

단기통 소형 엔진의 엔진오일 수명에 관한 연구

A Study on the Engine Oil Life for Small Size Single Cylinder Engine.

정 동 윤 신 성 철*

육군사관학교

*한국석유품질검사소

1. 서 론

엔진오일의 선정과 아울러 실용상 가장 커다란 문제로 대두되는 것은 엔진오일의 교환시기라고 할 수 있다. 엔진오일의 교환시기를 일률적으로 결정한다는 것은 매우 곤란하나 적절한 교환시기의 결정없이 엔진을 효율적으로 관리할 수 없다. 엔진오일의 교환시기를 실험식으로 결정하기에도 성상의 변화에 따른 변수가 너무 많아서 현실적으로 매우 어렵다. 더욱이 도심 교통난의 대안으로서 중가 추세에 있는 오토바이와, 농어촌의 기계화로 인해 농가에 널리 보급되어 있는 경운기의 보급량을 고려할 때 이들 엔진에 대한 오일 교환시기도 중요한 연구의 대상이다. 최근들어 엔진오일수명에 관한 연구결과가 발표된바 있으나¹⁻⁴⁾ 소형 단기통 가솔린 엔진이나 경운기용 디젤 엔진의 오일 교환시기 및 수명에 대한 연구는 아직 이루어진 것이 없다. 다만 새로운 오토바이의 엔진블럭을 개발하는 과정에서 실린더 내의 연소에 의하지 아니하고 외부 모터에 의한 구동결과 오일의 성능 변화에 대한 연구결과가 발표된 바 있다.⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 이상의 두가지 엔진에 사용된 엔진오일의 성상변화를 측정하였다. 따라서 금속 마모입자 분석, 동점도 측정과 TAN 및 TBN 분석을 통한 물리적 성상과 화학적 성질 분석 그리고 적외선 분광 분석과 정량 페로그라피 분석 등을 통하여 Table 1에 나타난 기준에 의해 오일의 수명을 판정하였다.^{3,8)} 아울러 RPD를 이용하여 마모입자의 형상 등을 분석하고 엔진에서 발생하는 마모기구를 살펴보았다. 물론 본 연구는 주위 환경이 양호한 실험실에서 엔진 동력계에 의한 실험에 의존하였으므로 실제 주행실험 결과보다는 오일의 수명이 더 길게 나타날 것으로 예측된다. 더욱이 농경지에서 주로 사용되는 경운기의 경우는 오일이 먼지나 모래, 진흙 등에 의해 오손되기 쉬우므로 실제 오일의 수명은 훨씬 더 짧을 것으로 생각되므로 실차 주행실험 결과와의 비교는 앞으로 더 연구할 분야로 생각된다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 엔진 동력계는 전기적인 방법에 의해 구속력을 가하는 Eddy Current 형 국산 시험기기로서 과학재단의 국산 연구기기 연구 지원에 의하여 이품 인스트루먼트로부터 기증된 것이다. Eddy Current형 동력계는 로터가 회전시에 제동력이 발생되므로 고속에서 높은 효과를 얻는 대신 저속에서는 특성이 저하된다. 실험에 사용된 엔진은 최소한 공회전 속도 이상을 유지하지 않으면 정지하기 때문에 시험기기로는 높은 회전수에서의 특성이 좋은 Eddy Current 형 동력계가 적합하다.

실험장치의 구성도와 동력계에 오토바이 엔진과 경운기 엔진이 장착된 사진이 Fig.1에 각각 나타나 있다. 먼저 125CC 오토바이 엔진의 동력계 시험은 변속기를 4단에 고정시키고 엔진 회전수를 2000rpm으로 올린 후 엔진 토오크가 13 N·m로 되도록 자동조정하면 엔진 회전속도가 1300rpm으로 일정해지고 엔진 동력이 약 2.3 마력으로 안정된다. 엔진의 회전속도와 변속기의 치차비를 고려하여 환산한 결과 이것은 시속 85km/hr로 150 시간 동안 12750 km를 주행한 것이 된다. 오토바이는 공냉식이므로 동력계에 설치된 엔진에 송풍기로 바람을 불어서 냉각시켰으며 오일팬에서 측정된 오일의 온도를 95°C로 일정하게 유지하였다. 오일의 온도측정을 위하여 오일 배출구 볼트에 구멍을 뚫어서 열전대를 오일팬 안에 장착하였다. 이러한 실험조건 하에서 총 150시간 동안 실험을 실시하였다. 오일 샘플은 50 시간마다 20 ml 씩 채취하였으며 초기 성상변화를 정확히 측정하기 위하여 30 시간과 80 시간에 추가로 채취하여 분석하였다. 150 시간동안 채취한 샘플 오일은 5회에 총 100 ml로서 더 이상의 오일 채취는 오일의 동질성 확보에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 마지막 채취 샘플인 150 시간 오일은 충분히 채취하여 인화점과 아울러 100°C 동점도를 측정하여 점도지수를 알아보았다. 오일의 동질성 확보를 위하여 시험중 오일을 추가로 첨가하지는 않았다. 오토바이의 오일 주입량은 약 0.8 - 0.9 리터로서 비교적 소량이므로 샘플채취 시간 간격을 더 줄일 수가 없었다. 샘플 오일의 채취는 엔진의 바닥에 있는 오일 배출구 볼트에 구멍을 내고 오일 채취 용 관을 약 2 cm 정도의 높이로 삽입한 후 배출 코크를 설치하였다. 샘플 오일은 엔진을 정지시킨 때로부터 10 분이 지난 후 배출 코크를 통하여 채취하였다. 엔진오일은 S사 제품의 오토바이 전용 엔진오일로서 SF급 SAE10W-40 오일을 사용하였다.

또한 실험에 사용된 경운기 엔진도 20시간동안 길들이기를 실시한 후 사용 오일을 모두 제거하고 새 오일을 주입하여 시험하였다.⁹⁾ 엔진오일은 Y사 제품의 디젤 트럭용 오일인 CF급 SAE15W-40 오일을 사용하였다. 경운기 엔진은 2000 rpm의 회전속도와 30 N·m의 토크로 실험조건을 부여하였고 수냉식이므로 특별한 냉각장치는 사용하지 않았다. 오일 보충을 위한 추가 주입은 하지 않았으며 기타 실험방법은 오토바이 엔진과 동일하게 실시하였다. 경운기의 경우 오일 용량이 2.0 리터이므로 시중에서 판매하는 오일 용기로는 두 통의 양이 필요하다. 그러나 동일 로트 제품일지라도 다른 성질을 나타낼 수 있으므로 사용 전에 잘 섞어서 주입하였다. 또한 아무리 압축

공기로 엔진 내부의 잔류 오일을 제거한다고 해도 신유를 주입하는 순간 엔진 내부의 잔류물질들과 혼합되므로 신유로서의 성질이 변화된다. 따라서 본 연구에서는 사용 오일에 대한 분석을 위하여 플러싱한 오일을 기준으로 사용하였다. 플러싱한 오일은 신유를 주입하고 5분간 엔진을 작동한 후 채취하였다.

본 연구에 사용된 신유와 플러싱한 오일의 물리적, 화학적 성질이 Table 2에 나타나 있으며 오일에 함유된 금속성분의 농도가 Table 3에 나타나 있다.

3. 실험 결과 및 분석

엔진오일은 엔진의 작동 시간이나 주행거리가 증가함에 따라 화학적 특성과 물리적 성상이 점진적으로 변화된다. 이러한 변화는 연소과정에서 형성되는 엔진 내부의 극심한 열적, 기계적 조건으로 인한 첨가제의 소멸현상과 오일의 산화현상 및 블로우 바이 가스에 의한 오일의 희석 등을 그 원인으로 들 수 있다. 본 연구에서는 제한된 엔진오일량으로 인하여 물리적, 화학적 분석과 아울러 부분적으로 기계적 성질의 변화 등을 분석하였다. 또한 condition monitoring 기법을 이용하여 오일에 함유된 마모입자의 형상을 분석함으로써 엔진 내부에서 발생한 마모기구를 확인하고 오일의 변화에 따른 엔진의 상태를 간접적으로 점검하였다.

3-1. 물리적, 화학적 성질의 변화

사용 오일의 대표적인 물리적 성상의 변화는 동점도의 변화이다. Fig.2는 무연 가솔린을 연료로 사용하는 오토바이 엔진의 오일과, 경유를 연료로 사용하는 경운기 엔진의 오일의 동점도 변화(40°C, 100°C)를 실험 시간에 대하여 나타낸 것이다. 40°C 동점도 측정 결과 두가지 엔진오일이 모두 사용 시간이 증가함에 따라 동점도가 떨어진 것을 알 수 있으며, 오토바이의 오일이 경운기의 오일에 비하여 50 시간 까지의 실험 초기에 상대적으로 다소 급격한 변화를 보이고 있다. 100°C 동점도 측정 결과 150시간을 기준으로 오토바이 엔진오일은 12.89 cSt에서 9.53 cSt로 떨어진 반면 경운기 엔진오일은 12.1 cSt에서 11.27 cSt로 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이러한 현상들은 Fig.3에 나타난 점도지수에 영향을 미쳐서 오토바이 엔진오일의 점도지수는 처음 80 시간까지 149에서 135로 떨어진 후 안정되었고, 경운기 엔진오일은 135-133으로 250 시간까지 안정된 결과를 보이고 있다. 점도지수는 윤활유의 온도에 따른 점도의 변화정도를 나타내는 척도로서 일반적으로 온도에 따른 점도의 변화가 작을수록 점도지수가 크고 점도의 온도에 대한 특성이 좋다. 오일의 동점도는 오일이 산화됨에 따라서 약간씩 증가한다. 반면에 피스톤 간극이나 피스톤 링의 불완전한 밀폐작용 등으로 혼입된 흙, 배기가스로 인한 오일의 희석 때문에 동점도는 감소하게 된다. 이러한 현상은 Fig.4에 나타난 전 산가(TAN)의 변화와 Fig.5에 나타난 전 알칼리가(TBN)의 변화로 설명할 수 있다. Fig.4에서 경운기 엔진오일은 50 시간을 기점으로 하여 전 산가가 증가하여 오일이 산화되고 있음을 보이고 있으며, 오토바이의 오일은 완만하지만 산화가 진행됨을 나타내고 있다. 한편 전 알칼리가의 변화는 오토바이의 오일이 경운기의 오일보다 다소 큰 변화를 보이고 있으며 이는 Fig.2의 동점도의 변화 경향과 일치하고 있다. 이는 오일의 산화에 의한 동점도의 증가보다는 오일의 희석이나 오염(contamination)에 의한 동점도의 감소현상이 훨씬 더 지배적이기 때문이다. 실제로 150 시간 동안 작동한 후 채취한 오토바이 엔진오일의 인화점은 202°C로서 신유의 인화점보다 10°C가 떨어진 것으로 확인 되었다. 이러한 현상은 엔진오일에 연료유가 혼입되었음을 나타내는 근거가 되며, 이로 인하여 40°C 동점도가 급히 떨어지게 되는 결과를 가져온 것으로 보인다.

또한 두 오일의 동점도 변화의 차이는 오일의 종류나 사용 연료의 차이 외에도 냉각방식의 차이에도 원인이 있는 것으로 여겨진다. 즉 수냉식인 경운기의 오일은 동점도의 감소 경향이 일반 디젤 엔진오일의 경향과 비슷하나 공냉식인 오토바이의 엔진오일은 가솔린 엔진오일에 비해서도 급격히 떨어지고 있다. 엔진을 대기와 직접 접촉시켜서 냉각시키는 공냉식은 냉각수의 보충, 누수 및 동결의 염려가 없고 구조가 간단하여 취급이 쉽다는 장점이 있다. 그러나 기후, 운전상태 등에 따라 엔진의 온도가 변하기 쉽고 엔진 부위에 따라 냉각이 균일하지 못하다는 단점이 있다.

3-2. ZDTP(Zinc dialkyldithiophosphate)의 변화

Fig.6은 내마모성 첨가제인 Zn의 고갈 정도를 나타내는 ZDTP의 변화를 보이고 있다. 역시 동점도의 변화가 컸던 오토바이 오일이 경운기 오일에 비하여 급격히 고갈되고 있음을 보여주고 있다. 이와같은 현상은 다음에 분석할 금속 마모입자의 증가량과도 관련이 있다.

제한된 샘플 오일의 양으로 인하여 150시간 작동한 오토바이 엔진오일에 대해서만 4-ball 마모시험을 실시한 결과 마모직경이 신유의 마모직경(0.32 mm)에 비하여 약 2 배에 달하는 0.63 mm로 나타났다. 이러한 결과는 승용차용 가솔린 엔진오일의 동일 시간에서의 마모직경보다 훨씬 큰 것으로써²⁾ 공냉식이며 변속 기어까지 함께 내장된 오토바이의 엔진오일이 빨리 열화됨을 알 수 있다.

그러나 마모직경의 증가로 나타나는 내마모성의 감소현상이 종전에 발표된 문헌과 같이^{1-3,10)} ZDTP의 고갈에 의한 것인지를 확인하기 위하여 150 시간 작동한 오토바이 엔진오일의 샘플을 가열하여 연료분을 증발시킨 후 동일한 방법으로 마모시험을 실시하여 결과를 비교하여 보았다. 만일 ZDTP가 고갈되었다면 샘플 오일의 가열, 냉각 후 실시하는 마모 시험에서 내마모성이 회복되지 않아야 한다. 그러나 샘플 오일을 230°C까지 가열한 후 다시 상온으로 냉각시켜서 4-ball 마모시험을 실시한 결과 마모직경이 0.46 mm로써 내마모성이 다시 회복되었다. 이는 150 시간을 작동하였음에도 불구하고 ZDTP가 고갈된 것이 아니라 단지 구조가 분해되어 활성을 띠고 있으면

서 첨가제로서의 기능을 하고있는 것으로 볼 수 있다. ZDTP의 고갈도는 적외선 분광분석에서 absorption peak의 주파수에 의해서 ZDTP가 분해되는 것만을 측정하여 결정하므로 분해 후의 활성 여부는 알 수가 없다고 하겠다. 따라서 내마모성을 감소시키는 직접적인 원인은 ZDTP의 고갈에 의해서라기 보다는 엔진오일에 연료가 침입하여 희석됨으로써 동점도가 떨어지고 그 결과 마모량이 증대되는 것으로 해석된다.

3-3. 금속 마모입자 농도 분석

Fig.7과 Fig.8은 사용 오일 속에 함유된 금속 마모입자의 농도 변화를 MOA(multi-element oil analyzer)로 분석한 것이다. 오일 필터의 사용으로 인하여 정량적 분석은 의미가 없지만 그림에 나타난 결과로서 금속 마모입자 발생의 정성적인 변화 경향을 살펴볼 수 있다.^{11,14)} Fig.7은 오토바이 엔진오일에 함유된 금속입자의 농도를 나타낸 것으로서 마모입자 중 Fe와 Cu가 상대적으로 많은 양이 검출되었으며, 모두 비슷한 기율기로 농도가 증가함을 알 수 있다. Fig.8은 경운기 엔진오일에 함유된 금속입자의 농도를 나타낸 것으로서 역시 Fe와 Cu가 많이 검출되었다. 그러나 오토바이 엔진의 오일이 더 많은 마모입자를 함유하고 있는 것으로 나타나는데 이는 Fig.2에서 나타낸 바와 같이 오토바이 엔진오일의 동점도가 경운기 엔진오일의 동점도보다 더 큰 값으로 떨어지므로써 마모가 더 잘 일어난 것으로 판단된다. 두 엔진은 모두 주철제 실린더 라이너를 사용하고 있으며 피스톤 링과 커넥팅 로드 그리고 기어 등이 Fe 마모입자를 생성해 낸다. 따라서 작동시간에 따른 Fe 마모량의 증가는 타당한 것으로 보인다.^{6,12,15)} 다음 절에서 분석할 마모입자의 형태로 볼 때 Fe 마모입자는 주로 미끄럼 접촉운동을 하는 피스톤 링과 실린더 라이너에서 생성된 것으로 보인다.

베어링 재료의 원소로 사용되는 Cu의 농도는 두 오일에서 모두 증가하는 것으로 나타났는데 이는 Cu가 베어링의 원소 중 상대적으로 연한 재료이므로 마모가 더 진행된 것으로 여겨진다. Pb는 그림에서 보이는 바와 같이 두 오일에서 일정한 함유량을 나타내고 있으며, 커넥팅 로드와 베어링 재료에 사용된 것으로 보이는 Cr은 오토바이 엔진오일에서 상대적으로 적게 검출되었고, 경운기 엔진오일에서는 다른 입자에 비하여 무시할 만큼의 적은 양이 검출되었다. 한편 Al은 경운기 엔진오일에서 더 많이 검출되었다. 피스톤 헤드가 Al함금인 점을 고려할 때, 이는 디젤 엔진이 가솔린 엔진에 비하여 더 높은 폭발압력을 내는 데서 기인된 마모입자인 것으로 보인다.

3-4. 마모입자의 형상분석

엔진 내에서 발생하는 마모현상은 주로 실린더 라이너와 피스톤 링과의 마찰에 의해서 발생한다. 실린더 라이너는 상사점 부근에서 마모가 가장 많이 일어나며, 하사점 부근에서도 마모가 현저하다. 이러한 현상의 원인은 첫째, 상사점에서 폭발압력에 의해 고온 고압 상태에서 피스톤 링이 실린더 라이너에 밀착되기 때문이며, 둘째, 엔진이 작동하는 동안 피스톤이 상사점과 하사점에서 정지하면서 윤활막이 squeeze되어 파괴되기 때문이다.

사용 오일에 함유된 마모입자들의 성분 분석과 아울러 입자의 크기 및 형태를 분석 함으로써 마모가 진행되는 부위를 감지할 수 있고 또한 마모의 진행상태를 예측할 수 있다. 이러한 예측기법은 오늘날 condition monitoring technique이라고 하여 기계설비의 수명을 예측하는데 많이 응용되고 있다.^{15,16)}

Table 4와 Table 5는 정량 페로그래피법으로 분석한 오토바이 엔진오일과 경운기 엔진오일의 마모 입자량을 보여 주고 있다. 오토바이 엔진오일의 경우 DL(5 mm 이상) 농도와 DS(1 - 2 mm) 농도가 점진적으로 증가하고 있으며, 경운기 엔진오일에 비하여 증가량이 비교적 일정하게 나타나고 있다. 반면에 경운기 엔진오일은 DL 농도와 DS 농도가 오토바이 엔진오일에 비하여 매우 높게 나타났으며 변화량도 일정하게 나타나지 않았다. 이는 경운기가 디젤 엔진이므로 가솔린 엔진에 비하여 연소시 최고 압력이 큰 것과, 오토바이 엔진보다 길들이기 시간을 짧게 잡은 데서 기인하는 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 RPD에 의한 경운기 엔진오일의 분석 결과 대표적인 마모입자들이 모두 생성됨을 발견하였다.^{6,13-16)} Fig.9(a)는 크기가 120 mm 이상인 대단히 큰 중마모입자로서 미끄럼 운동에 의한 마모가 진행되었음을 표면의 형상으로 부터 판독할 수 있다. Fig.9(b)는 전형적인 철삭마모입자로서 단면 부위가 날카롭게 형성된 것으로 보아 취성이 강한 주철입자라기 보다는 연성의 steel 입자인 것으로 판단된다. 따라서 크랭크 축 등의 엔진 요소들의 마모가 진행되었음을 알 수 있다. 반면에 Fig.9(c)는 straw temper color를 띤 중마모입자로서 주철의 마모입자임을 알 수 있다. Temper color를 띤 것으로 보아 주철 마모입자가 매우 산화되었으며 적절치 못한 윤활조건에서 생성된 것으로 여겨진다. Fig.9(d)는 black oxide 또는 dark metallo oxide로 알려진 입자들이 나타나는 것으로 보아 엔진오일이 많이 산화되었음을 알 수 있으며, Fig.10(c)와 함께 윤활조건이 매우 극심해졌음을 나타내는 근거가 되고 있다. 이러한 현상은 엔진의 작동시간이 증가함에 따라 산화도가 증가하는 경향과 잘 일치하는 것으로 보인다. Fig.9(e)는 particle chunk로 알려진 중마모입자와 함께 구형 마모입자를 보이고 있다. 구상 또는 구형 마모입자의 생성 원인에 대해서는 아직 완전히 밝혀지지 않고 있다. 지금까지 알려진 것은 마찰열의 영향으로 용융된 미소 입자들이 순간적으로 냉각되면서 표면이 구형으로 형성된다는 것이다. 또한 피로에 의해 생성된 크랙 속에 끼어든 마모입자가 구름운동을 통해 다듬어져 형성된다고 알려진다.¹⁵⁾ Particle chunk는 모양이 전체적으로 불규칙한 특징이 있고 표면이 고르지 못한 특징을 나타내며 고풍중이 반복적으로 작용하는 마찰조건에서 생성된다. 이상의 마모입자 형태분석을 종합할 때 250시간 동안 작동한 경운기 엔진의 오일에서는 정상마모와 함께 철삭마모 및 중마모가 진행되고 있음을 알 수 있었다.

한편 150시간동안 작동한 오토바이 엔진오일을 RPD를 이용하여 Ferrogram을 제작하고 광학 현미경으로 분석한 결과 경운기 엔진오일에서 나타난 마모입자들이 다 나타나고 있음을 알 수 있었다. 오히려 Fig.9(f)에 나

탄만 바와 같이 경운기 엔진오일에서는 볼 수 없었던 강자성을 띤 steel 마모입자가 다량으로 나타났다. 자성을 띤 마모입자들은 RPD에 내장된 영구자석의 강력한 자력에 의해 극성을 띤 면이 슬라이드에 붙게 되므로 광학현미경으로 관찰할 때 세로로 선재로 불안정하게 보이며 아울러 그림자를 동반하게 된다. 이러한 마모입자들은 기어의 마모입자들로서 오토바이의 경우 엔진 내부에 변속기어가 함께 내장되어 있는 상태에서 고열과 함께 심한 소성진단변형을 받아서 생성되면서 자성을 띄게 된 것으로 보인다.

4. 결 론

국산 연구기인 소형 동력계를 이용하여 단기용 소형 엔진의 엔진오일 수명에 관한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 연구대상 엔진으로는 가솔린 엔진으로서 변속 기어와 피스톤이 엔진 내부에 함께 내장된 125 CC 오토바이와 디젤 엔진인 600 CC 경운기를 선정하였다.

1. 사용 오일의 동점도는 작동시간이 증가함에 따라 두 엔진 모두 감소하였으며, 오토바이 엔진 오일의 변화가 더 심했다.
2. 동점도의 감소는 ZDTP의 고갈에 의한 영향보다는 엔진오일에 혼입된 연료유에 의하여 연료가 희석됨에 따른 것임을 알 수 있었다. 이러한 현상은 사용 오일을 가열하여 연료 성분을 증발시킨 후 마모시험을 실시한 결과 내마모성이 회복됨을 통하여 알 수 있었다.
3. 전 산가와 전 알칼리의 비교에서 전 알칼리의 감소에 의하여 동점도가 감소함을 알 수 있었다.
4. 마모입자의 성분 및 형태를 분석한 결과 경운기 엔진오일에서는 Al이 상대적으로 많이 검출되었으며, 오토바이 엔진오일에서는 자성을 띤 steel 마모입자가 현저하게 나타났다.
5. 엔진오일의 열화에 따른 교환시기는 판정기준에 의하여 판단할 때 다음과 같다. 오토바이 엔진오일은 동점도가 25 % 이상 감소되는 약 4000 km, 그리고 경운기 엔진오일은 150시간으로 추천할 수 있다. 그러나 본 실험은 실제 엔진 사용조건 보다 훨씬 양호한 실험실 환경에서 수행되었으므로 본 실험 결과로써 오일 수명을 판단하기는 무리이며 실차 주행시험을 병행할 때 정확한 오일 교환시기를 제시할 수 있을 것이다.

후기

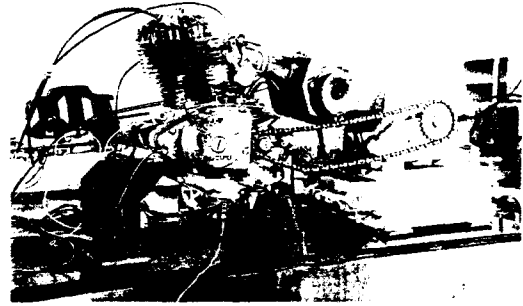
본 연구는 한국과학재단의 국산 연구기기 시험 연구비의 지원으로 수행 되었음.

참 고 문 헌

1. 강석춘, 신성철, 김동길, 노장섭, "가솔린과 LPG엔진오일의 사용에 따른 물리적, 화학적 성질의 변화에 관한 연구", 한국윤활학회지, Vol.10, No.4, 1994.
2. 강석춘, 신성철, 김동길, 노장섭, "가솔린 엔진오일의 사용에 따른 기계적 성질의 변화에 관한 연구", 한국윤활학회지, Vol.9, No.2, 1993.
3. 강석춘, "디젤 엔진오일의 최적 사용한계 설정에 관한 연구", 한국석유품질검사소, 1994.
4. 강석춘, 자동차공학회지 제13권 4호, 1991. "자동차 엔진오일의 마찰특성에 관한 연구"
5. 상공부, "오토바이용 알루미늄 엔진모노블록 및 윤활마모특성 기술개발에 관한 연구(I)", 한국과학기술연구원, 1990.
6. 상공부, "오토바이용 알루미늄 엔진 모노블록 및 윤활마모 특성 기술개발에 관한 연구(III)", 한국과학기술연구원, 1992.
7. 상공부, "이륜차용 DOHC식 255cc 고성능 가솔린 엔진개발에 관한 연구", 제2차년도 중간보고서, 1991.
8. 윤활공학, 정문출판, 1991.
9. "Tribology Handbook", B30, Running-in Procedures, Butterworths, 1973.
10. K.Fujita, Y.Esaki and M.Kawamura, "The Antiwear Property of Zinc Dialkyldithiophosphates in used Engine Oils," Wear, Vol.89(1983), pp.323-331.
11. T.S. Sudarshan and S.B. Bhaduri, "Wear in Cylinder Liners," Wear, Vol.91, 1983, pp.269-279.
12. T.S. Eyre, N. Dent and P. Dale, "Wear Characteristics of Piston Rings and Cylinder Liners," ASLE, Vol.39, 4, April, 1983, pp. 216-221.
13. M.H. Jones, "Wear Debris Associated with Diesel Engine Operation," Wear, Vol.90(1983), pp.75-88.
14. J. Yuansheng and Y. Qiming, "Ferrogaphic Analysis of Wear Debris Generated in Locomotive Diesel Engines," Wear, Vol.93(1984), pp.23-32.
15. 권오관, "Machine Health Monitoring 기술개발(1차년도)", 과학기술처 N131-2432-2, 1986.
16. Wear Particle Atlas(Revised), Predict Technology, 1982.

Table 1. 엔진오일의 교환시기 판정기준

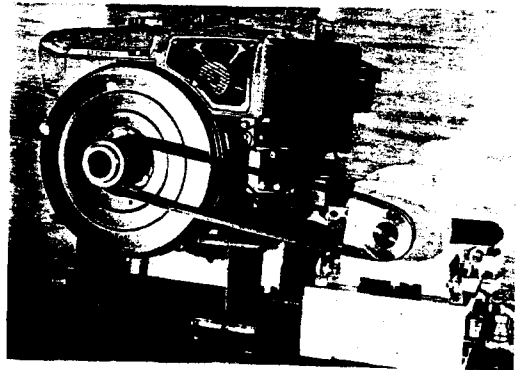
판정항목	교환시기 평가기준
점도변화(%)	20~25
전알칼리가(mg KOH/g)	0.5~1.0
펜탄불용해분(wt%)	3.0
수분(vol%)	0.2



(a) Motorcycle

Table 2. 신유의 물리적, 화학적 성질

구분		동점도(cSt)	동점도(cSt)	전산가 (mg KOH/g)	전알칼리가 (mg KOH/g)
		40℃	100℃		
가솔린 엔진오일	신유	99.35	14.42	1.33	6.22
	Flushing	85.81	12.89	1.74	5.96
디젤 엔진오일	신유	115.6	15.2	2.33	4.82
	Flushing	101.2	13.62	2.41	4.55



(b) Cultivator

Table 3. 신유에 함유된 금속입자의 농도(ppm)

구분		Fe	Pb	Cu	Cr	Al	Ni	Si
가솔린 엔진오일	신유	1.5	0.4	0.3	0.0	4.2	0.0	3.8
	Flushing	17.2	12.3	11.2	1.3	9.1	1.0	15.9
디젤 엔진오일	신유	1.4	0.9	0.0	0.0	0.7	0.0	5.7
	Flushing	8.5	4.1	3.8	0.9	2.6	0.6	12.3

Fig. 1. Experimental test rigs.

Table 4. 정량페로그래피로 분석한 오토바이 엔진오일

구분	Flushing	30	50	80	150
DL(5 μ 이상)	0.8	6.2	12.0	14.0	67.0
DS(1~2 μ)	0.4	3.7	4.6	4.6	23.5
Is	0.5	24.8	122.8	174.8	3936

Table 5. 정량페로그래피로 분석한 경운기 엔진오일

구분	Flushing	30	60	100	150	200	250
DL(5 μ 이상)	59.1	85.7	77.2	90.6	71.0	72.8	85.8
DS(1~2 μ)	27.7	47.3	34.9	46.3	32.6	37.1	44.6
Is	2723.5	5107.2	4741.8	6064.7	3910.2	3923.4	5372.5

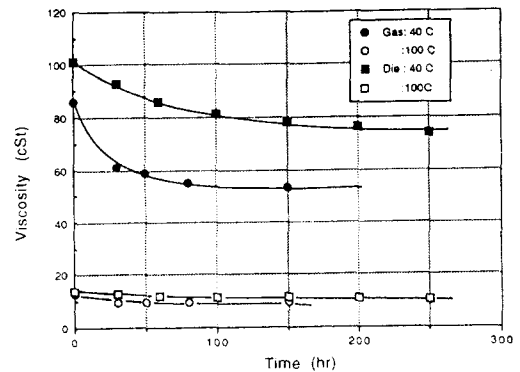


Fig. 2. Change of kinematic viscosity of used oil.

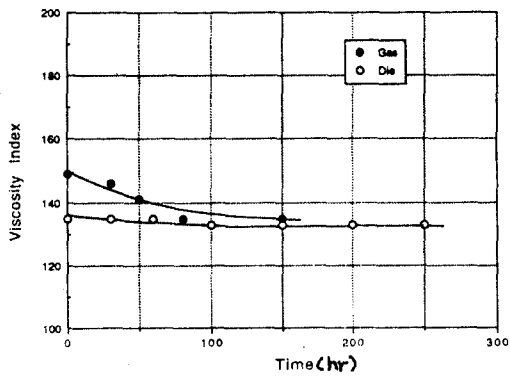


Fig. 3. Change of viscosity index of used oil.

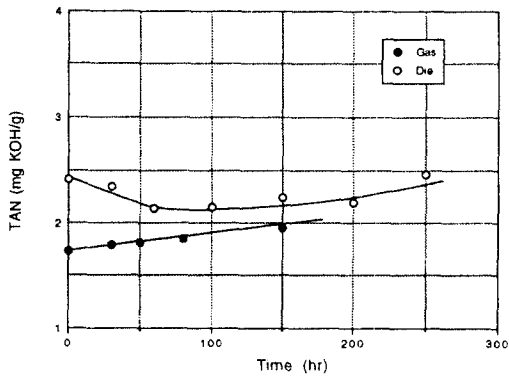


Fig. 4. Change of TAN in used oil.

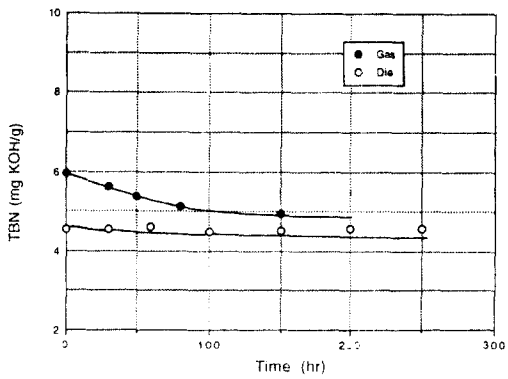


Fig. 5. Change of TBN in used oil.

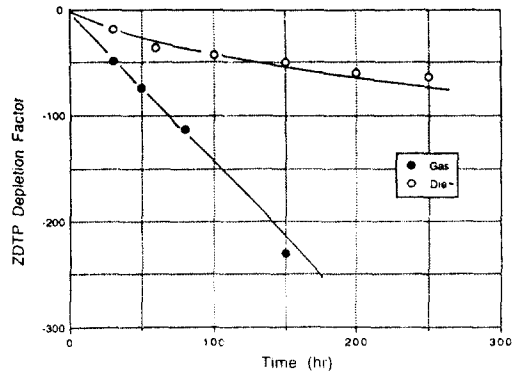


Fig. 6. Change of ZDTP depletion factor in used oil.

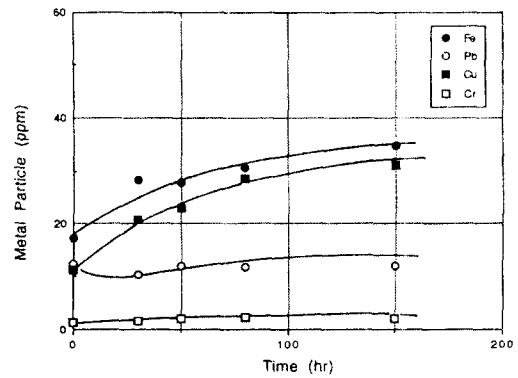


Fig. 7. Concentration of metal particles in used oil from the motorcycle engine.

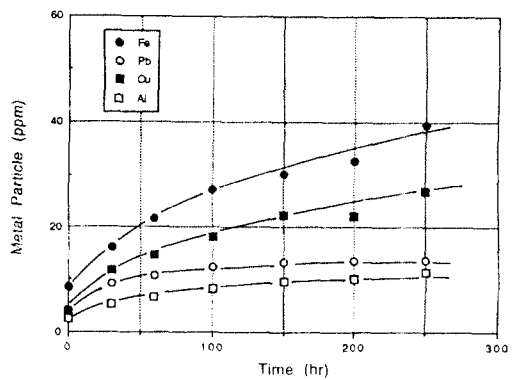


Fig. 8. Concentration of metal particles in used oil from the cultivator engine.

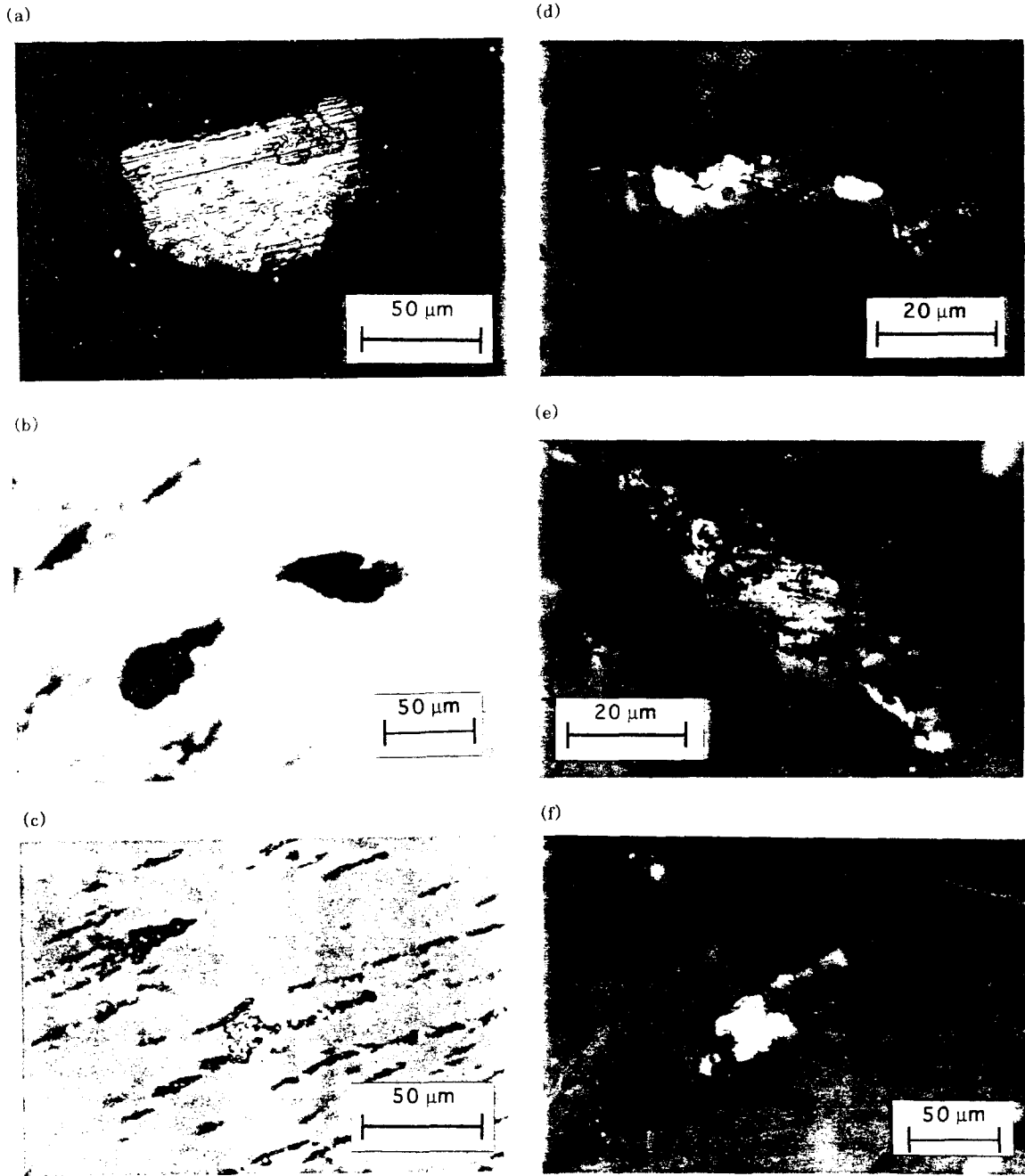


Fig. 9. Wear particles in used oil. (a) Severe wear particle (b) Cutting wear particle (c) Temper colored wear particle (d) Dark metallo Oxide (e) Particle chunk and sphere particle (f) Polarized severe wear particle.