

내하중성 첨가제의 따른 기어유의 마찰·마모 특성

최응수* · 최주환** · 신성철** · 권오관* · 문탁진***

*한국과학기술연구원 Tribology연구실

**한국석유품질검사소

***고려대학교 재료공학과

A Study on the friction and wear characteristics of gear oils with adding load carrying additives

U.S. Choi*, J.H. Choi*, S.C. Shin**, O.K. Kwon* and T.J. Moon***

*Tribology Lab., KIST, **KPQI

***Dept. of Material Sci. Eng., Korea University

Abstract—Friction and wear characteristics of gear oils added load carrying additives, JS and DBP have been investigated using Shell Four Ball Tester and Cygnus and also compared with commercial gear oil. The Gear oil added DBP among them showed excellent friction and wear performances, which is deduced by action mechanism of additives. The surface analysis of the worn balls was conducted using an optical microscope.

1. 서 론

기어유는 자동차 및 산업용으로 분류되며 윤활시스템에 따라 첨가제들의 종류 및 혼련비 등의 차이가 존재한다. 그리고 경계윤활 영역하에서 작동되므로 이의 요구조건을 충족시키기 위해 극압첨가제 및 내마모 첨가제 등의 내하중성 첨가제로 혼련되어 있다. 이들은 황-인(S-P)계 화합물로 물리·화학적인 흡착 및 화학반응에 의한 보호막을 형성하여 치차표면의 마모 및 파괴현상을 감소시킨다. 그러나 윤활시스템이 고온, 고속 및 고하중화됨에 따라 그 요구성능이 가혹해져 기존 첨가제들의 제한된 성능으로 기인되어 마찰 및 마모손실이 증가되는 경향을 초래할 수 있다[1-3].

이러한 문제점을 보완하기 위해 패키지 타입 첨가제 및 내하중성 첨가제들을 첨가시킴으로써 마찰·마모 소실을 일부 감소시킬 수 있으나 근본적으로 해결은 매우 어렵다. 그 이유로서 패키지 타입 첨가제 및 내하중성 첨가제들도 기존의 황-인계 유기화합물들로 혼련되어 있으므로 이들 첨가제들의 작용 반응기구도 한계점이 존재한다.

따라서 본 연구에서는 시판용 기어유에 현재 사용되고

있는 패키지 타입의 첨가제와 새로이 합성된 첨가제 등을 각각 첨가하여 이들의 마찰·마모 특성을 고찰하였으며 아울러 시판용 기어유의 성능도 비교검토되었다.

이를 통하여 윤활시스템의 원활한 윤활조건 확립을 위해 적절한 윤활제의 선정에 대한 기초자료를 확립하는데 그 목적이 있다.

2. 실험

실험에 사용된 기어유는 SAE 90으로 혼련된 시판용 윤활유로 이의 물성은 Table 1에 나타내었다. 그리고 기어유의 마찰·마모 성능을 향상시키기 위해 현재 사용되고 있는 패키지 타입의 첨가제로 외국제품인 JS 첨가제를 3.0 wt.% 첨가하였으며 아울러 실험실에서 합성한 DBP(dibutyl 3, 5-di-t-butyl 4-hydroxy benzyl phosphonate) 첨가제를 1.0 wt.% 첨가하여 이들의 마찰·마모 특성을 비교 고찰하였다[4]. 첨가제들은 황 및 인 등의 무기원소들이 함유되어 있으므로 기어유의 마찰·마모 특성은 이들 함유량에 의존한다. 이러한 이유에서 첨가제들에 함유되어 있는 황 및 인의 원소들을 정량 분석하여 Table 2에 수록하였다.

Table 1. Physical Properties of Commercial Gear Oil

Properties	
비 중	0.8902
점도(cSt) 40°C	317.8
100°C	25
점도지수	101
유 동 점(°C)	-15
인 화 점(°C)	230
동판부식	1A

Table 2. Quantitative Results of Sulfur and Phosphorous Elements 단위 : wt.%

	Neat	JS	DBP
Sulfur	1.25	7.88	-
Phosphorous	0.11	2.08	8.4

각 첨가제로 혼련된 기어유들의 성능을 조사하기 위해 점접촉 메카니즘(point contact mechanism)을 지닌 Shell Four Ball Tester와 선접촉 메카니즘(line contact mechanism)의 Ball on Disc 구조를 지닌 cygnus(II)를 이용하여 이들의 마모·마찰 특성을 비교 검토하였다. 마모특성은 ASTM D2255 및 D2783 규격에 의해 내마모성과 극압성이 고려되었으며 마모시험후 광학현미경을 이용하여 마모된 볼의 표면을 관찰하여 마모직경(wear scar diameter)으로[5], 마찰특성은 마찰력을 측정하여 마찰계수(friction coefficient)로 표시하였다.

그리고 마모시험후 광학현미경을 이용하여 마모된 볼의 표면을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 마모특성

기어유들의 마모특성을 고찰하기 위해 Shell Four Ball Tester를 이용하여 이들의 내마모성과 극압성을 조사하였다. 내마모성은 하중 392 N, 작동시간 60분 및 회전속도 1200 rpm하에서 유온의 변화(30~150°C)에 따른 마모직경을 측정하였으며, 이의 결과는 Fig. 1에 도시하였다. Fig. 1에서 보듯이 JS가 첨가된 기어유는 유온의 증가에 따라 매우 급격한 마모증가 현상을 나타내는 반면 첨가제가 첨가되지 않은 시판용 기어유는 경이한 마모증가 추세에 있다. 그리고 DBP가 첨가된 기어유는 거의 일정한 마모율을 보여주고 있다. JS 첨가제가 첨가된 경우 유온의 증가에 따라 마모의 증가는 첨가제들의 열분해(pyralysis) 및 화학반응 활성화도에 따른 반응열의

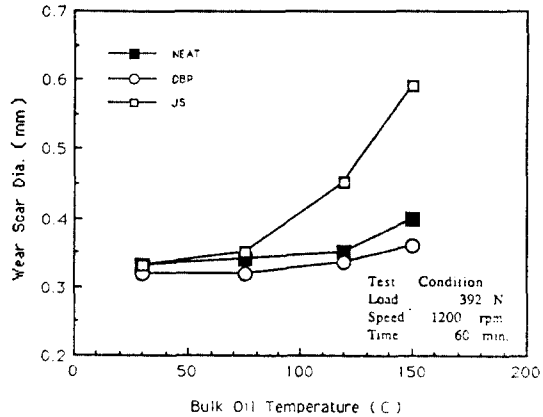


Fig. 1. Effect of the bulk oil temp. on the wear performance

증가로 점접촉하에서 생성된 보호막의 감소에 그 원인이 있으며[2, 6-8] DBP첨가제의 일정한 마모현상은 기 고된 DBP의 작용 메카니즘인 수소제거작용(hydrogen scavenging)에 의한 흡열반응이 진행되어 보호막의 감쇠속도를 방지시키기 때문으로 사려된다[4, 9]. 이러한 사실을 뒷받침하기 위해 유온 150°C하에서 마모시험후 광학현미경을 이용하여 마모된 볼의 표면을 관찰하였으며 Photos 1-3에 나타내었다. 시판용 기어유의 경우 대체적으로 균일한 표면을 나타내나 가장자리 부분에는 경이한 스크로링마크(scoring mark)를 보여주고 있다(Photo 1). JS 첨가제가 첨가된 기어유에서는 심한 스크로링 마크와 소성변형(plastic deformation)이 발생되었으며(Photo 2) 이는 앞서 언급했듯이 점접촉하에서 S-P 첨가제들의 열분해 및 화학반응 활성화도에 따른 반응열의 증가에 기인된다. DBP 첨가제가 첨가된 경우 매우 균일한 마모표면을 보여주고 있다(Photo 3). 따라서 첨가제들의 첨가에 따른 마모특성은 점접촉하에서 각 첨가제들의 작용 메카니즘에 크게 의존함을 알 수 있다. 즉, 기존의 S-P 첨가제들은 보호막 형성 기능으로 형성된 보호막의 전단세기에 의존하며, 점접촉하에서 첨가제들의 열분해 및 표면과의 화학반응 활성화도에 따른 발열반응이 진행되어 반응열의 증가로 형성된 보호막의 감쇠현상이 초래된다. 이와 반대로 DBP 첨가제는 점접촉하에서 수소 제거작용에 의한 흡열반응으로 생성된 보호막의 감쇠를 방지시킴으로써 가혹한 윤활조건하에서도 대체적으로 일정한 마모율을 나타낸다.

극압성은 하중의 증가에 따른 윤활유의 내하중성을 나타내는 것으로 상온 및 1500 rpm의 회전속도하에서 하중을 변화시키면서 조사되었으며 그 결과는 Table 3에 수록하였다.

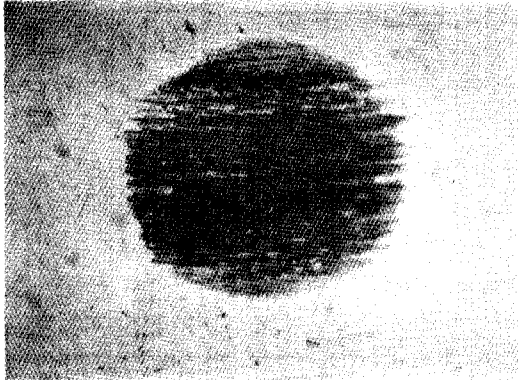


Photo 1. Micrograph of worn surface of En31 steel ball (120 μm): Neat



Photo 2. Micrograph of worn surface of En31 steel ball (80 μm): Neat+3.0 wt% JS

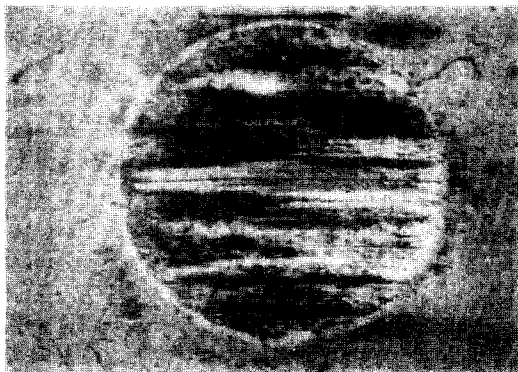


Photo 3. Micrograph of worn surface of En31 steel ball (70 μm): Neat+1.0 wt% DBP

각 기어유들은 하중이 증가함에 따라 마모는 증가추세에 있으며, 1568 N의 하중에서 공히소착(seizure)현상이 발생되고 있다. 하중 1568 이하의 경이한 마모영역

Table 3. The Results of Extreme Pressure Performances unit : mm

Samples Load(N)	Neat	Neat + 3% JS	Neat + 1% DBP	비 고
490	0.34	0.35	0.33	
617	0.36	0.37	0.35	
784	0.40	0.39	0.38	
980	0.44	0.42	0.42	
1235	0.48	0.45	0.45	
1470	0.52	0.49	0.48	
1568	0.98	0.83	0.87	
1666	1.54	1.26	1.35	
1960	1.65	1.40	1.49	
2450	1.86	1.63	1.68	
2940	1.98	1.85	1.89	
3430	2.33	2.17	2.22	
3920				welding

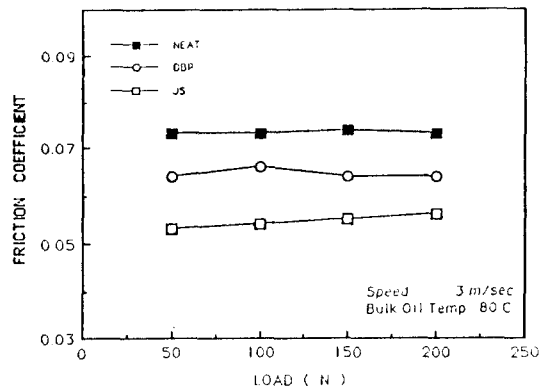
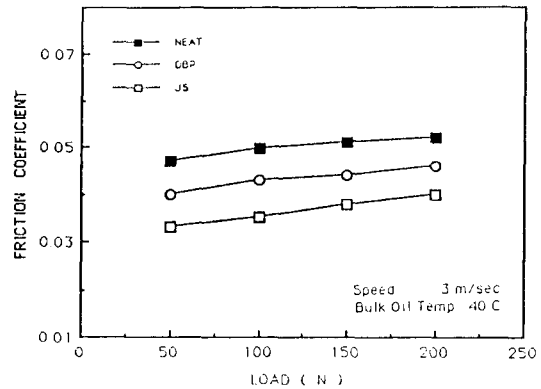


Fig. 2. Effect of the Load on the Friction Coefficient

(mild wear region)에서 각 기어유들은 유사한 마모율을 나타내는 반면 하중 1568 N 이상의 가혹한 마모영역(se-

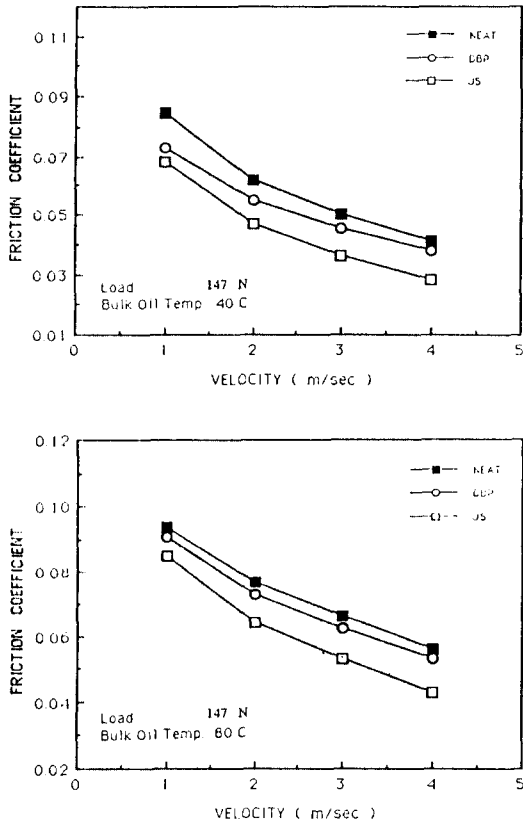


Fig. 3. Effect of the Sliding Velocity on the Friction Coefficient

vere wear region)에서는 JS, DBP 첨가제가 첨가된 기어유들이 시판용 기어유보다 낮은 마모율을 보여주고 있다. 이는 첨가제에 함유되어 있는 황 및 인 등의 무기원소 및 작용반응기구에 기인된다[4, 6, 7].

3-2. 마찰 특성

시판용 기어유와 JS 및 DBP 첨가제들이 첨가된 기어유들의 마찰특성은 Ball-on Disc 구조의 선접촉 메카니즘을 지나는 Cygnus를 이용하여 유온, 미끄럼 속도, 작동시간 및 하중들의 변수를 변화시키면서 조사되었다.

Fig. 2는 미끄럼속도 3 m/sec, 유온 40°C 및 80°C하에서 하중의 변화에 따른 마찰특성을 나타낸 것으로 하중 및 유온의 증가에 따른 마찰계수는 증가추세에 있으며, 첨가제들이 첨가된 기어유들은 무첨가된 시판용 기어유보다 낮은 마찰특성을 보여주고 있다. 이는 점접촉에서의 유막두께에 기인되어 마찰계수의 증가를 나타내며, JS 및 DBP 첨가제가 첨가된 기어유들의 낮은 마찰특성은 보호막 형성 및 작용반응기구에 그 원인이 있다[4, 6, 7].

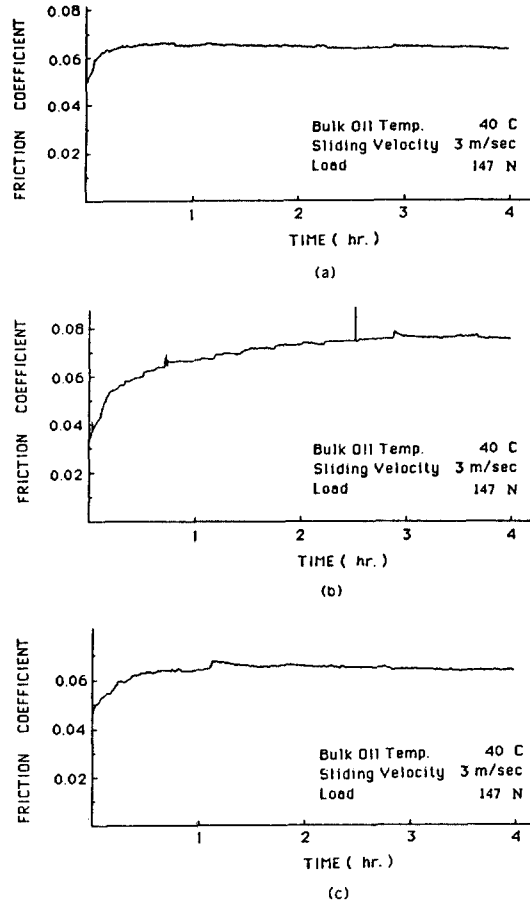


Fig. 4. Effect of the Running Time on the Friction Coefficient
(a) NEAT, (b) JS, (c) DBP

Fig. 3은 하중 147 N, 유온 40°C 및 80°C의 조건하에서 미끄럼속도 5 m/sec 이내에서의 마찰특성으로 유온이 증가함에 따라 마찰계수는 증가하며, 미끄럼속도가 증가함에 따라 감소추세에 있다. 그리고 첨가제들이 첨가된 기어유의 경우 시판용 기어유보다 낮은 마찰계수를 나타내고 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 유막두께에 의한 유막계수(film parameter)에 기인된다.

유온 40°C, 미끄럼 속도 3 m/sec 및 하중 147 N의 조건하에서 각 기어유들의 작동시간에 따른 마찰특성은 Fig. 4에 유온 80°C하에서의 마찰특성은 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 4에 보듯이 JS 및 DBP 첨가제들이 첨가된 기어유들은 작동시간 1시간 이내에서 시판용 기어유보다 낮은 마찰특성을 나타내고 있으나, 특히 JS 첨가제가 첨가된 경우 그 이상에서는 증가추세에 있다. 이는 앞서

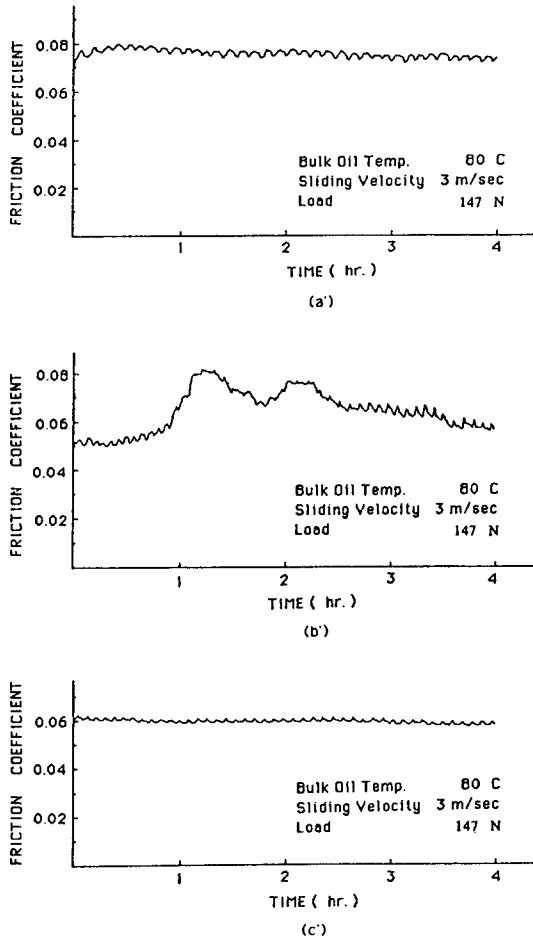


Fig. 5. Effect of the Running Time on the Friction Coefficient
(a') NEAT, (b') JS, (c') DBP

언급했듯이 JS 첨가제의 반응활성도(reaction activity)에 따른 반응 생성물에 의한 부식마모 및 첨가제의 열분해에 의한 반응열의 증가에 그 원인이 있다고 사려된다. Fig. 5는 고온하에서의 각 기어유들의 마찰계수를 나타내는 것으로 DBP 첨가제가 첨가된 기어유의 경우 작동시간에 따라 매우 낮은 마찰계수와 아울러 매우 안정한 현상을 보여주고 있으며, 시판용 기어유도 안정한 마찰특성을 나타내고 있다. 이와 반대로 JS 첨가제가 첨가된 기어유에서는 매우 낮은 마찰계수와 아울러 매우 안정한 현상을 보여주고 있으며, 시판용 기어유도 안정한 마찰특성을 나타내고 있다. 이와 반대로 JS 첨가제가 첨가된 기어유에서는 매우 불안정한 마찰특성을 보여주고 있다. 이러한 차이는 첨가제들의 작용 반응기구에 기인된다. 즉 기존의 극압첨가제들은 보호막 기능의 단일 작용으로

가혹한 윤활조건하에서는 열분해 현상과 화학반응에 따른 심한 부식마모와 발열반응에 의한 반응열의 증가로 윤활시스템의 파괴(failure)현상이 초래된다[2, 6, 7]. 그러나 DBP첨가제는 접점하에서 보호막 기능과 수소제거 기능(hydrogen scavenging)의 두기능으로 생성된 보호막의 감쇠현상을 방지시킨다. 그 원인으로 고온하에서 낮은 마찰계수와 안정한 마찰특성을 나타낸다[4, 9].

4. 결 론

본 연구는 시판용 기어유의 마찰·마모 특성을 향상시키기 위해 내하중성 첨가제들로 JS 및 DBP 첨가제 등을 첨가시켜 Shell Four Ball Tester와 Cygnus 실험장치를 이용하여 이들의 마찰·마모 특성을 조사하였다.

실험을 통하여 DBP 첨가제의 첨가시 내마모성 및 극압성의 마모특성과 마찰특성이 향상된 반면 JS 첨가제를 첨가한 경우 마모특성중 내마모성은 감소되었으나 극압성은 증가하였다. 그리고 마찰특성은 초기에는 낮은 값을 나타내나 작동시간의 증가에 따라 불안정한 경향을 보여주었다.

그 원인으로 접점하에서 첨가제들의 반응 작용기구에 의한 열영향에 기인된다.

따라서 성능이 우수한 첨가제들의 첨가시 마찰·마모 특성이 향상되며 이로인해 윤활시스템의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다고 사려된다.

후 기

본 연구는 한국석유품질검사소와 한국윤활화학회의 공동연구로 수행되었으며, 연구비를 지원해주신 한국석유품질검사소에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. R.M. Matveesky, "Chemical modification of friction surfaces in boundary lubrication", ASLE Trans, 24 (4), 483-488 (1981).
2. T. Sakurai and K. Sato, "Study of corrosivity and correlation between chemical reactivity and load carrying of oils containing extreme pressure agents", ASLE Trans., 9, 77-87 (1966).
3. F.T. Barwell, O.K. Kwon and B.J. Roynance, "Interaction of chemical, thermal and mechanical factors in the lubrication of machine elements", Proc. plenary session of 3rd Int. Tribology Congre., Sept., Vol.1, 1981.
4. U.S. Choi and O.K. Kwon, "A Study on the wear performances of dibutyl 3,4 di-t-butyl 4-hydroxy benzyl phosphonate under sliding and rolling con-

- tact", KSLE, Vol.7, No.1, 40-45 (1991).
5. ASTM D 2266: Antiwear Test
ASTM D 2783: Extreme Pressure Test
 6. K. Masuhiko and F. Kenji, "Organic sulfur and phosphorous compounds is extreme pressure additives", wear Vol.72, 45-53 (1981).
 7. A. Masuke and H. Watanabe, "Electron probe microanalysis of wear scars of Timken Test Blocks on sulfur-phosphorous type industrial gear oils", ASLE Trans, Vol.20, No.4, 304-308.
 8. H.H. Abou and A.E.M. Salem, "Testing thermal stability for base oils via Thermogravimetric Balance and Differential Thermal Analyzer", Lub. Eng., Vol.41, No.8, 470-76 (1985).
 9. U.S. Choi and O.K. Kwon, "The mechanism of action and performance of dialkyl 3, 5 di-t-butyl 4-hydroxy benzyl phosphonates as a new antiwear additive", wear, Vol.146, 63-77 (1991).
 10. R. Streibeck, "Die wesentlichen eigenschaften der gleit-and rollendagger", VDI-Zeitschrift, 46 (1902).