

특성별 그리이스의 수명과 열화특성 연구

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

Grease Life and Degradation Characteristics in Rolling Bearing Lubrication

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

Abstract: High performance characteristics are required for rolling bearings and the various functions of bearing are greatly influenced by grease. Recently, higher performance is being demanded of rolling bearing greases for bearing lubrication. Four special greases with different composition such as lithium soap/ester oil, urea/ester oil, urea/ether oil and PTFE/fluorine oil were synthesized to compare the performance of these greases with that of the conventional lithium soap/mineral oil grease. The grease properties were investigated using a series of typical grease testing methods and grease life test. After the life test, the greases were characterized by FTIR analysis and a microscope. And the iron amount in the greases was analyzed by AAS after ashing. The composition and manufacturing process determined the grease performance. The grease with a base oil of synthetic oil showed higher performance and the urea/ester oil and PTFE/fluorine oil showed about three times longer life as compared with conventional lithium grease.

Key Words: Grease, Bearing Lubrication, Grease Life, Rolling Bearing

1. 서론

구름 베어링은 산업기계, 모터, 가전기기, 자동차용 등의 많은 분야에서 적용이 되고 있다. 최근에는 기계나 자동차용 부품에서 고성능화, 소형화, 내구수명의 향상 등과 같이 요구가 점점 증가하는 추세이다. 이와 마찬가지로 베어링에서도 전보다는 고온, 고속, 저토오크화 및 장수명이 요구되고 있다[1].

이와 같은 요구를 만족하기 위하여 베어링의 설계, 재료, 제조공정의 개선이 추진되고 있으며 베어링의 수명은 수십만 시간에 이르고 있다. 그런데 베어링 수명은 그리이스의 수명에 좌우되는 경우가 많으며 그리이스의

종류와 특성에 따라서 많은 성능의 차이를 나타낸다[2, 5].

본 연구에서는 그리이스의 조성과 특성별로 다양한 종류의 시작품을 제조하여 기초적인 물성평가와 기계적인 안정성 시험 등을 통하여 특성을 비교 평가하였다.

2. 시료 및 실험

시험을 위한 그리이스는 특성별로 일반용(D: Li/광유), 광범위용(B: Li/에스테르유), 고온-고속용(A: Urea/에스테르유, B: Urea/에테르유), 고온용(E: PTFE/불소유)의 5종의 시료를 제조하였다.

제조된 그리이스는 일반적인 그리이스 제조법인 검화법(saponification)으로 제조하였으며 분산과 냉각공정을 거친 후 milling작업으로 균질화시켜 제조하였다. 반면에 고온용 그리이스는 urea화합물을 오일과 결합시키는 방법으로 제조하여 최종적으로 milling작업으로 처리를 하였다. 다른 고온용 그리이스인 불소계 그리이스는 PTFE를 기유에 혼합하고 가열 교반시켜 냉각을 시킨 후 milling작업으로 처리하였다. 그리이스의 기초적인 물성시험은 KS M2130법에 준한 항목에 대하여 실험 평가를 실시하였으며, 그리이스의 기계적인 안정성을 비교 평가하기 위하여 혼화안정도(working stability)시험을 KS M2051법에 준하여 실시하였다. 베어링에 적용한 그리이스의 수명시험은 그리이스 시료의 특성 차이가 있기 때문에 모든 시료를 상대적으로 평가 할 수 있는 시험 조건을 채택하였다. 조건은 회전수: 4,500 rpm, 온도: 100 °C, 래디얼 하중: 250 kg_r, 그리이스 주입량: 1±0.1 g(공간용적의 25%), 시험베어링: #6203DD(접촉형 시일)를 사용하여 수명시험을 실시하였다. 그리이스 수명시험에 대한 시험조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Conditions of grease life test

Test bearing	#6203DD (contact seal)
Amount of grease	1±0.1 g (25% volume of free space)
Temperature	100 °C
Rotational speed	4,500 rpm
Applied load	250 kg _r

그리이스 수명시간의 판단은 온도가 시험온도보다 20°C 이상 상승했을 때와 과도오르스크 및 베어링이 파손 될 때까지의 시간을 기준으로 하였다. 그리이스 시료별로 각각 4회의

시험을 실시하였으며 최대치와 최소치를 나타내는 데이터는 제외시키고 나머지 2개의 데이터를 산술 평균하여 대표 수명시간으로 처리하였다. 그리이스 수명시험기에 대한 개략도는 Fig. 1의 그리이스 수명시험기와 같은 구조로 되어있다. 상기와 같이 그리이스 별로 기초적인 물성시험을 실시하고 베어링

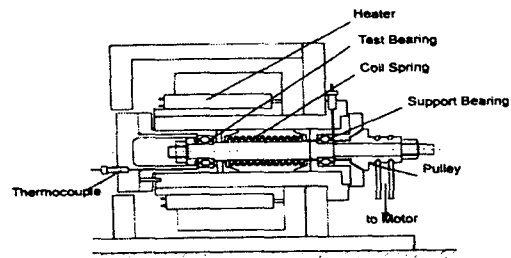


Fig. 1. Schematic diagram of grease life tester.

에 적용한 그리이스 수명시험을 평가한 후 시험전후의 그리이스의 변색과 이물질의 혼입 여부를 현미경을 통해 관찰하였다. 그리이스의 산화 및 열화도는 적외선 분광분석법(FT-IR, MAGNA-IR 750 Nicolet Co.)으로 비교 분석하였다.

또한 베어링의 마모정도를 간접적으로 조사하기 위하여 시험 그리이스 속에 함유되어 있는철(Fe) 마모분의 함량을 회화법(ashing method)을 통한 흡광분석법(AAS, AI 1100 Perkin Elmer)을 이용하여 정량적으로 비교 분석하였다. 회화법(ashing method)은 시험후의 그리이스 시료 0.5 g을 채취하여 진한 황산 2 g을 가하여 hot plate에서 건조 될 때까지 가열한다. 건조 후 노에서 모든 탄소 성분이 제거될 때까지 550~770 °C에서 3시간 정도 회화시킨다. 회화된 시료를 냉각시킨 후 진한 염산 약 6 ml로 처리하고 거름종이로 거른 후, 증류수로 희석하여 정량적으로 분석하였다.

Table 2. Properties of greases

Grease		A	B	C	D	E	
Test method							
Thickener	-	Urea	Li	Urea	Li	PTFE	
Base oil	-	Ester	Ester	Ether	Mineral	Fluorine	
Worked penetration	KS M 2032	250	245	275	280	290	
Dropping point (°C)	KS M 2033	240	191	250	185	>260	
Oil separation (100°C × 24hr, wt%)	KS M 2050	1.7	1.0	1.0	2.6	1.0	
Oxidation stability (99°C × 100hr, kg/cm ²)	KS M 2049	0.2	0.3	0.1	0.5	0.05	
Bearing rust preventive (52°C, 48hr)	ASTM D1743	# 1	# 1	# 1	# 1	# 1	
Viscosity of base oil (cSt)	40°C	KS M 2014	100	26.0	110	95	165
	100°C		12	5.2	13	10	18

3. 결과 및 고찰

그리스의 물성 시험결과는 Table 2와 같다. 시료 그리스들은 NLGI주도 번호 2~3등급으로 제조되었으며, 이것은 통상 베어링용 그리스로 적용되는 주도이다. 특성별 5종 그리스(A, B, C, D, E)에 대한 기초적인 물성시험에서 NLGI 주도번호 2~3등급으로 규격치를 만족시켰다. 그리스의 내열성은 물성시험 항목의 적점시험으로 비교가 가능하다. 그리스의 특성에 따라서 내열성(적점, dropping point)와 산화안정성의 차이점이 발견되었다. 적점시험에서는 그리스 A, C, E는 240 °C 이상 이었으며, 그리스 B와 D는 각각 191 °C, 185 °C의 낮은 값을 나타내었다. 산화안정성 시험에서는 내산화성이 뛰어난 불소계를 사용한 그리스 E가 가장 우수한 결과치를 보였으며 C, A, B, D순으로 시험 평가되었다. 베어링 방청시험에서는 5종의 시작 그리스 모두 녹 발생은 관찰이 되지 않았으며 이유(oil separation)

도 시험의 경우 1.0~2.6 wt% 사이의 수치를 나타내고 있다. 그리스에서 이유도는 윤활성 측면에서 어느 정도(약 3%이내)는 있는 것이 유리하나 너무 과도한 이유가 생길 경우 저장성 및 밀봉성 측면에서 불리하게 된다.

그리스의 기계적인 안정성을 평가하기 위하여 혼화안정도(working stability)시험을 실시하였으며, 통상적으로 10⁵회 혼화한 후의 주도(penetration)값으로 평가하나 본 시험에서는 20⁵, 30⁵, 40⁵회의 혼화를 실시한 후 주도값의 변화를 비교 평가하였다. 기계적인 혼화안정도 시험 결과를 Fig. 2에 나타내고 있다. 시료 그리스 C와 E의 60회 혼화주도와 40만회 혼화주도의 차이 값이 비슷한 결과(+70 ~+75)를 나타내었으며 그리스 A, B, D의 시료의 경우는 각각 +120, +130, +110의 주도 상승치를 보였다. 이러한 결과는 기계적인 전단안정성에서 그리스 A, B, D보다는 그리스 C와 E가 다소 유리 할

것으로 사료되며 통상의 10²회 혼화 후의 평가가 아니라 가혹한 조건(40만회)을 고려한다면 5종의 시료 그리이스의 기계적인 안정성은 준수한 성능을 나타내는 것으로 판단된다.

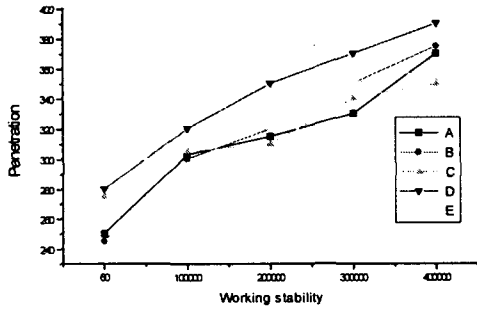


Fig. 2. Results of working stability test.

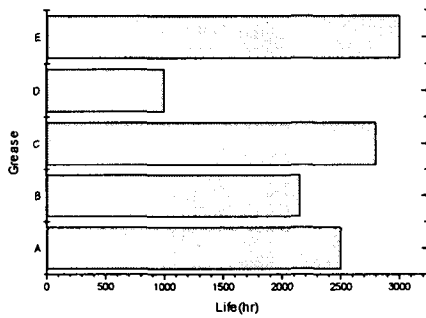


Fig. 3. Results of grease life test.

그리이스 시료별 수명시험 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 수명시험 결과에서 광범위용 그리이스 D는 1,000시간의 수명시간을 나타내었고, 그리이스 B는 2,150시간으로 D시료보다 2배 이상의 수명시간을 보였다. 또한 그리이스 A와 C의 경우는 각각 2,500시간, 2800시간 이상의 수명시간을 나타내었으며 고온용 E(PTFE+불소유)그리이스는 가장 긴 3,000시간 이상의 수명을 나타내었다. 이와 같이 그리이스별로 수명시간이 차이가 나는 것은 그리이스의 조성물에 따른 차이로 보여진다. 이것은 Li증주제에 광유를 사용하는

그리이스보다는 urea증주제에 합성유(에스테르, 에테르유)를 사용한 경우에 산화안정성과 내열성, 기계적인 안정성이 우수한 조성이기 때문으로 판단된다. 고온용인 그리이스 E는 불소의 우수한 내산화성과 내열성 및 내화학적인 특성에 따른 당연한 결과인 것으로 보인다.

시험전후의 그리이스의 현미경에 의한 관찰결과는 Fig. 4와 같다. 그리이스 C와 B는

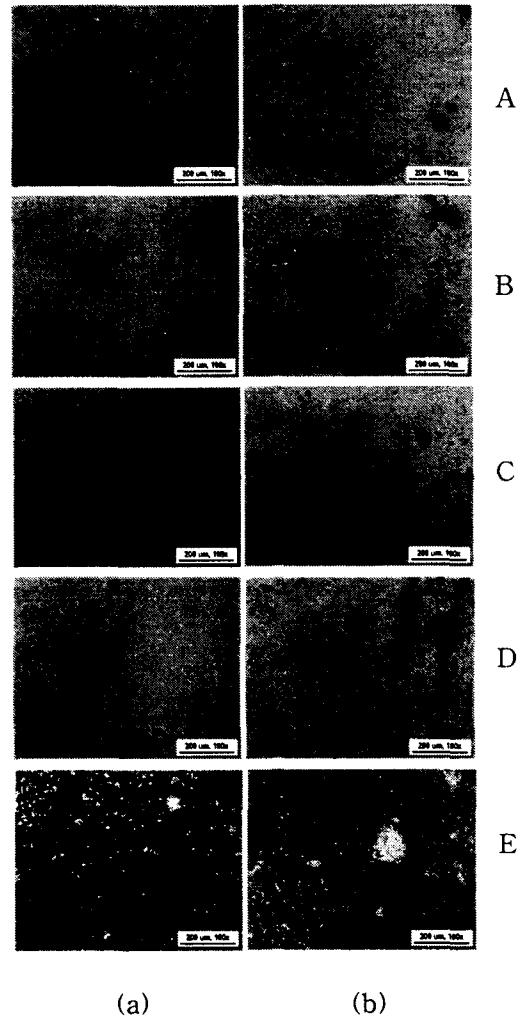
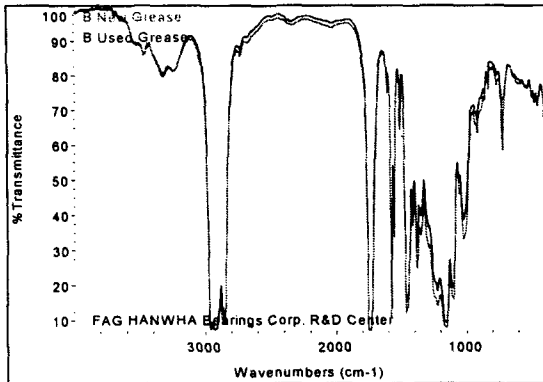
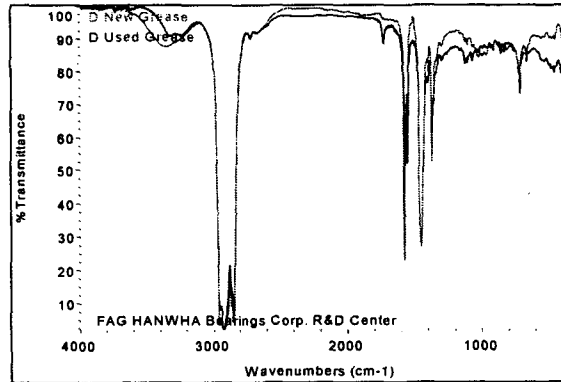


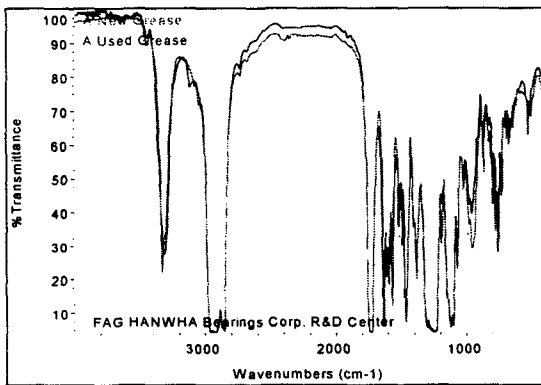
Fig. 4. Micrographs of greases (a) before and (b) after life test.



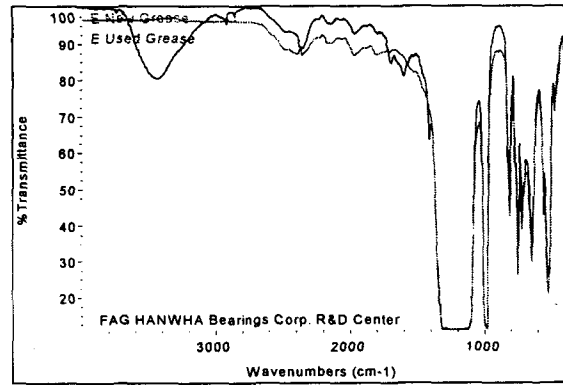
A Grease



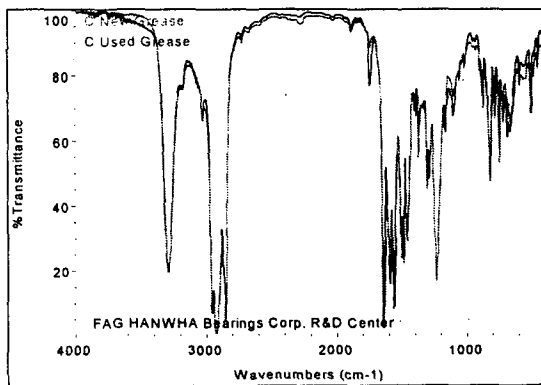
D Grease



B Grease



E Grease



C Grease

Fig. 5. IR transmittance spectra of greases before and after life test.

진한 갈색과 건조한 상태를 보이고 있었으며 그리이스 A, D, E시료는 약간의 변색과 이물질($70\mu\text{m}$ 이하)이 관찰되었다. 반면 그리이스 E는 PTFE를 증주제로 제조된 것이므로 현미경상에서 다른 시료와 구조적 차이가 나타나는 것을 알 수 있으며, 이와 같은 구조적인 차이는 SEM 분석결과에서 더욱 뚜렷하게 볼 수 있었다.

그리이스 수명시험 후 그리이스의 산화 및

열화도를 비교 분석하기 위한 FTIR분석 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 보면 시험후의 시료별 그리이스의 산화물 특성 피크(1700~1720cm⁻¹ C=O)는 그리이스 C, D와 E의 시료에서 미세하게 나타나고 있으나 이것이 그리이스의 성능을 좌우할 정도는 아닌 것으로 판단되며 그외의 모든 특성치와 증주제의 소모여부는 사용전의 IR결과와 비교할 때 커다란 차이점은 발견되지 않았다. 그리이스 A와 B시료는 시험전후의 IR 분석에서 거의 동일한 특성으로 나타내었다.

수명시험 후 그리이스 속에 함유되어 있는 철(Fe)마모분의 함량을 회화법을 통한 원자흡광분광분석법(AAS)으로 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 그리이스 시료 5종에 대하여 시험전 후의 철분 함량을 비교 분석한 결과 시험전의 시료에서의 철함량은 40~80 ppm 정도이나 수명시험 후에는 증가하였음을 알 수 있다. 그리이스 D의 경우에는 수명이 짧은 경우로 철의 함량 증가가 크지 않았으나, 수명이 긴 그리이스 E는 5종 그리이스 중에서 가장 큰 철 마모량을 나타내고 있다.

Table 3. Iron amount in the greases before and after life test

Grease	A	B	C	D	E
Before	62	52	64	67	72
After	140	170	160	110	720

4. 결론

상기 시험결과를 통해서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 특성과 조성별로 제조된 5종의 그리이스

시료를 기초적인 물성시험과 수명시험 결과에서 조성물의 특성 차이에 따라 그리이스의 성능에 큰 차이가 나타났다. Li증주제에 광유를 사용한 그리이스보다는 urea증주제에 합성유(에스테르, 에테르유)를 사용하는 경우에 산화 안정성과 내열성, 기계적인 안정성이 우수하게 나타났다. 특히 고온용과 내산화성이 우수한 E의 PTFE/불소유의 경우에는 가장 장수명을 나타내었다.

2. 그리이스 수명시험 전후 현미경을 통한 입자관찰에서 수명시험 후에는 5종 시료 전체에서 미량의 입자가 발견되었으나 이러한 이물질이 그리이스의 정상변화를 발생시킬 것으로는 판단되지 않았다. 그리이스 C와 B는 시험후의 상태가 진한 갈색과 건조한 상태를 나타내었으며 그리이스 A, D, E시료도 약간의 변색이 관찰되었다. PTFE를 증주제로 사용한 그리이스 E시료는 다른 시료와 구조적인 차이를 확인 할 수 있었으며, 이물질과 변색정도는 비교적 양호한 상태로 관찰되었다.

3. 그리이스의 산화 및 열화도를 비교 분석하기 위한 IR분석결과에서 그리이스 C, D와 E시료에서 미세한 산화물의 특성치가 나타났다. 그러나 그리이스 성능을 좌우할 정도는 아닌 것으로 판단되었다. A, B시료는 시험전후의 IR결과가 거의 동일한 결과를 보였다.

4. 수명시험 전후의 철함량을 비교하면, 수명이 긴 그리스에서 철의 함량이 증가하였으나 수명이 가장 긴 그리이스 E의 경우에도 허용한계치 이내의 함량을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. T. Kawamura, M. Minami and M. Hirata, "Grease Life Prediction for Sealed Ball Bearings", ASLE Trans., 44, pp 256~262 (2001).

2. H. Ito, and T. Suzuki, "Physical and Chemical Aspects of Grease Deterioration in Sealed Ball Bearings", *Lubr. Eng.*, 44 (1988).
3. N. Michharu, T. Yamamoto and A. Yamamoto, "Out particing of Rolling Bearings Lubricated with Urea and Fluorine-Based Grease", *Lubr. Eng.*, pp 20~21 (2000).
4. P. M. Cann, J. P. Doner, M. N. Webster and V. Wikstrom, "Grease Degradation in Rolling Element Bearings," *ASLE Trans.*, 44, pp 399~404 (2001).
5. K. Furumura, "Recent Trends in Research and Development of Rolling Bearings at NSK", *Motions & Control* No. 1, pp 9~10 (1996).
6. M. Naka, "Research and Development of Lubrication Grease by NSK", *Motion & Control* No. 3, pp 1~8 (1997).
7. K. Adach, "Development of Low Noise Long life Lithium Complex Grease". *KOYO Engineering Journal*, 153, pp 43~48 (1998).
8. H. Ito and M. Naka., "Grease life Equations for Sealed Ball Bearings", *NSK Technical Journal* No. 660, pp 11~12 (1995).