

## 제조 디젤엔진 오일과 상업용 디젤엔진 오일의 실차시험 연구

### The Study on Field Test of the New Formulated and Commercial Diesel Engine Oils

김 영 운\*, 정 근 우\*, 강 석 춘\*\*  
Youngwun Kim, Keunwo Chung, Suckchoon Kang

#### ABSTRACT

A diesel engine oil formulated in KRICT and a commercial diesel engine oil (API CG-4) were tested by car and their Kinematic Viscosity, TAN, TBN, metal content, additive depletion, anti-wear property and IR analysis were analyzed. From the research, both of the tested oils had almost the 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. The iron content in the commercial oil increased rapidly from 7000 km while that of the formulated oil was still low. These results were confirmed by the anti-wear test with a 4-ball wear test machine for the each samples. Also, for the commercial oil, the depletion factor of the Zn-DTP which was added as an anti-wear property did not change any more after 7000 km. But, that of the formulated oil changed continuously to 8000 km, which means that the ability to prevent wear of the sliding pairs exists for the formulated oil.

From the analysis results of oil properties obtained by field test, it was found that the commercial oil could be used only within 7000 km, but the formulated oil could be used more than 8000 km without severe wear of the sliding parts in the diesel engine.

주요기술용어 : Diesel engine oil, Field test (실차시험), Metal contents (금속함유량), Additive depletion (첨가제 고갈), Antiwear property (내마모 성질)

#### Nomenclature

KV : kinematic viscosity, cSt  
VI : viscosity index  
TBN : total base number, mgKOH/g  
TAN : total acid number, mgKOH/g

WSD : wear scar diameter, mm  
ZDTP : zn-dialkyldithiophosphate

#### Subscripts

\* 회원, 한국화학연구소 응용화학부  
\*\* 회원, 수원대학교 기계공학부

C : commercial  
D : developed

## 1. 서론

최근에 국내에서는 연료의 가격 차등화로 인하여 디젤 승용차가 급격히 증가하고 있고 출력을 요하는 대형 디젤차량의 지속적인 증가로 인하여 디젤엔진 오일의 수요가 급증하고 고성능 디젤엔진 오일의 고급화에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나, 국내 오일 제조업체들은 주로 외국의 기술에 의한 생산 및 판매에 의존하고 있어서 제조기술의 국산화는 기술자립과 산업발전의 측면에서 시급한 실정이다. 최근의 디젤엔진 오일에 대한 연구경향은 고온 열안정성 및 마모능에 관한 연구가 대부분을 이루고 있으며 실험실적 평가 방법과 실차 시험과의 상관 관계에 많은 관심을 보이고 있다. 오일의 고온 열안정성 및 내마모성을 평가하기 위하여 TFOUT (Thin Film Oxygen Uptake Test), Penn State Microoxidation Test, Hot Tube Oxidation Test, PDSC Test 등의 방법을 이용하여 평가하였으나 재현성과 엔진시험과의 상관관계 등의 문제점이 제기되고 있다.<sup>1-8)</sup> 국내에서는 블렌딩 기술의 부족으로 디젤엔진 오일에 관한 논문은 거의 발표되지 않고 있으며 일부 연구소나 대학에서 첨가제에 따른 내마모성, 오일소모 또는 경계 윤활특성에 관한 연구가 시도되고 있을 뿐이다.<sup>9-11)</sup> 특히 고온 열안정성의 평가에 관한 연구나 이 결과와 엔진시험과의 상관된 연구는 전무한 상태이다.

본 연구에서는 고성능 디젤엔진 오일을 블렌딩하여 실차시험에 의한 사용유의 전반적인 성질을 평가 분석함으로써 성능해석을 하였다. 연구에서는 API 성능 인증을 받고 시판중인 상용엔진 오일(A사 CG-4급, 10W-40 디젤엔진 오일 : "C 오일"이라 칭하기로 함)과 혼련한 오일 ("D 오일"이라 칭하기로 함)의 물성을 상대적으로 비교하였다. 비교된 성질에는 물리적 성질로 점도의 변화, 오

일에 함유된 금속성분, 화학적 성질로 전산가(TAN, mgKOH/g)와 전알카리가(TBN, mgKOH/g), 기계적 성질로 내마모성과 마찰계수특성을 포함하고 있다.

## 2. 시험

### 2.1 시험 엔진오일

실차시험에 사용한 디젤엔진 오일의 기본적인 물성과 분석방법은 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of basic properties of used engine oil

Analytical Items	C Oil	D Oil	Analytical Methods
KV			
40 °C	98.42	96.05	ASTM D445, 2270
100 °C	14.14	14.76	
VI	147	160	
TBN	10.5	11.2	ASTM D2896
TAN	2.9	3.0	ASTM D664
Pourpoint (°C)	-38	-41	ASTM D97
Cu Corrosion	1a	1a	ASTM D1743
Rust Properties	Pass	Pass	ASTM D1748
4-Ball WSD <sup>1</sup>	0.4270	0.3986	ASTM D2266
Hot Tube test <sup>2</sup>			MM 1540
△ KV	-16.9	-26.4	
△ TAN	420	156	
Tube Grade	8	6	
Oxidation Stability <sup>3</sup>			
△ KV	1.6	6.5	KSM 2021
△ TAN	13	3	

1. Experiment condition : Wear Scar Diameter (mm) under 40kgf at 75 °C.
2. Experiment condition : Percent change (%) after 24h at 280 °C.
3. Experiment condition : Percent change (%) after 72 h at 160 °C.

### 2.2 실차시험 조건

실차시험은 K사의 봉고승합차 (2500 cc)를 사용하였으며 어느 정도 길들이기가 이루어진 주행거리가 25,000 km인 상태에서 실차시험을 행하였다. 시험오일의 주입 방법은

기존에 사용하던 오일을 빼내고 시험하려는 오일을 일정량 주입한 다음 충분히 엔진을 공회전 시키면서 flushing한 후 오일을 다시 완전히 빼낸다. 그 후, 시험용 새 오일을 2,600 cc 정량으로 주입하고 오일의 여과기를 교환하였으며 실차 주행시험을 시작하였다.

오일은 매 1000 km주행시 마다 60 cc씩 채취하였으며 총 7회(8,000 km 주행)의 분석용 오일 샘플링을 한 경우에도 엔진 오일의 수준계에 "low" 위치를 유지하도록 하였으므로 오일 샘플의 채취 후에 별도로 보충은 하지 않았다. 오일의 사용 조건은 국도와 고속도로를 규정속도 (국도 60km/h, 고속도로 80-100 km/h)로 주행하여 1,000 km 주행시 5일이 소요되도록 조정하였으며 총 40일에 8,000 km의 주행시험이 이루어지도록 하였다.

### 2.3 사용유의 분석

실차시험후 디젤엔진 오일의 분석은 물리적 성질로써 40 °C 에서의 동점도 (KV) 분석과 검댕(soot)함량, 산화정도(oxidation level), ZDTP Depletion factor 및 분광분석기에 의한 오일속에 함유된 금속성분농도를 분석하였다. 또 화학적인 성질로 전산가(TAN)와 전알카리가(TBN)를 측정하고 이들을 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 변화보다는 적을 것으로 추측하고 실험을 계획하였다. 오일이 기능중에 마찰면에서 금속이 마모되어 오일 필터에 여과되지 않고 오일속에 잔류되어 있는 금속의 농도는 분광분석기에 의해 ppm단위로 분석하였다.

### 2.4 사용유의 내마모성 분석

사용유의 내마모성은 영국 Cameron Plint사의 4-Ball 마모시험기를 사용하여 ASTM D2266의 방법으로 75 °C, 1200 rpm, 40 kgf의 조건에서 1시간동안 마찰시험을 행하였다. 시험에 사용된 ball은 SKF사의 1/2 인치 직경의 AISI 52100 계열의 표준시험 베어링을 사용하였다. 시험후 ball에 나타난 마모흔 직경을 Image Analyzer로 측정된 후 평균값을 마모흔 직경 (WSD : Wear Scar Diameter)으로 하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1 사용유의 동점도 (KV) 변화

시험오일의 40 °C에서 동점도를 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었다. C 오일의 동점도는 초기의 98.42 cSt에서 처음 1000 km의 주행후에 94.00 cSt로 초기 값에 비해 약 5 % 감소하였다. 2000 km 주행후 더 감소하여 최소치가 되었다가 점차 증가하여 7000 km의 주행에서 초기의 오일과 비슷한 점도를 나타내었다. 한편, D 오일의 경우에는 새 오일의 점도가 95.93 cSt로써 C 오일보다 약간 낮았지만 주행함에 따라 증가율은 더 높아 5000km 주행 후 초기의 점도보다 약 20 %가 증가하였다. 즉, D 오일의 점도 증가율이 C 오일의 증가율보다 큰 경향이 있음을 보여주고 있다. C 오일과 D 오일에 사용한 윤활기유는 같았지만 실차 주행후 점도 변화에서 D 오일의 경우에 오일의 사용 한계로 보는 최소치인 25 %에는 미치지 않지만, 거의 사용 한계수준에 까지 접근하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 오일을 엔진에 주입한 후 주행 초기에 점도가 일시적으로 감소하는 현상은 어느 경우에서나 비슷하게 나타나고 이것은 오일을 구성하고 있는 탄화수소 분자나 첨가

제들이 엔진 작동중에 열을 받아서 상호간에 화학반응을 하고 있는 것으로 설명된다. 그 결과로, 처음 2000 km의 주행까지 감소하였다가 그 다음에는 분자량이 작은 탄화수소가 증발하여 빠져나가게 되고 엔진의 blow-by gas, 미연소 연료의 응축, 연소 중에 생성되는 불완전 연소 생성물인 탄소의 퇴적 등에 의한 영향으로 다시 점도가 증가하는 것으로 생각된다. 또한, 실차시험에서의 점도변화 현상은 표 1에서의 실험실에서의 Hot Tube 시험과 Oxidation 시험에서의 점도의 변화와 일치하고 있다. 즉, C 오일의 점도변화 폭에 비해 D 오일의 점도변화 폭이 크게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 C 오일에 사용된 점도지수향상제와 D 오일에 사용된 점도지수향상제의 유형이 다르기 때문이라 생각된다.

### 3.2 사용유의 전산가 (TAN) 변화

Fig. 1의 주행거리에 따른 오일의 산화정도를 나타내는 전산가 분석결과로부터 C 오일의 전산가 값은 초기의 2.90 mgKOH/g에서 1000 km의 주행시 4.13 mgKOH/g로 증가하여 이후는 변화없이 거의 일정한 값을 나타냄을 알 수 있다. 한편, D 오일의 전산가 값은 초기 3.02 mgKOH/g의 값이 8000 km에서 시험이 종료될 때까지 오차 범위 내에서 변화없이 유지되고 있어서 전산가가 매우 안정된 상태임을 알 수 있다.

따라서, 시험 오일의 사용에 따른 전산가 변화에서 D 오일이 C 오일 보다 매우 안정되어 있으므로 산화안정성이 더 우수함을 알 수 있었다. 분석 결과에서 초기의 전산가의 증가는 비록 시험 오일로 flushing을 해 주었으나 새 오일의 주입시에 엔진 속에 잔류한 오일의 영향을 받은 것으로 판단되고 오일의 산화 안정성이 우수하기 때문에 2000 km주행 이후부터는 오일의 산화가 심하지

않은 것을 나타내고 있다. 또 C 오일의 경우에 마지막 7000 km에서 8000 km의 시험에서 약간 감소한 것은 앞의 동점도 감소와 함께 오일의 산화 등 화학작용이 활발해진 것으로 판단된다. 실차시험에서의 전산가 변화는 실험실에서의 Hot Tube 시험과 Oxidation 시험에서의 전산가 변화 (표 1)와 일치하였다.

### 3.3 사용유의 전알칼리가 (TBN) 변화

엔진 오일은 사용함에 따라 전산가와 함께 전알칼리가가 변한다. C 오일과 D 오일에 대한 주행거리에 따른 오일의 전알칼리가의 변화는 Fig. 1에 나타내었다. C 오일의 TBN은 처음 4000 km까지는 점진적으로 증가하다가 5000 km 부터는 감소하고 6000 km에서 최소가 되었다가 다시 증가하였다. D 오일은 감소와 증가가 매우 불규칙적으로 이루어져서 일정한 경향을 보이지 않는다. 보통 전산가와 같이 전알칼리의 사용 한계를 1.5 정도로 하고 있으므로 사용 중에 한계를 벗어나지 않음을 알 수 있다.

### 3.4 사용유의 금속농도 변화

엔진 오일의 기능으로 가장 중요한 성질은 상대 운동면의 마모를 감소시키고 아울러 마찰을 최소화 하는 것이다. 그러나 마찰의 크기는 에너지의 효율에 영향을 주고 기계의 수명이나 효율에는 마모보다 적게 영향을 미치는 편이다. 그러나 금속의 마모는 상대운동 중에 기계 요소의 크기 변화에 영향을 주고 그에 따른 기계의 고장과 수명 및 제품성능에 직접적인 관련을 갖고 있다. 따라서, 윤활중에 금속의 마모경향을 파악하는 것은 매우 중요하고 또 오일의 성능에 중요한 인자로 되어 있다. 특히 금속의 성분분석은 SOAP(spectrum oil analysis program)방식으로 분석함으로써 ppm 단위에 의한 정량화

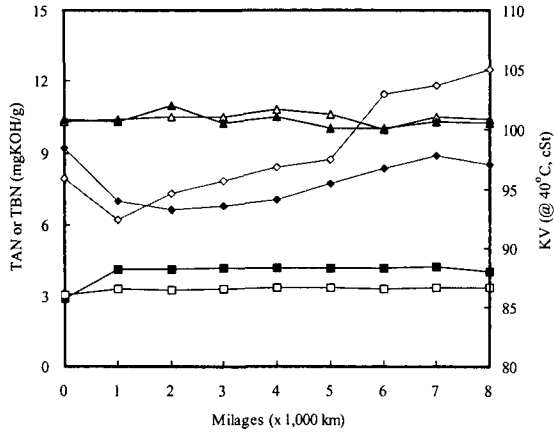


Fig. 1 KV, TAN and TBN of used oil (△ : D Oil TBN, ▲ : C Oil TBN, ◇ : D Oil KV, ◆ : C Oil KV, □ : D Oil TAN, ■ : C Oil TAN)

가 가능하여 매우 확실한 오일 성능의 비교가 가능하다.

### 3.4.1 철(Fe) 농도 변화

사용유속에 들어 있는 철의 농도를 주행거리에 따라 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. C 오일의 철 농도는 1000 km의 13 ppm 에서부터 7000 km의 67 ppm까지 거의 선형적으로 증가하다가 이후 갑자기 큰 폭으로 증가하여 8000 km의 89 ppm을 나타내었다. 한편, D 오일의 철 농도는 C 오일에 비해 현저히 낮은 1000 km의 약 8 ppm농도에서 시작하여 8000 km의 60 ppm으로 비교적 낮은 증가율을 유지하면서 계속 같은 비율로 시험 종료까지 증가하였다. 그 결과, 8000 km 주행후 D 오일의 철 농도는 C 오일보다 약 29 ppm 정도 낮은 농도를 나타내었다. 즉, 사용유중에 금속의 함유 농도중에서 가장 관심을 갖는 철 농도의 증가는 D 오일이 C 오일보다 상대적으로 적고 낮은 증가율을 보임으로써 D 오일의 내마모성, 특히 철에 대한 내마모성이 C 오일보다 우수한 것을 알 수 있다.

오일의 내마모성은 오일의 수명이나 마찰면의 이상 정도를 나타내기 때문에 매우 중요하다. 본 시험오일의 경우에 C 오일은철에 대한 오일의 내마모성의 유효 수명을 오일에서 철 농도 증가율이 큰 폭으로 증가하는 대략 7000 km정도로 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 전산가의 변화에 대한 관련성도 함께 존재함을 알 수 있다. 즉, 초기 1000 km에서 전산가의 증가율이 D오일에 비해 큰 C 오일 (10% vs 45%)은 주행 중에 생긴 유기산이 계속 철의 마모에 영향을 미치게 되지만 7000 km이하에서는 마모방지제의 영향으로 철의 농도 증가가 억제되었지만 7000km이후에서는 마모방지제의 역할이 둔화되어 철 농도 증가가 급격히 이루어지는 것으로 판단된다.

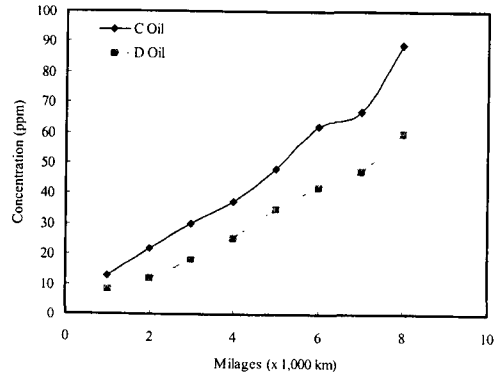


Fig. 2 Fe concentration of used oils

### 3.4.2 철을 제외한 다른 금속의 농도 변화

Fig. 3과 4에 주요 금속의 농도 변화를 보여주고 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 알루미늄 (Al)의 농도 변화는 주행 초기에는 C 오일의 증가가 크지만 D 오일은 사용의 중간에 증가율이 점차 커져서 8000 km주행에

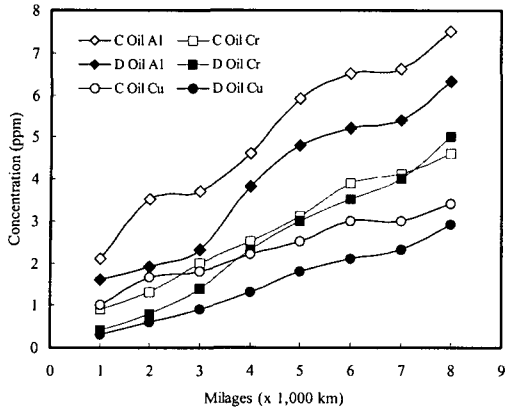


Fig. 3 Al, Cr and Cu concentration of used oils

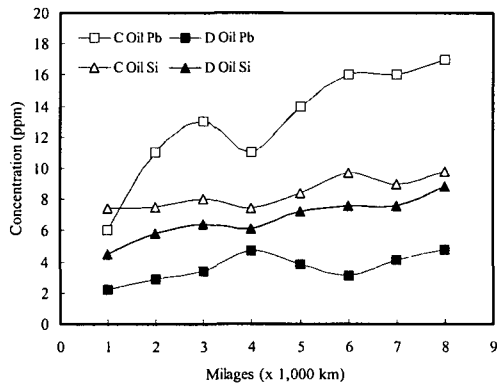


Fig. 4 Pb and Si concentration of used oils

서는 두 오일이 큰 차이가 없다.

사용유에 함유된 크롬(Cr) 농도는 오일의 주행 초기에는 C 오일의 농도가 D 오일보다 크게 나타났으나 7000 km 이상에서는 D 오일의 Cr 농도가 더 높고 오일의 사용정도가 커질수록 크롬에 대한 내마모성에서 D 오일의 경우가 더 많이 감소하고 있는 것으로 나타나고 있다. 크롬은 주로 피스톤링에 포함되어 있으므로 링의 마모에 오일의 내마모성이 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 피스톤링의 내마모성은 오일의 극압 첨가제에 의한 보호 피막 생성과 이들의 마모에 관련이 많은 것으로 알려져 있으므로 관심을 가질 필요가 있다.

사용유에 함유된 구리(Cu) 농도는 주행 초기에는 D 오일이 내마모성에서 우수하지만 주행거리가 증가할수록 C 오일과의 차이가 감소해지고 있다. 따라서, 오일의 내마모 성질은 사용 초기와 사용 정도가 많은 경우에 약간씩 차이가 생기고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 사용유에 포함된 납(Pb) 농도는 일정한 경향을 갖지는 않으나 전반적으로 C 오일의 경우에 납의 함유량이 많고 특히 6000 km 이상에서 급격히 증가하고 있음을 보여주고 있다. D 오일의 경우는 8000 km까지 주행하는 동안에 납 농도의 증가 정도가 거의 나타나지 않을 정도로 변화가 적음을 알 수 있다. 따라서, 주행거리가 커질수록 두 오일 사이에 납의 농도의 차이는 증가하였고 C 오일에서는 6000 km에서 철의 농도와 같은 증가 경향을 갖는 것이 특징이다.

실리콘 (Si) 농도변화는 주행 초기에는 C 오일에서 높게 나타났으나 사용하면서 D 오일의 증가율이 커지면서 두 오일의 농도 차이는 감소하고 8000 km 주행시 상대적인 차이가 적음을 보여준다.

### 3.5 사용유의 적외선 (IR) 분석

#### 3.5.1 오일의 ZDTP 고갈계수 (depletion factor)의 변화

엔진오일의 내마모첨가제로 첨가한 ZDTP는 엔진 피스톤링 등의 마찰작용에 의하여 마찰면의 마모를 억제하면서 오일과 첨가제 구성 분자의 기본 구조를 점차 잃어버리게 된다. 본 연구에서는 내마모첨가제인 ZDTP의 기본성질을 잃는 경향을 알아보기 위하여 사용유를 IR 스펙트럼에 의해 주행에 따른 ZDTP의 잔존정도를 비교분석하였다.

Table 2에 C 오일과 D 오일의 주행거리에 따른 ZDTP의 고갈정도를 비교하였다.

C 오일의 경우에 오일 속의 ZDTP 고갈 정도는 주행의 초기부터 고갈 정도가 현저히 나타나고 주행 중에 선형적으로 일정한 비율을 유지하다가 7000 km에서부터 감소 정도가 더 이상 계속되지 않고 다음 단계인 8000 km의 경우와 같은 수준을 유지한다. 반면에, D 오일의 경우에는 감소율이 계속 되어 주행거리가 8000 km에서도 계속 감소되고 있다. 이와 같은 현상은 C 오일과는 다른 현상으로 D 오일의 경우에 ZDTP가 시험 범위에서도 아직 완전히 고갈되지 않고 급속의 내마모 기능을 계속 수행하고 있음을 의미한다.

따라서, ZDTP 고갈 정도 결과는 Fig. 2의 철농도 변화에서의 결과와 같은 현상을 보이고 있다. 즉, D 오일은 시험 주행거리 내에서 내마모 방지제인 ZDTP가 내마모 기능을 계속 수행하지만 C 오일은 ZDTP가 내마모 기능을 상실하였기 때문에 C 오일의 철 농도 변화는 7000 km에서 8000 km로 주행하면서 농도의 급격한 증가를 보여준 반면, D 오일의 철 농도는 주행하면서 증가율의 변화가 거의 없는 것으로 설명이 된다. 만약 오일의 내마모 기능을 주행 중에 계속해서 유지하기 위해서는 사용중에 오일속의 주요 내마모 방지제인 ZDTP의 고갈현상이 계속 일어나야 하고, 그 관점에서 보면 C 오일보다 D 오일의 내마모 성질이 우수하며 사용 주행거리 즉 수명을 더 길게 할 수 있음을 입증하고 있다.

### 3.5.2 사용유의 상대적 검댕농도, 산화도 및 황화염 변화

Table 2에 디젤엔진오일의 실차 주행 후 주행거리에 따른 사용유의 검댕농도, 산화도 및 황화염 변화를 IR 스펙트럼으로 분석한 결과를 나타내었다. 오일을 검게하고 마모에 영향을 미치는 상대적인 검댕농도(Soot, A/0.1mm)는 C 오일의 경우 1000 km 주행

시 0.08에서 8000 km 주행시 0.37로 증가하였고 D 오일의 경우는 0.00에서 0.38로 증가하여 C 오일과 D 오일의 차이는 관찰할 수 없었다. 따라서 주행거리가 증가함에 따라 엔진 오일의 열화에 의한 퇴적물이 현저히 증가함을 알 수 있었다. 산화정도(Oxidation Level, A/0.1 mm)는 C 오일의 경우 1000 km 주행시 0.05에서 8000 km 주행시 0.07로, D 오일의 경우 0.03에서 0.05로 증가하여 D 오일의 산화안정성이 더 우수함을 알 수 있었다. 황화염 생성정도(Sulfate Level, A/0.1mm)은 각각 0.02 에서 0.09, 0.01 에서 0.09 로 증가하여 C 오일과 D 오일의 차이는 없었다.

Table 2 IR analyses of used oils

Milages (km)	ZDTP Depletion Factor		Relative Soot <sup>a</sup>		Oxidation Level <sup>a</sup>		Sulfate Level <sup>a</sup>	
	C <sup>b</sup>	D <sup>c</sup>	C	D	C	D	C	D
1000	-11	0	0.08	0.00	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

a. Unit : A/0.1mm.  
 b. Commercial Oil.  
 c. Developed Oil.

### 3.6 사용유의 4-Ball 마찰시험

오일이 사용되면서 변화하는 기계적 성질 중에서 중요한 내마모성의 변화를 관찰하기 위하여 4-ball 마모시험을 실시하였다. ASTM D2266의 시험방법을 사용하여 행하였고 새 오일과 매 2000 km 주행 후 샘플링 하여 마모 시험 후 마모직경의 크기를 비교하여 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 새 오일인 경우에 C 오일의 마모 직경이 D 오일의 마모직경에 비해 약간 크지만 2000 km의 주행 후에는 두 오일의 마모직경은 비슷하였다. 즉, C 오일의 마모 직경은 1000 km 주행 했을 때와 차이가 없었지만 D 오일의 경우에는 마모직경의 크기가 1000 km보다 약간 증가하였다. 그러나, 4000 km 주행 후에는 C 오일의 마모직경은 2000 km에 비해 증가하였으나 D 오일의 경우에는 비슷하여 C 오일은 점차 내마모성이 감소하고 있음을 보여준다. 6000 km 주행 후에 마모직경은 C 오일은 계속 증가하는 반면에 D 오일은 변화없이 같은 수준을 8000 km 주행까지 유지한 반면, C 오일은 계속 증가하여 내마모성의 감소가 계속 진행됨을 보여준다.

보통 엔진 오일은 사용에 따라 화학작용이 활발해지고 경우에 따라 내마모성이 향상되다가 오일에 포함된 첨가제가 고갈되게 되면 내마모성이 감소하여 금속의 마모가 증대되는 것으로 알려져 있다. 본 시험에서 C 오일은 사용에 따른 내마모성의 향상은 거의 나타나지 않고 화학작용의 활성화에 의한 내마모성의 증가억제 기능으로 2000 km 정도 까지 새 오일의 경우와 같은 수준을 유지하

였다. 그러나 D 오일은 내마모성의 초기 증가 후에 첨가제의 화학작용이 2000 km 이후 활발해지면서 8000 km 까지 같은 성질을 유지하고 있음을 보여줌으로써 첨가제의 작용이 C 오일보다 우수함을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 사용유에 함유된 철 농도와

#### 4. 결론

시판되는 디젤엔진 오일 (C 오일)과 혼련한 개발오일 (D 오일)에 대한 실차시험에서 사용에 따른 오일의 성능과 성질 변화를 분석 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시판유와 개발유의 실험실적 물성 분석 결과, 거의 같은 점도등급임에도 점도지수는 개발유가 160, 시판유가 147로 각 오일에 사용된 점도지수향상제가 다를 수 있었다. 전염기가 (TBN) 및 전산가 (TAN)는 차이가 거의 없었고, 내마모성은 개발유가 시판유에 비해 우수하였다. 또한, 실험실적 산화시험 (Hot Tube 및 Oxidation 시험)에서 점도변화 폭은 개발유가 시판유에 비해 큰 반면, 전산가의 변화 폭은 오히려 적어서 오일의 분해로 인한 유기산의 발생은 적을 것으로 추정되었다.

2) 고 점도지수(high VI) 기유를 사용하여 혼련한 디젤엔진 오일의 실차시험 결과 시판유나 개발유 모두 시험한 주행 거리내에서 ZDTP 고갈인자의 경향과 일치함을 확인할 수 있었다.

기유의 점도변화나 전산가의 변화가 적게 일어나지만 개발유의 변화가 시판 오일보다는 더 많은 변화를 보여 주었다.

3) 시판유의 철 농도는 7000 km 주행후부터 급격히 증가하고 있어서 내마모성이 더 이상 지속되지 못하고 있음을 보여 주지만, 개발유의 경우에는 8000 km까지 내마모성을 계속 유지하고 있음을 알 수 있었고 이 수준을

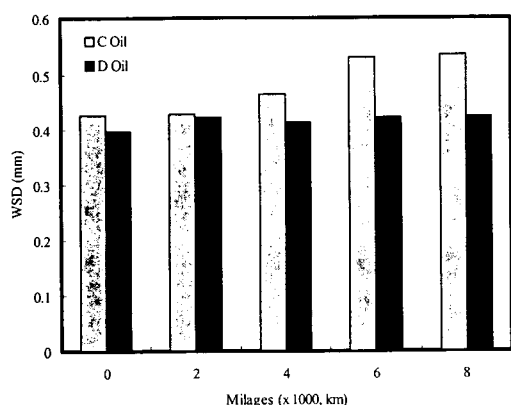


Fig. 5 Wear scar diameter (WSD) of used oil



오일의 사용한계로 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 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 결과에서도 같은 경향으로 나타났다. 이러한 원인은 ZDTP 고갈현상의 영향임을 IR 스펙트럼에 의해 입증하였다.

4) 오일의 내마모성 정도의 평가에서 기존 사용유의 사용한계는 7000 km 전후로 선정하는 것이 바람직하나 개발유는 그 이상 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) S. K. Naldu, E. E. Klaus and J. L. Duda, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., "Kinetic Model for High Temperature Oxidation of Lubricants", Vol. 25, pp. 596-603, 1986.
- 2) J. M. Perez, F. A. Kelley, E. E. Klaus and V. Bagrodia, "Development and Use of the PSU Microoxidation Test for Diesel Engine Oils", SAE 872028, 1987.
- 3) F. Zerla and R. Moore, "Thin Film Microoxidation Test for Diesel Engine Oils", SAE 890239, 1989.
- 4) E. E. Klaus, C. C. J. Wang and J. L. Duda, Lub. Eng., Vol. 48, No. 7, pp. 599-605, 1991.
- 5) H. J. Moritani, "Analysis of Engine Oil Degradation Using Laboratory Scale Tester", Jpn. Soc. Tribologists, Vol. 41, No. 10, pp.822-827, 1996.
- 6) M. Masuko, Sukirno and H. Okabe, "Degradation of Lubricating Oils Using Rolling Four-Ball Tribometer and Analyses of Degradation Products", J. Jpn. Soc. Tribologists, Vol. 42, No. 5, pp.387-394, 1997.
- 7) K. Narita, "The Effects of Diesel Soot on Engine Oil Performance", J. Jpn. Soc. Tribologists, Vol. 42, No. 6, pp. 425-429, 1997.
- 8) J. Shim, W. Cho, and K. Chung, "Oxidation Stability of PAO Oils Determined by Differential Scanning Calorimetry", J. KSTLE, Vol. 12, No. 1, pp.36-41, 1996.
- 9) S. -C. Kang, "4-ball 시험기와 패로그래피에 의한 자동차엔진 오일의 마찰 마모 특성에 관한 연구", 자동차공학회 학술논문 발표, 1989년 4월, pp.126-140, 1989.
- 10) S. -C. Kang, and J. H. Kim, "A Study of Friction Properties of Mo-DTP as a Lubricant Additive", 일본나고야 국제학술논문, 1990년 10월, pp.356-364, 1990.
- 11) S. -C. Kang, S. -S. Shin, D. -G. Kim and J. -S. Rho, "가솔린과 LPG 엔진오일의 사용에 따른 물리적, 화학적 성질의 변화에 관한 연구", J. KSTLE, Vol. 10, No. 4, pp.59-68, 1994.