

〈논 문〉 SAE NO. 96370001

## 디젤 엔진오일의 사용에 따른 물성 변화에 관한 연구

### A study of the Property Changes of Oil Used in Diesel Engine

강 석 춘\*, 호 광 일\*\*  
S. C. Kang, K. I. Ho

#### ABSTRACT

This study is concerned with the property changes(chemical and mechanical) of the used oil in diesel engine, Which were sampled from a test engine with dynamometer and various cars.

The properties of oil are TAN, viscosity, oxidation, ZDTP depletion factor and etc. Also the relation between the change of chemical and antiwear property of used oil was strongly related to ZDTP depletion factor as well as the change of TAN(total acid number), sulfation and pentan insoluble contents which were reated to the formation of protect film on sliding area.

The oil used in pick-up(small) truck engine was deteriorated within the shortest distance than that of other cars. The antiwear property of used oil was decreased sharply as the running distance were over 5,000km. The oil used to mini bus was the least to deteriorate of properities for the running distance.

주요기술용어 : Antiwear(마모억제), TAN(전산가), ZDTP(아연인산염), Depletion(고갈, 분해), Sulfation(황화염), Film(피막)

#### 1. 서 론

에너지절감과 대기오염등 공해의 억제측면에서 그리고 각 차량제조업체의 품질 경쟁에서 자동차의 성능을 향상시키려는 노력은 주로 엔진의 고출력, 고속화로 추진되고 있으며 그동안 연료

분사장치, 2중 흡배기밸브 그리고 터보장치등의 사용으로 상당한 발전을 거듭하고 있다. 따라서 엔진의 설계와 제작기술의 발달과 함께 엔진오일의 성능이 매우 중요시 되었고 그에 따라 오일제조 기업들의 자체경쟁과 노력에 힘입어 엔진성능의 향상에 많은 기여를 하고 있으며 오일사용의 장기화등 환경 공해감소에도 기여가 크고 그 결과로 API성능등급이 계속 향상되어 SH(가솔린엔진용)급과 CF-4(디젤엔진용)급이 생산 판매

\* 정회원, 공군사관학교 기계과

\*\* 공군사관학교

되고 있다.

모든 기계가 기본성능을 유지하면서 만족한 결과를 얻기 위하여서는 고온, 고부하등의 가혹한 사용환경에서 사용되는 오일의 성능 감소가 필연적으로 일어나게 되므로 적당한 기준에 의거하여 오일을 교환해 주어야만 한다.

지금까지 국내에서는 오일의 사용에 따른 열화 과정에 관하여 종합적으로 연구한 경우가 거의 없이 주로 외국문헌<sup>1)~4)</sup>에 의존한 해설만이 제시되고 있고 외국에서도 오일의 소모<sup>5)~8)</sup>와 오일 자체의 물성 즉 온도등의 변화에 따른 성질변화<sup>9)~11)</sup>에 관한 연구나 오일에 녹아 있는 금속의 농도 혹은 형태에 관한 연구<sup>12)~15)</sup>가 주로 발표되고 있어 엔진오일의 열화가 오일의 내 마모성등에 미치는 직접적인 영향에 관하여 관련된 연구는 많지 않다.

오일의 적당한 사용 수명을 결정하기 위하여서는 확실한 열화의 기준과 근거를 위해 사용오일의 물성변화를 면밀히 분석하고 검토하여 사용가능 한계를 설정할 필요가 있다.

아직도 외국기술에 의존하고 있는 국내 오일 생산업체에서도 오일의 물성변화가 어떻게 일어나고 있는지와 그에 따른 오일의 열화기구와 내마모성의 감소 및 마찰력의 증가등 물리, 화학, 기계적 변화를 분석하므로써 고품질 오일의 생산에 관심을 갖도록 할 필요가 있다.

본 연구는 가솔린 기관의 오일에 대한 연구<sup>16), 17)</sup>를 바탕으로 시판중인 디젤 엔진 오일에 대하여 실험실 동력계시험에 의한 작동시간에 따른 사용오일의 물성변화와 여러 종류의 차량에 사용된 오일의 기계적, 화학적 성질의 변화를 살펴보고 기계적 성질변화의 영향을 분석하였다.

## 2. 사용오일의 시험과 분석

### 2.1 오일 샘플의 채취 방법

분석에 사용된 엔진오일은 A사의 CF-4 제품을 선정하고 탁상시험(실험실 동력계 시험)과 실차 주행시험을 실시하였다. 시험 오일은 이미 사용한 오일을 엔진에서 제거하기 위하여 2시간

동안 완전히 제거한 후에 새 오일을 오일 함량표시 게이지의 최대점에 도달되도록 주입하고, 동력계 시험에서는 20시간 사용마다, 실차 주행시험에서는 1,000±30km마다 40ml씩 샘플오일을 채취하여 화학적, 기계적성질 변화에 관한 마찰시험과 물성분석을 실시하였다.

## 2. 사용오일의 시험과 분석

### 2. 오일 샘플의 채취 방법

분석에 사용된 엔진오일은 A사의 CF-4 제품을 선정하고 탁상시험(실험실 동력계 시험)과 실차 주행시험을 실시하였다. 시험 오일은 이미 사용한 오일을 엔진에서 제거하기 위하여 2시간 동안 완전히 제거한 후에 새 오일을 오일 함량표시 게이지의 최대점에 도달되도록 주입하고, 동력계 시험에서는 20시간 사용마다, 실차 주행시험에서는 1,000±30마다 40ml씩 샘플오일을 채취하여 화학적, 기계적성질 변화에 관한 마찰시험과 물성분석을 실시하였다.

### 2.2 동력계 시험(탁상 시험)의 방법

동력계 시험에 사용된 디젤엔진은 배기량이 2,369cc이고 작동은 2,000rpm에서 27kw의 일정한 출력을 유지하였다.

새로 조립된 엔진을 구입후 작동에 이상이 없도록 점검하고 엔진동력계와 각종 측정장치를 부착하였으며 시험기의 사진은 Fig.1과 같다. 엔진

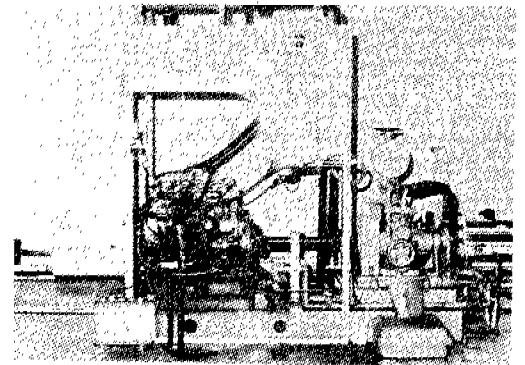


Fig.1 Test engine with dynamometer (diesel)

동력계 시험 기간동안 엔진의 작동상에 문제가 없었고 250~300시간 시험하면서 작동중인 사용유의 일부를 채취하여 분석하였다. 엔진작동의 방법은 시동후 엔진을 2~3분간 무부하 조건에 가동시키다가 서서히 회전수를 3,000rpm 이상으로 올린 다음 수차식 동력계에 물을 공급하므로써 회전수는 2,000rpm으로 토크는 40N-m이 되도록 수압을 조정하였다.

오일 샘플은 작동을 정지한 직후부터 10분이

지난후 오일 게이지에 나타난 위치에서 약 2cm 아래 부분까지 비닐호스를 주입하고 진공흡착기를 이용하여 채취하도록 하였다.

2.3 사용오일의 물리적, 화학적 성질변화

본 시험에서 사용된 사용오일은 CF-4급의 오일로서 각 오일의 화학적 분석에 의한 함유된 금속의 성분과 함유량은 Table 1과 같다.

시험에 사용된 오일의 물리적, 화학적 분석의 결과는 다음 Table 2에 제시하였다.

2.4 사용된 오일의 전반적인 열화기준

문헌에 의한 엔진오일의 교환에 관련된 일반적인 열화의 평가기준은 Table 3과 같다.

사용중인 오일의 기계적 성질에 대한 평가시험은 재현성이 우수하고 시험의 신뢰성이 매우 큰 4-ball(4구) 시험기를 사용하여 내마모성과 마찰력 변화를 분석하고 Ferrography를 이용하여 오일에 함유된 마모입자의 형상을 살펴 보았다.

4-ball시험에의 조건은 Table 5와 같다.

각 시험을 한후에 시험한 볼들은 현미경을 이용하여 마모직경의 크기를 측정하고 마찰면의 화학적 성분을 분석하였다.

Table 1 Concentration of metal in new oil

	concentration of metal (PPM)											
metal	Fe	Pb	Cu	Cr	Al	Ni	Si	P	Zn	Ca	Ba	Mg
cont.	1.3	0.1	0.4	1.3	0.2	0.4	1.8	1.22	11.24	63.5	0.8	16.5

Table 2 Chemical and physical properties of test oil

Viscosity, 40°C (cSt)	TAN (mg KOH/g)	TBN (mg KOH/g)
108.8	2.12	10.41

Table 3 Degradation level for change of oil

properties	degradation
viscosity, 40°C	± 25%
total acid number(TAN)	± 2.5(mg KOH/g)
total base number(TBN)	-1(mg KOH/g)
pentan unsoluble	3.0Wt%
benzene unsoluble	2.0Wt%
moisture	0.2%(Vol.)

Table 5 Friction test conditions of 4-ball machine

revolution : 1200 ± 5rpm
oil temp. : 75 ± 2
load : 40kg
test bearing : AISI 52100 (SKF)
test time : 60min

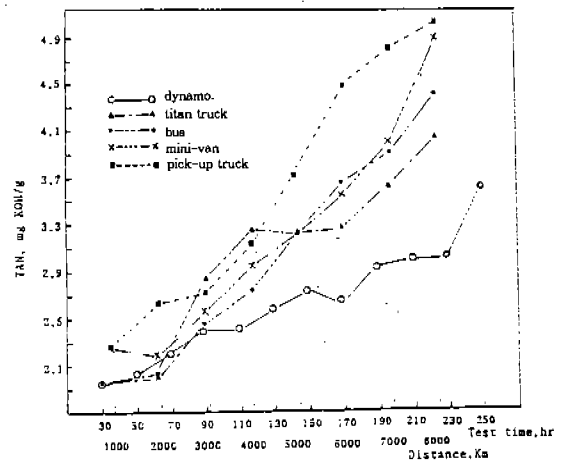


Fig.2 Changes of TAN(Total acid number) for used oils)

### 3. 결과와 고찰

#### 3.1 사용에 따른 오일의 화학적 변화

오일의 사용에 따른 화학적 성질의 변화를 분석하기 위하여 동력계시험과 실차 주행시험을 실시하였다. 사용된 차량은 소형 트럭, 봉고승합, 타이탄 트럭 그리고 버스이고 각 차량에 A오일을 정량씩 주입하고 동력계 시험에서는 매 20시간씩 작동한 다음, 실차시험의 경우에는 매 1,000km씩 주행후에 엔진오일의 시료를 채취하여 분석하였다.

먼저 오일에서 산화정도의 척도인 전산가의 변화를 비교하면 Fig.2와 같다. 오일의 전산가(total acid number)의 변화 즉 산가의 증가정도에서 동력계시험에 사용된 엔진의 오일이 가장 적게 변화(증가)하였고 소형트럭이 가장 많이 증가하였다. 증가율의 변화에서 6,000km 사용후에는 증가율이 감소하고 있어 한계에 도달되고 있는 경향을 보여준다.

이 결과는 동력계로 시험한 엔진오일의 경우에 부하가 적고 일정한 작동조건으로 유지하였으므로 오일의 열화가 적게 되었으나, 소형트럭의 경우 용달목적에 이용된 것으로써 과부하와 도심운행등의 가혹조건에서 주로 사용되었기 때문에 오일의 성질변화가 많이 된것으로 판단된다.

또, 타이탄트럭의 오일의 경우에는 처음에 증가하다가 4,000km부터 증가율이 감소한 후 다시 증가하는데 이것은 4,000km에서부터 엔진오일의 양이 최소점이하로 감소하여 이때부터 오일의 샘플을 채취한 다음에 새 오일을 200ml씩 보충해주었기 때문이다.

적은 양이지만 주행중에 새 오일을 보충하게되면 오일의 전산가 증가를 어느정도 억제할 수 있으나 계속 사용하면 다시 증가하기 시작하고 있음을 보여주고 있다. 또 봉고승합의 경우는 초기에 약간 감소하다가 7,000km 이후에는 증가율이 커지는 경향을 보여 주는데 그 원인으로는 가혹하지 않은 조건의 사용에서 사용 초기의 오일물성변화가 비교적 적지만 운행거리의 증가에 따라 오일의 열화는 점차 가속적으로 일어나고 있는 것으로 판단된다.

전산가의 변화에 의한 오일의 사용 한계설정은 사용전에 비하여 절대치가 2.5mg KOH/g의 범위를 벗어날 경우로써 소형트럭이 7,000km주행한 경우와 봉고승합은 8,000km 주행에 해당된다. 같은 변화율을 가정한다면 트럭의 경우에는 9,000km에서 한계 변화인 절대치가 2.5mg KOH/g 이상 증가 될 것으로 추정된다.

오일에 마모억제와 산화방지제 목적으로 첨가한 ZDTP(Zinc-dithiophosphate)의 고갈계수를

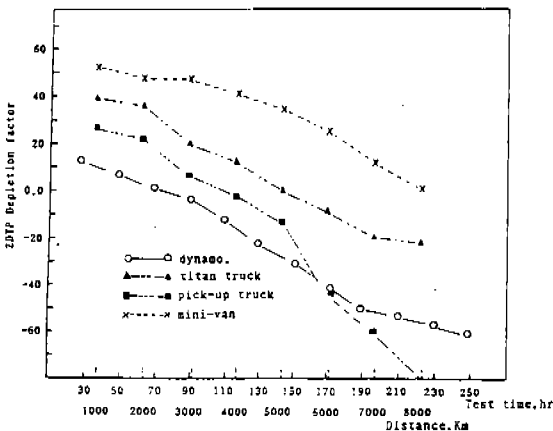


Fig.3 Changes of ZDTP degradation for used oils

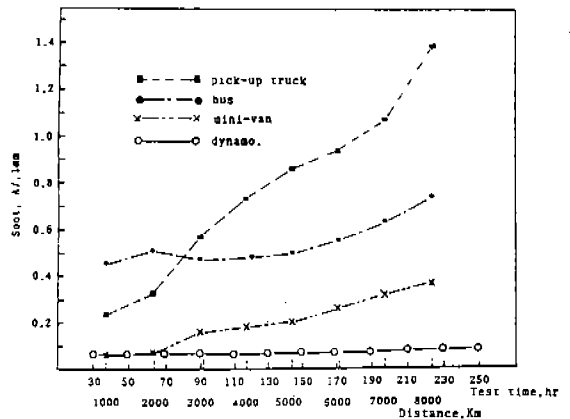


Fig.4 Comparison of soot content for used oils

비교한 Fig.3에 의하면 모든 차량의 시험오일에서 ZDTP가 고갈되고 있음을 보여주고 있다. 고갈계수에서 봉고승합이 가장 낮은 수준이고 트럭이 가장 높은 율로 고갈되어 있으며, 특히 6,000 km부터는 급격한 고갈의 경향을 보여준다. 이것은 후에 설명할 사용오일의 내마모성 감소와 밀접한 관계를 갖고있다.

Fig.4는 각 사용 오일속에 포함되어 있는 검댕(soot)의 함유량을 비교한 것이다.

트럭엔진에 사용된 오일이 주행거리의 증가에 따라 검댕의 함유량이 가장 많이 증가하고 있고 버스의 경우가 처음에는 트럭보다 높았으나 점차 증가율은 작아지며 6,000km 주행 이후부터는 다시 증가율이 커지고 있음을 알 수 있다. 봉고 승합의 경우가 동력계 다음으로 낮고 8,000km에서 트럭의 경우보다는 1/3, 그리고 버스의 경우보다는 1/2정도로 매우 작음을 보여준다. 동력계로 시험한 오일의 경우에는 거의 증가하지 않았다.

이 결과에서 오일속에 함유된 soot(검댕)의 함유량도 심한조건을 운전하는 소형트럭이 다른 차량보다 동력계의 오일보다 더 많으므로 오일의 사용조건과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

오일의 화학적 성질을 정성적으로 분석하기 위하여 IR(적외선 분석)로 사용오일을 분석한 결과가 Fig.5~Fig.8에 Fig.5는 동력계로 시험한

엔진오일을 스펙트럼분석 결과로서 대부분의 화학성분 피크가 사용하지 않은 오일과 큰 차이가 없고 절대적인 수준도 거의 같게 나타났으며, 특히 연료성분이나 ZDTP의 변화가 작음을 알 수 있다.

Fig.6은 봉고승합의 사용오일에 대한 분석결과로서 동력계를 이용한 엔진의 사용오일 보다는 성질의 변화가 분명히 더 많이 일어나고 있음을 나타내나 주행거리에 따른 변화율은 거의 일정함을 보여준다.

Fig.7은 버스에 사용된 오일을 분석한 것으로 다른 사용오일보다 상대적인 변화가 많이 일어나고 각 성분의 피크치도 크게 변화하고 있으며 특히 사용 시작부터 3,000km 사이에 변화가 크며 그 원인으로는 대형 엔진에서는 오일교환에서 잔류 오일이 소형엔진보다 상대적으로 많아서 그 영향을 받은 것으로 추정된다. 그러나 사용거리의 증가에 따른 피크의 변화 정도는 오히려 감소하는 추세를 보여 준다. 이것은 엔진에 오일이 비교적 많이 주입되므로 적은 양의 오일이 주입된 소형 차량보다 물성변화가 늦어지는 까닭으로 생각된다.

Fig.8은 소형트럭의 사용오일에 대한 분석결과로서 절대적인 피크의 감소가 매우 크고 아울러 각 성분의 변화가 많음을 보여 준다. 절대 크기의 변화는 과도한 운전조건에 의해 오일속에 포함된 검댕이나 펜탄 불용분의 증가에 의한 원

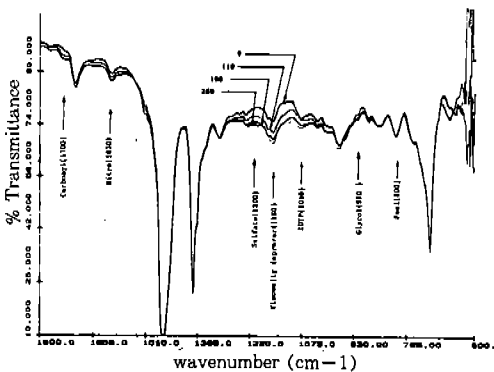


Fig.5 Changes of IR Spectra for dynamometer engine oils

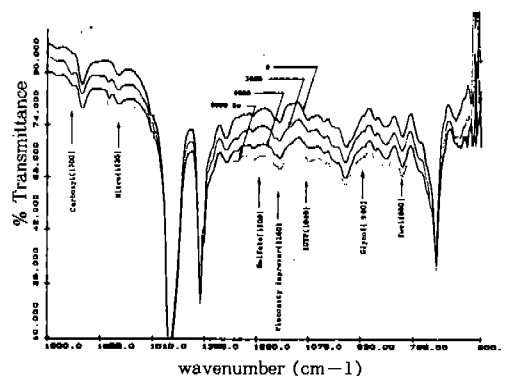


Fig.6 Changes of IR Spectra for mini van engine oil

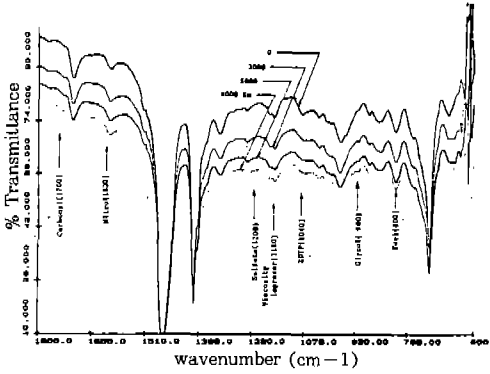


Fig.7 Changes of IR Spectra for bus engine oil

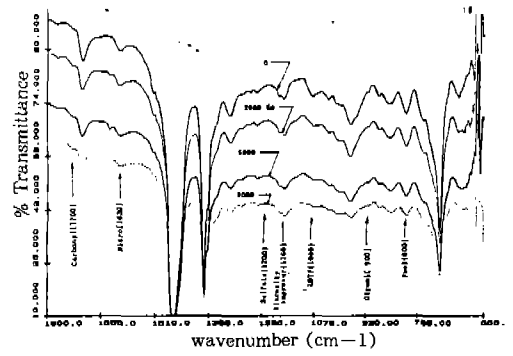


Fig.8 Changes of IR Spectra for pick-up truck engine

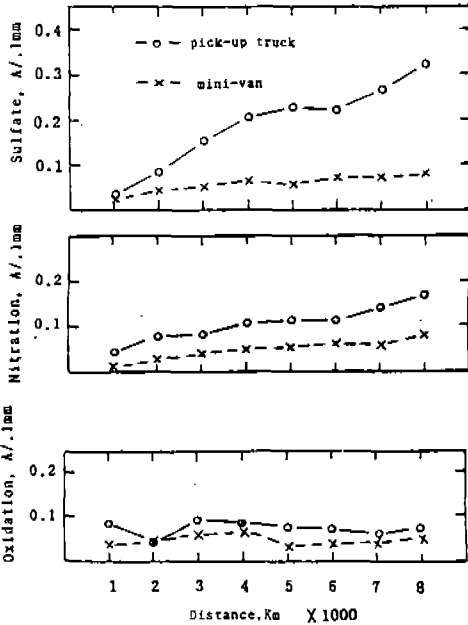


Fig.9 Changes of chemical properties for used oil

인으로 판단된다.

오일의 IR스펙트럼의 변화에서 큰 차이를 보였던 소형트럭과 봉고승합 오일의 화학적 변화를 정량적으로 비교한 것이 Fig.9에 나타나 있다.

먼저 황하염현상(sulfate)에서 소형트럭의 경우가 봉고승합보다 매우 가속적으로 증가하고,

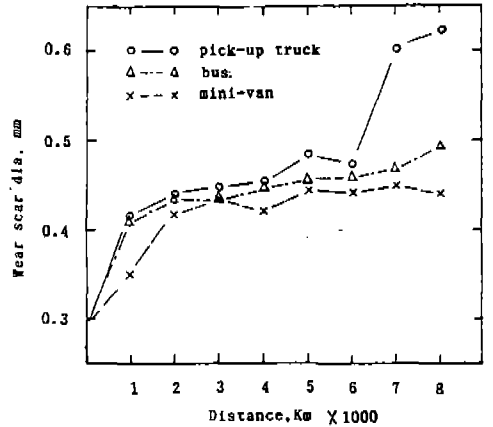


Fig.10 Comparison of the wear scar dia. of used oil

특히 6,000km부터 현저히 증가하고 있다. 또 질화현상이나 오일의 산화에서도 소형트럭의 경우가 봉고승합보다 더 많이 일어나고 있다.

따라서, 가혹하게 사용되는 차량에서는 오일의 황화와 질화등 화학적 변화가 심하게 일어남을 알 수 있다.

차량주행에 따른 엔진오일의 열화는 어느 한가지 성질만이 급격히 혹은 가속적으로 일어나는 것이 아니고 모든 성질이 함께 변화하므로써 결과적으로 오일의 내마모성의 감소나 마찰력의 증가를 유발하는 것으로 사료된다.

3.2 사용오일의 기계적 성질의 변화

오일의 기계적성질의 변화에서 가장 중요한 것은 오일의 내마모 성질이다. 실차시험에서 사용된 오일의 내마모성 변화를 4-ball시험기로 시험한 결과가 Fig.10에 나타나있다. 봉고승합에 사용한 오일에서 내마모 성능의 변화가 가장 적고, 소형 트럭의 경우가 가장 많으며, 특히 6,000km 이전까지는 모든 사용오일에서 큰 차이가 없다가 6,000km 사용 이후부터 소형트럭의 경우에 급격한 내마모성의 감소현상(마모직경의 증가)이 나타나고 마모흔적(wear scar dia.) 이 새 오일 경우의 흔적(직경)에 두배가 되어 첨가제를 넣지 않은 오일(base oil)만으로 시험한 마모직경인 0.6mm이상으로 내마모성의 감소를 보여주고 있다.

버스의 경우에는 7,000km에서부터 마모직경이 커지면서 8,000km를 주행한 차량의 오일에서 0.

5mm이고 이는 봉고승합의 경우보다는 열화정도가 크며, 소형트럭보다는 덜 심한 상태이다. 이 사실은 앞에서 제시된 화학적 분석에서 나타난 경향들과 일치하고, 수형트럭에서의 7,000km 사용에서부터 마모직경이 급격한 증가되는 현상은 오일의 ZDTP의 고갈, 전산가 증가, 점덩의 증가와 sulfaction(황화현)의 변화경향과 잘 일치함을 알 수 있다.

봉고승합과 버스 그리고 소형트럭의 사용오일에 대하여 오일의 마찰특성을 비교하기 위해서 4-ball시험 과정에서 마찰계수의 변화를 Fig.11에 제시하였다. 봉고승합의 경우에 1,000km를 주행한 오일은 시험중에 scoring(마찰계수가 점진적으로 증가하는 현상)이 발생하지 않았으나 그 이후부터는 scoring이 발생하고 오일의 사용거리의 증가에 따라 발생시기가 점차 단축됨을 알 수 있다.

발생시기의 의미는 마찰면에서 보호 피막의 생성이 늦는 경우나 생성되는 피막의 내마모성이 점차 감소하기 때문으로 판단되다.<sup>10~12)</sup>

버스의 경우에 scoring이 모든 마찰 시험과정에서 발생하였고 8,000km사용오일에서는 scuffing(마찰계수가 순간적으로 급격히 증가하는 현상)에 준하는 마찰계수의 증가현상이 나타나고 있음을 보여주며 주행거리가 긴 오일일수록 scoring이후 마찰계수가 비교적 높은 값을 유지한다.

이 현상은 극압 첨가제인 ZDTP성분이 오일의 사용중에 고갈되면서 마모억제 작용과 마찰감소기능을 하는데 더 이상 고갈될 첨가제가 오일속에 존재하지 않을 경우에는 마모의 증가와 함께 마찰계수도 증가하고 있음을 보여준다.

내마모성이 가장 나았던 소형 트럭의 사용오일의 경우에는 마찰계수의 절대적 크기가 다른 일보다 크고 주행거리가 7,000km에서부터는 scuffing이 발생하였으며 8,000km 사용오일의 경우에는 마찰시험후 30분 이내에 2회의 scuffing 발생과 그 후의 마찰계수도 가장 높은 값을 유지하고 있다.

오일의 마찰 마모특성과 마찰면의 형상과의 관계를 알아보기 위해서 4-ball 시험후 ball의 마

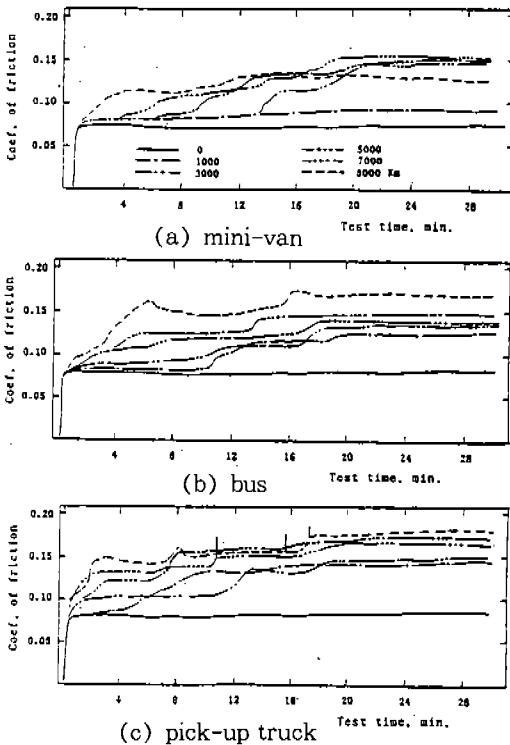


Fig.11 Changes of the friction coefficient of used oils

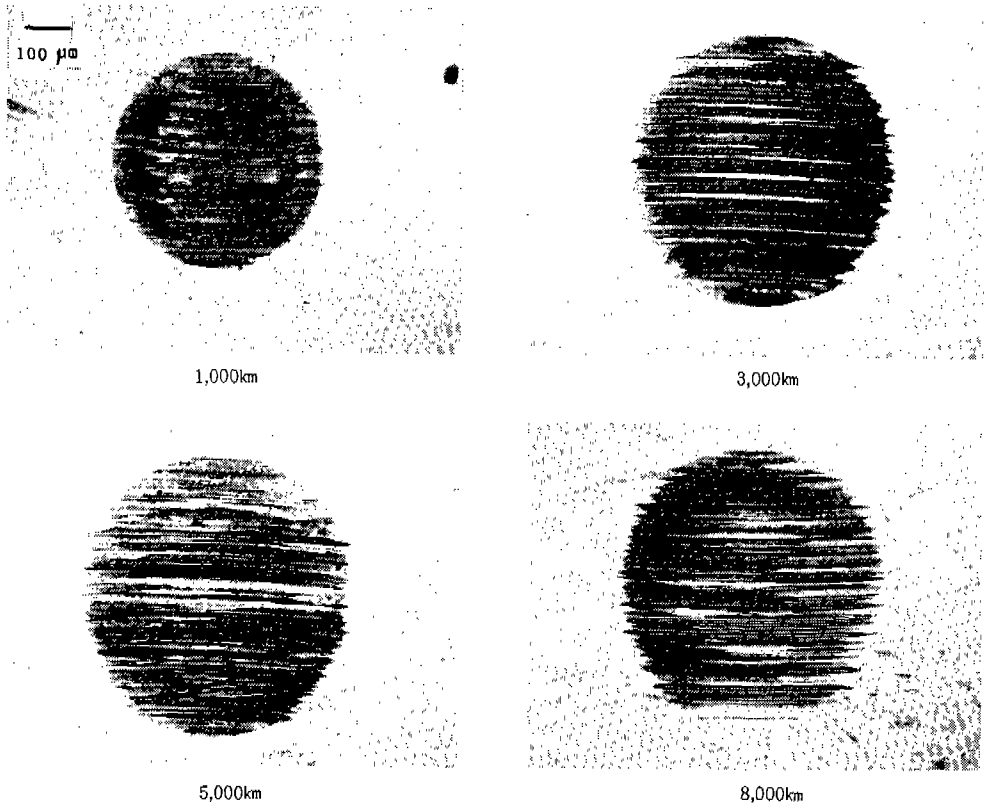


Fig.12 Micrographs of the wear scar tested for mini-van engine oil

찰면의 형상을 현미경으로 70배 확대하여 사진으로 비교하였다.

먼저 붕고승합의 사용오일에 시험한 마찰면을 사용거리에 대하여 비교한 Fig.12에서는 마찰계수에서 scoring현상이 없었던 1,000km 주행한 오일에서는 마모면이 원 모양을 이루고 표면에 피막이 벗겨나가지 않은 채 남아 있음을 보여 주지만 다른 오일의 시험표면 사진의 경우에는 서로 큰 차이가 없고 피막의 형성이 고르지 않으며 피막의 제거과정에서 생긴 마모자국이 톱니모양을 가진 원주를 형성하고 있다. 그러나 8,000km 사용오일에서 피막의 형태가 2단계로 생성되어 있다.

Fig.13은 소형트럭에 사용하면서 채취한 오일의 마모면 사진으로써 1,000km 사용오일의 경우에만 검은색의 단일 피막이 형성되었고 3,000km

부터 6,000km까지는 2종 피막이 형성되었으며 7,000km부터는 마모원 직경의 크기 증가와 함께 피막의 형성이 매우 빈약함을 보여 준다. 즉 막의 생성이 불완전함을 의미하고 그에 따른 마모의 증가와 마찰계수의 증가에 의한 scuffing이 발생된 것으로 판단 된다. 이 현상은 다음에 EDX (Energy Disperse X-ray)에 의해 보다 세밀한 분석을 할 것이다.

사용오일에 대한 마모입자의 분석을 위한 ferrogram을 만들어 현미경 분석을 하였다. 붕고 승합의 경우에는 Fig.14에서와 같이 1,000km에서부터 8,000km까지 마모입자의 크기에는 큰 변화가 없고 단지 입자의 밀도만이 점차 증가하고 있음을 보여주고 있다.

소형트럭에 사용된 오일의 경우는 Fig.15와 같다. 5,000km까지는 마모입자들의 크기에 변화



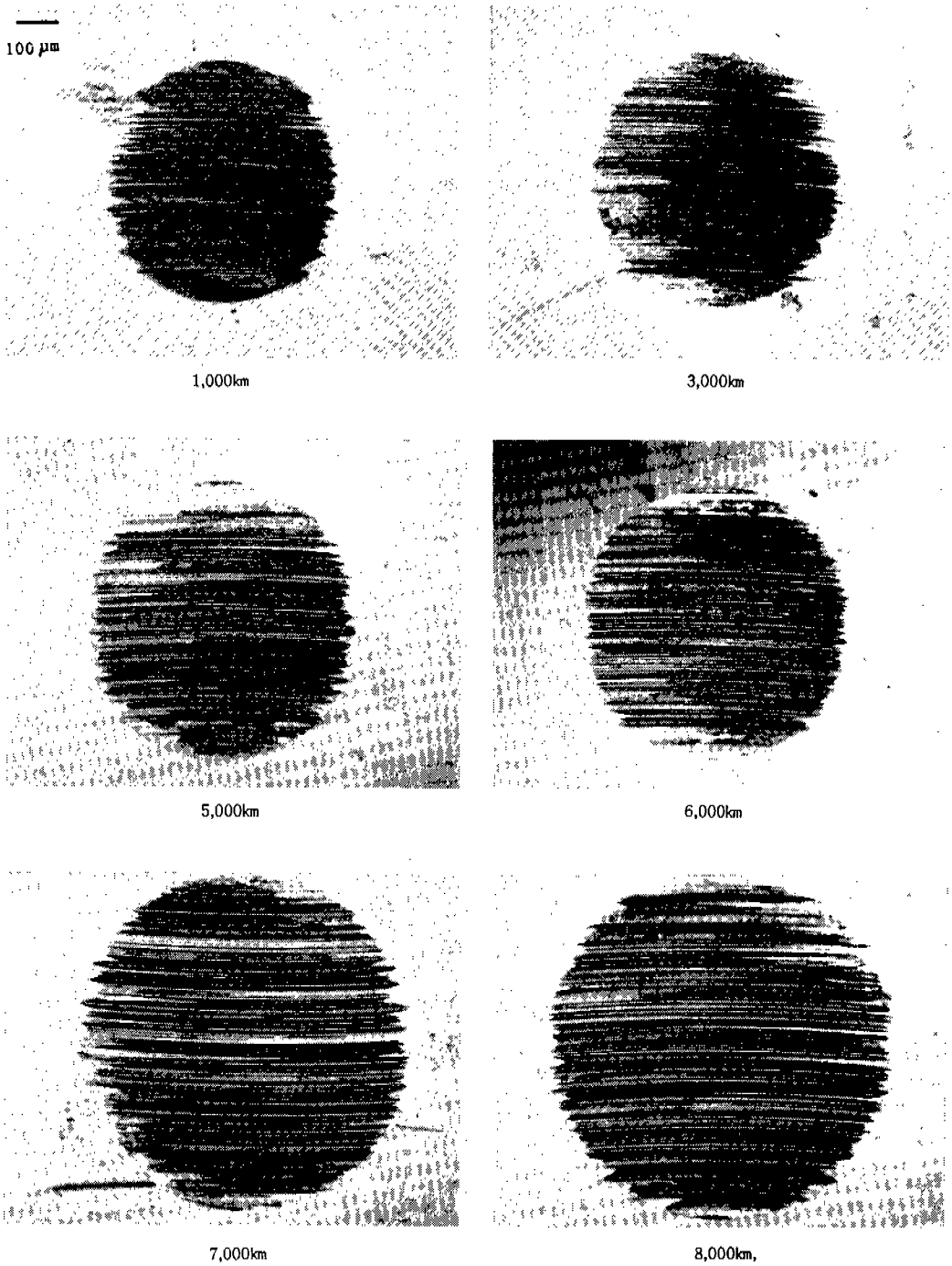


Fig.13 Micrographs of the wear scar tested for pick-up truck engine oil

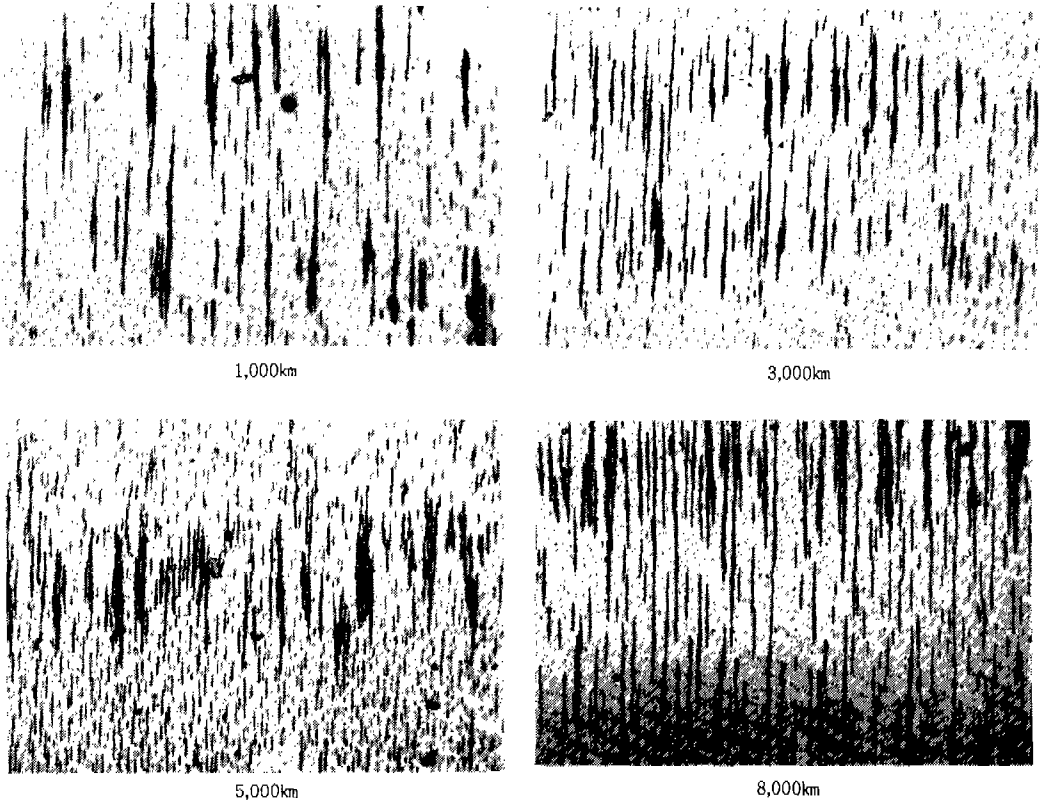


Fig.14 Micrographs of the ferrogram tested for mini-van engine oil

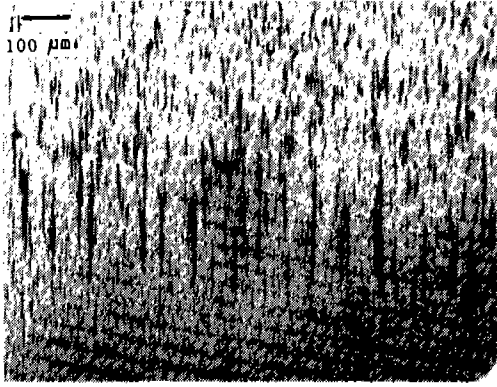
가 없고 밀도만이 증가되고 있음을 보여주고 있으나 그 증가율은 봉고승합의 오일에 함유된 마모입자보다 더 크다. 그러나 7,000km에서 마모입자의 크기가 매우 큰 것이 많이 존재하므로 윤활내에서 불완전 윤활작용에 의한 비정상 마모가 일어나고 있음을 보여 준다. 8,000km를 사용한 오일에서는 비정상 마모입자의 수가 더 증가하였고 크기도 더욱 커서 50~60 $\mu$ m 이상이 되는 것을 포함하고 있다.

보통 정상마모에서는 윤활상의 문제 micro가 없는 상태이나 높은 마모에서 오일이 교환이 요구되며 비정상 마모에서는 반드시 오일의 교환과 함께 기관의 고장이나 성능 저하등의 손상여부에 대한 점검을 필요로 하고 있다.

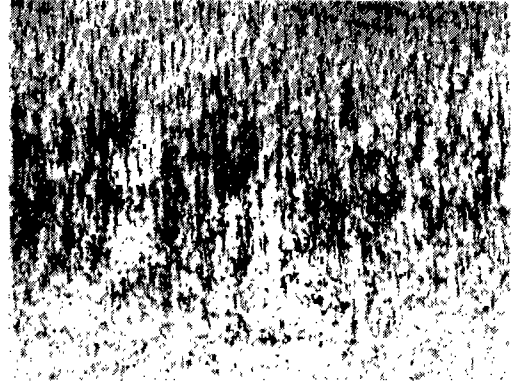
### 3.3 사용오일의 금속성분 분석

사용된 오일속에 함유하고 있는 금속의 정량분

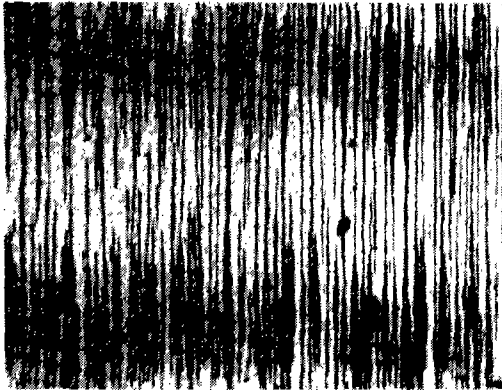
석을 IR과 AE(atomic emission spectroscopy)에 의해 철(Fe)분의 농도를 측정된 결과를 Fig. 16에 나타내었다. 동력계시험오일을 제외하고 철의 농도는 4-ball시험에서 마모직경의 크기와 같은 경향으로 농도의 증가현상을 보여주고 있다. 즉 소형트럭에 사용오일의 경우가 농도 증가율이 가장 크고, 비록 사용중에 오일을 보충하였지만 타이탄트럭도 비교적 높은 증가율을 보여주며, 봉고승합의 오일속에 가장 적은 농도의 철분이 함유되어 있다. 그러나 동력계의 경우는 처음부터 많은 철분을 포함하고 있는데, 이것은 엔진이 새 것으로써 길들이기가 완전히 되기 전에 오일시험을 하였으므로 비교적 많은 철분을 함유한 것으로 판단된다. 또 작동초기의 상대적인 철의 농도 차이는 기관이 큰 버스의 경우가 가장 높은 농도를 나타내고 있어 오일의 교환과정에서 기관에 잔류된 오일의 혼합 영향에 의한 것으로 판단



1,000km



3,000km



5,000km



7,000km



8,000km

Fig.15 Micrographs of the ferrogram tested for pick-up truck engine oil

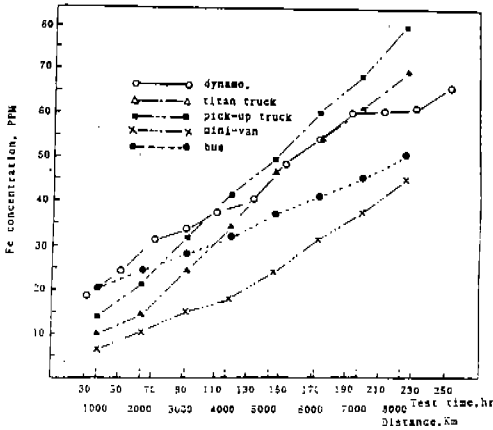


Fig.16 Comparison of the iron content in used oil

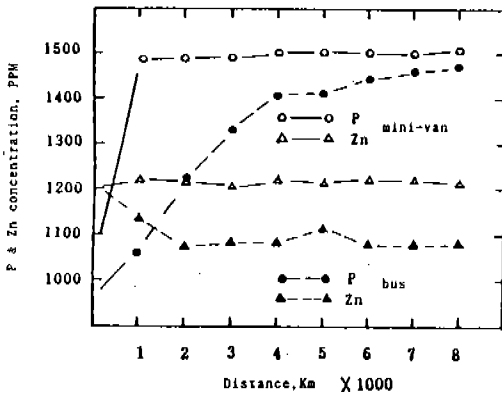


Fig.17 Comparison of P and Zn contents in used oil

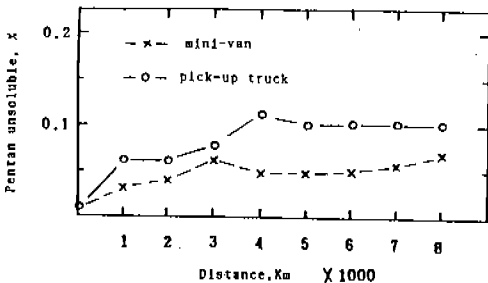


Fig.18 Comparison of the pentan insoluble in used oil

된다.

사용 오일속의 철분 이외에 중요한 금속성분의 변화에서 내마모 첨가제의 주요성분인 인(P)와 아연(Zn)의 농도변화를 봉고승합과 버스에 관하여 살펴 보았다. Fig.17에서 인(P)의 농도는 오일이 사용되면서 증가하는데 봉고승합은 처음 증가후 변화가 없이 일정하지만 버스의 경우에는 4,000km까지 점진적으로 증가하는 경향을 보여 주고 아연(Zn)의 경우에도 봉고의 경우는 일정하게 유지되는데 비해 버스의 경우에는 3,000km까지 감소하다가 일정하게 유지하고 있다. 이것은 봉고승합의 사용오일에서 마찰면에 내마모 피막생성에 반드시 필요한 원소(P와 Zn)의 농도가 일정한 수준을 유지하지만 버스의 경우에는 절대적인 농도에서도 봉고승합보다 적고 사용에 따라 감소(금속과 반응하여 화합물로 형성되고 마보입자의 형태로 여과기에 의해 여과됨)하면서 오일의 내마모 내마찰성에 차이가 생기는 것으로 판단된다.

봉고승합과 소형트럭에 사용된 오일에 대하여 오일의 윤활작용에서 형성되는 금속과 첨가제의 반응물질 즉 friction polymer로 알려져 오일속에 잔류하는 준 고형물질로 윤활작용을 억제하는 것인 펜탄 불용성분을 분석하여 비교한 것이 Fig.18에 나타내었다. 사용 초기에는 증가율이 크지만 4,000km이후에는 증가율이 일정한 상태를 유지하지만 트럭의 경우가 승합보다 더 많이 함유되어 있고 8,000km의 사용에서 약 0.1%에 달하지만 승합의 경우에는 이보다 작은 수준을 유지하고 있다.

### 3.4 마찰면의 피막분석

사용오일의 마찰 시험후에 마찰면에 형성된 고체 피막의 성분을 알아보기 위하여 4-ball시험 마찰면을 EDX(Energy Disperse X-rat)로 분석하였다. Fig.19는 봉고승합에 사용된 오일 피막의 스펙트럼으로, 오일이 사용되기 이전에는 인(P)의 피크는 나타나지 않고 황(S)의 피크도 비교적 적게 나타나고 있다. 그러나 봉고승합 엔진에 사용되면서 1,000km의 사용오일은 황의 피크가 증가하고 인의 피크도 나타나고 있다. 또

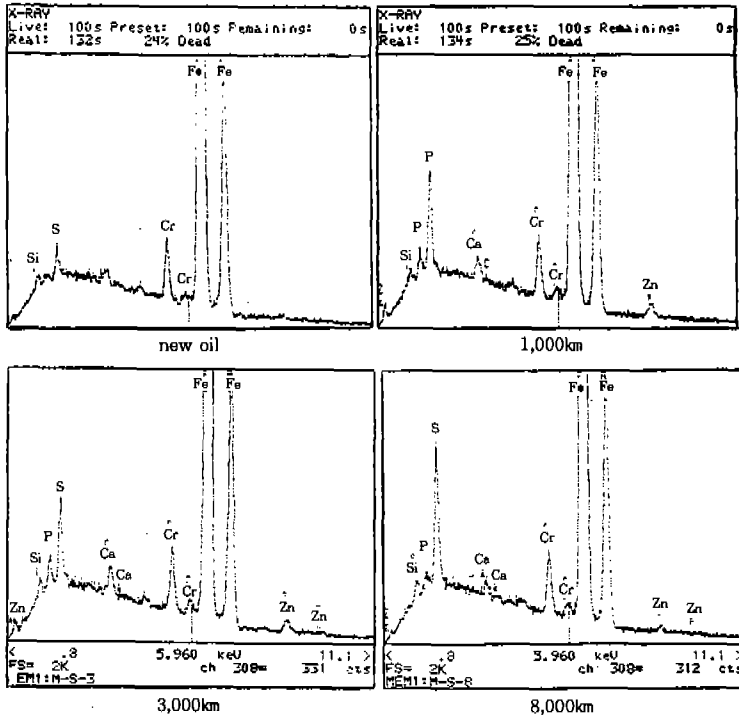


Fig.19 EDX spectrum of the wear scar tested with mini-van engine oil

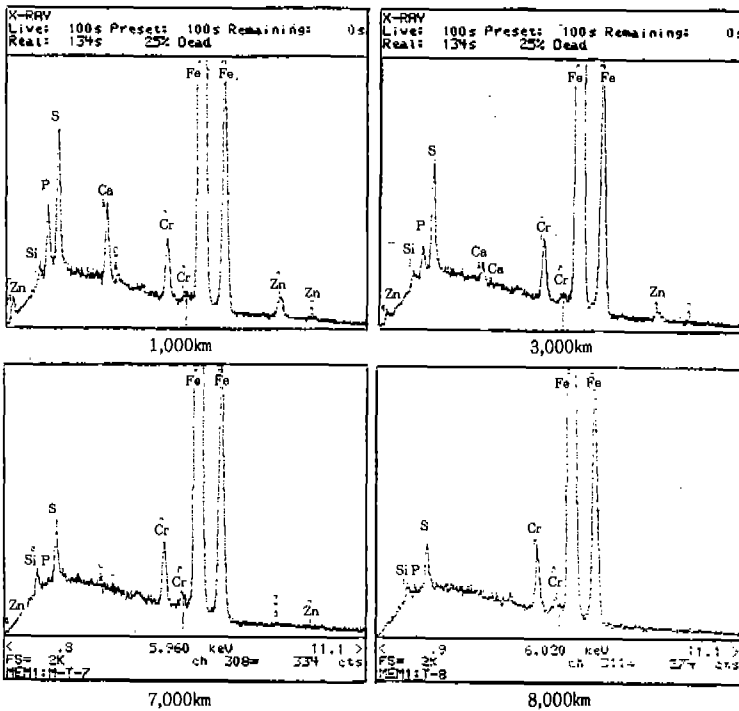


Fig.20 EDX spectrum of the wear scar tested with pick-up truck engine oil

3,000km의 사용오일은 인의 피크가 더 커지고 황은 같은 수준을 유지하며 8,000km의 사용오일에서는 인의 피크가 다시 감소하여 나타나지 않고 황의 피크는 크게 나타나고 있다. 여기에서 오일이 사용되기 이전에는 화학적 활성이 적으나 사용함에 따라서 금속과 반응이 활성화되면서 마찰과 마모를 억제하는 성질이 나타난다. 그러나 계속 오일이 사용됨에 따라 인의 활성이 감소하고 황의 반응은 8,000km를 사용한 오일에서도 아직 활발함을 보여준다.

오일의 열화정도가 심한 소형 트럭에 사용된 오일의 경우인 Fig.20에서는 1,000km에서 황과 인의 피크가 크게 나타나지만 3,000km에서는 인의 피크는 많이 감소하였고 황의 피크도 줄어들고 있다. 8,000km 사용오일의 시험면의 분석에서는 인의 피크는 나타나지 않고 황의 경우에도 매우 작아져서 오일이 극압첨가제 기능의 감소에 의한 내마모와 내마찰성을 상실하였음을 보여주고 있다.

이상의 자료와 분석에 의하면 사용오일의 화학적 성질변화 즉, 열화가 기계적 성질인 내마모성과 마찰계수에 변화를 주고 마모입자의 생성이나 밀도, 농도 그리고 크기 등에 필연적인 결과를 가져오고 있음을 확인할 수 있었다. 또 비정상 마모는 오일의 성질과 함께 사용차량에 영향을 받고 각 경우에 따라 적정 사용한계의 범위를 설정하는것이 필요하며 이를위한 자료로 앞에서 분석한 결과를 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

디젤 엔진에 사용되는 오일의 열화과정에서 화학적, 기계적 성질의 변화와 그 영향에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 동력계와 실차시험에서 오일의 내 마모성 감소와 마찰력 증가에 영향을 미치는 물성 변화는 전산가(TAN), ZDTP의 고갈정도, 황화정도 그리고 검댕과 펜탄 불용분 함량의 성질변화와 관계가 깊고 사용차량에 따라 많은 차이를 보여주고 있음을 알 수 있

었다.

- 2) 엔진오일이 사용에 따라 열화되면서 기계적 성질이 나빠지게 되는데 그 원인은 윤활유에서 첨가제 성분이 고갈 또는 불활성화 되면서 마찰면에 보호피막 형성에 의한 극압기능을 하지 못하기 때문이다. 따라서 금속 표면의 보호기능이 약화되고 그에 따라서 마찰계수와 마모량이 증가하게 되며 scuffing 현상을 발생시키는것이 사용오일과 마찰면의 분석으로 확인 되었다.
- 3) 디젤엔진의 경우 오일의 사용초기에서 오일의 내마모성 성질이 활발해진 다음에 점진적으로 열화가 시작되므로 5,000km 이전에서 교환해 주는 것은 엔진보호나 자원절약의 측면에서 바람직하지 않음을 알 수 있었다.
- 4) 엔진오일이 최적 사용한계를 초과하여 계속 사용될 경우에는 오일의 극압성능이 고갈되므로써 엔진 실린더벽과 피스톤링, 캠과 태핏등에 마찰계수와 마모의 증가로 인하여 에너지 손실이 증가하게 되며 소음 및 진동의 발생과 함께 엔진의 성능이 가속적으로 감소하게 되고 차량의 수명단축이나 엔진의 고장 발생을 초래할 수 있음을 보여 주었다.

## 참 고 문 헌

1. 신오식, "자동차용 엔진오일의 윤활관리", 윤활관리, Vol.12, No.3.
2. "자동차용 엔진오일의 신뢰성과 오일의 교환거리", 기술 자료, 윤활관리, Vol.13, No.2.
3. 박선재, "자동차 윤활(1)", 윤활관리, Vol. 13, No.3.
4. 박선재, "자동차의 윤활(2)", 윤활관리, Vol.13, No.4.
5. Patterson, J. K., and R. C. Gregor, "Lubricant Factors Affecting Passenger Car oil Consumption", Paper SAE 352, November 1967.
6. Georgi, C. W., "Some Effects of Motor

- Oils and Additives on Engine Oil Consumption", Paper 238 SAE Annual Meeting, Detroit 1954.
7. Georgi, c. W., "Some Effects of Motor Oils and Additives on Engine Oil Consumption", Paper 238 SAE Annual Meeting, Detroit 1954.
  8. Lowther, H. V., "Some Factors Affecting Engine Oil Consumption", Paper 867, SAE Nov. 1956.
  9. Selby, T. W "A Comparison of the Effects of Cranking Speed and Oil Viscosity", Paper 805, SAE Jan. 1964.
  10. 강석춘, 김종호, "A Study of Friction Properties of Mo-DTP as a Lubricant Additive", 일본 나고야 국제학술논문, 1990, 10, pp. 356~364.
  11. 강석춘, "자동차 엔진오일의 마찰특성에 관한 연구", 자동차공학회지, Vol.13, No.4, 1991.
  12. 강석춘, "4-ball 시험기와 페로그래피에 의한 자동차 엔진오일의 마찰마모 특성에 관한 연구", 자동차공학회 학술 논문발표, 1989. 4, pp. 126~140.
  13. Westcott, V. C. and Seifert, W. W., "Investigation of Iron Content of Lubricating Oil Using a Ferrography any an Emission Spectrometer," Wear, 23(1973), pp. 239 ~249.
  14. Hofman, M. V. and Johnson, J. H., "The Development and Application of Ferrography to the Study of Diesel Engine Wear", SAE Paper No 780181, 1978.
  15. Jones, N. H., "Ferrograohy Applied to Diesel Engine Oil Analysis", Wear, 56 (1979), pp. 93~103.
  16. 강석춘외, "가솔린 엔진오일의 사용에 따른 기계적 성질의 변화에 관한 연구", 한국 윤활회지, 제9권 2호(1993), pp. 36~48.
  17. 강석춘, "디젤 엔진오일의 최적 사용한계 설정에 관한 연구", 한국 석유품질검사소 연구 보고서, 1993년 12월