

엔진 다이내모미터를 이용한 NA-Q첨가 윤활유의 성능시험 연구(제1보)

- 기준 윤활유의 시험 -

정동윤, 한홍구*, 한희동**

육군사관학교

*한국과학기술연구원

**칼톤화학

A Study on the Performance Test of NA-Q Additive Oil by Using an Engine Dynamometer(Part I)

- Test of the Reference Oil -

D-Y. Chung, H. G. Han*, H. D. Han**

K.M.A

*KIST

**Calton Chem(Ltd.)

Abstract - Before investigating the performance of NA-Q additive oil, we have studied the properties of the commercial reference oil by using an engine dynamometer. Experiments were conducted for 300 hours with 2,950rpm and 22kW and every 50 hours the used oil was sampled for analyzing its physical and chemical properties. The reference oil shows stable but slightly increasing viscosities during the experiment. It has good agreements with the change of its TAN and TBN. Friction coefficients and anti-wear characteristics are compared with its ZDTP depletion factor and the diameters of wear scar. The concentrations of metal particles are analyzed with the results of ICP and spectrometer. However it is found that the concentrations by filtration method shows large difference with those by standard method in spectrometer.

Key words -additive oil, dynamometer, viscosity, ZDTP, spectrometer

1. 서론

급속한 산업화와 내연기관의 발달에 따라 기계장치에 사용되는 윤활유의 성능을 향상시키기 위한 노력이 끊임없이 이루어져 왔다. 이러한 노력의 결과 기계장치의 동력 절감화 차원에서 주로 Mo-DTP나 Zn-DTP 등과 같은 극압 첨가제가 상품화되어 보편적으로 사용되기에 이르렀다. 윤활유의 저점도화가 기술적으로 시도되면서 이에 따른 문제점을 보완하기 위하여 극압성 및 내마모성

높이기 위한 화학 첨가제의 사용이 크게 증가되는 추세에 있다. 그러나 첨가제 성분이 윤활 시스템 상에서 발생하는 고온 등의 영향으로 분해될 경우 화학적 반응성이 높은 첨가제와 기계요소의 금속표면이 반응하여 sub-micron 단위의 미세 부식마모입자가 생성되는 현상이 이미 밝혀진 바 있다. 이와 같은 현상은 기존의 분광분석(JOAP) 방법과 새롭게 고안된 filtration 법에 의해 비교 분석될 수 있다. 이에 의하면 화학첨가제와의 반응으로 인해 다공질의 흑연 디스크를 통과

할 정도의 극히 미세한 입자 혹은 용해된 유기금속 화합물의 형태로서 순수한 마모입자보다 약 1~2배 정도로 많은 양이 발생되는 것을 알 수 있다.[1-4]

엔진오일의 열화상태는 엔진설계, 형식, 운전상태 등에 의해서 다르게 된다. 가솔린엔진의 경우 지속적인 고속, 고하중 및 고온 등의 가혹한 운전조건하에서는 가솔린 연소생성물에 의한 오손과 함께 엔진오일 자체의 산화도 열화의 커다란 원인이 되고 있다. 발전과 정지가 빈번하고 공회전이 많은 저온 운전조건하에 있어서는 엔진오일 자체의 열화보다도 가솔린의 연소생성물에 의한 오손 열화가 심하며, 미연소 가솔린 및 수분도 상당량 혼입하여 에멀션 슬러지 또는 저온 슬러지 등을 생성하게 된다. 엔진오일의 열화 원인으로는 오일자체의 산화와 외부물질에 의한 오손으로 대별할 수 있다. 엔진오일 자체의 열화는 연소실에서 발생한 고열과 엔진 부품 금속의 촉매작용에 의해 더욱 촉진된다. 엔진오일의 열화상태를 점검하기 위한 분석항목은 인화점, 점도, 점도지수, 전산가, 알칼리가, 잔류탄소, 용제 불용분, 연료유 회석량 등을 들 수 있다. 기타 비중, 유동점, 회분, 수분 등의 측정 이외에 엔진의 마모를 간접적으로 조사하는 목적으로 금속정량분석(Fe, Cu, Cr, Al 등)도 경우에 따라 행하여지고 있다.[5-6]

본 연구(제1보)에서는 기준 오일을 선정하여 엔진 다이노미터를 이용한 시험을 하면서 주기적으로 오일을 채취하여 물리-화학적 성질의 변화를 살펴볼 뿐만 아니라 내마모 성능 등을 분석함으로써 제2보에서 연구될 NA-Q 첨가 윤활유의 성능을 비교하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구는 첨가 윤활유의 성능을 확인함에 있어서 4기통 2000CC 가솔린 엔진과 수력식 엔진 다이노미터를 사용하였다. 다이노미터

메타는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 세계적으로 널리 공인되는 미국 Super Flow사에서 제작한 것으로서 최대 흡수마력이 1000마력, 최대 회전수 12,000rpm 그리고 최대 토크가 107kg-m 이다. 본 연구에서는 엔진 회전속도를 2,950rpm, 토크를 22kW로 유지하여 시험을 실시하면서 50시간 단위로 엔진 오일을 채취하여 300시간까지 윤활유의 성질 변화를 분석하였다. 이러한 시험 조건은 4인이 탑승하고 100km/h로 주행할 때를 모사하기 위해 일반적으로 사용하는 방법이다. 시험시간은 300시간(30,000 km 주행 상당)을 기준으로 하였다.

본 연구는 N.A-Q 첨가 윤활유의 성능을 실험을 통하여 비교 분석하기 위하여 우선 N.A-Q 첨가제를 섞지 않은 기준 윤활유(상용제품)에 대하여 시험을 실시하였다. 기준 오일은 동일 로트의 제품일지라도 다른 성질을 나타낼 수 있으므로 주입 전에 잘 섞어서 사용하였다.

사용 오일의 분석은 물리-화학적 성질의 변화와 내마모 성능의 변화를 측정하여 실시하였다. 사용 오일의 초기 성질을 정확하게 측정하기 위하여 플러싱한 오일을 기준으로 사용하였다. 이를 위하여 플러싱 오일은 신유를 주입하고 30분간 엔진을 공회전 시킨 후 채취하였다. 시험간 오일을 채취한 후에는 동일한 양만큼을 신유로 보충하였다.

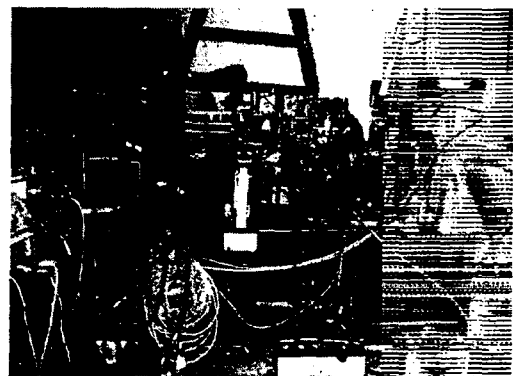


Fig. 1. Experimental engine dynamometer.

3. 실험결과 및 고찰

엔진 오일은 엔진의 회전수와 토크 및 작동시간이 증가함에 따라 화학적 특성과 물리적 성상이 점진적으로 변화한다. 이러한 변화는 연소과정에서 생성되는 엔진 내부의 극심한 열적, 기계적 조건의 변화로 인한 첨가제 분해현상과 오일의 산화 및 오일의 희석 등을 그 원인으로 들 수 있다. 본 연구에서는 사용 오일의 물리적 성상 분석을 위하여 동점도의 변화와 점도지수 및 마찰계수의 변화를 측정하였다. 화학적 성질은 FT-IR을 이용하여 전산가와 알칼리가, 산화도, 질화도 그리고 황화도 등을 분석하였으며 내마모 극압시험을 위하여 단위시간마다 채취한 오일에 대하여 4 ball 시험을 하여 마모 흔적을 측정하였다. 또한 오일 속에 함유된 금속분의 농도를 측정하기 위하여 ICP 및 분광분석을 실시하였다.

3-1. 물리적, 화학적 성질의 변화

사용 오일의 대표적인 물리적 성상의 변화인 동점도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 40 °C 동점도 측정결과 사용 시간이 증가함에 따라 47.50cSt에서 49.76 cSt로 다소 증가하였으나 100 °C 동점도 측정결과는 8.56cSt에서 8.76 cSt로 큰 변화를 나타내지 않았다. 이러한 결과들은 Fig. 3의 점도지수에 반영되어 지수가 159에서 156으로 매우 안정되게 나타남을 보여주고 있다. 점도지수는 오일의 온도에 따른 점도의 변화정도를 나타내는 척도로서 일반적으로 온도에 따른 점도의 변화가 작을수록 점도지수가 크고 점도의 온도에 대한 특성이 좋다. 오일의 동점도는 오일이 산화됨에 따라 증가되는 추세를 보인다. 그러나 가솔린 엔진 윤활유의 경우는 피스톤 간극이나 피스톤 링의 불완전한 밀폐작용 등으로 흡배기 가스의 혼입 등에 의한 연료유의 희석 때문에 동점도가 감소되는 경향을 보이기도 한다. 이러한 현상은 Fig. 4에 나타난 전산가와 알칼리가의 변화로 설명할 수

있는데 사용 오일의 전산가는 증가하고 알칼리가가 떨어지는 것을 보임으로써 오일이 산화되고 그로 인해 동점도가 다소 증가하는 원인이 되고 있다.

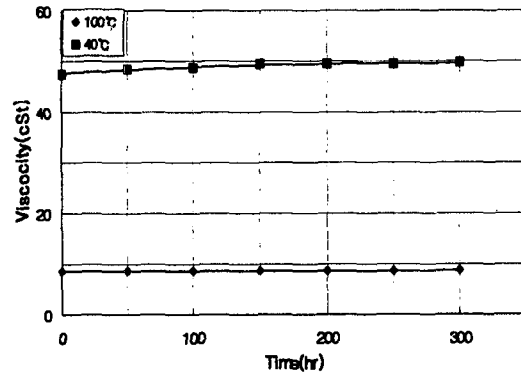


Fig. 2. Change of kinematic viscosity of used oil.

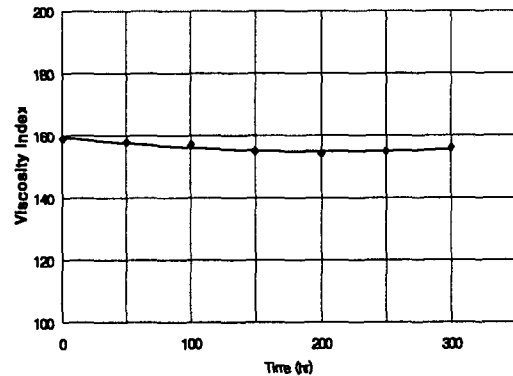


Fig. 3. Change of viscosity index of used oil.

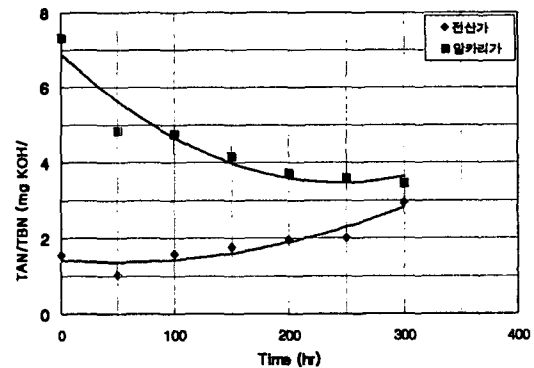


Fig. 4. Change of TAN and TBN of used oil.

3-2. ZDTP(Zinc dialkyldithiophosphate)의 변화

Fig. 5는 내마모성 첨가제의 구성성분 중 Zn 요소의 정량적 변화를 운전 시간에 따라 나타낸 것으로서 ZDTP의 소모경향을 나타낸 것이다. 역시 사용 시간이 증가함에 따라 ZDTP가 급격히 소모되고 있음을 보여주고 있다. 이로 인하여 마찰계수가 증가하고 내마모 성능이 감소하게 된다. 이와 같은 현상은 다음에 분석할 ICP 및 분광분석에 의한 금속분의 농도 증가와 4 ball 시험에 의한 내마모성 그리고 마찰계수의 변화와도 관련이 있다.

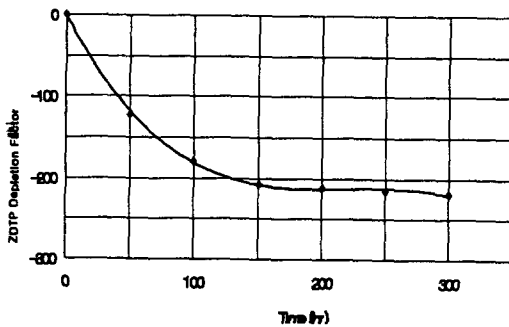


Fig. 5. Change of ZDTP depletion factor.

3-3. 마찰계수의 변화

사용 오일의 마찰계수 변화는 진자식 시험기를 이용하여 오일을 60 °C, 95 °C 그리고 120 °C로 증가시키면서 시험하였다. 그 결과 Fig. 6에 나타난바와 같이 사용 시간이 증가함에 따라 마찰계수도 증가하였다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 ZDTP의 소모와 함께 오일 속에 존재하는 마모입자를 포함한 이물질의 증가 및 윤활기유의 산화에 따른 동점도의 증가에 따른 것이다. ZDTP의 고갈과 함께 오일 속에 존재하는 마모입자의 증가 및 동점도의 증가에 따른 것이다.

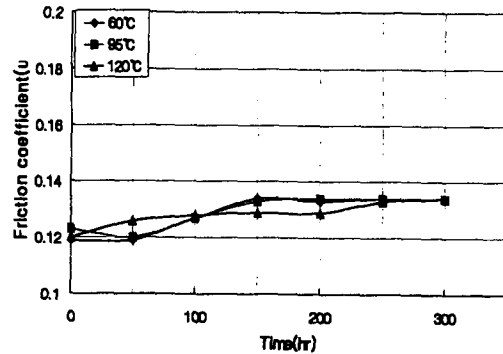


Fig. 6. Change of friction coefficients of used oil.

3-4. 내마모성의 변화

내마모성의 변화는 4 ball 시험을 통하여 살펴보았다. Fig. 7에서 보여주는 바와 같이 고하중에 해당하는 80 kg과 100 kg 시험에서는 마모직경이 점차 증가하고 있으며 이는 Fig. 5의 ZDTP 고갈현상과 일치하고 있다. 그러나 승용차용 엔진 윤활유의 시험규정에 해당하는 40 kg의 저 하중시험에서는 다른 경향을 나타내고 있다. 즉 150시간까지는 마모직경이 증가하다가 그 후부터는 오히려 감소하고 있음을 보여주고 있다. 이는 150시간 이후부터는 Zn성분을 포함한 활성화된 첨가제 화합물이 엔진의 기계요소와의 물리, 화학적 반응이 보다 활성화되면서 내마모성의 보호막(conversion coating)을 형성하게 되고, 이로 인해 오일 내에서는 Zn 성분의 감소로 이어지며 그 결과 내마모성이 향상되는 것으로 판정할 수 있다. 이러한 결과는 Kenji Fujita 등의 시험에서도 유사한 경향을 보인바 있다.[1, 7] 아울러 Fig. 2의 동점도 증가 현상도 내마모성의 향상에 기여한 것으로 보여진다.

이는 Fig. 8에서 Zn 성분의 감소 경향이 처음 100시간동안은 거의 변화가 없다가 그 이후 감소하는 것까지도 일치하고 있음을 알 수 있다.

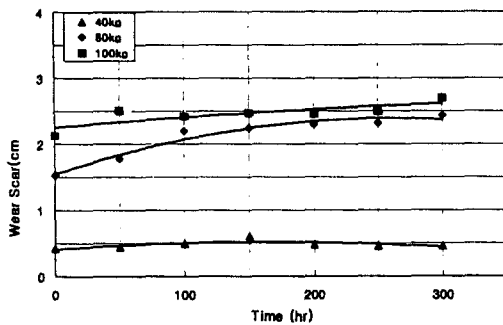


Fig. 7. Diameter of wear scar.

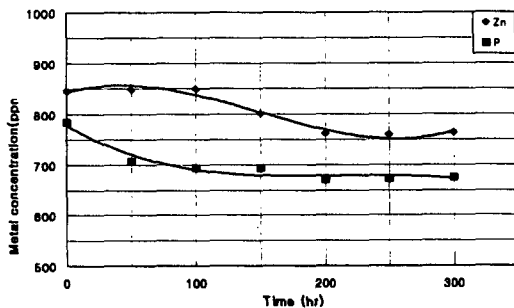


Fig. 8. Change of metal(Zn, P) concentration in used oil.

3-5. 금속분의 변화

가. ICP에 의한 분석

Fig. 9에 나타난 것과 같이 주요 금속 성분인 Fe, Cu 및 Pb 등은 사용 시간이 증가함에 따라 처음 100시간까지는 급격히 증가하다가 이후 안정된 경향을 나타내고 있다. 이러한 특성은 Fig. 7의 내마모성 변화 경향과도 일치하고 있다.

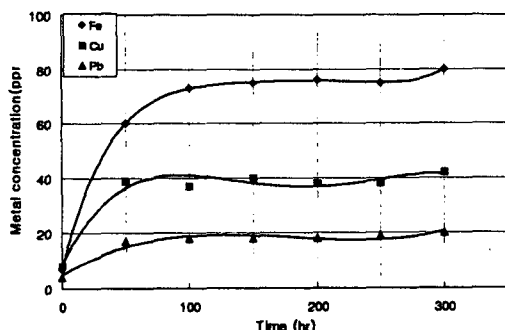


Fig. 9. Change of metal(Fe, Cu, Pb) concentration in used oil.

나. 분광분석

Table 1은 분광분석에 의한 금속분의 농도를 나타낸 것으로서 표준 방법에 의한 결과와 rote rode 필터를 이용한 결과를 비교하여 제시하였다. Rote rode 필터를 이용할 경우 다공성 흑연봉 필터를 통해 오일은 모두 흘러 나가고 금속입자만이 걸러지게 되는데 이를 아크 방전에 의해 태우게 된다. 그 결과 이온 형태로 함유되어 있던 금속성분들은 모두 방류되므로 오일 속의 금속 마모입자의 농도를 정확하게 측정할 수 있게 된다. Fig. 9에서 제시된 주요 성분들의 경우는 Table 1의 표준 방식에 의한 결과와 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 Table 1에서 대부분의 금속 성분들이 표준 방식과 rote rode 필터에 의한 방식에서 많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 rote rode 필터에 의한 결과로 볼 때 기공을 통과하는 금속 입자를 고려하더라도 오일 속의 첨가제 성분들이 엔진의 기계요소를 부식시키는 것으로 판정할 수 있다.[1, 3-4]

Table 1. Metal concentration in used oil measured by spectrometer.

구분	50h	100h	150h	200h	250h	300h
Al	5.91/2.27	4.79/1.27	4.64/1.51	4.94/0.83	5.39/1.33	6.66/1.17
Si	16.5/2.45	19.2/1.78	19.4/2.33	26.2/1.68	29.8/2.08	31.2/2.52
Zn	821/10.3	798/9.66	818/27.9	950/20.7	996/28.5	999/33.0
Fe	50/5.33	59.5/3.02	58.6/6.84	68.7/3.22	68.5/5.19	70.9/4.34
Cu	19.4/0.22	21.3/0.38	18.4/1.09	20.6/0.63	20.3/0.96	20.1/0.96
Pb	16.8/0.11	13/0.28	11.5/0.88	12.5/0.55	12.1/0.47	12.0/1.51
P	596/0.0	592/0.0	652/0.0	779/4.2	860/0.0	855/0.0

standard / Rote rode filtered

3-6. 산화도, 황화도 및 질화도

자동차용 윤활유는 사용과정에서 산소나 수분등과 접촉되면서 윤활기유 자체가 산화하면서 카복실산 등의 유기산이 발생하는 것 외에도 윤활유의 함유된 첨가제에 함유된 황이나 질소화합물의 산화 및 연소 가스 유입 등으로 인해 산화생성물이 발생된다. Fig. 10은 시험시간에 따른 상기 산화물들의 생성 경향을 나타낸 것이다. 황화도 및 질화도의

경우는 50시간 가동했을 때 급격히 증가되어 약간씩 증감 추세를 보이며 유지되는 경향을 보이는데 비해 기유의 화학적 변화를 보이는 산화도는 비교적 완만하게 증가되는 경향을 나타내고 있다.

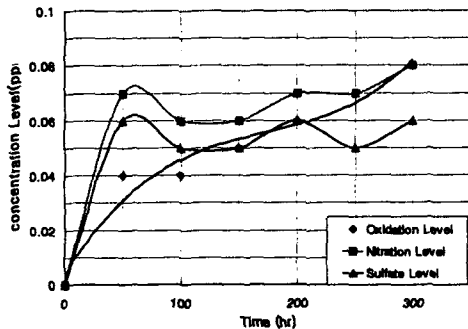


Fig. 10. Test results of FT-IR.

4. 결론

엔진 다이내모메타를 이용하여 NA-Q 첨가 오일의 성능을 시험하기 위하여 먼저 기준오일(상용제품)에 대한 시험을 2,900rpm, 22kW의 조건으로 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기준오일은 시험 시간동안 동점도 및 점도지수가 매우 안정된 경향을 나타내었다.
2. 전산가는 증가하고, 알칼리가가 감소하는 경향을 보임으로써 동점도의 증가와 일치되는 결과를 나타내었다.
3. 마찰계수는 전반적으로는 증가하였으나 시험온도 60 °C, 95 °C의 경우 처음 100시간 동안은 변화가 없음을 나타내었다. 이러한 현상은 Zn 성분의 감소가 일어나지 않은 현상과 일치하였다.
4. 내마모성의 척도인 마모직경은 고하중 시험에서는 증가하였으나 저하중 시험에서는 증가후 감소하는 경향을 보였다. 이는 첨가제의 활성화와 관련이 있으므로 NA-Q첨가오일의 시험결과와 비교할 수 있는 좋은 항목이 될 것이다.

5. 금속분 중에서 주요 성분인 Fe, Cu 및 Pb는 처음 100시간 동안 증가하다가 이후 안정화되는 경향을 나타냈다. 이는 Zn 성분의 감소 경향과 일치하는 것으로써 Zn 화합물이 엔진의 기계요소에 반응막을 형성하는 것에 기인한다.

이상의 결과는 계속되는 연구를 통하여 결과(제2보)로써 비교 제시될 것이다.

후 기

본 연구는 칼톤 화학(주)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 공호성, 한홍구, 권오관, "분광분석법을 이용한 윤활유 오염물 및 마모입자 분석에 있어서의 문제점 고찰", 한국윤활학회지 제15권, 제2호, pp131-140, 1999.
2. A.U.C. Maduako, G.C. Ofunne and C.M. Ojinnaka, "The Role of Metals in the Oxidative Degradation of Automotive Crancase Oils", Tribology International, Vol. 29, No. 2, pp.153-160, 1996.
3. D.B. Clark, E.E. Klaus and S.M. Hsu, "The Role of Iron and Copper in the Oxidation Degradation of Lubricating Oils", Lubrication Engineering, Vol. 41, No. 5, pp. 280-287, 1985.
4. H.H. Aboulelnagaand A.E.M. Salem, "Effect of Worn Metels on the Oxidation of Lubricating Oils",Wear, Vol 96, pp. 267-283, 1984.
5. 정동윤, 신성철, "단기통 소형 엔진의 엔진오일 수명에 관한 연구", 한국한국윤활학회지 제11권, 제3호, pp40-47, 1995.
6. 강석춘, 신성철, 김동길, 노장섭, "가솔린 엔진오일의 사용에 따른 기계적 성질의 변화에 관한 연구", 한국윤활학회지 제9권, 제2호, 1993.
- 7.K. Fujita, Y. Esaki and M. Kawamura, 'The Antiwear Property of ZDTP in Used Engine oils,' Wear, 89, pp.323-331(1983).