폴리머 윤활베어링의 특성과 응용

김상근 · 박창남 · 한종대*
FAG한화베어링(주), 창원대학교 화공시스템공학과

Characteristics and Application of Polymer Lubricating Bearings

Sang-Keun Kim, Chang-Nam Park, Jong-Dae Han*
FAG HANWHA Bearings Corp.,
Dept. of Chemical Engineering, Changwon National University*

Abstract - The use of microporous polymer lubricants (MPLs) can eliminate the storage, sealing, and pumping problems associated with liquid lubricants. This paper discusses the use of MPLs for a component as rolling-element bearings. An MPL composed of 40% HDPE and 60% ester oil was synthesized and the MPL was applied to a ball bearing. The MPL ball bearing, filled with the MPL instead of the usual grease pack, tested and compared with the usual grease sealed ball bearing. The MPL applied to a ball bearing showed lubricant properties as good as usual grease, and showed higher performance in bearing oil leakage test, rotating torque test and thermal test at high speed running than usual grease.

Key words : Polymer Lubricants, Bearings

1. 서론

구름 베어링용 윤활제는 일반적으로 오일과 그리이스를 사용하는 경우가 많으며, 이러한 윤활제는 일반적으로 유동상과 반고체상을 이루고 있다. 하지만 폴리머 윤활제는 오일 또는 그리이스 등의 유동상, 반고체상의 윤활제를 수지재료를 이용하여 고형화 시킨 것으로 종래의 윤활제와는 다른 윤활 특성을 나타낸다.

폴리머 윤활제의 응용분야로는 먼지와 수분의 접촉이 많은 각종 산업용 베어링과 원심력을 받아 윤활제의 누설이 심한 베어링 분야 등에서의 활용이 기대된다.

본 연구에서는 베어링에 적용이 가능한 최적의 폴리머 윤활 조성물을 합성 제조하여 기초적 물성을 조사하고, 실제로 구름베어링에 적용하여 폴리머 윤활제의 특성 및 성능을 비교 평가하였다.

2. 폴리머 윤활제의 특성

2-1. 폴리머 윤할제의 정의

폴리머 윤활제란 일반적으로 베어링용으로 이용되는 오일, 그리이스와 같은 윤활제를 수지와 혼합하여 고형화시킨 것을 말한다. 수지에 형성된 미세한 기공들이 윤활유를 보유하는 역할을 하여 윤활유는 서서히 스며나오게 되어 베어링 등의 마찰면에 공급되어 윤활 작용을 한다.

폴리머 윤활제는 조성이 고형으로 되어 있는 MoS_2, graphite와 같은 고체 윤활제와는 다르며 윤활 그리이스와 동일한 기본적

인 오일에 의한 윤활이다. 윤활 그리이스는 오일의 보유기구가 증주제(thickener)로 반고체상인데 반해 폴리머 윤활제는 수지를 이용하여 오일을 고형화 시킨 것이다.

폴리머 윤활제는 1965년 미국의 Joseph E. Ferrir가 최초로 특허를 출원하여 기본적인 기술이 알려지게 되었다. 여기에서는 폴리머 윤활제로 1-3×10^6의 분자량을 갖는 PE(plyethylene)수지와 광유로 구성된 윤활조성물과 그 제조방법을 다루고 있다.

2-2. 폴리머 윤활제의 고형화

폴리머 윤활제의 수지로는 일반적으로 초고분자량의 PE와 같은 열가소성수지를 이용하는 것이 많이 알려져 있다. 이것을 사용한 폴리머 윤활제는 수지의 분말과 윤활유를 혼합하여 수지의 융점이상의 온도에서 가열하는 방법으로 고형화를 시킨다. 윤활유 중에 분산된 수지의 입자는 용융온도 이상에서 가열하면 주변의 유분을 흡수하여 용융하고 그 외의 입자와 결합한다. 이렇게 혼합된 윤활 조성물은 전체적으로 gel상이 된다. 이것을 냉각하면 수지분이 미세한 다공질 구조를 형성하고 이러한 기공에 다량의 오일을 함유한 상태로 고형화한다. 수지의 기공은 수㎛ 단위 정도의 대단히 미세한 구조를 이루므로 유분이 즉시 분리되어 유출 또는 고갈되는 것을 방지한다. 고형화가 가능한 대상의 윤활제로는 오일과 그리이스를 이용할 수 있다. 오일을 이용하는 폴리머 윤활제는 수지분말과 혼합된 원료가 고형화 이전의 유동성 때문에 그리이스를 이용한 경우와 비교하여 보면 복잡한 형상(베어링의 공간용적)에서의 고형화를 용이하게 하고 동시에 균질한 제조가 가능한 특성를 가지고 있다.

2-3. 윤활기구

폴리머 윤활제의 윤활기구는 수지의 미세공에 유지된 유분이 다음의 작용에 따라서 서서히 스며나오면서 마찰면에 공급되어 윤활 작용을 하는 것이다.

1) 직접적인 하중의 작용

폴리머 윤활제에 압축의 하중을 가하면 수지의 다공질 구조는 탄성변형을 한다. 압축변형에 의한 체적이 감소할 때 함유한 유분은 압측되어 폴리머 윤활제의 내압을 상승 시키고 이와 같은 내압에 의하여 유분이 스며 나온다. 또한 하중을 제거하면 수지구조는 탄성력에 의해 원상태로 복원되며 이때에 유분을 배출한 표면 부근과 폴리머 윤활제 내부와의 유압 차가 발생하여 내부에 저장되었던 유분은 표면 부근에 보충된다.

2) 가열에 의한 영향

폴리머 윤활제는 가열에 의하여 팽창한다. 폴리머 윤활제에 범용적으로 이용되는 초고분자량 HDPE(high density polyethylene)의 열팽창계수가 70×10^{-6}/℃정도를 갖는데 광유와 같은 윤활유는 500×10^{-6}/℃로 큰 수치를 나타낸다. 동일한 온도로 가열하여도 윤활유 쪽이 더 크게 팽창하므로 가열에 의하여 수지보다 큰 팽창을 한 유분이 폴리머 윤활제의 표면으로 스며 나와 윤활작용을 한다.

3) 모세관 현상에 의한 영향

폴리머 윤활제의 수지 쪽의 다공질 구조는 매우 미세하고 유분의 표면장력에 의하여 모세관현상이 생긴다. 모세관 현상은 윤활제 표면의 유막 두께를 일정하게 유지하여 준다. 표면에 유막이 소모되어도 내부에서 유분이 스며나오게 되며 이러한 유분이 스며나오는 양은 수지의 입자크기, 오일의 점도, 표면장력 등에 영향을 받는다. 표면

에 남아있는 유분이 충분할 경우는 내부의 유분이 포화할 때까지 흡수하는 작용도 있어 한번 유출한 유분을 다시 폴리머 윤활제 중에 흡수하여 저장하는 특성을 갖는다.

3. 시료 및 실험

시험 평가를 위한 윤활 조성물 중 고분자의 수지는 초 고분자량 HDPE(분자량 $1-3\times10^6$) 수지를(HIZEX Million 145, Mitsui Chemical, Japan) 사용하였다.

조성물에 적용된 오일로는 기본적으로 산화안정성과 내열성이 우수한 ester oil을 사용하였다. 조성물 배합의 비율은 수지 40wt%, 오일 60wt%로 혼합하여 80-90℃에서 혼합 교반시켜 합성을 하였다. 이러한 공정이 끝나면 상온까지 냉각시킨 후 고온에서 가압 성형(온도: 200℃,압력: 5kg/㎠)을 실시하여 폴리머 윤활 조성물을 제작하였다. 이 조성물에 대한 기본적인 물성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of polymer lubricant

Property	Test method	Unit	Result
Specific gravity	ASTM D792	g/㎤	1.1
Hardness(HS_A)	KS M 6518	HS_A	70
Tensile strength	ASTM D638	MPa	14
Tensile elongation	ASTM D638	%	13
Flexural modulus	ASTM D790	MPa	250

윤활 조성물에 대한 물성 평가를 실시한 후 조성물의 구조를 관찰하였으며 구조형상은 Fig. 1과 같이 수지와 윤활유가 균일하게 분포되어 있는 것으로 확인할 수 있으며 수지 입자의 크기는 100㎛이하의 크기를 나타내었다.

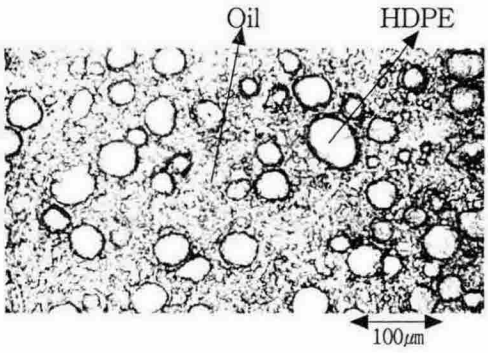

Fig. 1. Microscopic photography of polymer lubricant.

이와 같은 윤활 조성물을 베어링에 직접 충진한(베어링의 공간용적에 100% 충진) 시험품을 제작하여 원심가속 하에서의 누유시험을 실시하였고, 회전 토오크 및 고속 열 안정성 시험으로 성능을 평가하였다.

Table 2. Condition of leakage under centrifugal acceleration

Classificcation	Bearing A	Bearing B
Direction centrifugal acceleration	Radial	Axial
Centrifugal acceleration	3000 G	
Lubricant	-Injection of polymer lubricant -Li + mineral oil grease	
Test Bearing	-PG6000(Polymer lubricant) -#6000UU(Non contact seal) -#6000DD(Contact seal)	
Testing hour	5hrs	
Rotational speed	0 min^{-1} (Static)	

원심가속시험은 시험베어링 #6000(폴리머 윤활제 주입품), #6000DD(접촉형 시일: 그리이스 주입품), #6000UU(비접촉형 시일: 그리이스 주입품)를 사용하여 기존 타입의

그리이스 주입 베어링과 폴리머 윤활제 충진 베어링과의 원심 가속 하에서의 누유량을 비교 조사하였다. 시험시간은 5시간씩(1시간마다 중량 감소를 측정) 각각 10회를 실시하였으며 누유되는 량은 전체 측정치의 산술 평균치로 데이터 처리하였다. 원심가속도 시험조건은 Table 2에 나타내었으며 시험기의 개략도는 Fig. 2와 같은 구조로 되어 있다.

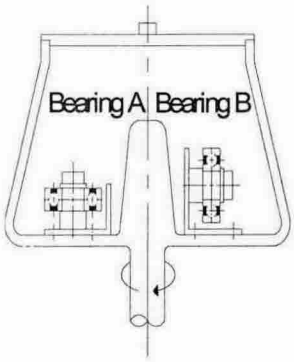

Fig. 2. Schematic diagram of centrifugal acceleration tester.

회전 토오크에 대한 성능평가는 회전수 1,800 rpm으로 10분간 회전시켜 토오크가 안정화 된 후 1시간 간격으로 5시간 동안 회전 토오크 값을 비교평가하였다. 또한 고속에서의 성능 및 열 안정성을 시험하였는데 시험조건은 회전수 10,000 rpm, 시험온도 25℃(상온)에서 실시하였다. 시간경과에 따른 베어링의 온도변화를 관찰하였고 시험시간은 시료별로 각각 500시간 이상 실시하여 비교평가 하였다.

폴리머 윤활 조성물을 적용한 시험품 베어링의 예는 Fig. 3과 같다.

4. 결과 및 고찰

폴리머 윤활 조성물의 물성시험에 대한 결과는 Table 2와 같다. 밀도는 약 1.1정도를 보였으며 Shore(A) 경도 값은 70으로 나타났다. 이러한 경도치는 고무(NBR)와 PA66플라스틱의 중간 정도의 값을 나타내었다.

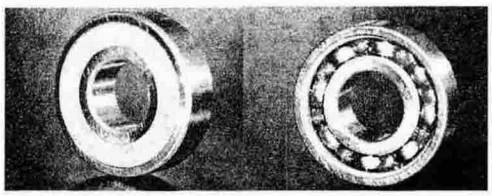

Fig. 3. Polymer lubricating bearing.

인장강도시험 결과 10 MPa이상의 값으로 양호한 결과치를 얻었으며 굴곡 탄성율 역시 고무(NBR)와 비교하여 2.5배 높은 결과를 나타내었다.

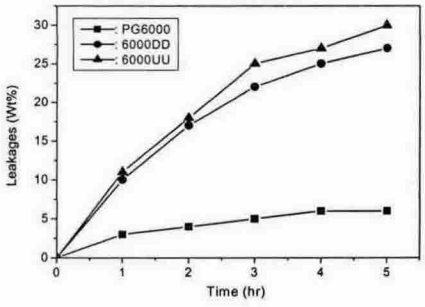

Fig. 4. Results of polymer bearing leakage test.

원심가속도 하에서의 누유 시험은 기존 시일용 베어링(6000UU/DD)과 폴리머 윤활제 주입 시험베어링(PG6000)를 비교 평가하였다. 시험결과는 Fig. 4에 나타내었다. 1시간 경과 후의 시험 베어링별로 누유량을 확인한 결과 폴리머 윤활제 주입 베어링은 3wt%인 반면에 기존의 시일장착 베어링(그리이스 주입품)은 10wt%이상의 누유량을 나타내고 있다. 5시간이상 시험후의 결

과에서는 폴리머 윤활제 베어링이 기존 베어링보다 4배이상 누유 손실이 적은 것으로 나타났다. 즉 폴리머 윤활제 베어링은 원심가속이 되는 곳에서 우수한 윤활성과 내누설성을 가지는 것으로 볼 수 있다.

회전 특성을 비교 평가하기 위하여 회전 토오크 시험을 실시한 결과는 Fig. 5와 같다. 초기의 기동 토오크값은 6000DD(접촉형 시일)가 제일 큰값을 보이며 다음은 6000UU(비접촉 시일)시험품, 폴리머윤활제 주입 베어링(PG6000) 순으로 나타내고 있다. 여기에서 접촉시일 적용 베어링이 토오크 값이 큰 이유는 시일의 접촉에 의한 간섭으로 판단된다. 충분한 회전(5시간)을 시킨 상태에서의 회전 토오크를 시험한 결과 PG6000: 49 g_f.mm, 6000UU: 55 g_f.mm, 6000DD: 62 g_f.mm의 수치를 보이고 있다.

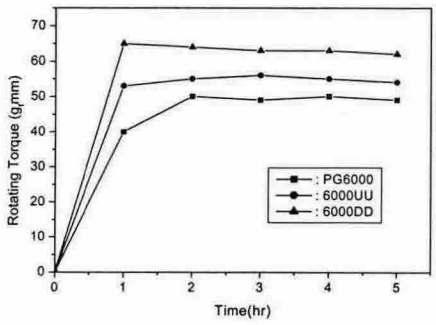

Fig. 5. Results of rotating torque test.

고속에서의 성능과 열 특성에 대한 시험결과는 Fig. 6에 나타내었다. 폴리머 윤활제 주입 베어링이 고속(10,000rpm)에서 500시간 시험 후의 온도 상승이 20℃로 가장 적게 나타나고 있다. 기존 베어링인 6000UU와 6000DD시험품은 시험 후의 온도 상승치가 각각 23℃, 24℃로 비슷한 수준을 나타내었다. 이들 결과로 보면 폴리머 윤활제 주입 베어링이 다소 양호한 열적인 특성을 가지는 것으로 볼 수 있다.

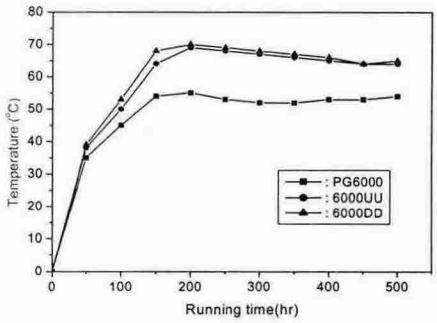

Fig. 6. Results of high speed running test.

5. 결론

이상의 시험결과들을 통해서 다음과 같은 결론를 얻을 수 있었다.

1. 폴리머(HDPE)를 이용한 윤활 조성물을 제작하여 기초적인 물성시험을 평가한 결과 인장강도가 10 Mpa이상의 성상이 양호한 조성물을 제작할 수 있었다. 경도 값은 고무(NBR)와 플라스틱(PA66)의 중간치를 나타내었다.

2. 조성물에 대한 현미경 관찰에서는 HDPE와 오일이 적절한 구조로 구성되어 있으며 폴리머(HDPE)가 그리이스의 증주제 역할을 하는 것으로 확인되었다.

3. 폴리머 윤활 조성물을 베어링(#6000)에 적용하여 원심가속도 하에서의 누유량을 기존 시일 장착베어링(6000UU/DD)과 비교 평가한 결과 폴리머 윤활제 주입 베어링(PG6000)이 기존 베어링보다 4배 이상 적은 결과를 얻었다. 이러한 결과는 특히 원심력을 많이 받는 베어링에서 오일의 유출이 적으면서 지속적인 윤활성을 유지할

수 있는 곳에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 회전 토오크 특성을 평가한 결과 폴리머 윤활제 주입 베어링이 가장 양호한 값을 나타내었으며 기존 베어링인 6000UU와 6000DD의 경우는 비슷한 수준을 보였다.

5. 고속에서의 성능과 열 특성에 대한 평가에서는 폴리머 윤활제 주입 베어링이 고속에서도 양호한 열적인 특성을 나타내었으며 장시간 고속회전에서도 윤활 성능을 계속 유지하고 있었다.

참 고 문 헌

1. W. E. Jamison, J. J. Kauzlarich and R. E. Mony : ASLE Trans., 21 (1), 71 (1978).
2. W. E. Jamison : Lubr.Eng., 38 (12), 758 (1982).
3. W. E. Jamison, C. D. Nelson and J. H. Cuckler : Lubr. Eng., 41 (5), 274 (1985).
4. T. Sato, M. Asoo and T. Suzuki : NTN Technical Review No. 63, 29 (1994).
5. T. Yabe and F. Ueki : Motion & Control No. 3, 31(1997).
6. T. Takajo : Tribologist, 45, 31 (2000).