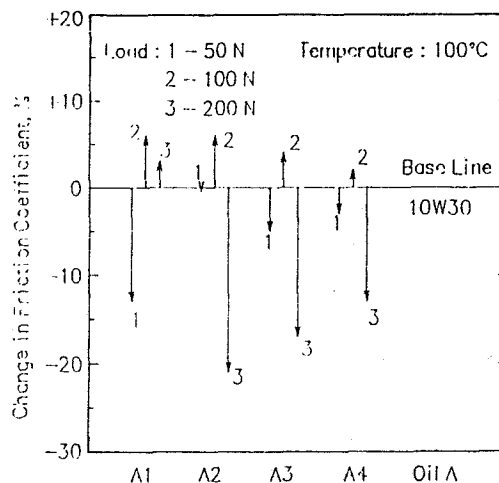


Fig.4 Change in friction with the addition of friction modifiers(SRV machine test)

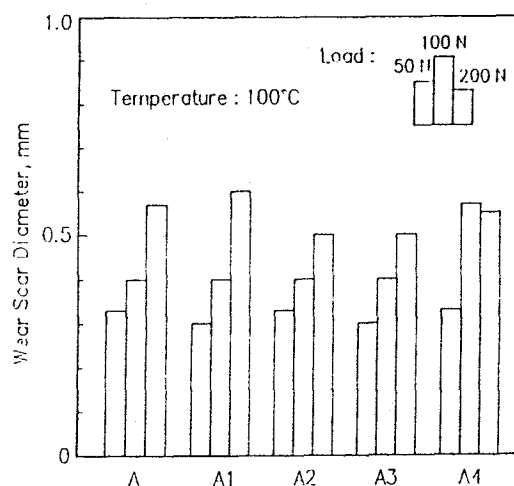


Fig.5 Change in wear with the addition of friction modifiers(SRV machine test)

일A2, A3가 마멸량도 약간 적으며, 오일A1, A4의 경우에는 마멸량에 큰 변화가 없다.

지금까지의 결과는 다음과 같이 정리될 수 있다. 즉, 지방산아민형 마찰저감제는 저하중 영역에서 마찰저감 효과가 특히 우수하나 하중의 증가와 함께 그 효과가 사라지며, 마멸방지성에는 영향을 주지 않는다. 이는 지방산아민형 마찰저감제의 작용이 마찰면의 물리화학적 흡착에 의하기 때문에 저하중에서 유지되었던 표면 흡

착막이 고하중에 의하여 파괴되어 마찰저감 효과가 없어지기 때문이다.²⁰⁾ 또한, 마멸방지성의 영향이 없는 것은 흡착작용만 있고 마찰표면에서의 분해 및 반응성이 없기 때문이다. 반대로, 이황화몰리덴 및 인산에스테르형 마찰저감제는 저하중 영역에서의 효과는 없으나, 고하중 영역에서의 마찰저감 효과가 매우 우수함과 동시에 마멸의 저감작용도 가지고 있다. 또한, MoDTC는 고하중 영역에서의 마찰 저감작용이 인정되나 마멸량도 증가시킨다. 지방산아민을 제외한 3종류의 마찰저감제는 마찰면에서의 분해 및 보호막 형성 등의 반응을 수반하여 마찰저감 작용을 하기 때문에 반응이 일어나기 쉬운 고하중영역에서 마찰저감 효과가 있으며 이때 발생하는 반응생성물의 영향으로 마멸량을 감소시키거나(인산에스테르), 증가시킨다(MoDTC).⁴⁾

엔진동력계를 이용하여 발전정지형 모드(시험 조건 : Table 3)로 수행한 연비시험 결과는 Fig6에 보인다. 오일A, A1, A2, A3, A4는 모두 같은 점도의 오일이므로 엔진시험에 있어서의 점도에 의한 영향은 배제되고 마찰 저감제에 의한 영향만을 평가할 수 있다. Fig6에 나타내듯이 지방산아민형 마찰저감제 첨가유인 오일A1이 가장

우수하여 0.7%의 연료소비량 감소효과가 있다. 몰리브덴계 첨가제를 함유한 오일A3, A4는 똑같이 0.4%의 연비저감 효과를 가지며, 인산에스테르계 첨가제의 첨가유인 오일A2는 연비향상 효과가 없다.

또한, 점도등급을 7.5W30으로 저점도화하고 동시에 지방산아민형 마찰저감제를 첨가한 오일C1은 오일A에 비하여 1.0%의 연비향상 효과를 나타내어 조사한 오일중 가장 우수한 성능을 가진다. 같은 마찰저감제를 첨가한 오일A1의 오일A 대비 연비저감률이 0.7%인 반면, 오일C1의 오일C 대비 연비향상률은 0.9%로 상대적으로 후자에서의 첨가 효과가 우수한 것은 점도등급의 차이에 기인되는 것으로 생각된다. 즉, 10W30으로부터 7.5W30으로 저점도화됨에 따라 유체윤활 영역에서의 마찰손실 및 교반손실이 감소되는 반면, 금속접촉이 증가되는 경계윤활 영역의 엔진 접동부위가 늘어나게 되는데 이러한 부위에서의 마찰저감제에 의한 작용이 활발히 일어나기 때문에 저점도 등급(즉, 7.5W30)에서의 마찰저감 효과가 좋아진다.

Fig7은 왕복동 마찰시험에서의 마찰계수와 발전정지형 엔진시험에서의 연비향상률 사이의 관

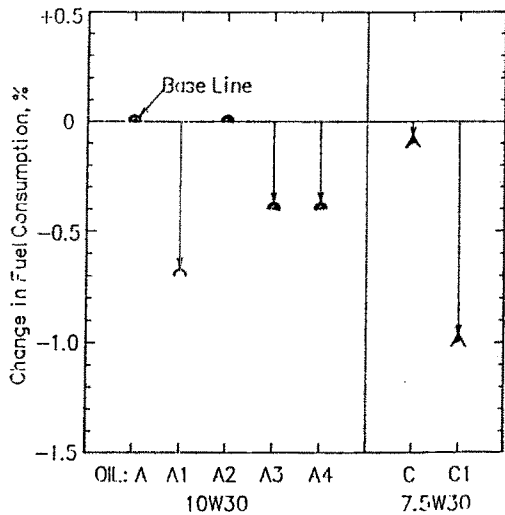


Fig.6 Change in fuel consumption with the addition of friction modifiers(Stop-and-go operation mode)

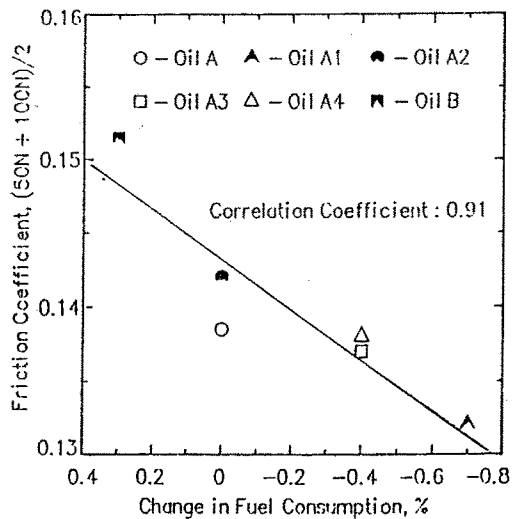


Fig.7 Correlation between friction coefficient and change in fuel consumption

계를 보인 것이다. 마찰계수는 하중 50N과 100 N에서의 평균값인데, 엔진시험에서의 연비향상률과 좋은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이는 점도효과를 제외한 급속접촉에 의한 마찰손실을 마찰시험기를 사용하여 측정함으로써 엔진에서의 연비변화가 예측 가능하다는 것을 의미한다.

3.3 저연비엔진유의 성능

점도등급의 최적화 및 마찰저감제의 첨가에 관한 연구를 통하여 점도등급을 저점도화 및 최적화하여 7.5W30급으로 함과 동시에 마찰저감 성능이 우수하고 마멸방지성에도 영향을 주지 않는 지방산아민형 마찰저감제를 첨가하는 엔진오일을 개발하였다. Fig.8에 그 결과를 나타내듯이, 엔진동력계 시험에서 기준유(오일A) 대비 1.0%의 연비향상 효과가 있으며, 공인시험법인 EPA FTP 75모드¹⁰⁾의 새시동력계 시험에서도 1.4%의 향상 효과를 확인하였다.

또한, 본개발 엔진오일을 사용한 엔진 및 차량 내구시험 그리고 실차시험을 완료하고 상업화 단계에 있다.

4. 결 론

엔진오일의 연비성능을 점도의 최적화 및 마찰저감제의 첨가를 통하여 향상시키기 위하여, 엔진동력계 시험, 실차시험, 새시동력계 시험 및 왕복동 마찰시험 등을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지방산아민형 마찰저감제를 첨가한 점도등급 7.5W30의 연비절감형 엔진유를 개발하였다.
- 2) 새시동력계 시험 및 엔진동력계 시험에서 10W30인 기준오일에 비교하여 각각 1.4% 및 1.0%의 저연비화가 가능하였다.
- 3) 시험한 시료유종 조사한 모든 운전모드에서 연비성능이 우수한 최적의 점도등급은 7.5W30이다.
- 4) 마찰저감제의 첨가효과는 그 종류 및 엔진유의 점도등급 그리고 시험하중에 따라 다르다.
- 5) 왕복동식 마찰시험에서의 마찰계수와 엔진에서의 연비사이에는 상관관계가 있다.

참 고 문 헌

1. 松本榮一, 엔진의低燃費化, 第37回 트라이ボ로지-先端講座, 日本潤滑學會, pp.17-32, 1992.
2. 문우식, 가솔린엔진의 저연비화를 위한 엔진유의 기술적 과제, 대한기계학회지, 제32권, 11호, pp.927-937, 1992.
3. O.Pinkus and D.F.Wilcock, The Role of Tribology in Energy Conservation, Lubrication Engineering, Vol.34, No.8, pp.599-610, 1978.
4. C.Y.Tung, S.K.Hsieh, G.S.Huang and L.Kuo, Determination of Friction Reducing and Antiwear Characteristics of Lubricating Engine Oils Compounded with Friction Modifiers, Lubrication Engineering, Vol. 44, No. 10, pp.856-865, 1987.
5. T.Yoshioka and S.Yoshida, Performance Characteristics of Fuel Efficient Motor Oil, トヨタ技術, Vol.33, No.2, pp.242-251, 1983.

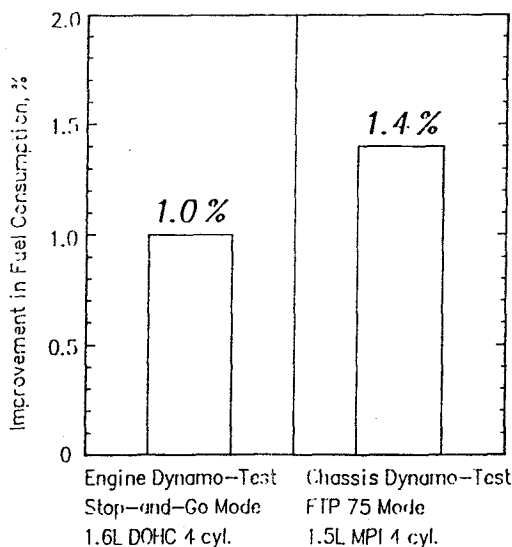


Fig.8 Improvement in fuel consumption with a fuel efficient engine oil

6. J.G.Damrath and A.G.Papay, Fuel Economy Factors in Lubricants, SAE Paper 821226, 1982.
7. H. Hamaguchi, Y.Maeda and T.Maeda, Fuel Efficient Motor Oil for Japanese Passenger Cars, SAE Paper 810316, 1981.
8. M. Hoshi, Current Status and Future Trend of Tribology in Automobile Industry, 自動車技術, Vol.45, No.4, pp.6-12, 1991.
9. K.Hamai, Friction Reducing Technology for Improving Fuel Consumption of I.C. Engine, 自動車技術, Vol.45, No.4, pp.39-46, 1991.
10. C.A.Passut and R.E.Kollman, Laboratory Techniques for Evaluation of Engine Oil effects on Fuel Economy, SAE Paper 780601, 1978.
11. W.B.Chamberlin and I.D.Sannders, Screening Tests Used for Developing Fuel-Efficient Engine Oils, Lubrication engineering, Vol.36, No.2, pp.69-80, 1979.
12. D.H.Heath, J.G.Brown, G.R.Farnsworth, R.J. Patrick and T.L.Zahalka, ASTM's Development of the Sequence VI Fuel Efficient Engine Oil Dynamometer Test, SAE Paper 872120, 1987.
13. J.E.Clevenger, D.C.Carlson and W.M.Kleiser, The Effects of Engine Oil Viscosity and Composition on Fuel Economy, SAE Paper 841389, 1984.
14. S.Kennedy and L.D.Moore, Additive Effects on Lubricant Fuel Economy, SAE Paper 872121, 1987.
15. J.B.Retzloff, B.T.Davis, M.E.Gluckstein and J.M. Pietras, Fuel Economy Benefits from Modified Crankcase Lubricants, Lubrication Engineering, Vol.35, No.10, pp.568-576, 1979.
16. L.K.Kuo, S.T.Chang, S.K.Hsieh, C.Y.Chu and C.Y.Tung, Fuel Economy Engine Oils via Friction Modifier, Lubrication Engineering, Vol.45, No.2, pp.81-90, 1988.
17. 문우식, 마찰저감제의 마찰특성에 관한 실험적 연구, 한국윤활학회지, 제8권, 2호, pp.7-13, 1992.
18. Environmental Protection Agency, Fuel Economy Test Procedures, 40 CFR Part 600[AMS-FRL-2839-5B], 1985.
19. T.W.Bates, Oil Rheology and Journal Bearing Performance : Review, Lubrication Science, Vol.2, No.2, pp.157-176, 1990.
20. 櫻井俊男, 新版石油製品添加劑, 辛書房, 1986.