

밀봉형 볼베어링용 그리이스의 노화와 잔류수명

최인혁[†] · 김정길 · 김지현 · 손성구*

FAG한화베어링(주), *크리버코리아(주)

Deterioration and Residual Life of Grease for Sealed Ball Bearing

In-Hyuk Choi[†], Jung-Gil Kim, Ji-Hyun Kim and Sung-Koo Sohn*

FAG Hanwha Bearings Corp., *Klüber Lubrication Korea Ltd.

Abstract – Grease deterioration of mineral oil type grease was investigated using sealed deep groove ball bearings (6203) and bearing life test rig. The bearing test was performed under 3,000 rpm and 245 N radial load at 120°C. Grease taken from tested bearings was checked in using certain evaluation methods, for example, oxidation induction time (OIT), FT-IR peak intensity, leakage rate, bleeding rate, total acid number (TAN) and bearing noise increase. Within these test conditions, OIT, TAN, bleeding rate were changed gradually in accordance with bearing operating time and showed useful indices for deterioration of grease.

Key word – DGBB, grease deterioration, oxidation induction time, leakage rate, bleeding rate, total acid number.

1. 서 론

밀봉형 베어링은 산업기계, 자동차, 가전기기, 전기모터 등 많은 분야에서 대량으로 사용되고 있으며, 최근에는 설비의 고성능화, 콤팩트화, 내구성의 향상, 보수 점검의 생략을 위하여 기기의 사용기간 동안 윤활제의 교환이 없는 밀봉형 베어링의 사용이 더욱 증가하고 있다. 따라서 기존의 베어링에 비하여 고속, 고온, 장수명 등의 성능을 향상시키기 위한 베어링의 설계, 재료, 제조방법 등의 개선이 지속적으로 진행되고 있다[1].

일반적으로 윤활상태가 양호하고, 저속, 고하중에서 작동하는 베어링의 경우는 구름접촉부에서 구름피로에 의해 베어링 파손이 발생하며 이러한 경우의 베어링 수명은 수십만시간 이상이 되는 경우가 보통이다. 그러나 베어링이 사용온도의 상한 부근에서 작동되는 경우는 구름피로에 의한 파손이 아닌 윤활제의 윤활능력 상실로 인한 윤활불량이 원인이 되어 베어링에 발열, 타블음 등이 발생하여 파손되는 특성을 갖는다[2]. 특히 최

근의 자동차 전장부품은 고온 고속의 분위기 하에서 작동하며, 이러한 부품의 베어링은 그리이스의 산화, 열노화 및 기유의 누유 등이 가장 큰 베어링 파손 원인이 되고 있다[3].

따라서 그리이스의 노화상태를 측정하고 잔류수명을 예측하는 것은 베어링의 사용한도를 결정할 수 있게 하며, 기기의 유지 보수에도 매우 중요한 역할을 담당한다[4].

본 연구에서는 밀봉형 볼베어링에 가장 많이 사용하고 있으며, 내열성과 내수성 및 전단안정성이 양호한 증주제인 리튬 증주제와 광유계 기유로 제조된 그리이스에 대하여 베어링 수명시험을 실시하면서 베어링의 작동시간에 따라 6 가지의 물성값을 측정함으로써 그리이스의 노화과정을 분석하였고, 이러한 과정을 통하여 측정된 지표값으로부터 그리이스의 잔류수명을 예측하는 방법에 대하여 검토하였다.

2. 실험방법

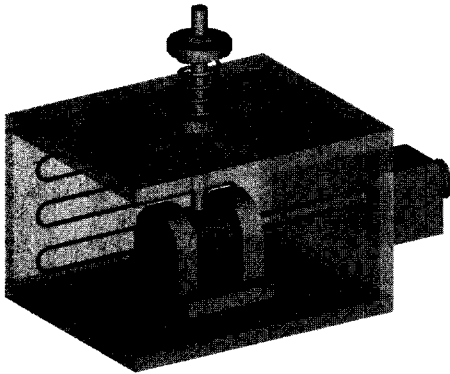
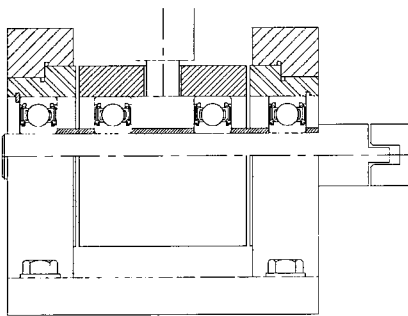
2-1. 시험 그리이스

본 연구에서 사용한 그리이스는 크리버코리아(주)에

[†]주저자 · 책임저자 : chairim@hanwha.co.kr

Table 1. Properties of test grease

Base Oil	Mineral
Oil Viscosity, mm ² /sec	110 at 40°C, 10.8 at 100°C
Thickener Content, mass%	Li 11.8
Penetration, 0 W	233
Dropping point, °C	187
Oil Separation, %	0.27
Evaporation loss, %	0.22

**Fig. 1. Cutaway view of bearing test rig.****Fig. 2. Schematic diagram of test part.**

서 구름베어링용으로 제조한 상용 그리이스로써 광우에 리튬을 증주제로 하는 NLGI 3등급의 제품으로 시험 그리이스의 물리적특성을 Table 1에 나타내었다.

2-2. 실험장치 및 실험조건

본 연구에서 사용한 베어링 수명시험기의 부분절개도를 Fig. 1에 나타내었으며, 시험 베어링이 장착되는 하우징 부위의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

시험베어링이 장착되는 하우징은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 가열장치가 내장된 챔버 내에 놓여지며, 베

어링에 작용하는 경방향 하중은 챔버 상부에 위치한 스프링에 의해 가해진다. 시험베어링은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 동일한 4개의 베어링이 하우징에 장착되어 시험되며, 시험베어링에 손상이 발생하면 시험기 하중축에 붙어 있는 진동센서에 의해 감지되고 진동값이 설정치 이상이 되면 실험이 정지된다.

시험베어링은 경방향 틈새가 3~18 μm인 깊은홈볼 베어링 6203을 사용하였고, 리테이너는 강판을 압조하여 제조한 파형리테이너를 사용하였으며, 그리이스의 누설을 방지하기 위한 시일은 비접촉형 NBR 고무시일을 사용하였다. 베어링에 주입하는 그리이스의 양은 베어링 내부 빈 공간의 30%가 되는 양을 기준으로 하였다.

Table 2에 시험조건 및 시험베어링 사양을 나타내었다.

2-3. 그리이스 노화 평가방법

베어링 작동시간에 따라 수명시험기에서 4개의 베어링을 꺼내고, 각각의 베어링 내부에서 그리이스를 채취하여 Table 3에 나타낸 6가지의 물성값을 측정하였다.

Oxidation induction time(OIT) 시험은 pressure differential scanning calorimeter(PDSC)로 그리이스 시료 무게 3 mg을 게이지압력 35.2±1.7 kg/cm²의 산소분위에서 160°C의 온도로 시험하였으며, FT-IR 분

Table 2. Bearing test conditions

Load, N	245
Speed, rpm	3,000
Temperature, °C	120
Test Bearing	6203UUCM
Grease Quantity, g	0.8 ± 0.01

Table 3. Evaluation methods of grease

Index	Method
Oxidation Induction Time	PDSC ¹⁾
FT-IR Intensity	FT-IR
Total Acid Number	KOH Titration ²⁾
Leakage Rate	Balance
Bleeding Rate	N-hexane Insoluble ³⁾
Bearing Noise	Noise-meter ⁴⁾

¹⁾ASTM D 5483-95

²⁾KS M 2004 modified in sample size

³⁾KS M 2221

⁴⁾KS B 2011

석은 그리이스 시료를 Attenuated Total Reflection(ATR) 법으로 측정하여 그리이스의 산화에 의해 나타나게 되는 >C=O 화합물의 특성피크인 1720~1740 cm⁻¹ 범위의 적분강도를 측정하였다. 전산가(total acid number)는 KS M 2004에 규정된 방법에 따라 실시하였으며 시료의 양은 80 mg으로 하였다. 누유율(leakage rate)은 작동시간에 따라 베어링의 무게를 측정하고, 그리이스가 누유된 양을 초기 베어링에 주입된 그리이스 무게로 나눈 값으로 측정하였다. 유분리율(bleeding rate)은 아래의 계산식에 의해 구하였으며, 계산식의 그리이스 증주제 함량은 그리이스를 N-hexane으로 초음파 세척기에서 용해시킨 후, 그리이스의 기유를 원심분리하여 증주제와 분리시킨 후에 건조시켜서 구하였다.

$$\text{유분리율} = \left(1 - \frac{S_0}{S}\right) \times 100$$

S₀ : 시험전 그리이스의 증주제 함량

S : 시험후 그리이스의 증주제 함량

베어링의 소음은 KS B 2011에 규정된 방법에 의해 측정하였으며 시험전에 비하여 시험후 베어링의 소음이 증가한 값을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 그리이스 노화에 따른 물성값의 변화

베어링의 작동시간에 따른 그리이스의 물성변화를 측정된 결과를 Fig. 3~Fig. 8에 나타내었다. PDSC에 의한 OIT 측정결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 베

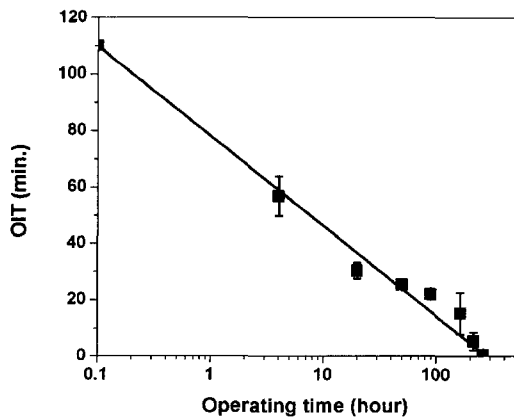


Fig. 3. Effect of operating time with OIT.

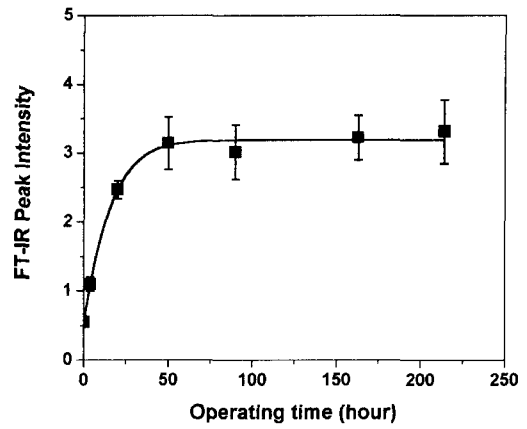


Fig. 4. Effect of operating time with FT-IR intensity.

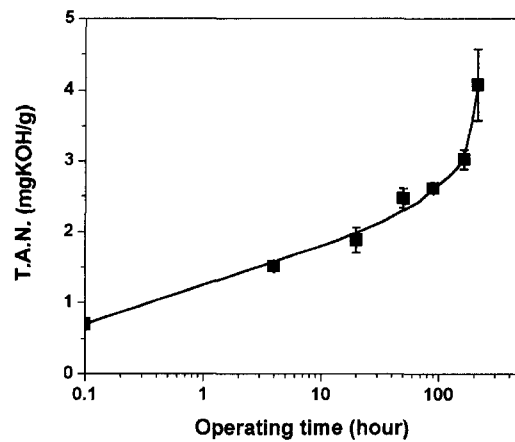


Fig. 5. Effect of operating time with TAN.

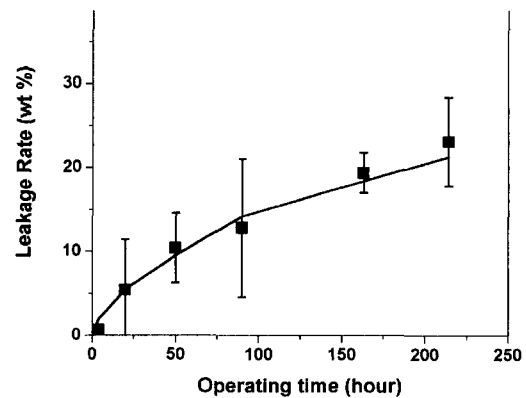


Fig. 6. Variation of leakage rate with operating time.

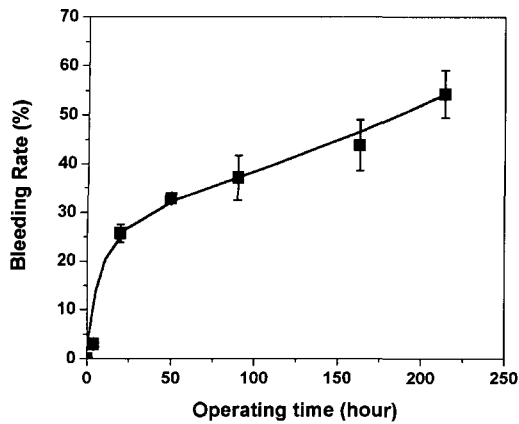


Fig. 7. Variation of bleeding rate with operating time.

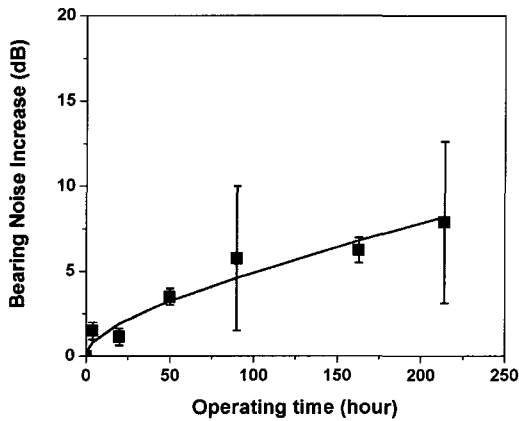


Fig. 8. Variation of bearing noise increase with operating time.

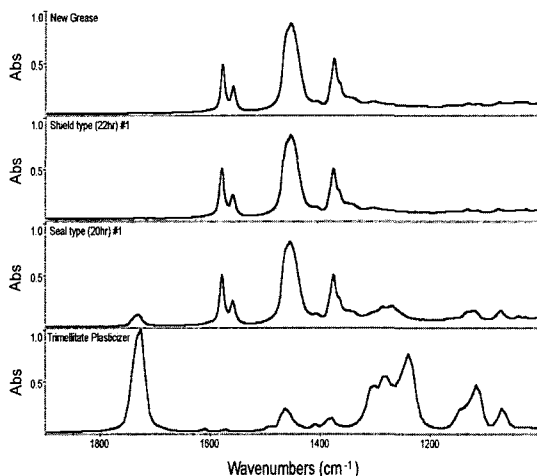


Fig. 9. FT-IR absorbance spectra.

어링의 작동시간 즉, 그리이스의 노화에 따라 점차 감소하고 있으며 측정값의 산포도 작음을 알 수가 있다. 또한 측정방법이 간단하고 측정에 필요한 시료의 양이 3 mg으로 매우 작기 때문에 그리이스의 노화 평가방법으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

FT-IR 측정에 의한 1720~1740 cm⁻¹ 범위의 특성피이크 적분강도는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 베어링 작동시간 초기에 급격히 증가하고 50시간 이후에는 거의 변화가 없음을 알 수가 있다. Ito 등은 리튬중주제와 광유를 기유로 하는 그리이스에 대한 노화시험에서 FT-IR 분석을 실시하고, 그리이스의 노화가 진행됨에 따라 1720 cm⁻¹ 범위의 특성피이크가 증가함을 보고하였다[3]. Cann 등은 유사한 그리이스 노화시험을 통하여 1720~1740 cm⁻¹ 범위의 특성피이크는 그리이스의 노화에 의해 나타난 특성이 아니라 고무시일의 성분에 의한 것으로 보고하였다[5]. 따라서 본 연구에서는 이러한 특성피이크가 그리이스의 노화에 의해 나타난 것인가를 확인하기 위하여 NBR 시일이 아닌 금속 밀봉판을 사용한 shield형 베어링으로 22시간 동안 동일 조건으로 시험하였다. 시험 결과 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 shield형 베어링의 그리이스는 고무시일을 사용한 베어링에서 나타났던 1720~1740 cm⁻¹ 범위의 특성피이크가 나타나고 있지 않음을 알 수가 있다. 또한 FT-IR 분석시 시험 전의 그리이스와 다르게 나타났던 부분은 고무의 가스제 성분과 일치하고 있음을 알 수가 있다. 따라서 본 연구에서 FT-IR로 측정된 그리이스의 1720~1740 cm⁻¹ 범위의 특성피이크는 고무시일의 가스성분이 그리이스로 용출되어 나타난 것으로 판단된다.

전산가 측정결과도 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 베어링의 작동시간에 따라 서서히 변화하고 있음을 알 수가 있으며, 측정값의 산포도 크지 않음을 알 수가 있다. 214시간 작동한 베어링의 경우 다른 시험품에 비해 산포가 큰 이유는 4개의 시험베어링 중에 1개의 베어링이 마모에 의한 파손이 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

그리이스의 누유율 측정결과와 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 베어링 작동시간에 따라 증가하는 경향을 나타내고는 있으나 측정값의 산포가 너무 커서 그리이스의 노화평가 방법으로는 적절하지 못하다. 또한 이 방법은 시험전의 그리이스 무게를 정확히 알고 있어야 측정이 가능한데, 일반 베어링의 경우 그리이스가 주입된 양을 정확히 알 수가 없기 때문에 노화평가 방법으로는 적절치 않은 방법이다.

유분리율 측정결과는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 작동시간에 따른 변화가 뚜렷하며 측정값의 산포도 크지 않았다. 따라서 유분리율 측정도 그리이스의 노화를 판단하기 위한 방법으로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 이 방법은 다른 측정방법에 비하여 분석에 필요한 시료의 양이 많이 필요하다(최소 50 mg)는 단점이 있다.

베어링의 소음 증가치는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 베어링 작동시간에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 베어링의 소음 증가는 구름접촉부에서 발생하는 마모가 원인이 되어 나타난 것으로 판단된다. 그러나 소음 증가치 또한 측정값의 산포가 크고 시험 전의 소음 값을 알고 있어야 하기 때문에 일반베어링에 대한 노화 분석에는 적절치 못한 방법으로 판단된다.

3-2. 그리이스의 노화한계 및 잔류수명의 추정

구름베어링에 사용하는 그리이스가 노화하여 윤활능력이 저하하면 금속접촉에 의한 마모가 발생하고, 화학적으로는 산화에 의한 산화생성물이 형성되며, 물리적으로는 증주제의 파손과 기유의 유출이 발생한다[6]. OIT, 전산가는 그리이스의 화학적인 변화를 측정한 것이며, 유분리율, 누유율은 그리이스의 물리적 변화를 측정한 것이다. 그리이스의 노화한계를 판정하기 위한 지표값은 그리이스의 노화과정이 뚜렷하게 표현되어야 하며, 측정이 용이하고 또한 측정값의 산포가 작아야 한다.

이러한 관점에서 PDSC에 의한 OIT 측정, 전산가 측정 및 유분리율의 측정은 그리이스의 노화를 판정하는 지표값으로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 특히 PDSC에 의한 OIT 측정은 노화과정을 나타내는 지표가 갖춰야 하는 조건을 가장 잘 만족하고 있다.

본 연구에서 214시간 동안 시험한 베어링 중에 그리이스가 노화하여 금속 마모분이 혼입되어 있으며, 소음 증가가 14 dB이었던 베어링에서 채취한 그리이스의 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 이러한 분석결과를 바탕으로 본 연구에서 실험한 조건에 대한 그리이스의 노화한계는 Table 5에 나타난 바와 같이 OIT는 1분, 전산가는 4 mg KOH/g, 유분리율은 50%가 적절한 것으로 판단된다.

OIT 측정결과를 이용하여 198 N의 경방향 하중을 받으며 4,150 rpm으로 950시간 작동한 베어링의 그리이스에 대하여 잔류수명을 추정하였다. 베어링 내부에서 그리이스를 채취하여 OIT를 측정한 결과 73분이

Table 4. Test results of degraded grease

Index	Results
Oxidation Induction Time	below 1 min.
Total Acid Number	4.70 mg KOH/g
Leakage Rate	20.3%
Bleeding Rate	58.6%
Bearing Noise Increase	14 dB

Table 5. Grease degradation limits

Index	Limits
Oxidation Induction Time	1 min.
Total Acid Number	4.0 mg KOH/g
Bleeding Rate	50.0%

구해졌으며, 이 값으로 Fig. 3에서 그리이스의 잔류수명을 구하면 2.03×10^5 시간이 구해진다.

4. 결 론

밀봉형베어링을 이용하여 광유에 리튬을 증주제로 하는 그리이스의 노화수명시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- OIT, 전산가, 유분리율 측정값은 그리이스의 노화와 함께 점차적으로 변화하였으며 측정값의 산포도 작았기 때문에 그리이스의 노화를 판정하는 지표로 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- 그리이스 누설율, 베어링 소음증가는 측정값의 산포도 크고, 시험전 베어링의 측정값을 정확히 알고 있어야 하므로 그리이스의 노화평가 방법으로는 적절치 못하다.
- 고무시일을 사용한 베어링에서 채취한 그리이스의 FT-IR 분석 결과 $1720 \sim 1740 \text{ cm}^{-1}$ 범위에서 나타나는 특성피크는 그리이스의 노화에 의한 것이 아니라 고무시일의 가소성분에 의한 것이었다.
- PDSC에 의한 OIT 측정값은 그리이스의 노화를 판정하기 위한 지표값이 갖춰야 할 조건을 잘 만족하였으며, 이 값을 이용하여 그리이스의 잔류수명 예측이 가능하였다.

참고문헌

- H. Arai, "Trends in Basic Technology of Rolling Bearing," *Koyo Engineering Journal* No. 159, pp.18-

- 22, 2001.
2. 中 道治, “高温·高速玉軸受の潤滑クリ-ス,” NSK Technical Journal No.650, pp.12-20, 1989.
3. H. Ito, M. Tomaru and T. Suzuki, “Physical and Chemical Aspects of Grease Deterioration in Sealed Ball Bearings,” Lubrication Engineering, ASLE, Vol. 44, 10, pp.872-879, 1988.
4. E. R. Booser, “Grease Life Forecast for Ball Bearings,” Lubrication Engineering, ASLE, Vol.30, 11, pp.536-541, 1974.
5. P. M. Cann, J. P. Doner, M. N. Webster and V. Wikstrom, “Grease Degradation in Rolling Element Bearings,” Tribology Transaction, STLE, Vol.44 3, pp. 399-404, 2001.
6. R. Mas, and A. Magnin, “Rheological and Physical Studies of Lubricating Greases Before and After Use in Bearings,” Journal of Tribology, ASME, Vol.118, pp.681-686, 1996.