

최적합 구름 베어링용 Urea계 그리이스의 특성평가 연구

김상근 · 박창남 · 한종대*†

FAG 베어링 코리아, *창원대학교 화공시스템공학과

A Study on Characteristics of the Optimum Urea Type Grease for Rolling Bearings

Sangkeun Kim, Changnam Park and Jongdae Han*†

R & D Center, FAG Bearings Korea Corp., *Chem. Eng. Dept., Changwon Natl. Univ.

Abstract – Rolling bearings are assorted one of the most important machine elements. The various functions of bearings are greatly influenced by grease, and higher performance of rolling bearing greases is required to improve rolling bearing lubrication. The two conditions for optimum grease synthesis were selected by SSRED (Six Sigma Robust Engineering Design) program by using dropping points and OIT values respectively. And the optimized two urea/ether oil greases were synthesized to compare the performance. The typical physical properties of grease were investigated. And life test of these greases was conducted by rolling bearing grease life tester. The characteristics of the greases before and after life test were investigated using FTIR, microscope, SEM, TG/DSC, OIT and TAN meter. The optimized two greases showed longer life time than typical urea/ether oil grease. The optimized grease by means of OIT value showed higher performance such as long life time, low TAN value and high oil bleeding amount in comparison with the optimized grease using dropping point.

Key words – grease life, urea grease, rolling bearing, lubrication, tribology.

1. 서 론

정밀 부품에 적용되는 구름 베어링용 윤활 그리이스는 베어링의 수명성능에 중요한 인자로서 이에 대한 중요성은 일반화되어 있다고 할 수 있다. 특히 구름베어링은 산업기계 및 부품, 모터, 가전용품 기기, 자동차용 등의 다양한 분야에 적용이 되고 있으며 최근에는 자동차 부품용에서 고온, 고속, 장수명 및 소형화, 고강성화, 저소음 및 저토오크와 함께 환경친화적인 측면 등으로 요구되는 특성이 점점 증가하는 추세이다.

이와 같은 고객의 요구를 만족시키기 위하여 베어링의 설계, 소재개발, 열처리와 베어링 제조공정 및 생산성 향상을 통해 지속적인 개선이 추진되고 있으나 거의 한계 수준에 도달했다고 할 수 있다. 반면에 단순하고 실용적인 방법으로 고품질의 urea/ether를 기초로 하

는 윤활 그리이스를 적용할 경우 베어링 품질성능 개선의 효과를 거둘 수 있으며, 그리이스의 특성에 따라서 성능의 차이를 나타낸다.

자동차 전장 베어링용으로 적용되는 urea/ether계 그리이스를 증주제 및 기유(base oil)의 함량을 변화시켜 시작품을 제조하여 기초적인 물성시험과 그리이스 수명 시험을 통하여 최적의 증주제 함량을 정하기 위한 예비시험을 실시하였다. 이와 같은 시험을 기초로 증주제의 함량, 첨가제의 종류와 함량 등의 합성조건을 로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 공학적인 표준 직교표를 이용하여 최적의 그리이스를 선정하기 위한 결과가 보고한 바가 있다[2,3].

본 연구에서는 최적화 조건의 기준으로 적용된 그리이스 특성값인 OIT값과 dropping point(적점)에 대하여 비교하고자 하였다. 기초적인 물성시험과 베어링 수명 시험기를 이용한 그리이스 수명을 조사하였고 시험 전후의 물리 화학적인 특성을 비교 평가하였다.

†주저자 · 책임저자 : jghan@sarim.cwnu.ac.kr

2. 시료 및 실험

최적화된 합성 그리이스는 OIT 값을 기준으로 한 A(urea/ether oil, 증주제 함량 20 wt%)와 dropping point를 기준으로 한 B(urea/ether oil, 증주제 함량 20 wt%)의 2종 시료를 제조하였다. 그리이스는 urea화 합물을 오일과 결합시키는 방법으로 반응시킨 후 분산과 냉각공정을 거치고 3차례의 roll milling 공정으로 균질화(homogenizing)처리를 하였다. 그리이스의 기초적인 물성시험은 KS M2130규격에 준한 시험항목에 대하여 시험평가를 실시하였다. 그리이스의 수명시험은 베어링 내구 수명시험기를 활용하여 실시하였으며 그리이스 수명시험에 대한 시험 조건은 Table 1과 같다. 그리이스 수명시간의 판단은 온도가 시험온도보다 20°C이상 상승했을 때와 과도오르크/부하 및 베어링이 파손될 때까지의 시간을 기준으로 하였다. 그리이스 시료별로 각각 4회의 수명시험을 실시하였으며 L_{10} 수명(신뢰도 90%의 수명)을 기준으로 비교 평가하였다. 베어링 내구수명시험기에 대한 개략도는 Fig. 1과 같은

Table 1. Conditions of bearing life test

Test bearing	6203DD (deep groove ball B/R)
Amount of grease	1 ± 0.1 g (35% volume of free space)
Temperature	150°C
Rotational speed	10,000 rpm
Applied load	100 kg _r

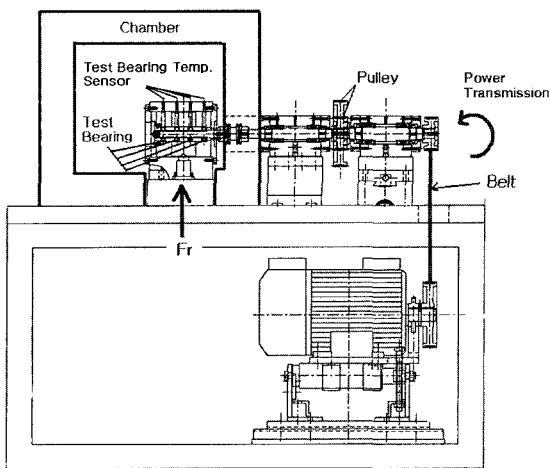


Fig. 1. Schematic diagram of bearing grease life tester.

구조로 되어있다.

2종 그리이스의 수명시험을 실시한 후 시험전후의 그리이스의 변색과 이물질의 혼입 여부를 현미경을 통해 관찰하였다. 사용전후 그리이스 중의 증주제의 구조변화는 구리망위에 소량의 그리이스를 도포한 후 벤젠으로 수차례에 걸쳐 오일 성분을 추출하고 세척한 후 건조시켜 SEM으로 조사하였다.

그리이스의 산화 및 열화도는 적외선 분광분석법 (FTIR, MAGNA-IR 750 Nicolet Co.)과 PDSC (pressure differential scanning calorimeter, PSC-TGA SDT2960 TA Co.)법으로 분석시험을 실시하였다. 특히 그리이스의 산화와 열적인 특성을 평가하기 위해 시험전후의 그리이스를 PDSC시험기를 이용하여 OIT (oxidation index time) 값을 측정하여 비교 분석하였다.

OIT 측정 방법은 미량의 시료로 그리이스의 산화정도를 평가할 수 있는 방법으로서 온도와 압력하에서 시료의 heat flow 차이를 측정하여 흡수 방출하는 에너지를 측정하는 것이다. 그 방법은 그리이스의 시료 3 ± 0.2 mg을 고르게 퍼서 PDSC cell에 reference pan과 함께 올려 놓는다. Cell의 cover를 덮고 압력 cover를 체결한다. Cell의 온도를 230°C 등온상태로 가열한다. 등온상태가 되면 산소 통의 압력밸브를 서서히 열어 PDSC의 압력계가 500 ± 25 psig가 되도록 조절된 후에 산소가스의 흐름이 100 ml/min이 되도록 맞춘다. 시간에 따라서 발열 peak가 관찰되면 시험을 종료하고 peak점선의 기울기로 OIT 값을 구한다. OIT 값이 클수록 산화 열 특성이 유리하다고 볼 수 있다. 관련 시험규격은 ASTM D5483 (OIT of lubricating greases by pressure differential scanning calorimetry)에 준하여 시험하였다. 그리고 그리이스의 시험전후의 유분리율 (oil separation rate)을 측정하여 유효성을 평가하였다. 유분리율 (oil separation rate) 공식은 다음 식과 같다.

$$\text{Oil separation rate} = (1 - U_0/U_1) \times 100 \quad (1)$$

여기서 U_0 = 신그리이스의 증주제의 양, U_1 = 사용그리이스의 증주제의 양이다.

또한 시험 그리이스의 전산가 측정시험으로 화학적인 변화정도를 비교하였다 (KS M2004 식유제품 중화가 시험방법에 준함).

3. 결과 및 고찰

최적합 그리이스의 물성 시험결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of grease

Test method	Grease	A	B
Thickener	-	Urea	Urea
Base oil	-	Ether	Ether
Worked penetration	KS M 2032	265	285
Dropping point (°C)	KS M 2033	260	255
Oil separation (100°C × 24 hr, wt%)	KS M 2050	1.0	1.2
Oxidation stability (99°C × 100hr, kg/cm ²)	KS M 2049	0.08	0.10
Bearinrust preventive (52°C, 48 hr)	ASTM D1743	#1	#1
Viscosity of base oil (cSt)	40°C	97.0	96.1
	100°C	11	10

2종의 그리이스들은 NLGI주도 번호 2등급으로 제조되었으며, 이것은 일반적인 구름윤활 베어링용 그리이스로 적용되는 주도 등급이다. 내열성 평가는 그리이스의 적점(dropping point) 시험으로서 비교가 가능한데 일반적인 그리이스의 적점이 200°C정도인 것을 감안하면 시험품 그리이스 A와 B는 각각 260°C와 255°C의 높은 값을 나타내고 있어 내열성 측면에서는 우수 할 것으로 판단된다.

산화안정도와 이유도 시험평가에서는 A 그리이스가 B 그리이스 보다 다소 유리한 결과를 나타내고 있으며 베어링 방청시험 평가 (ASTM D1743 규격에 준함)에서 동등한 수준을 보이고 있다. 기유(base oil) L₁₀의 동점도역시 동등한 수준의 점도 등급을 적용하였다.

그리이스 수명시험 분석은(L₁₀수명)은 Fig. 2와 같이 수명시험 data는 Fig. 3과 같다. 그리이스 수명시험 결과에서 A, B 그리이스가 각각 2,698시간과 1,944시간

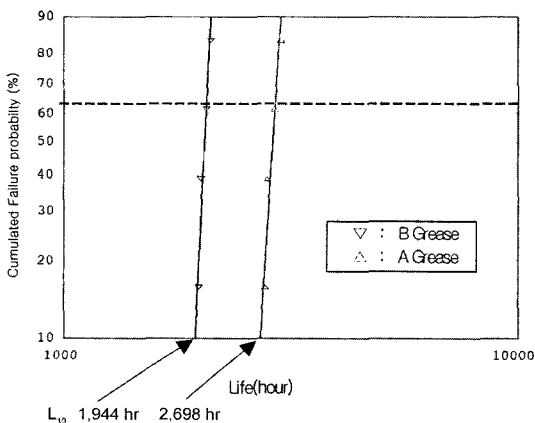


Fig. 2. Results of bearing life test.

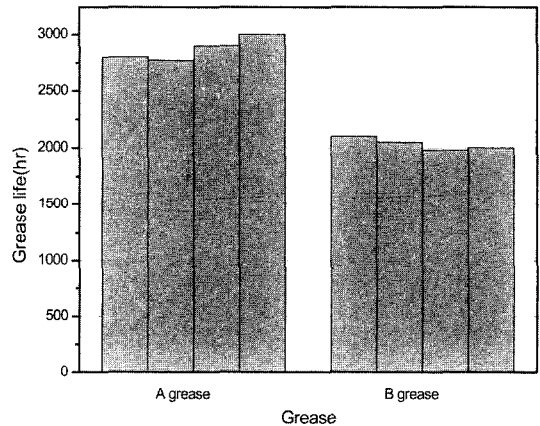


Fig. 3. Data of grease life time for bearing endurance test.

의 수명시간(L₁₀수명 신뢰도 90%)을 나타내었으며 L₅₀을 기준으로 했을 때는 2,000시간 이상의 양호한 결과를 얻었다. 기존의 전형적인 urea/ether oil 타입 그리이스의 경우가 1,500시간(L₁₀수명) 정도의 수준인 것을 고려하면 최적화된 2종 그리이스의 수명은 30%이상 향상된 것을 확인할 수 있었다. A 그리이스와 B 그리이스의 수명시간에서는 OIT를 기준으로 최적화한 그리이스가 적점을 기준으로 최적화한 그리이스보다 장수명을 나타내었다.

이와 같이 차이가 나는 것은 최적화(Robust Engineering) 조건인자에서 부식방지제의 종류 산화방지제의 량 그리고 가공조건(교반속도)에 의한 차이에서 비롯되는 것으로 판단된다.

베어링 그리이스 수명시험 전후의 그리이스 현미경 관찰결과는 Fig. 4와 같다. 시험후 그리이스 A와 B 2

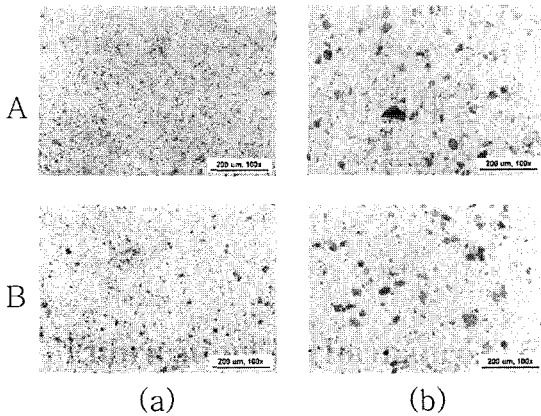


Fig. 4. Micrographs of greases. (a) before and (b) after life test.

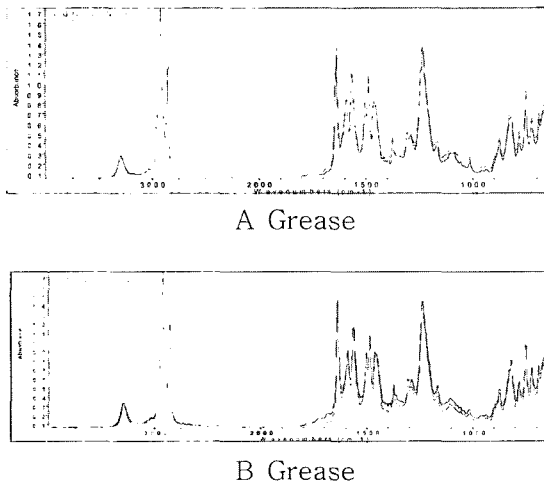


Fig. 5. IR absorbance spectra of greases before and after life test.

중 모두 진한 갈색과 다소 건조한 상태를 보이고 있으나 윤활성과 기유의 점성은 그대로 유지하고 있다. 그러나 베어링의 마모분과 이물질(particle size 80 μm이하)이 관찰되었다.

그리스 수명시험 후 그리스의 산화정도를 비교 분석하기 위해 FTIR분석 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 보면 시험후의 시료별 그리스의 산화물 특성 피크(1700~1720 cm) 그리스 수명시험 전후의 산화 및 열적인 특성을 비교 분석하기 위해 PDSC를 이용한 OIT시험값은 Table 3에 나타났다. A 그리스는 시험전후의 OIT값의 차이가 12.9이고, B는 17.3을 각각 나타내었다. 이러한 시험 결과를 놓고 볼 때 A 그

Table 3. OIT value(min) of greases before and after life test

Grease	New Grease	Used Grease
A Grease	42.6	29.7
B Grease	39.8	22.5

Table 4. TAN(mgKOH/g) data of grease before and after life test

Grease	A	B
Before	1.16	1.15
After	3.84	3.38

리스 경우가 B 그리스 보다 산화도 측면에서 다소 유리한 결과를 나타내고 있다고 판단된다.

그리스 수명시험 전후의 전산가의 시험결과는 Table 4와 같으며 A 그리스가 B 그리스 보다 변화의 폭이 다소 크게 나타났으며 이러한 이유는 A 그리스 수명시간이 길었기 때문으로 판단된다. 정확히 규격화된 표준은 아니지만 일반적으로 산화여부의 예상 판정기준은 전산가 수치가 약 3 mgKOH/g이하이다. A, B 그리스의 전산가 측면을 고려하면 모두 한계치에 도달한 것으로 판단된다.

그리스에 70%이상 함유하고 있는 기유(base oil)의 유분율을 비교하여 그리스의 윤활성능과 열화정도를 비교한다. 시험 전후의 증주제의 함량을 측정하여 식(1)을 이용하여 유분리율을 평가한 결과 A, B 그리스 각각 26 wt%, 22 wt%의 수치를 나타내었다. 이 결과는 수명시험을 완료한 후의 그리스 상태로 볼때 아직도 윤활성과 열화의 정도는 비교적 양호한 상태라고 판단 할 수 있다. 보통 유분리율이 50 wt% 이상일 경우 그리스 윤활성과 열화측면에서 문제점이 있다고 할 수 있다.

TG/DSC의 분석결과는 Fig. 6, Fig. 7와 같다. TG의 결과를 보면 시료 A, B 그리스는 240°C에서 450°C까지 무게감소가 크게 나타나고 800°C와 850°C에서 무게가 일부 감소하는 것이 관찰되었다. 증주제가 urea화합물인 경우 무게 감소가 일어나는 초기 온도가 그리스의 적점과 비슷한 값을 나타내는 것을 볼 수 있다.

DSC의 분석결과에서 보면 A 와 B 그리스 모두 80-90°C에서 유리전이가 일어나고 250°C정도에서 urea가 녹기 시작하면서 오일의 증발로 무게가 감소하고 650°C에서는 잔존하는 성분의 연소산화 작용에 의

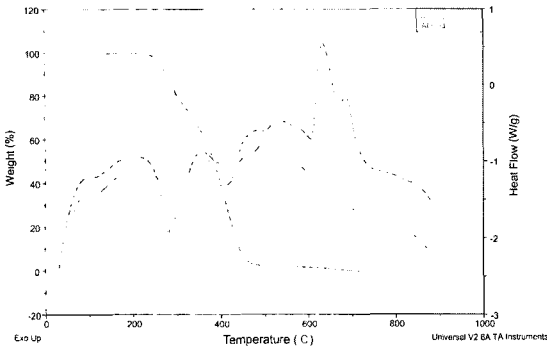


Fig. 6. TG/DSC analysis curves of A before and after life test.

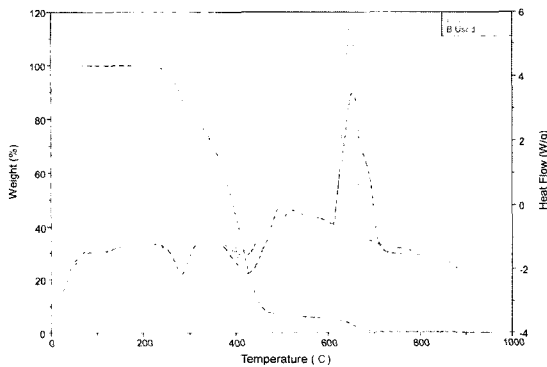


Fig. 7. TG/DSC analysis curves of B before and after life test.

한 피크가 나타난다.

A 그리이스의 경우 수명시험 후의 시료를 비교하면 증주제의 분해온도가 수명시험 전과 비슷한 값을 나타내었으며 흡열반응의 특성 피크도 동일한 위치인 것이 확인되었다. 하지만 흡열반응의 양은 시험전 그리이스가 다소 크게 나타내고 있다. 그리고 발열반응을 보이는 특성피크에서는 시험전에는 없던 피크가 시험후에 발생된 것은 수명시험 중 중합이나 산화축진 반응이 진행된 것으로 생각되어진다.

B 그리이스의 경우는 시험전보다 시험후의 열분해온도가 증가하였음을 볼 수 있는데 그리이스의 반응 생성물이 원인인 것으로 여겨진다. 또한 흡열과 발열반응의 위치특성 피크와 양은 커다란 차이를 발견 할 수 없었다. 이와 같은 TG/DSC결과에서 시험된 그리이스 증주제의 녹는점 부근에서 무게가 감소하기 시작하여 증주제가 분해되는 온도에서 무게가 크게 감소하는 특성을 나타내는 것을 알 수 있으며, 증주제의 열적특성의 중요성을 알 수 있다. 또한 수명시험 전후의 DSC

피크의 차이로 증주제의 화학반응과 중합 용융등의 열적특성을 추측할 수 있었다.

4. 결 론

1. 최적화된 2종의 urea/ether oil 그리이스(OIT치와 적점기준)에 대하여 기초적인 물성시험을 실시한 결과 통상의 urea/ether oil 그리이스에 비하여 우수한 물성을 나타내었다.

2. 그리이스 수명시험 결과 A와 B 그리이스가 각각 2,698시간과 1,944시간의 수명시간(L₁₀ 수명 신뢰도 90%)으로 전형적인 urea/ether oil타입 그리이스보다 수명이 30%이상 향상된 값을 나타내었다. OIT를 기준으로 최적화된 A 그리이스가 적점을 기준으로 최적화한 B 그리이스보다 긴 수명을 보였다.

3. 그리이스 수명시험 전후 그리이스의 산화 열화정도 평가시험에서는 A, B 그리이스가 동등한 수준을 나타내었으나, OIT 값으로 보면 A 그리이스가 B 그리이스 보다 우수한 산화특성을 갖는다.

이와 같은 결과에서 그리이스 합성의 최적 조건을 위하여 로버스트 공학의 적용이 효과적임을 알 수 있었다. 최적화 선정의 기준은 적점보다는 OIT 값을 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. I. Couronne, P. Vergne and D. Mazuyer, "Effect of Grease Composition and Structure on Film Thickness in Rolling Contact," *Trib. Trans.*, **46**(1), pp. 31-32, 2003.
2. S. K. Kim, C. N. Park and J. D. Han, "Grease life and degradation characteristics in rolling bearing lubrication," *J. of the KSTLE*, **19**(5), pp. 280-284, 2003.
3. S. K. Kim, C. N. Park and J. D. Han, "A Study on Synthesis and Characteristics of the Optimum Rolling Bearing Grease," *KSTLE's 37th Conference*, pp. 129-138, 2003.
4. T. Kawamura, M. Minami and M. Hirata, "Grease Life Prediction for Sealed Ball Bearings," *Trib. Trans.*, **44**(2), pp. 256-262, 2001.
5. Y. Sugimori, "Development of Low-Noise Grease for Fan Motor Bearing," *Motion & Control*, **13**, pp. 23-26, 2002.
6. H. Ito, and T. Suzuki, "Physical and Chemical Aspects of Grease Deterioration in Sealed Ball Bearings," *Lubr. Eng.*, **44**(10), pp. 872-879, 1988.

7. P. M. Cann, J. P. Doner, M. N. Webster and V. Wikstrom, "Grease Degradation in Rolling Element Bearings," *Trib. Trans.*, **44**(3), pp. 399-404, 2001.
8. K. Furumura, "Recent Trends in Research and Development of Rolling Bearings at NSK," *Motions & Control*, **1**, pp. 9-10, 1996.
9. M. Naka, "Research and Development of Lubrication Grease by NSK," *Motion & Control*, **3**, pp. 1-8, 1997.
10. K. Adach, "Development of Low Noise Long life Lithium Complex Grease," *KOYO Engineering Journal*, **153E**, pp. 50-54, 1998.
11. H. Ito and M. Naka, "Grease life Equations for Sealed Ball Bearings," *NSK Technical Journal*, **660**, pp. 11-12, 1995.
12. I. S. Rhee, "Development of a New Oxidtion Stbility Test Method for Grease Using a Pressure Differential Scanning Calorimeter," *NLGI's 57th Annual Meeting*, TA-052 2, Denver, Colorado, USA, 1990.
13. M. J. Harry, "The vision of Six Sigma," *Tri Star Publishing*, Phoenix, Arizona, USA, 1997.