

# 가솔린 엔진오일의 사용에 따른 기계적 성질의 변화에 관한 연구

강석춘 · 신성철 · 김동길 · 노장섭

공군사관학교 기계공학과

## The Changes of Mechanical Properties of Used Oil in Gasoline Engine

Suk-Choon Kang, Sung-Chul Sin, Dong-Gil Kim and Jang-Sup Rho

Dept. of Mechanical Engineering, Korea Air Force Academy

**Abstract**—This study is concerned with the changes (deterioration) of the mechanical properties of used oil in the gasoline engine. The analysed properties of used oil were friction, antiwear, wear debris, load-carrying ability and the formation of surface film. From this study, it was found that the oil used in engine was deteriorated to increase the wear and friction and decrease the load-carrying ability as the running distance of oil was increased. Also the main cause of deterioration was related to the formation of the protective film on the contact zone. When the film was composed with rich additives (sulfur), this could properly protect contact zone from the increase of wear and friction. But as oil was deteriorated, it could not form such a film and therefore the protective ability of sliding surface diminished.

### 1. 서 론

최근에 차량의 급격한 증가에 따라 차량관리에서 적절한 주기적 오일 교환은 엔진의 성능을 유지하고 고장의 예방과 수명의 증대 또는 에너지 절약이나 환경 공해등에서 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 그러나 자동차와 오일의 제조 분야나 국가적인 차원의 기술적인 지침이 없는 현재에 수반되는 자원의 낭비나 차량의 유지 및 보수 등의 비용은 크게 증가하게 됨으로써 개인은 물론 국가적으로 손실은 막대하게 된다.

따라서 국내 환경과 차량의 주행 조건에 따른 최적 엔진오일 교환의 주행거리 설정에 관한 연구 및 홍보가 시급히 요구되고 있는 실정이다.

최근 일부 오일의 관련기관에서는 외국 문헌에 관한 자료를 제시하면서 국내 교육이나 참고 자료로 활용하고 있지만[1-4] 이것은 차량 소유자의 이해나 활용에는 크게 이바지하지 못하고 있는 실정이다. 또 오일의 열화에 관한 연구 문헌은 주로 화학적인 열화에 치중하는 경향이 많았고[5-7]기계적인 관점에

서는 윤활마찰에서 재료의 마모 메카니즘의 이해나 마모입자 분석에 의한 고장 탐지에 관심을 집중시켜 왔다[8-14].

그러나 사용중인 오일에 대한 열화의 주요 판단이나 기준은 실제로 오일의 가장 중요한 기능인 상대운동 부품의 마찰과 마모에 관련 되어야 한다. 즉 부적절한 오일의 사용에 따른 부품의 마멸은 엔진의 성능을 감소시키고 소음이나 진동을 유발하며 차량의 고장이나 수명 단축의 주요 원인으로 될 수 있다.

아직까지 오일의 기계적 성질의 변화에 근거한 엔진 오일의 열화나 그 영향에 관련된 연구는 별로 없다. 따라서 본 연구에서는 엔진오일과 차량의 주행조건에 따른 오일의 열화에 의해서 기계적 성질의 변화와 그에 의한 영향에 관하여 동력계와 실차를 중심으로 연구를 수행하였다.

### 2. 엔진오일의 시험과 절차

#### 2-1. 사용유 시험 및 채취방법

엔진오일의 사용유 분석에 사용된 엔진오일은 A,

B의 두개 회사제품을 선정하고 벤치 시험(실험실 동력계 시험)과 실차주행 시험을 실시하였다. 시험 오일은 전에 사용한 오일을 2시간 이상 빼낸 후에 새 오일을 오일 함량 표시 게이지의 최대 위치에 도달 되도록 넣고 동력계시험에서는 10~20시간마다, 그리고 실차 주행시험에서는 1000±30 km마다 40 ml/씩 사용유를 뽑아 기계적 성질변화에 대한 시험과 분석을 하였다.

사용오일의 샘플을 채취하는 방법은 다음과 같은 조건을 엄격하게 유지하도록 하였다.

- ① 샘플은 엔진 작동정지 후 10±1분에 채취한다.
- ② 채취 위치는 오일 게이지에 지시된 부분에서 2 cm 아래 위치를 유지하였다.
- ③ 채취병은 완전히 세척을 하였고 채취호스는 비닐로 만든 것으로써 매번 새것을 사용하였다. 채취된 샘플 오일은 2주일 이내에 모든 분석을 마치도록 하여 가능한 보관에 따른 물성변화를 억제하였고 불순물의 오염이나 유입을 방지하며 온도가 높지 않은 곳에 보관하였다.

## 2-2. 동력계 시험(탁상 시험)의 절차와 방법

동력계 시험용 엔진의 재원과 시험의 작동 조건은 다음과 같다.

### ● 재 원

엔진 배기량 : 1.5l  
 연료 분사방법 : 다지관 연료 분사식  
 사용정도 : 신 조립품

### ● 작동조건

엔진회전수 : 2000 rpm  
 냉각수 출구 온도 : 85~95°C  
 오일 팬 온도 : 115~120°C  
 계기 엔진 토크 : 40 N-m  
 엔진 출력 : 약 27 kw  
 연료 소비율 : 100~110 sec/100 ml  
 엔진오일 주입 : 3.5l  
 샘플 채취 : 20시간마다 40 ml/씩  
 작동 시간 : 200시간  
 사용 연료 : A 정유회사 제품의 무연휘발유

신 조립 엔진을 구입하여 작동에 이상이 없도록 점검하고 엔진 동력계와 각종 측정 센서를 부착하였고 사진은 Fig. 1과 같다.

엔진 동력계 시험을 총 500시간 실시하였고 시험 오일은 모두 SG/CE급으로 A사(15W40) 제품을 100



Fig. 1. Photograph of engine test bed with dynamometer

시간과 200시간씩 하고 다음에 B사(10W40) 제품에 대하여 200시간 동안 시험하면서 각각의 사용유를 채취하고 분석하였다.

엔진작동 방법은 시동 후 엔진을 2~3분간 무 부하 조건에서 공전 시키다가 서서히 회전수를 3000 rpm으로 올린다음 수차식 동력계에 물을 공급하므로써 계기 토크가 40 N-m이 되도록 조정하고 엔진 회전수는 2000 rpm으로 고정시킨다.

## 2-3. 실차 주행시험의 방법과 조건

실차 주행시험에 사용된 차량은 액셀(1.5l)과 프레스토(1.5l) 승용차와 르망택시(1.5l 개인용)로써 액셀은 120,000 km에서 프레스토는 70,000 km 그리고 르망택시는 80,000 km를 주행한 후 시험하였다. 주행의 가혹 정도를 구분하기 위하여 액셀 승용차는 고속도로를 주로 주행하여 10,000 km 주행에 약 3개월 걸렸으며 프레스토 승용차는 시내주행을 주로 하였고 고속도로는 거의 이용하지 않도록 하여 8,000 km를 약 5개월 동안에 주행하였다. 택시의 경우는 보통 지방 도시의 개인택시 평균 주행거리인 하루 300~400 km씩을 주로 도심에서 주행하도록 하고 고속도로는 단구간에 한하여 운행하면서 30~40일에 8,000 km를 주행하였고 A사와 B사 오일의 순서로 연이어서 시험하였다.

사용오일의 샘플 채취방법은 동력계 시험과 같은 절차를 따르도록 하였고 샘플오일도 2주일 이전에 분석을 시작하여 일반적인 오일의 성질 변화를 억제하도록 하였다.

## 2-4. 4-ball 마찰시험

오일의 기계적 물성시험을 위해 Cameron-Plint사의 4-ball시험기로 마찰시험을 실시하였다. 시험은 ASTM

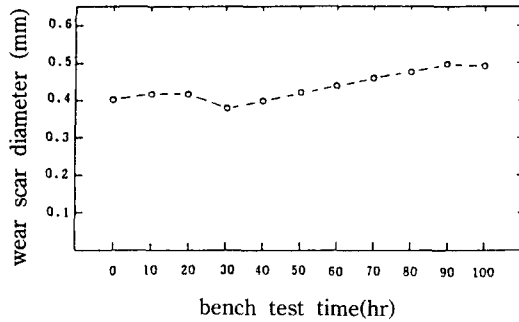


Fig. 2. Wear scar diameter of used oil by 4-ball test

D 2266을 표준시험으로 하였고 그 조건은 다음과 같다.

회전수	: 1200 ± 5 rpm
오일의 온도	: 75 ± 2°C
하중	: 40 Kgf
시험시간	: 60분
시험용 볼	: SKF사의 표준 볼 베어링

### 3. 결과와 고찰

#### 3-1. 엔진의 처음 사용유의 기계적 성질 분석

새 오일과 사용 중에 채취된 샘플오일(사용유)의 내마모성과 사용에 따른 변화를 조사한 4-ball 시험의 결과를 Fig. 2에서 보여 준다. 새 오일의 경우보다 20시간 사용까지는 마모 직경이 증가하였으나 30시간에서부터는 마모직경의 크기가 감소하여 최소가 된 후에 다시 점진적으로 증가하였다. 따라서 오일의 내마모 성능이 사용 초기에는 감소 후 다시 증가하였다가 점진적으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

또 4-ball 시험중에 사용유들의 마찰계수(력)의 변화를 살펴보기 위하여 Fig. 3-a와 3-b에 비교하여 제시하였다. 일정한 마찰계수에서 마찰작용 중에 크기가 증가하는 경우는 두가지로 구분된다. 먼저 마찰계수가 점진적으로 증가를 하는 경우으로써 scoring이라 정의하고 이 과정에서 마찰 초기에 생성된 피막(내마모, 내마찰성을 갖임)이 첨가제에 의한 영향을 많이 받은 것으로부터 마찰중에 새로운 피막으로 점차 전환되는 경우이며 또 하나의 경우는 다른 피막으로 전환되는 과정이 아주 짧은 순간에 기존 피막이 완전히 벗겨지면서 새로운 피막이 형성되기 직전에 금속간의 접촉이 생기게 되어 마찰계수가 급격히 증가하게 되고 동시에 금속간의 마찰에 의한 많은 마모를 수반하는

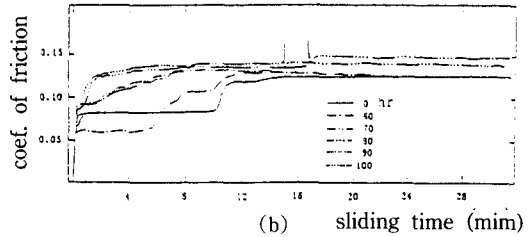
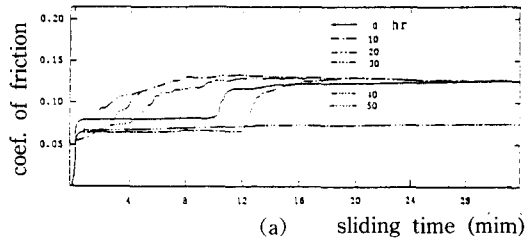


Fig. 3. Friction coefficient of the used oil tested by 4-ball

것으로 일반적으로 scuffing으로 정의하고 있다. 이 두 가지 모두 윤활 마찰에서 바람직하지 않으나 scuffing은 더욱 나쁜 현상으로써 계속 될 경우에 마찰면의 마모가 급격히 증가하고 소음과 진동이 수반되며 더욱 심하면 불꽃이 튀기는 경우가 있다. 대부분이 설계잘못이나 오일의 내마모성능 저하에 기인하고 작동조건에 비해 특히 EP첨가제 등 첨가제의 기능이 약화되는 고갈 즉 열화에 그 원인이 있으며 좋은 오일도 장기간 사용에 따라 열화가 심한 경우에 자주 일어나는 현상이다.

Fig. 3에서 새 오일을 포함하여 모든 사용 오일에 scoring 현상이 발생하였으나 30시간을 사용한 오일만이 마찰계수의 증가 현상이 발생하지 않았다. 발생시키는 10시간 사용 오일이 가장 늦고 50시간을 사용한 오일이 가장 빠르나 전체적으로 일관성은 없고 scoring 후에는 모든 오일의 마찰계수가 0.12 정도로 일정한 값을 갖고 있음을 보여준다.

또 90과 100시간 동안 시험에 사용한 오일의 경우에는 첨가제가 전혀 포함되지 않은 기유에서 발생하고 있는 scuffing 현상이 생기었고 다른 오일은 scoring 현상만 발생하였다. Scuffing이 일어난 후 마찰계수는 증가하여 90시간, 100시간 순으로 커졌으며 0.15 정도에 접근하고 있음을 보여 준다. 여기에서 보면 엔진오일은 사용 정도에 따라 물성의 변화가 내마모성 변화 뿐만 아니라 접촉면의 피막 생성과 벗겨지는 과정에 관련되어 마찰계수의 변화를 초래하면서 scuffing 현상까지 일으키고 마모를 증가시키

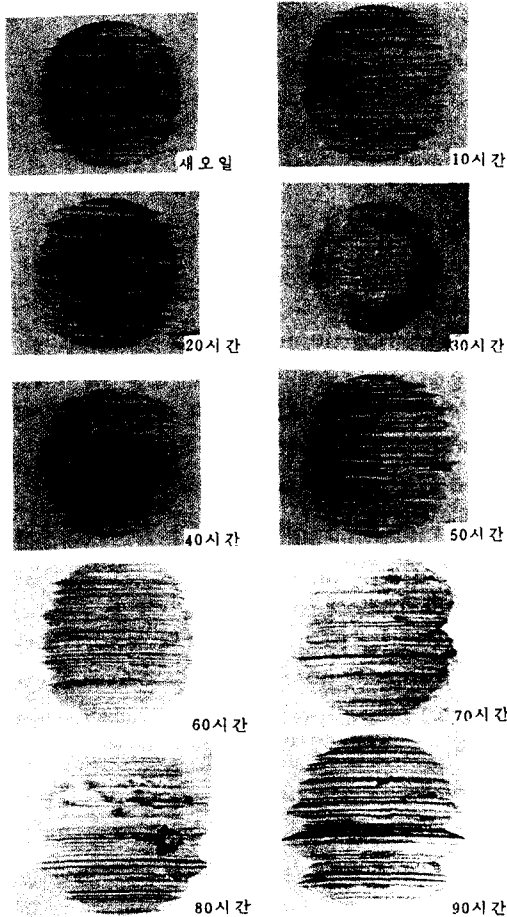


Fig. 4. Optical micrographs of wear zone slid by 4-ball tester

므로 오일의 열화 판단 근거로 매우 중요한 기준이 될 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 4-ball 시험한 ball의 마찰면 사진을 Fig. 4에 열거하였다. 확대 비율이 100배로써 마모면에 형성된 피막이나 마모형상을 보여준다. 마찰중에 마찰계수가 증가한 경우에는 피막의 제거과정에서 발생하는 금속접촉의 원인으로 마모 흔적이 일정한 원형을 형성하지 않고 톱니 자국을 보여 주고 있으나 피막 변화가 없는 30시간 사용유를 시험한 오일은 완전한 원형을 유지하면서 중간 부분에 잔류하고 있는 초기에 형성된 첨가제 피막을 볼 수 있다. 아직도 남아 있는 것은 피막의 성질이 충분히 우수하여 마찰과정에서 벗겨지지 않았기 때문이고 그에 따라 마모가 적고 마찰계수의 증가가 발생하지 않은 것으로 판단된다.

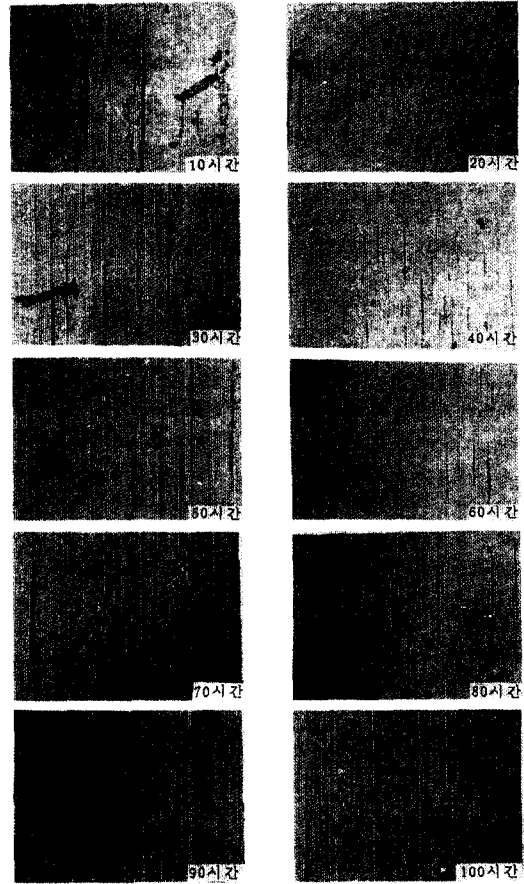


Fig. 5. Ferrogram of used oil tested with dynamometer

70시간 사용유부터는 마찰면에 2차 피막마저 벗겨지는 과정에 있으며 피막이 벗겨지면서 뭉쳐있는 덩어리들을 보여주고 있다.

엔진오일 속에 포함된 마모입자 분석을 위하여 Ferrography를 이용하여 Ferrogram을 만들었고 그 결과를 Fig. 5에서 보여주고 있다.

이번에 시험한 엔진이 새 것으로 길들이기 과정을 거치지 않은 것으로써 길들이기 과정의 마모입자 생성에서 입자 형상이나 크기 등을 관찰할 수 있다. 처음 10시간 작동한 오일의 ferrogram에는 자성을 갖지 않은 커다란 입자와 모래 등의 입자(주물사의 일종)가 많이 분포되었고 금속 특히 자성을 갖는 철 성분은 때를 이루면서 약간만 분포하여 오일의 순환중에 마모 입자등이 오일에 포함되었으나 아직 여과기에서 여과되지 않았음을 보여 준다. 작동시간이 길어질수록 비자성 입자의 수나 크기가 작아지고 대신 철의 성

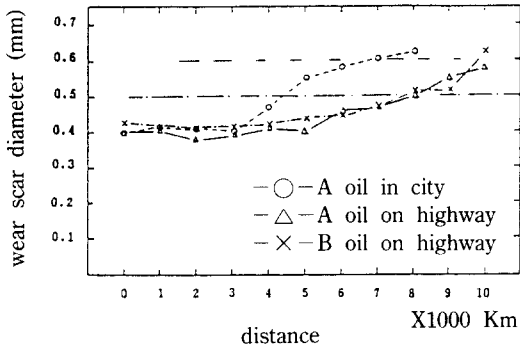


Fig. 6. Wear scar diameter of A and B oil used by real car

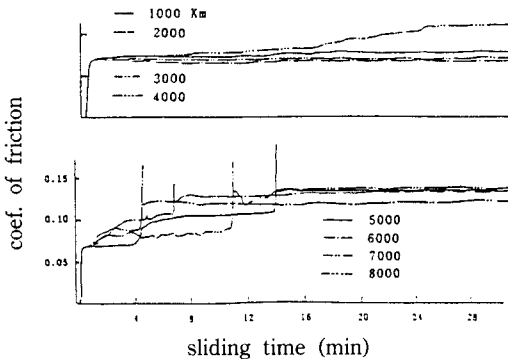


Fig. 7. Friction coefficient of A oil used in city by 4-ball tester

분이 증가되어 90시간과 100시간을 사용한 오일은 비교적 많은 작은 마모 입자의 금속 성분이 오일속에 포함되어 있음을 보여주며 입자생성 상태에 의하면 길들이기가 30시간 이후에는 끝난 것으로 판단된다. 이것은 엔진 작동의 가혹성을 고려하면 주행거리로 1000~2000 km 정도에 해당 될 것이다.

3-2. 실차 주행시험에서 사용유의 물성변화

3-2-1. 가솔린연료로 주행시험한 오일의 분석

Fig.6은 내마모성을 시험하기 위하여 사용오일(사용유)에 대한 ASTM D-2266의 절차에 따라 4-ball시험한 결과를 마모 직경으로 비교한 것이다. A오일로 시내 주행한 오일은 5000 km 정도에서 신유의 경우 보다 마모직경이 0.1 mm가 더 마모되었고 7,000 km 정도에서의 마모직경은 첨가제가 들어 있지 않은 기유 수준으로 0.2 mm가 더 증가된 0.6 mm 이상이 마모되었음을 보여준다. 그러나 고속도로 주행의 경우에

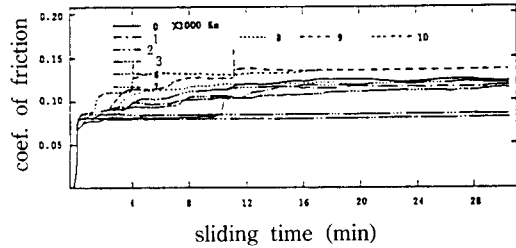


Fig. 8. Friction coefficient of A oil used on highway by 4-ball tester

A, B오일 모두 8,000 km에서 마모직경이 0.5 mm로써 0.1 mm가 더 증가되었고 10,000 km에서 B오일이 0.6 mm가 넘었으며 A오일도 거의 같은 수준에 도달된 것을 알 수 있다.

또 A, B오일 모두 2,000~3,000 km 정도에서 마모 직경의 크기가 최소로 나타나서 앞에서 설명한대로 오일이 사용 중에 내마모성이 우수해지는 경향을 갖게 되고 그 이후에 점차 마모가 증가 되고 있음을 보여 준다.

마찰계수의 변화에서 시내를 주로 주행한 엔진의 오일은 Fig.7에서 보여 주듯이 4000 km에서 점차 마찰계수가 증가되는 경향이 있으나 1000~3000 km에서는 scoring 현상이 일어나지 않았다. 또 5000 km 이상에서는 scoring과 scuffing 현상이 발생하며 마찰력이 증대되고 따라서 마찰면에 피막생성이 원활 하지 않음을 알 수 있다. Fig.8은 고속도로로 주행 차량에서 A오일을 넣고 고속도로를 주로 주행한 경우에 대한 마찰계수의 변화를 나타낸 것으로써 2000 km와 3000 km에서는 일정한 값을 유지하나 나머지 모든 오일은 scoring 현상을 일으키고 9,000 km와 10,000 km에서는 scuffing 현상도 일어남을 보여준다. 즉 고속도로를 주행한 차량 오일의 물성 열화 정도가 시내를 중심으로 주행한 차량 오일의 열화정도 보다 적음을 알 수 있다.

즉 내마모성 비교에서는 약 3,000 km 정도의 차이가 있고 마찰력에서는 약 4,000 km 정도를 고속도로를 주행한 차량에 넣은 오일의 열화가 시내주행시 보다 지연되고 있음을 보여준다. 또 B오일을 엔진에 넣고 고속도로에 주행한 차량의 경우 오일의 내마모성은 A오일 보다 초기에는 마모직경이 크게 나타나므로써 내 마모성이 우수하지 않음을 알 수 있으나 6,000 km 이상에서는 서로 비슷한 상태임을 보여준다. 따라서 내마모 성능에서는 오히려 B오일의 경우에 변화 정

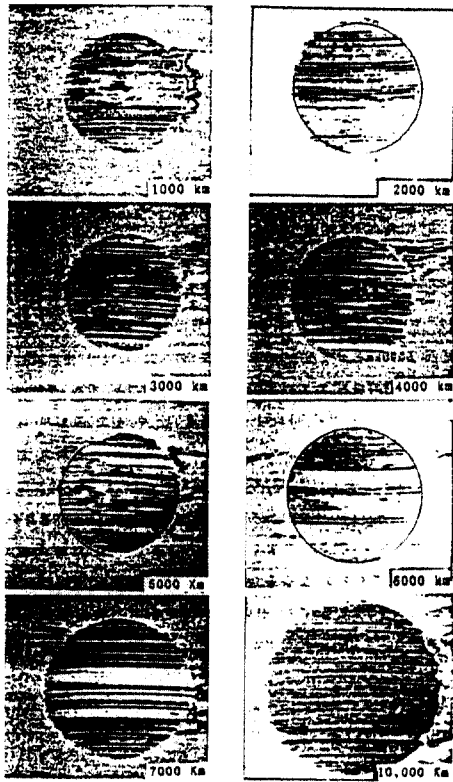


Fig. 9. Photograph of wear scars of A oil used on highway

도가 적고 A오일은 사용에 따른 내마모성이 쉽게 나빠짐을 알 수 있다.

Fig. 9는 마찰면에 대한 현미경 사진으로써 A오일을 고속도로 주행차에 시험한 경우이다. 1,000 km 사용유 시험에서는 피막의 제거가 시험 중간부분에서 진행중이고 2,000 km 사용유에서는 중간에서부터 주변으로 넓어지며 마모 직경의 크기도 증가 되지만 3,000 km와 4,000 km 사용유는 마찰면에 보호피막이 잘 형성되어 있음을 보여 준다. 5,000 km 사용유는 시험 마찰면으로부터 피막의 제거가 이루어지고 점차 시험시간이 증가하면서 마모 직경의 크기 증가와 함께 피막형성이 다시 이루어지고 있음을 보여준다. 그러나 이 피막이 초기 생성 피막과 동일 종류인지는 사진으로 구별이 안 된다.

Fig. 10은 A오일을 시험한 마찰면의 사진으로써 1,000 km를 주행한 경우 내 마모기능을 갖는 피막이 표면에 남아 있으면서 일부는 벗겨지고 있는 현상을 보여 주고 다음의 시험 오일에서부터는 부분적으로

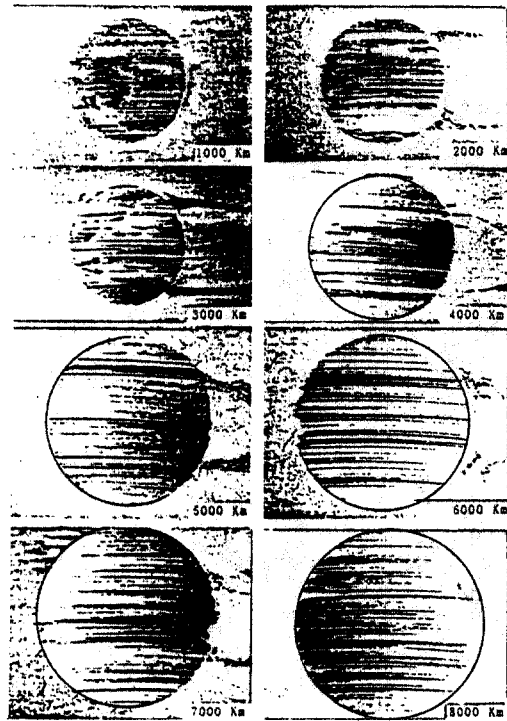


Fig. 10. Photograph of wear scars of A oil used in city

벗겨지면서 5,000 km 이상에서는 마모직경도 커지고 피막이 벗겨지는 현상이 더이상 나타나지 않았다. 즉 이 오일의 경우 최고 성능 오일은 1,000 km에서 3,000 km 사이에 나타나고 있음을 알 수 있고 오일의 내마모 성능은 쉽게 퇴화되면서 마모의 촉진과 마찰 증가를 초래하고 있다.

Fig. 11은 A오일의 시내주행 시험유와 B오일의 고속도로 주행 시험유에 대한 Ferrogram을 50 mm 지점에서 촬영한 100배의 사진들을 열거한 것이다. 도심주행을 주로한 오일의 경우에 마모입자 분포가 주행에 따라 점차 많아지고 있음을 보여 주고 고속도로 주행에서는 마모입자 분포가 사용 정도에 대해 상대적으로 차이가 적음을 나타내므로써 시내주행에서 더욱 가혹한 엔진의 마모가 이루어지고 있음을 보여준다. 특히 고속도로 주행한 오일은 2,000 km에서나 10,000 km의 경우에 서로 큰 차이가 없으나 시내주행 시험한 A오일의 경우는 상당히 많은 마모입자를 생성하므로써 오일의 물성변화가 엔진에 미치는 영향이 매우 크고 열화의 중요한 판단이 됨을 알 수 있다. Fig. 12는 A오일의 시내주행 사용유를 4-ball시험한 후 마모입자

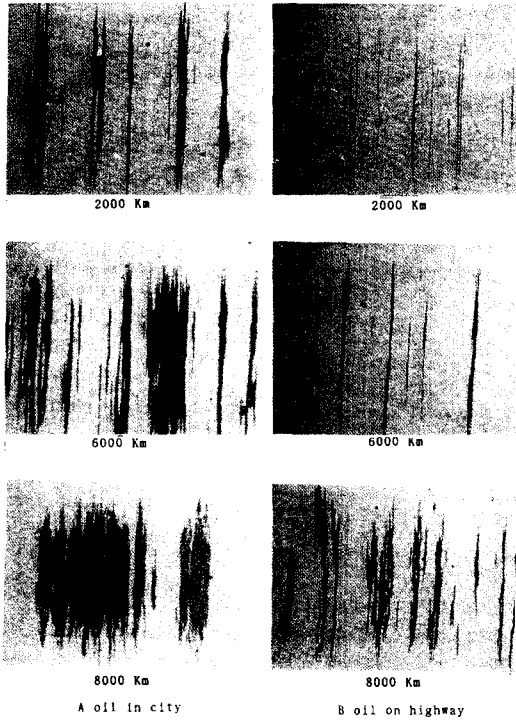


Fig. 11. Ferrogram of the oil used in city and on highway

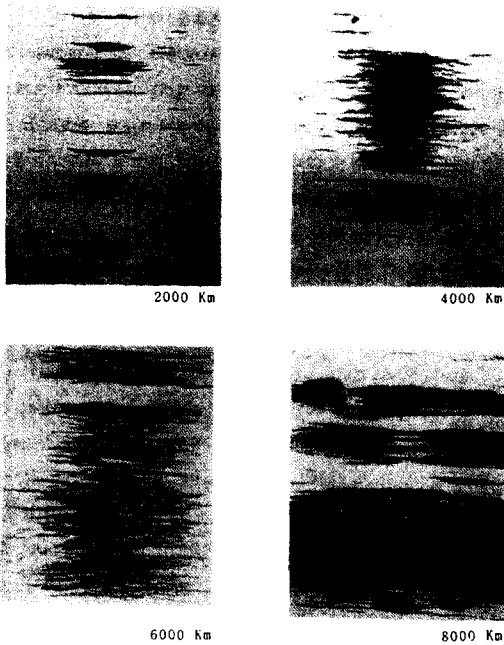


Fig. 12. Ferrogram of the A oil used in city tested with 4-ball tester

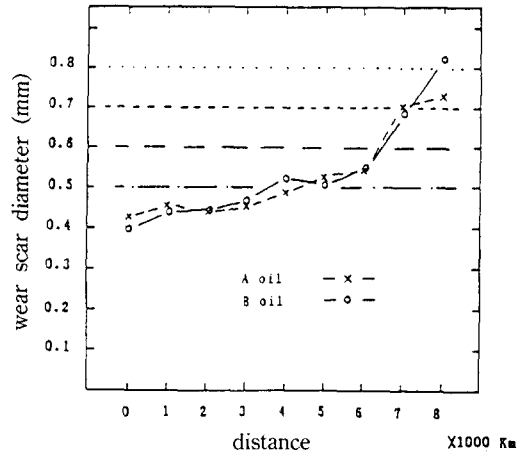
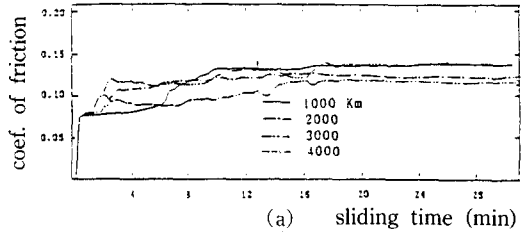
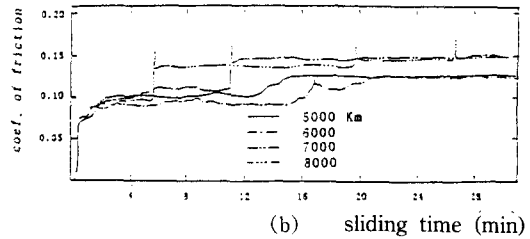


Fig. 13. Wear scar diameter of A and B oil used by LPG taxi



(a) sliding time (min)



(b) sliding time (min)

Fig. 14. Friction coefficient of A oil used by LPG taxi

분포를 나타낸 사진으로 오일의 열화에 따른 마찰시험에서 마모입자 생성의 경향을 비교한 것이다.

6,000 km와 8,000 km에서 많은 마모입자가 분포되어 있으므로 사용중의 엔진의 마모가 심하게 일어나고 있음을 보여 준다.

### 3-2-2. LPG 택시에 주행 시험한 오일의 분석

앞에서 시험한 것과 같은 A, B 오일에 대한 시험에서 총 주행거리가 70,000 km인 LPG 택시에 A오일을 먼저 주입하고 시험한 다음에 B오일로교환하고 각 주행시험에서 8,000 km씩 오일을 사용하면서 매 1,000 km마다 오일의 샘플을 채취하여 분석하였다.

Fig. 13은 샘플오일(사용유)에 대한 4-ball 시험에서의 마모직경 크기를 나타낸 것이다. 마모직경의 크기가 오일의 사용 거리에 따라 증가하지만 동력계 시험에서와 같이 중간에 감소하는 경우를 모두 갖고 있는데 그 시기는 A오일은 5,000 km 정도에서 나타나고 B오일은 2,000 km에서 발생하였으나 다른 사용오일의 시험에서 보다 감소 정도가 비교적 적었다. 초기에는 마모직경의 증가율이 작지만 3,000 km 이상부터는 점점 커지고 있음을 보여 주고 새 오일의 마모직경보다 0.1 mm 이상 증가하는 주행거리는 A,

B오일 모두 4,000 km에서 나타났고 6,000 km에서는 0.2 mm가 더 많이 마모되어 무첨가제 오일(기유)수준에 도달하였다. 이후부터는 마모직경이 급격히 증가하여 8,000 km주행 후 A오일은 0.83 mm, B오일은 0.74 mm로 아주 심한 마모경향을 보여줌으로써 오일의 내마모성이 기유 수준보다 더 나쁜 상태로 감소하였음을 알 수 있다.

4-ball 시험에서 A오일을 시험한 마찰계수의 변화를 Fig. 14에서 보여 주고 있다. 가솔린을 연료로 엔진에 사용한 오일과 비교하면 마찰계수가 일정한 경우는 A, B오일 모두 사용오일에서 나타나지 않고 단지 scoring에서 scuffing과정으로 변하는 것이 관찰되며 8,000 km를 주행한 A오일은 3회의 scuffing 현상이 측정기간 중에 일어남을 보여준다. 즉 오일을 열화된 상태에서 계속 사용하게 되면 상대운동을 하는 부품의 마찰계수는 증가하게 되고 기관내에서 마찰 에너지의 손실이 점점 커질 수 있음을 의미한다.

Fig. 15는 4-ball 시험 후 마찰면에 대한 사진을 열거한 것이다. 사용시간이 증가하면서 마모직경이 점점 커지며 A, B오일이 서로 비슷하게 변하고 있음을 알 수 있다. 또 모든 오일에서 보호피막이 남아있거나 점진적으로 제거되고 있는 현상이 없는 것이 가솔린 엔진 차량시험이나 동력계 시험의 경우와 다르다.

### 3-3. 사용오일의 기계적 성질변화의 비교

#### 3-3-1. 일정 하중에 의한 시험(ASTD D2266)

사용유의 기계적 성질 변화를 측정하는 4-ball 시험에서 마찰 중에 scuffing 현상이 생기면 마찰계수가 크게 증가하게 되고 내마모성이 감소함이 앞에서 입증되었다.

각 시험에 사용된 오일의 분석에서 scuffing 현상이 생기기 시작하는 조건을 정리하면 Table 1과 같다.

엔진오일의 사용거리나 시간에 따른 4-ball 마모직경의 크기 비교에서 A오일의 경우 신유보다 0.1 mm가 증가하는 조건과 기유 상태인 0.6 mm에 도달되는 사용조건은 Table 2와 같다.

동력계 시험에서 새 엔진의 경우 처음 100시간

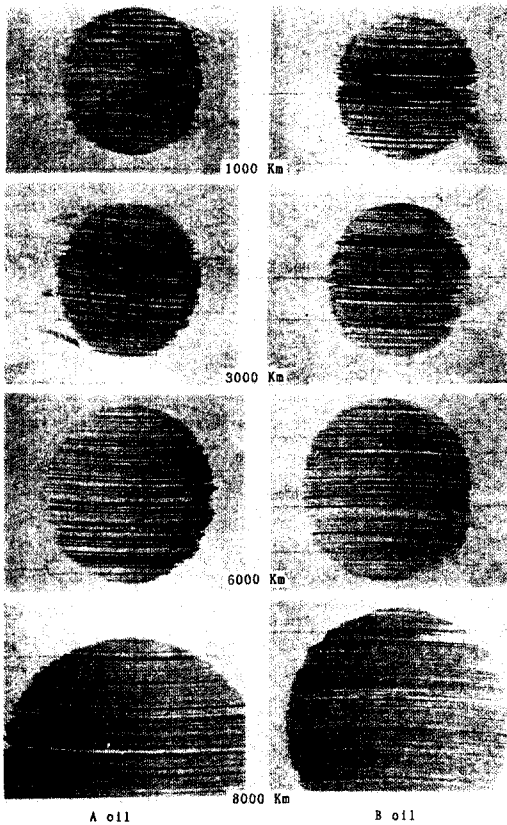


Fig. 15. Micrographs of wear scar of A and B oil used by LPG taxi

Table 1. Condition to occur scuffing

Test condition	Dynamo-test, hr			Gasoline car, Km			LPG car, Km	
	1'st	2'nd	3'rd	A oil*	A oil**	B oil**	A oil*	B oil*
Scuffing occur	90	150	170	5,000	8,000	10,000	4,000	4,000

\*in city, \*\*on highway.



Table 2. Wear of used oils

Test oil	Dynamo test (A oil)		Road test (A, B oil), km		
	1'st	2'nd	in city	highway	LPG
Wear scar dia.					
0.1 mm increase	90 hr	200 hr	5000	8000	4000
Same wear as base oil			7,000	10,000	6,000

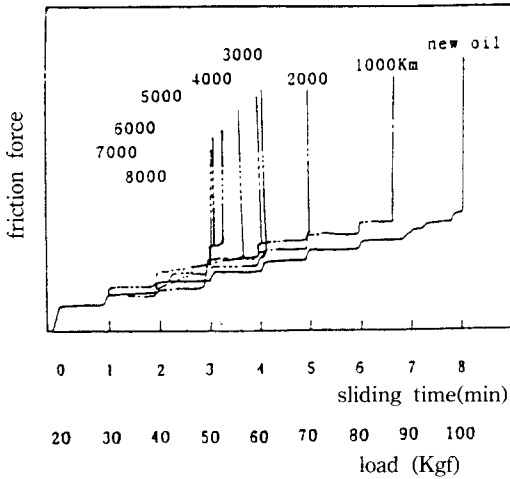


Fig. 16. Changes of friction by step loading test of used oil by LPG taxi

동안의 작동 중에 엔진오일의 2배 정도 더 심하였음을 보여주고 시내주행 차량이 고속도로주행 차량보다 오일의 열화가 더 심하며 LPG택시의 경우가 주행거리에 비해 가장 열화가 빨리 일어나고 있는 것을 알 수 있다.

3-3-2. 계단식 하중 시험방법에 의한 분석

사용된 오일의 하중 부담능력을 측정하기 위한 시험으로 작용 하중을 단계적으로 증가시키면서 scuffing이 생기기 시작하는 하중을 측정하는 시험을 4-ball 시험기로 실시하였다. 초기 하중은 20 Kgf이고 각 하중에서 1분씩 마찰시험하고 그 다음에 10 Kgf씩 증가시켜주면서 마찰력이 급격히 증가(scuffing)하는 경우에 시험을 중단하고 그 이전의 하중을 사용오일이 부담 가능한 하중의 한계로 하였다.

Fig. 16은 A오일을 택시에 의해 시험한 오일에 대해 계단식 방법으로 하중을 증가시키면서 마찰력의 변화를 기록한 결과이다. 시험중에 scoring에 해당하는

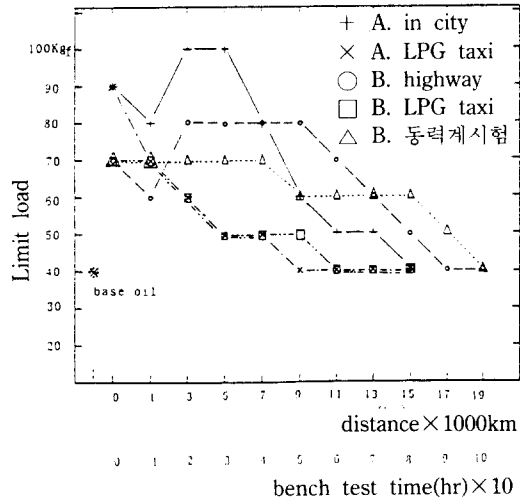


Fig. 17. Limit load without scuffing of the used oil tested with step loading test

마찰력의 점진적인 증가현상을 볼 수 있다.

A, B오일의 한계 부담능력에 관한 시험결과를 Fig. 17에서 보여주고 있다. 도시 주행과 고속도로 주행에서 시험한 각 오일은 사용 시작1,000 Km에서 하중부담 능력이 10 Kgf 감소하였다가 2,000 Km를 주행한 후에는 20 Kgf씩 증가하므로써 하중 부담 능력이 가장 크게 나타났고 새 오일 보다도 더 좋아짐을 보여주고 있다. 그 다음에 도시주행의 경우는 3,000 Km 이후 1,000 Km마다 계속해서 20 Kgf씩 감소하고 6,000 Km에서 50 Kgf으로 그리고 8,000 Km에서는 기유 수준인 40 Kgf에 도달하였다. 이 하중은 일정하중 시험에서 시험중에 scuffing 즉 마찰계수의 급격한 증가가 일어나는 현상과 일치한다. 또 B오일로 시험한 고속도로 주행 사용유는 2,000 Km에서부터 5,000 Km까지 80 Kgf을 유지하다가 그 후에는 매 10,000 Km마다 10 Kgf씩 감소하므로써 도시주행 차량보다 오일의 성능 감소가 느리게 일어남을 보여 준다.

그러나 동력계로 시험한 B오일의 경우는 70시간 까지는 하중 부담능력이 신유와 차이가 없고 그 다음에 10 Kgf이 감소한 후 150시간 사용할 때까지는 다시 일정하게 유지되다가 그 후에 계속해서 10 Kgf씩 감소하여 190시간 사용한 경우에 기유 수준인 40 Kgf에 도달하였다.

LPG택시에 사용된 A오일의 경우에는 처음 1,000 Km에서 신유보다 20 Kgf이 감소하고 그 다음부터 10 Kgf씩 감소하여 3,000 Km에서 50 Kgf, 그리고 5,000 Km에서 기유 수준에 도달하였다. 또 B오일을 시험한

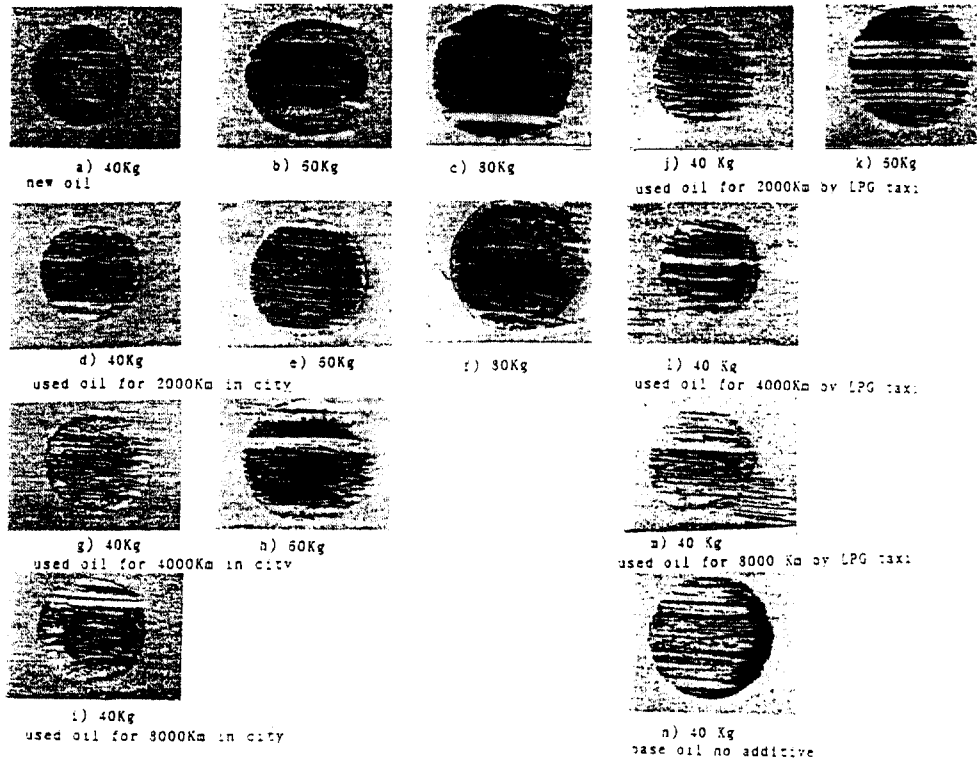


Fig. 18. Optical micrographs of wear zone slid by 4-ball tester.

경우에도 처음 1,000 Km에서만 신유 수준과 같다가 A오일과 같이 하중부담 능력이 감소하여 6,000 Km 주행 후에 기유 수준인 40 Kgf에 도달하고 있다.

따라서 엔진오일의 사용에 따른 하중부담 능력은 가솔린 실차에서는 처음에 오일 성능이 감소한 후에 다시 향상하는 경향을 가지나 동력계 시험에서는 성능의 변화가 초기에는 없고 그 대신 오일의 성능 감소가 느리고 원만하며 LPG차량의 경우에는 사용중에 성능이 향상됨 없이 처음부터 계속 감소하였다. 또 실차의 경우에서 고속도로의 주행이 오일의 성능 감소가 느리고 시내주행을 주로한 경우가 하중부담 능력의 감소가 더 빠르게 이루어짐을 사용 오일의 하중부담 능력 시험에 의해서도 확인되었다.

3-3-3. 마찰면의 금속 보호피막의 분석

운할 마찰에서 오일의 물성 변화와 마찰금속면의 피막생성 및 마찰, 마모와의 상호 관련성을 살펴보기 위하여 새 오일과 사용오일을 계단식 4-ball 마찰시험하면서 마찰력 변화와 마찰면에 형성되는 보호피막 생성과정과 계단식 하중시험을 하는 과정에 마찰면에 형성된 피막을 EDX(Energy Disperse X-ray Spectro-

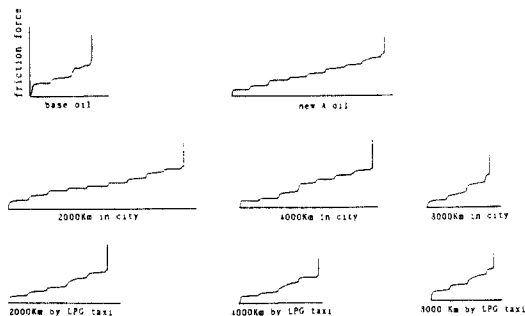
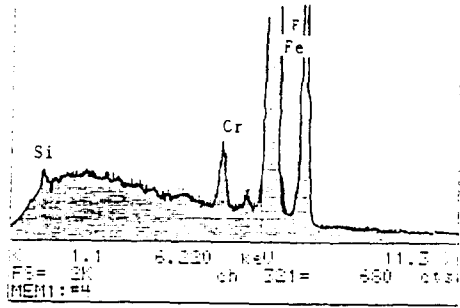


Fig. 19. Changes of friction by step loading test of an oil.

meter)로 분석을 하였다.

Fig. 18은 20 Kgf에서부터 10 Kgf씩 하중을 증가시키면서 1분씩 마찰시험을 하면서 40 Kgf과 60 Kgf 그리고 80 Kgf에서 마찰면의 사진을 열거한 것이다. 40 Kgf까지 시험한 마찰면에서 도시주행 2,000 Km를 사용한 오일을 시험한 마찰표면이 가장 진한 검은색을 띠고 새 오일의 경우에는 약간 엷지만 고르게 형성



a) base oil

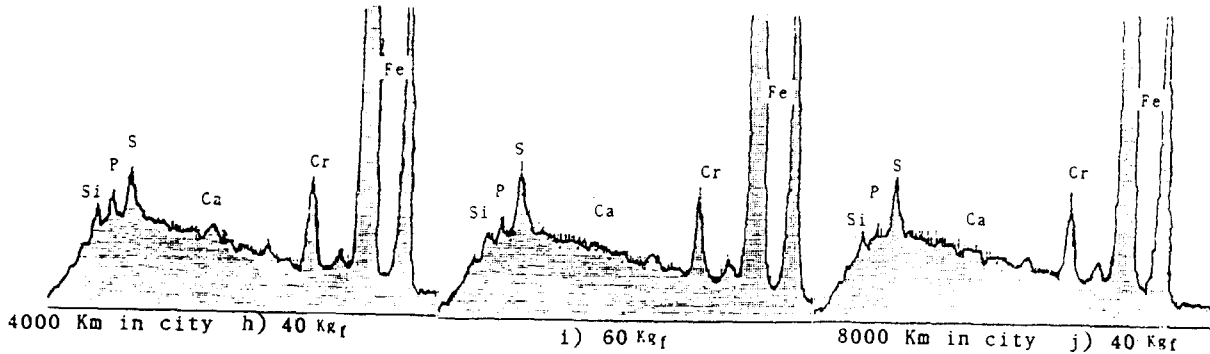
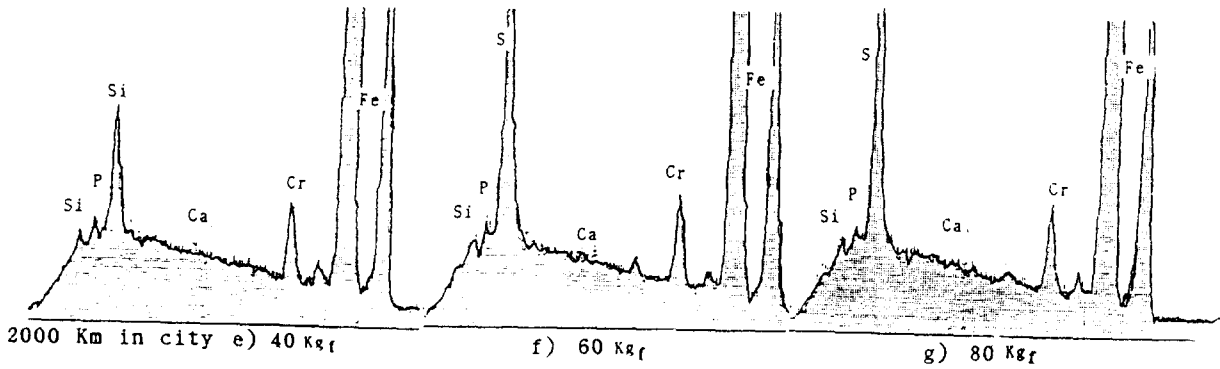
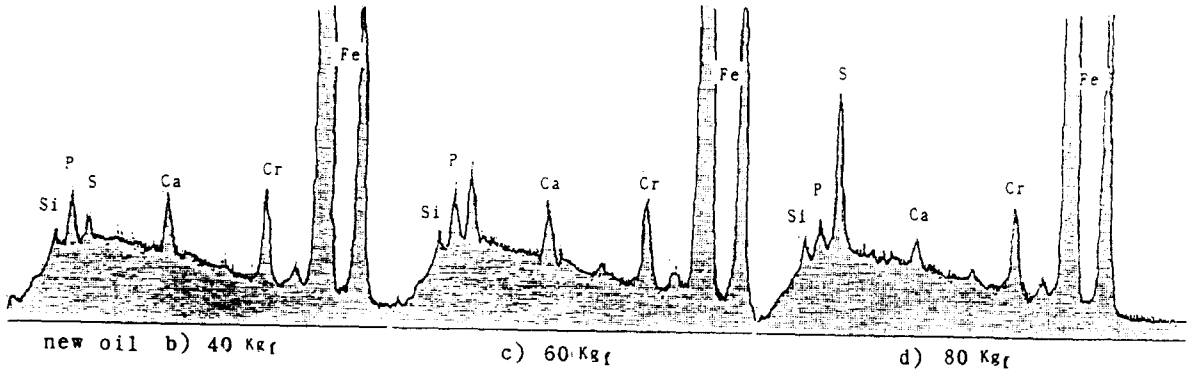


Fig. 20. EDX spectra of wear zone for various loads and oils

되어 있음을 보여 주지만 도시에서 4,000 Km를 주행한 경우와 LPG택시 2,000 Km의 경우에는 중앙부분에만 피막이 형성되었고 변두리에는 벗겨지거나 형성되어 있지 않음을 보여준다. 또 LPG택시의 4,000 Km에서는 피막이 벗겨지는 과정에 있고 8,000 Km의 경우에는 중앙 일부에만 존재하고 나머지 부분은 피막이 존재하지 않음을 보여준다. 그리고 기유로 40 Kgf까지 마찰한 표면에는 변두리에만 피막이 형성되어 있음을 알 수 있다.

계단하중 60 Kgf까지 시험한 마찰면에서 프레스토와 택시의 4,000 Km 사용유는 피막이 벗겨지는 과정중임을 보여주고 특히 택시 시험유의 경우는 중앙 부위에 거의 피막이 존재하지 않음을 보여준다. 80 Kgf까지 시험한 오일에서는 새 오일은 피막이 일부 벗겨짐 현상을 보여 주지만 가장 하중부담 능력이 큰 도시주행 2,000 Km 오일의 경우는 아직도 마찰면이 피막으로 덮여 있음을 보여준다. 따라서 내마모 성능과 scuffing 발생 경향은 마찰면의 보호 피막의 생성 및 제거현상과 직결되어 있음을 입증하고 있다.

계단식 하중의 마찰시험에서 A오일의 기유와 새오일 및 사용한 오일들에 관한 마찰력의 변화를 Fig. 19에 열거하였다. 첨가제에 의한 피막의 형성이 잘되고 하중 부담능력이 큰 오일에서는 시험중에 마찰력의 증가현상이 생기지 않으나 LPG택시의 4,000 Km와 8,000 Km, 도시의 주행 8,000 Km와 기유의 경우에는 마찰력이 낮은 하중에서부터 시험중에 증가하고 다른 오일은 scuffing 발생 직전에 약간만 증가함을 보여주고 있다.

각 오일에 대한 단계별 마찰시험 과정에서 마찰면에 형성된 보호 피막성분을 EDX로 분석한 결과가 Fig. 20에 제시하였다. 무첨가 기유의 경우에 40 Kgf로 시험한 마찰표면이 시험용 ball의 구성 원소들만으로 나타나 있음을 Fig. 20-a의 스펙트럼에서 보여 준다. B오일의 새 오일에 대해서 마찰시험한 Fig. 20-b에서 40 Kgf 하중에서는 인과 칼슘의 피크가 크게 나타났지만 60 Kgf에서는 황의 피크가 증가하였으며 나머지 성분은 감소하였다. 또 80 Kgf에서도 인과 칼슘의 피크는 매우 적고 황의 피크만 크게 나타나서 신유의 경우에 인과 칼슘의 성분은 낮은 하중에서 피막으로 형성하지만 하중이 커질수록 제거되면서 대신에 황의 성분으로 대체되어지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 20-c는 도시에서 B오일로 2,000 Km를 주행한 사용유를 시험한 마찰면의 분석 스펙트럼으로 40 Kgf의 하중에서 형성된 피막은 신유의 경우와 달리

황의 피크가 매우 크고 인과 칼슘은 낮은 피크를 갖는다. 또 60 Kgf와 80 Kgf의 경우는 S의 피크가 더욱 커져서 피막이 주로 황의 성분으로 구성되어 있음을 알 수 있고 이때 피막이 매우 검은 색인것도 황화철이 검기 때문으로 생각된다. Fig. 20-d에서 4,000 Km를 주행한 오일은 40 Kgf와 60 Kgf에서 황의 피크가 인이나 칼슘 보다는 크지만 2,000 Km 사용한 오일보다 상대적으로 작고 Fig. 20-e의 8,000 Km를 사용한 오일도 같은 경향을 보여 준다.

따라서 새 오일에서는 낮은 하중에서 인과 칼슘의 성분이 피막을 형성하지만 하중이 커지면 황의 성분이 증가한다. 또 오일이 사용됨에 따라 성능이 좋아지는 경우의 피막 성분에는 황이 상당히 많이 포함되어 있으며 오일 사용거리가 더욱 증가되어 열화가 심하게 되면 다시 황의 성분이 감소하고 마찰과 마모가 증가하면서 scoring과 scuffing이 발생하고 하중부담 능력이 감소함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

가솔린 엔진에 사용되는 오일이 연료나 주행 조건에 따라 기계적 성질의 변화에 관한 동력계와 실차주행의 연구에서 다음과 같은 결론들을 얻었다.

1) 엔진의 초기 작동에서 엔진 오일속에는 잔존 주물사 등 불순물과 비교적 큰 금속 마모입자가 30~40시간(1,000~2,000 km)의 작동시까지 주로 생성되고 오일속에 포함되어 있으므로 이 기간을 길들이기 과정으로 정의할 수 있고 이때에 오일과 필터의 교환이 요구된다.

2) 엔진유가 사용에 따라 열화되면서 기계적 성질이 나빠지게 되는데 그 원인은 윤활 마찰면에서 첨가제의 고갈에 의해 마찰면 보호피막(황이 많은 피막)을 생성하지 못하기 때문이다. 따라서 금속의 마모억제 기능이 약화되고 마찰계수와 마모량이 증가하게 되며 scoring과 scuffing 현상이 발생하게 된다.

3) 엔진의 오일이 사용에 의한 열화가 일어남에 따라 일정하중 시험에서는 마모가 심하게 일어나고 scoring 과 scuffing이 발생하며 계단하중 시험에서는 하중부담 능력이 감소하여 기유 수준에 도달함을 보여주고 있다.

4) 실차 주행시험에 의하면 LPG택시가 가장 빠르게 오일의 기계적 성질이 퇴화하고 다음으로는 시내 주행차량의 오일의 물성열화가 심하여 내마모성이 가속적으로 감소되고, 마찰력이 증가하게 되므로 오일의

교환 주행거리를 짧게 해 주어야 한다. 그러나 고속 주행의 경우는 오일의 열화가 천천히 일어나므로 오일의 사용거리를 비교적 길게 할 수 있다.

5) 시험한 엔진오일은 사용과정에 초기에는 기계적인 성능이 향상하는 경향이 있고 그에 따라 오일의 내마모성이 우수해진 다음에 점진적으로 열화가 시작됨으로 대략 3,000 km 주행 이전에서 오일을 교환해주는 것은 엔진의 보호나 자원의 절약과 환경공해 등의 측면에서 바람직 하지 않음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 신오식, "자동차용 엔진오일의 윤활관리," 윤활관리, Vol. 12, No. 3.
2. "자동차용 엔진오일의 신뢰성과 오일의 교환거리," 기술자료, 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. 강석춘, "4-ball 시험기와 패로그래피에 의한 자동차 엔진오일의 마찰 마모특성에 관한 연구," 자동차공학회 학술논문발표, 1989. 4. pp. 126-140.
6. Patterson, J. K. and Gregor, R. C., "Lubricant Factors Affecting Passenger Car Oil Consumption," Paper SAE 352, November 1967.
7. Georgi, C. W., "Some Effects of Motor Oils and Additives on Engine Oil Consumption," Paper 238 SAE Annual Meeting, Detroit 1954.
8. Selby, T. W., "A Comparison of the Effects of Cranking Speed and Oil Viscosity," Paper 805, SAE Jan. 1964.
9. 강석춘, "4-ball 시험기와 패로그래피에 의한 자동차 엔진 오일의 마찰 마모특성에 관한 연구," 자동차공학회 학술논문발표, 1989. 4. pp. 126-140.
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. Lowther, H. V., "Some Factors Affecting Engine Oil Consumption", Paper 867, SAE Nov. 1956.
13. Westcott, V. C. and Seifert, W. W., "Investigation of Iron Content of Lubricating Oil Using a Ferrography and an Emission Spectrometer", Wear, 23, pp. 239-249, 1973.
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, pp. 93-103, 1979.