

# 디젤엔진 오일의 제조 및 성능 평가

김영운 • 정근우 • 조원오 • 김종호 • 강석춘\*  
한국화학연구소 응용화학사업단 기능재료연구센터  
\* 수원대학교 기계공학과

## Preparation and Field Test of Diesel Engine Oil

Young-Wun Kim • Keunwo Chung • Wonoh Cho • Jong-Ho Kim  
Suck-Choon Kang\*

Appl. Chem. & Eng. Div., Korea Research Institute of Chemical Technology, Yuseong, Taejeon 305-606, Korea

\* Dept. of Mech. Eng., Suwon University, San 2-2 Wawoo Ri, Bong-Dang Myeon, Hwasung Gun, Kyeong-Ki Do 445-743, Korea

**Abstract** - A diesel engine oil which was formulated and a commercial diesel engine oil (API CG-4) made from same base oil were tested by car and analyzed of their physical, chemical and mechanical properties. The tested oil to be analyzed were sampled from engine every 1000 km until 8000 km and determined the kinematic viscosity, TAN, TBN, metal content in oil, additive depletion, antiwear property and IR analysis.

From the study, both the tested oils were almost same properties for the change of TAN and TBN, but the change of kinematic viscosity of formulated oil was slightly higher than that of commercial oil. But the concentration of metal in the formulated oil, especially iron, were increased much less during test. The iron content of the commercial oil was increase rapidly from 7000 km while the formulated oil was still low. These results were conformed by the antiwear test by 4-ball wear test machine for the samples. Also for the commercial oil, the depletion factor of the Zn-DTP which was added as an antiwear property was not change any more after 7000 km. But the formulated oil was change continuously until 8000 km, which mean that the ability of wear protection of the sliding parts exists for the formulated oil.

With the results which were analyzed of the properties of oils by field test, it was found that the commercial oil could be used only within 7000 km, but the formulated oil can use more than 8000 km without severe wear of the sliding parts in the diesel engine.

**Key word** - Diesel Engine Oil, Field Test, Kinematic Viscosity, TAN, TBN, Metal Content, Additive Depletion, Antiwear Property

### 1. 서 론

최근에 국내에서는 연료의 가격 차별화로 인하여 디젤 승용차가 급격히 증가하는 고출력을 요하는 대형 디젤차량의 증가로 인하여 디젤엔진 오일의 수요가 급증하는 추세로 고성능 디젤엔진 오일의 고급화에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나, 국내 오일의 제조업체들은 주로 외국의 기술에 의한 생산 및 판매에 의존하고 있어서 제조기술의 국산화는 기술자립

과 산업발전의 측면에서 시급한 실정이다. 최근의 연구경향은 오일의 고온 열안정성에 관한 연구가 대부분을 이루고 있으며 실험실적 평가 방법과 실차 시험과의 상관 관계에 많은 관심을 보이고 있다. 고온 열 안정성에 관한 실험실적 평가 방법으로는 RBOT (Rotating Bomb Oxidation Test)[1], TFOUT (Thin Film Oxygen Uptake Test)[2], Penn State Microoxidation Test[3], Hot Tube Oxidation Test[4], PDSC Test[5]등이 있으나 재현성

과 실제 엔진시험과의 상관관계가 낮은 것 등의 문제점이 제기되고 있다. 국내에서는 혼련 기술의 부족으로 디젤엔진 오일에 관한 논문은 거의 발표되지 않고 있으며 일부 연구소나 대학에서 첨가제에 따른 내마모성, 오일소모 또는 경계윤활특성에 관한 연구가 시도되고 있을 뿐이다[6-9]. 특히 고온 열안정성의 평가에 관한 연구나 이 결과와 엔진실험과의 상관된 연구는 전무한 상태이다.

본 연구에서는 고성능 디젤엔진 오일의 실차시험에 의한 기계적 성질을 평가 분석함으로써 국내에서의 혼련기술개발과 개발된 오일을 실용화하기 위한 오일의 성능해석을 하였다. 또한, API 성능 인증을 받고 시판중인 상용엔진오일(A사 CG-4 급, 10W-40 디젤엔진 오일 : 시판유)의 기유와 같은 기유를 사용하여 동급으로 혼련한 오일 (개발유)과의 성질을 상대적으로 비교하면서 성능을 분석하였다. 비교된 성질은 물리적 성질로 점도의 변화, 오일에 함유된 금속성분을, 화학적 성질로 전산가와 전알카리가등이 있고, 기계적성질로 오일의 내마모성과 마찰계수특성을 포함하고 있다.

## 2. 실험

### 2-1. 사용 엔진오일

실차시험에 사용한 디젤엔진 오일의 기본적인 물성은 표 1 과 같았다.

### 2-2. 실차시험 조건

실차시험은 K사의 봉고승합차를 사용하였으며 주행거리가 24,824 km 인 상태에서 디젤엔진 오일의 실차시험을 행하였다. 시험오일의 주입 방법은 기존에 사용하던 오일을 빼내고 시험오일을 일정량 주입한 다음 충분히 엔진을 공회전 시키면서 flushing 한 후 오일을 다시 빼내고 실험용 새오일을 2,600 cc 정량으로 주입하고 오일의 여과기를 교환하였으며 실차 주행시험을 시작하였다.

오일은 매 1000 km 주행시 마다 60 cc 씩 채취하였으며 총 7 회의 분석용 오일 샘플링을 한 경우에도 엔진 오일의 수준에 “low” 위치를 유지하도록 하였으므로

오일 샘플의 채취후에 별도로 보충은 하지 않았다. 오일의 사용 조건은 도심과 고속도로를 주행하였기 때문에 심한 운행 조건은 아닌 편이고, 또 시험 기간도 총 40 일 정도로(1000km 당 약 5 일) 비교적 짧은 기간에 주행 시험이 이루어지도록 하였다.

### 2-3. 사용유의 분석

실차시험을 한 다음에 사용된 엔진오일의 분석은 우선 물리적 성질로 40 °C 에서의 동점도 분석과 검댕(soot)함량, 산화정도(oxidation level), ZDTP Depletion factor 및 분광분석기에 의한 오일속에 함유된 금속들의 성분농도를 분석하였다. 또 화학적인 성질로 전산가(TAN)와 전알카리가(TBN)를 측정하였고 주행에 따른 변화를 새 오일의 성질과 비교하였다. 사용유의 샘플링에 의한 엔진속의 오일 잔류량이 점진적으로 감소하므로써 엔진 오일의 성질 변화가 가속화되는 경향이 있을 것으로 판단되지만, 같은 양을 유지하기 위하여 새 오일을 보충하므로써 일어날 수 있는 오일의 성질 변화 보다는 적을 것으로 추측하고 실험을 계획하였다. 오일이 기능중에 마찰면에서 금속이 마모되어 오일 필터에 여과되지 않고 오일속에 잔류되어 있는 금속의 농도는 ppm 단위로 분석하였다.

### 2-4. 사용유의 4-Ball 마찰시험

사용유의 기계적 물성시험을 위해 Cameron-Plint 사의 4-Ball 시험기로 마찰 시험을 실시하였다. 시험은 ASTM D 2266 을 표준시험으로 하였고 그 조건은 다음과 같다.

회전수 : 1200 ± 5 rpm

오일온도 : 75 ± 2 °C

하중 : 40 kgf

시험시간 : 60 분

시험용 볼 : SKF 사의 표준 볼베어링

### 3. 결과 및 토론

#### 3-1. 사용유의 점도변화

시험오일의 40 °C 에서 동점도를 측정 한 결과를 그림 1 에 나타내었다. 그림 1 에 서 보는 바와 같이, 시판유의 동점도는 초기의 98.42 cSt 에서 처음 1000 km 의 주행 후 에 94.00 cSt 로 초기 값에 비해 약 5 % 감소하였다. 2000 km 주행 후 더 감소하여 최소치가 되었다가 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 증가율은 거의 선형을 유지 하며 7000 km 의 주행에서 최대값을 가지 면서 새 오일의 점도 수준에까지 증가하 다가 7000 km 를 주행한 다음에 다시 감소 하는 경향을 보이고 있다. 그러나, 개발 유의 경우에는 새 오일의 점도가 95.93 cSt 로써 시판유보다 약간 작으나 차량의 주 행거리가 증가함에 따라 증가율은 더 높 은 증가율로 증가하고 5000km 부터는 증 가율이 더 커져서 처음 오일보다 거의 20 %정도가 증가하였다. 따라서, 개발유 의 점도 증가율이 너무 큰 경향이 있음을 보여주고 있다. 개발유와 시판유를 제조 하는데 사용한 기유는 같은 종류를 사용 하였으나 점도 변화에서 개발유의 경우에 오일의 사용한계로 보는 최소치인 25 %에 는 미치지 않지만, 거의 사용 한계수준에 까지 접근하는 경향을 보이고 있다.

일반적으로 오일을 엔진에 주입한 후 주행 초기에 점도가 일시적으로 감소하는 현상은 어느 경우에서나 같이 나타나고 이것은 오일을 구성하고 있는 탄화수소 분자나 첨가제들이 엔진 작동중에 열을 받아서 상호간에 화학반응을 하고 있는 것으로 설명된다. 그 결과로, 처음 2000km 의 주행까지 감소하였다가 그 다음에는 분자량이 작은 탄화수소가 증발하 여 빠져나가게 되고 엔진의 blowby-gas, 미 연소 연료의 응축, 연소 중에 생성되는 불 완전 연소 생성물인 탄소의 퇴적 등에 의 한 영향으로 다시 점도가 증가하는 것으 로 생각된다.

#### 3-2. 사용유의 전산가(TAN) 변화

그림 1 에 주행거리에 따른 오일의 산 화정도를 나타내는 전산가 변화를 보여주

고 있다. 시판 오일의 전산가가 사용 전에는 2.90 mgKOH/g 이었으나, 처음 1000 km 의 주행에서 4.13 mgKOH/g 로 증가하였고 그 다음부터는 거의 같은 값을 유지하다가 마지막 단계인 7,000 km 이 후에 다시 약간 감소하였음을 보여주고 있다. 그러나 개발 오일의 경우에는 사 용 전에 3.02 mgKOH/g 이었던 것이 초기 에 약간 (0.3 mgKOH/g 정도)만 증가하고 8000km 시험이 종료될 때까지 변화없이 유지되고 있어서 전산가가 매우 안정된 상태임을 알 수 있다.

따라서, 시험 오일의 사용에 따른 전 산가 변화에서 개발유가 시판유보다 매 우 안정되어 있으므로 산화안정성이 더 우수하였다. 그러나, 초기의 사용에서 전산가의 증가는 비록 시험 오일로 flushing 을 해 주었으나 그래도 새 오일 의 주입시에 엔진 속에 잔류한 오일의 영향을 받은 것으로 판단되고 오일의 산 화 안정성이 우수 하기 때문에 2000km 주행 이후부터는 오일의 산화가 심하지 않은 것을 나타내고 있다. 또 시판유의 경우에 마지막 7000km 에서 8000km 의 시험에서 약간 감소한 것은 앞의 동점도 감소와 함께 오일의 산화 등 화학작용이 활발해진 것으로 판단된다.

#### 3-3. 사용유의 전알카라가(TBN) 변화

엔진 오일은 사용함에 따라 전산가와 함 께 전알카라가가 변한다. 시판유와 개 발유의 주행거리에 따른 오일의 전알카 라가 변화는 그림 1 과 같다. 시판유의 경우에 처음 4000km 까지는 점진적으로 증가하다가 5000km 부터는 감소하고 6000km 에서 최소가 되었다가 다시 증가 하였다. 개발유는 감소와 증가가 매우 불규칙적으로 이루어져서 일정한 경향을 보이지 않는다. 보통 전산가와 같이 변 화의 한계를 1.5 정도로 하고 있으므로 사용 중에 한계를 벗어나지 않음을 알 수 있다. 전알카라가의 변화 경향이 일 정하지 않은 것은 다른 오일의 수명 시 험에서도 마찬가지로써 결과를 분석하 기 쉽지 않은 물성으로써 본 시험에서도 일정한 경향을 나타내지 않음을 보여주

고 있다.

### 3-4. 사용유의 금속농도 변화

엔진 오일의 기능으로 가장 중요한 성질은 상대운동면의 마모를 감소시키고 아울러 마찰을 최소화 하는 것이다. 그러나 마찰의 크기는 에너지의 효율에 영향을 주고 마모의 증가를 유발하지만 기계의 수명이나 생산 효율에는 마모보다 적게 영향을 미치는 반면에 금속의 마모는 상대운동 중에 고체, 특히 금속의 크기 변화에 영향을 주고 그에 따른 기계의 고장과 수명 및 제품성능에 직접적인 관련을 갖고 있다. 따라서, 윤활중에 금속의 마모 경향을 파악하는 것은 매우 중요하고 또 오일의 성능에 중요한 인자로 되어 있다. 특히 금속의 성분분석은 최근에 SOAP (spectrometric oil analysis) 방식으로 분석하므로써 ppm 단위에 의한 정량화가 가능하여 매우 확실한 비교가 가능하다.

#### 3-4-1. 철(Fe) 농도 변화

사용유속에 포함되어 있는 철의 농도를 주행거리에 따라 분석한 결과를 표 2에 나타내었다. 시판유의 경우에 오일의 사용 초기에서부터 금속농도가 7000 km까지 거의 직선으로 증가하다가 7000 km에서부터 다소 높은 증가율로 증가하고 있음을 보여준다. 그러나, 개발유의 경우에 철의 농도는 1000 km 주행부터 시판유보다 약 4 ppm 정도 적은 농도에서 시작하여 낮은 증가율을 유지하면서 계속 같은 비율로 시험 종료까지 증가하고 8000 km에서는 약 28.6 ppm의 차이를 나타내고 있다. 따라서, 사용유속에 금속의 함유 농도중에서 가장 관심을 갖는 철의 농도의 증가는 개발유의 경우가 시판유보다 상대적으로 적고 낮은 증가율을 보이므로써 개발유의 내마모성 특히 철에 대한 내마모성이 시판유보다 우수한 것을 알 수 있다.

오일의 내마모성은 오일의 수명이나 마찰면의 이상 정도를 나타내기 때문에 매우 중요하다. 본 연구에서는 시판유의 철에 대한 오일의 내마모성의 수명을 대략 7000 km 정도로 판단할 수 있고 만약 이

이상으로 주행을 계속하게 되면 오일이 윤활작용을 하는 마찰금속중의 철에 대한 마모가 가속적으로 이루어질 것으로 예측된다. 또 이 결과는 오일의 물성 변화인 점도와 전산가의 변화에 대한 관련성도 함께 존재함을 알 수 있다. 즉 전산가의 증가, 점도의 증가 및 철의 농도 증가가 7000 km에서 동시에 일어나므로 오일의 물성이 금속의 마모와 연관을 갖는 것으로 생각된다.

#### 3-4-2. 철을 제외한 다른 금속의 농도 변화

표 2에서 철을 제외한 다른 주요 금속의 농도 변화를 살펴 보면, 먼저 주행 거리에 따라 알루미늄(Al)의 농도 변화는 주행 초기에는 시판유의 알루미늄 농도의 증가가 크지만 개발유는 사용의 중간에 증가율이 점차 커져서 8000 km 주행에서는 두 오일이 큰 차이가 없다.

시험유에 함유된 크롬(Cr)의 농도는 오일의 주행 초기에는 시판유의 농도가 개발유보다 크게 나타났으나 7000 km 이상에서는 개발유의 경우가 더 높은 농도를 보이고 있어서 오일의 사용정도가 커질수록 크롬에 대한 내마모성에서 개발유의 경우가 더 많이 감소하고 있는 것으로 나타나고 있다. 크롬은 주로 피스톤링에 포함되어 있으므로 링의 마모에 오일의 내마모성이 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 피스톤 링의 내마모성은 오일의 극압 첨가제에 의한 보호 피막 생성과 이들의 마모에 관련이 많은 것으로 알려져 있으므로 관심을 가질 필요가 있다.

사용유에 함유된 구리(Cu)의 농도는 주행 초기에는 개발유가 내마모성에서 우수하지만 주행거리가 증가할수록 시판유와의 차이가 감소해지고 있다. 따라서 오일의 내마모 성질은 사용 초기와 사용 정도가 많은 경우에 약간씩 차이가 생기고 있음을 보여주고 있다.

사용유속에 포함되어 납(Pb)의 농도는 일정한 경향을 갖지는 않으나 전반적으로 시판유의 경우에 납의 함유량이 많고 특히 7000 km 이상에서 급격히 증가하고

있음을 보여주고 있으나 개발유의 경우는 8000 km 까지 주행하는 동안에 농도의 증가 정도가 거의 나타나지 않을 정도로 변화가 적음을 알 수 있다. 따라서, 주행거리가 커질수록 두 오일 사이에 납의 농도의 차이는 증가하였고 시판유에서는 역시 7000 km 에서 철의 농도와 같은 증가 경향을 갖는 것이 특징이다.

실리콘 (Si)의 농도변화는 주행 초기에는 시판유에서 높게 나타났으나 사용하면서 개발유의 증가율이 많아지면서 농도의 차이는 감소하고 8000 km 수준에서는 상대적인 차이가 적음을 보여준다.

### 3-5. 사용유의 IR 분석[10]

#### 3-5-1. 오일의 ZDTP 고갈계수 (depletion factor)의 변화

엔진오일의 내마모첨가제로 첨가한 ZDTP 는 엔진 피스톤링 등의 마찰작용에 의하여 마찰면의 마모를 억제하면서 오일과 첨가제 구성 분자의 기본 구조를 점차 잃어버리게 된다. 본 연구에서는 내마모 첨가제인 ZDTP 의 기본성질을 잃어버리는 경향을 알아보기 위하여 사용유를 IR 로 분석하므로써 주행에 따른 ZDTP 의 잔존 정도를 비교분석하였다. 표 3 은 시판유와 개발유에 대해 오일의 사용에 따른 ZDTP 의 고갈정도를 비교한 것이다. 시판유의 경우에 오일 속의 ZDTP 고갈 정도는 주行的 초기부터 고갈 정도가 현저히 나타나고 주행 중에 선형적으로 일정한 비율을 유지하다가 7000 km 에서부터 감소 정도가 더 이상 계속되지 않고 다음 단계인 8000 km 의 경우와 같은 수준을 유지한다. 그러나, 개발유의 경우에는 감소율이 계속 되어 주행거리가 8000 km 에서도 계속 감소되고 있다. 이와 같은 현상은 시판유와는 다른 현상으로 개발유의 경우에 ZDTP 가 시험 범위에서도 아직 완전히 고갈되지 않고 급속의 내마모 기능을 계속 수행하고 있음을 의미한다. 즉, ZDTP 고갈 정도 결과는 표 2 의 철농도 변화에서의 결과와 같은 현상을 보이고 있다. 따라서 개발유는 시험 주행거리 내에서 내마모 방지제인 ZDTP 가 내마모 기능을 계속 수행하지만 시판유는 ZDTP 가 내마모

기능을 상실하였기 때문에 시판유의 철농도 변화는 7000 km 에서 8000 km 로 주행하면서 농도의 급격한 증가를 보여준 반면, 개발유의 철농도는 주행하면서 증가율의 변화가 거의 없는 것으로 설명이 된다. 만약 오일의 내마모 기능을 주행 중에 계속해서 유지하기 위해서는 사용 중에 오일속의 주요 내마모 방지제인 ZDTP 의 고갈현상이 계속 감소하여야 한다. 이러한 관점에서 보면 시판유보다 개발유의 내마모 성질이 우수하며 사용 주행거리 즉 수명을 더 길게 할 수 있음을 입증하고 있다.

#### 3-5-2. 사용유의 상대적 검댕농도, 산화도, 및 황화염 변화

표 3 에 시판유의 실차 주행 후 사용유의 주행거리에 따른상대적 검댕 농도, 산화도, 및 황화염 변화등의 IR 분석 결과를 나타내었다. 오일을 검게하고 마모에 영향을 미치는 상대적인 검댕농도 (A/0.1mm)는 시판유의 경우 1000 km 주행시 0.08 에서 8000 km 주행시 0.37 로 증가하였고 개발유의 경우는 0.00 에서 0.38 로 증가하여 시판유와 개발유의 차이는 관찰할 수 없었으나 주행거리가 증가함에 따라 엔진 오일의 열화에 의한 퇴적물이 현저히 증가함을 알 수 있었다. 산화정도 (A/0.1 mm)는 시판유의 경우 1000 km 주행시 0.05 에서 8000 km 주행시 0.10 로, 개발유의 경우 0.03 에서 0.05 로 증가하여 개발유가 산화안정성이 더 우수함을 알 수 있었다. 황화염 생성정도(Sulfate Level (A/0.1mm))는 각각 0.02 에서 0.09, 0.01 에서 0.10 로 증가하여 시판유 및 개발유의 차이는 없었으나 디젤연료의 연소에 의한 영향은 나타남을 알 수 있었다.

#### 3-5. 사용유의 4-Ball 마찰시험

오일이 사용되면서 변화하는 기계적 성질 중에서 중요한 내마모성의 변화를 관찰하기 위하여 4-ball 마모시험을 실시하였다. ASTM D2266 의 시험방법을 사용하여 행하였고 새 오일과 매 2000 km 주행 후 샘플링하여 마모 시험 후 마모직

경의 크기를 비교하였다.

그림 2은 시판유와 개발유에 대한 마모직경의 크기를 비교한 것으로 새 오일인 경우에 시판유의 마모 직경이 약간 크지만 2000 km의 주행 후에는 두 오일의 마모직경은 비슷하였다. 즉 시판유의 마모직경은 1000 km 주행 했을 때와 차이가 없었지만 개발유의 경우에는 마모직경의 크기가 1000 km보다 약간 증가하였다. 그러나 4000 km 주행 후에는 시판유의 마모직경은 증가하였으나 개발유의 경우에는 2000 km의 경우와 비슷하여 시판유는 젓차 내마모성이 감소하고 있음을 보여준다. 6000 km 주행 후에 마모직경은 시판유는 계속 증가하는 반면에 개발유는 변화없이 같은 수준을 유지하며 8000 km에서도 변화가 없으나 시판유는 계속 증가하여 내마모성의 감소가 계속 진행됨을 보여준다.

보통 엔진 오일은 사용에 따라 화학작용이 활발해지고 경우에 따라 내마모성이 향상되다가 오일에 포함된 첨가제가 고갈 되게 되면 내마모성이 감소하여 금속의 마모가 증대되는 것으로 알려져 있다[11]. 본 시험에서 시판유는 사용에 따른 내마모성의 향상은 거의 나타나지 않고 화학작용의 활성화에 의한 내마모성의 증가역제 기능으로 2000 km 정도 까지 새 오일의 경우와 같은 수준을 유지하였다. 그러나 개발유는 내마모성의 초기 증가 후에 첨가제의 화학작용이 2000 km 이후 활발해지면서 8000 km 까지 같은 성질을 유지하고 있음을 보여줌으로써 첨가제의 작용이 시판유 보다 매우 우수함을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 금속농도의 분석 결과인 표 2의 경향과 일치하여 그 원인을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

디젤엔진용 시판오일과 혼련한 개발오일에 대한 실차시험에서 사용에 따른 오일의 성능과 성질 변화를 분석 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고 점도지수(high VI)기유를 사용하여 혼련한 디젤엔진 오일의 실차시험 결과

시판유나 개발유 모두 시험한 주행 거리 내에서 기유의 점도변화나 전산가의 변화가 적게 일어나지만 개발유의 변화가 시판 오일보다는 더 많은 변화를 보여 주었다.

2. 시판용 오일의 내마모성은 7000 km부터 철 농도가 급격히 증가하고 있어서 내마모성이 더 이상 지속되지 못하고 있음을 보여 주지만, 개발유의 경우에는 8000 km까지 내마모성을 계속 유지하고 있음을 알 수 있었다. 또 전반적으로 오일의 사용에 따라 개발유의 철 함유농도가 시판유보다 적어서 개발유가 철에 대한 내마모 성질이 더 우수함을 보이고 이 경향은 4-ball 시험기에 의한 마모시험의 결과와 같이 나타났다. 다른 금속(Al, Cr, Cu, Pb)의 경우에 시판유는 주행 초기에 증가율이 크지만 개발유는 주행 후기부터 증가율이 시판유보다 크게 나타났다. 따라서 두 오일 사이에는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

3. 시판 오일의 오일에 함유된 금속의 농도나 증가율에서 시판유보다 내마모성은 비교적 우수한 것으로 나타났으나 점도나 전산가의 변화에서는 시판유의 성질이 제한된 범위내에서 개발유보다 우수한 성질이 있었다.

4. 동일한 기유를 사용하여 혼련한 개발유와 상용 디젤엔진 오일에서 첨가제에 따라 내마모성이 새 오일인 경우와 사용에 따라 그 정도가 달라지고 있음을 알 수 있었다. 두 오일중에서 개발유는 주행 초기에 내마모성이 감소하였다가 8000 km까지 큰 변화가 없었으나 시판유는 초기 사용에서 내마모성이 같은 수준을 유지하다가 계속 증가하면서 내마모성이 나빠지고 이 결과는 오일의 금속 성분 농도와 같은 경향임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. ASTM D-2272.
2. J. C. Wang, "Deposit Formation Tendency of Lubricants at High Temperatures", Lubrication Engineering, Vol. 51, No. 5, pp. 413-419, 1994.
3. V. Palekar, J. L. Duda, and E. E. Klaus, "Evaluation of High-Temperature Liquid Lubricants Using the Penn State Micro-Oxidation Test", Lubrication Engineering, Vol. 52, No. 4, pp. 327-334, 1995.
4. K. Chung, J. H. Kim, W. Cho, Y. -W. Kim, and J. Shim, "Evaluation of Oxidation Stability of Engine Oils by Hot Tube Test", Proceedings of JAST Tribology Conference Tokyo, May 1996, pp. 518-520.
5. J. Shim, W. Cho, and K. Chung, "Oxidation Stability of PAO Oils Determined by Differential Scanning Calorimetry", J. of KSTLE, Vol. 12, No. 1, pp. 36-41, 1996.
6. 강석춘, "4-ball 시험기와 패로그래피에 의한 자동차 엔진오일의 마찰 마모 특성에 관한 연구" 자동차 공학회 학술 논문 발표, pp. 126-140, April 1989.
7. V. C. Westcott, and W. W. Seifert, "Investigation of Iron Content of Lubricating Oil Using a Ferrography and an Emission Spectrometer", Wear, Vol. 23, pp. 239-249, 1973.
8. N. H. Jones, "Ferrography Applied to Diesel Engine Oil Analysis", Wear, Vol. 56, pp. 93-103, 1979.
9. 강석춘, 신성철, 김동길, 노장섭, "가솔린과 LPG 엔진오일의 사용에 따른 물리적, 화학적 성질의 변화에 관한 연구", J. of KSTLE, Vol. 10, No. 4, pp. 59-68, 1994.
10. J. R. Powell, and D. A. C. Compton, "Automated FTIR Spectrometry for Monitoring Hydrocarbon-Based Engine Oils", Lubrication Engineering, Vol. 49, No. 3, pp. 233-239, 1992.
11. 박미선, 조원오, 한두희, 강석춘, 김종호, "Zn-DTP 를 첨가한 광유와 합성유의 화학적 기계적 성질에 관한 연구", J. of KSTLE, Vol. 10, No. 1, pp. 78-88, 1994.

표 1. 시판유와 개발유의 기본물성비교

시료명		시판유	개발유	분석방법
분석항목	시료명			
동점도 (cSt)	40 °C	98.42	96.05	ASTM D 445, 2270
	100 °C	14.14	14.76	
점도지수		147	160	
유동점 (°C)		- 38	- 41	ASTM D 97
동판부식능		1 a	1 a	ASTM D 1743
녹방지능		Pass	Pass	ASTM D 1748
전염기가 (mgKOH/g)		10.5	11.2	ASTM D 2896
전산가 (mgKOH/g)		2.9	3.0	ASTM D 664
4-Ball Wear Test (mm, 40 kgf, 75 °C)		0.4270	0.3986	ASTM D 2266
Hot Tube Test (280 °C, 24 hr)	점도변화 (%)	- 16.9	- 26.4	MM 1540
	전산가 변화(%)	420	156	
	Tube 등급	8	6	
산화안정성 (160 °C, 72 hr)	점도변화 (%)	1.6	6.5	KSM 2021
	전산가 변화(%)	13.2	3.3	

표 2. 실차주행에 따른 시판유와 개발유에 존재하는 금속성분<sup>a</sup>

주행거리(km)	Fe (ppm)		Al (ppm)		Cr (ppm)		Cu (ppm)		Pb (ppm)		Si (ppm)	
	시판유	개발유	시판유	개발유	시판유	개발유	시판유	개발유	시판유	개발유	시판유	개발유
1000	13	8	2.1	1.6	0.9	0.4	1.0	0.3	6	2	7.4	4.5
2000	22	12	3.5	1.9	1.3	0.8	1.7	0.6	11	3	7.5	5.8
3000	30	18	3.7	2.3	2.0	1.4	1.8	0.9	13	3	8.0	6.4
4000	37	25	4.6	3.8	2.5	2.3	2.2	1.3	11	5	7.5	6.1
5000	48	35	5.9	4.8	3.1	3.0	2.5	1.8	14	4	8.4	7.2
6000	62	42	6.5	5.2	3.9	3.5	3.0	2.1	16	3	9.7	7.6
7000	67	48	6.6	5.4	4.1	4.0	3.0	2.3	16	4	9.0	7.6
8000	89	60	7.5	6.3	4.6	5.0	3.4	2.9	17	5	9.8	8.8

a. SOAP 분석에 의하여 분석함.

표 3. 사용유의 IR 분석 결과

주행거리(km)	ZDP Depletion Factor		Relative Soot (A/0.1mm)		Oxidation Level (A/0.1mm)		Sulfate Level (A/0.1mm)	
	시판유	개발유	시판유	개발유	시판유	개발유	시판유	개발유
1000	-11	0	0.08	0	0.05	0.03	0.01	< 0.01
2000	-15	-1	0.13	0.10	0.07	0.03	0.01	< 0.01
3000	-22	-19	0.18	0.14	0.08	0.03	0.02	0.02
4000	-32	-33	0.22	0.18	0.09	0.03	0.04	0.03
5000	-41	-40	0.28	0.23	0.10	0.04	0.05	0.05
6000	-58	-59	0.34	0.29	0.06	0.04	0.08	0.06
7000	-71	-70	0.36	0.32	0.07	0.05	0.08	0.07
8000	-72	-82	0.37	0.38	0.07	0.05	0.09	0.09



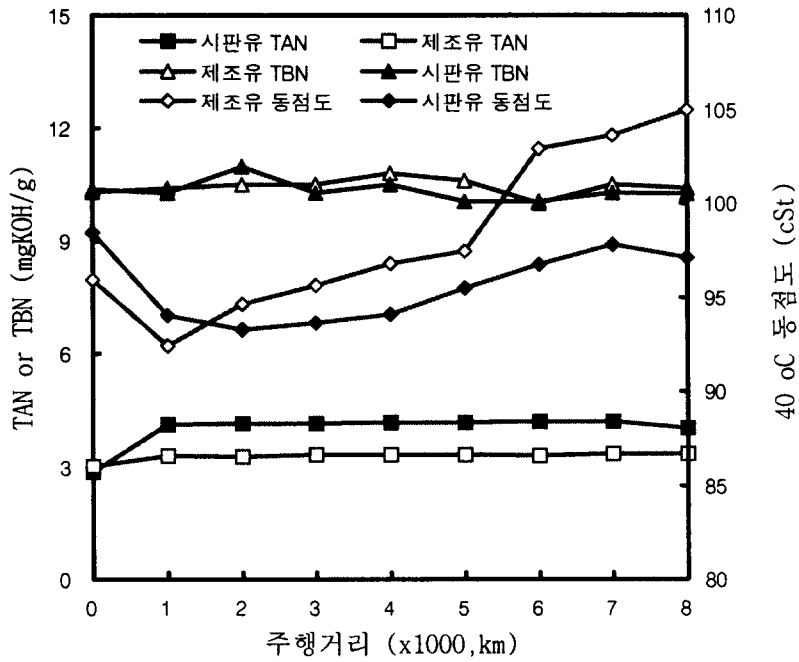


그림 1. 실차시험후 사용유의 기본 물성변화

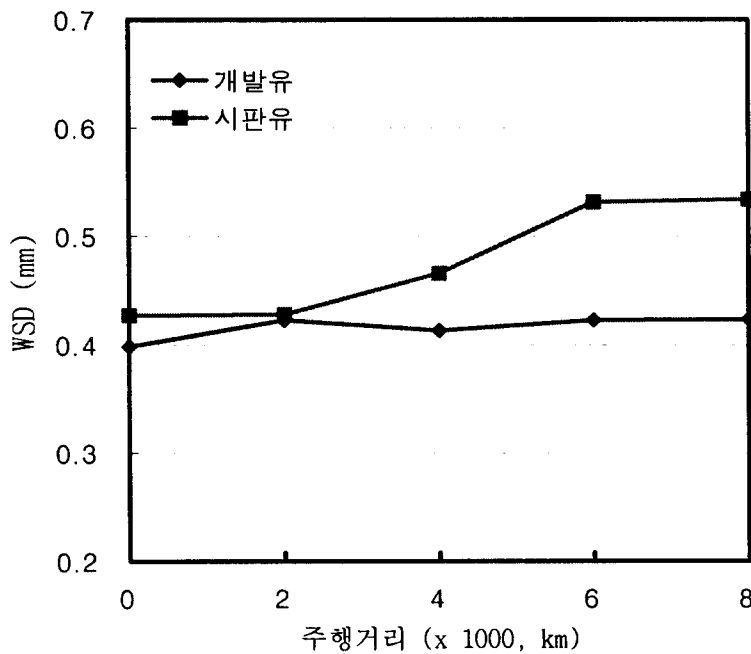


그림 2. 실차시험후 사용유의 4-Ball 마모시험 결과