

최적 베어링 윤활 그리이스의 합성과 특성연구

김상근 · 박창남 · 한종대* · 손관수**

FAG한화베어링(주), 창원대학교 화공시스템공학과*

크리버 코리아(주)**

A Study on Synthesis and Characteristics of The Optimum Rolling Bearing Greases

Sang-Keun Kim, Chang-Nam Park, Jong-Dae Han*, Gwan-Su Son**

FAG Hanwha Bearings Corp.,

Dept. of Chemical Engineering, Changwon National University*

Kluber Lubrication Korea Ltd.**

Abstract: Rolling bearings are classified one of the most important machine elements. The various function of bearings are greatly influenced by grease, and higher performance of rolling bearing greases is required to improve bearing lubrication. Three urea/ether oil greases with identical composition were synthesized to compare the performance of these greases according to the thickener content of grease. The typical grease physical properties were investigated. And life test of these greases was conducted by FE-9 grease life tester. The characteristics of the greases before and after life test were investigated using FT-IR, microscope, OIT and TAN meter. Large differences in the grease performance depending on the content of the thickener were observed. The grease with higher content of the thickener showed higher performance such as long life time and low TAN value. After preliminary test, twelve greases were synthesized and evaluated the performance of dropping point and OIT, then optimized two greases were selected by SSRED (Six Sigma Robust Engineering Design) using dropping point and OIT data. Characteristics of the optimized two greases were on the same level with estimated value. The optimized grease by means of OIT value showed longer grease life in comparison with optimized grease by dropping point. However two greases showed higher performance than typical urea/ether oil.

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

1. 서론

구름 베어링용 윤활 그리이스는 베어링의 내구 수명에 중요한 요소로서 이에 대한 중요성은 일반화되어 있다고 할 수 있다. 특히 구름베어링은 산업기계, 모터, 가전기기, 자동차용 등의 다양한 분야에 적용이 되고 있

으며 최근에는 자동차 부품용에서 고온, 고속, 장수명 및 소형화, 고 강성화, 저소음 및 저토크화 등으로 요구되는 특성이 점점 증가하는 추세이다.

이와 같은 고객의 요구를 만족하기 위하여 베어링의 설계, 소재, 열처리와 제조공정의 개선이 지속적으로 추진되고 있으나 거의 한

계 수준에 도달했다고 할 수 있다. 반면에 간편하고 실용적인 방법으로 고품질의 그리이스를 적용할 경우 베어링 품질개선의 효과를 거둘 수 있으며 그리이스의 종류와 특성에 따라서 많은 성능의 차이를 나타낸다 [1,2].

본 연구에서는 자동차 전장 베어링용으로 적용되는 urea/에테르유를 기유로 하는 그리이스를 증주제 및 기유(base oil)의 함량을 변화시켜 시작품을 제조하여 기초적인 물성 시험과 그리이스 수명시험을 통하여 최적의 증주제 함량을 정하기 위한 예비시험을 실시하였다. 이와 같은 시험을 기초로 증주제의 함량, 첨가제의 종류와 함량, 가공조건을 로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 공학적인 표준 직교표를 이용하여 최적의 그리이스 합성 설계와 최적의 그리이스를 선정하는 것에 대하여 연구하였다[4,6].

2. 시료 및 실험

2-1. 예비시험

최적 그리이스를 합성하기 위한 예비시험용 그리이스는 증주제의 함량별로 A urea/에테르유(증주제 함량: 15wt%), B urea/에테르유(증주제 함량: 17wt%), C urea/에테르유(증주제 함량: 20wt%)의 3종의 시료를 제조하였다. 제조된 그리이스는 urea화합물을 오일과 결합시키는 방법으로 반응 제조하여 분산과 냉각공정을 거친 후 3단 roll milling 작업으로 균질화(homogenizing)처리를 하였다. 그리이스의 기초적인 물성시험은 KS M2130 규격에 준한 항목에 대하여 실험 평가를 실시하였다.

그리이스의 수명시험은 그리이스 수명시험 평가(DIN 51821규격: FE-9그리이스 수명시험)로 실시하였으며 그리이스 수명시험에 대

한 시험조건은 Table 1에 나타내고 있다.

그리이스 수명시간의 판단은 온도가 시험 온도보다 20℃이상 상승했을 때와 과도오르 크 및 베어링이 파손 될 때까지의 시간을 기준으로 하였다. 그리이스 시료별로 각각 5회의 수명시험을 실시하였으며 L₁₀수명(신뢰도 90%의 수명)을 기준으로 비교 평가 시험하였다. FE-9그리이스 수명시험기에 대한 개략도는 Fig. 1의 그리이스 수명시험기와 같은 구조로 되어있다.

Table 1. Conditions of grease life test

Test bearing	FAG 529689 B/R (angular contact ball B/R)
Amount of grease	1±0.1 g (35% volume of free space)
Temperature	160 ℃
Rotational speed	6,000 rpm
Applied load	150 kgf

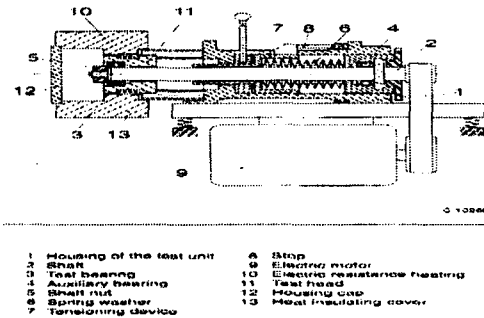


Fig. 1. Schematic diagram of FE-9 grease life tester.

3종 그리이스별로 기초적인 물성시험을 실시하고 베어링에 적용하여 수명시험을 평가한 후 시험전·후의 그리이스의 변색과 이물질의 혼입 여부를 현미경을 통해 관찰하였

다.

그리이스의 산화 및 열화도는 적외선 분광 분석법(FT-IR, 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 PDSC 시험기를 이용하여 OIT(oxidation index time)값을 측정하여 비교 분석하였다[14].

OIT측정 방법은 미량의 시료로 그리이스의 산화정도를 평가 할 수 있는 방법으로서 온도와 압력 하에서 시료의 heat flow차이를 측정하여 흡수 방출하는 에너지를 측정하는 것이다. 그 방법은 그리이스의 시료 3±0.2 mg 을 고르게 펴서 PDSC cell에 reference pan과 함께 올려 놓는다. Cell의 cover를 덮고 압력 cover를 체결한다. Cell의 온도를 230 °C 등온상태로 가열한다. 등온 상태가 되면 산소 통의 압력밸브를 서서히 열어서 PDSC의 압력계가 500±25 psig가 되도록 조절한 후에 산소가스의 흐름이 100 ml/min 이 되도록 맞춘다. 시간에 따라서 발열 peak 가 관찰되면 시험을 종료하고 peak접선의 기울기로 OIT값을 구한다. OIT값이 클수록 산화 열 특성이 유리하다고 볼 수 있다.

관련 시험규격은 ASTM D5483 (OIT of lubricating greases by pressure differential scanning calorimetry)에 준하여 시험하였다 또한 시험 그리이스의 전산가 측정시험으로 화학적인 변화 정도를 비교하였다 (KS M2004 석유제품 중화가 시험방법에 준함).

2-2. 그리이스 합성시험

예비시험을 기초로 내구성과 산화특성이 양호한 증주제의 함량을 17wt%, 20wt%로 선정하였다. 이와 같은 기초 예비시험을 바

탕으로 증주제의 종류(방향족 아민 A, B)를 채택했으며 첨가제 종류는 산화방지제로 benzene amine, butylated hydroxy toluene, 부식방지제로 barium sulfonate, 2-heptadecenyl-4(5H)-oxazolidimethanol, 마모방지제로 Zn-DTP, amine phosphate 등을 택했으며 첨가제의 함량은 산화방지제의 경우는 0.5wt%, 1.0wt%이고 부식과 마모 방지제는 각각 1.0wt%와 1.5wt%로 선택하였다. 또한 그리이스 가공조건에서의 인자는 반응온도, 교반속도, 밀링의 횟수로 정하였다.

Table 2. Orthogonal array

Factorial	Level 1	Level 2
Thickener type	Amine-1	Amine-2
Thickener content(wt%)	20	17
AO Type	Amine	Phenol
AC Type	Metal-1	Metal-2
AW Type	AW-1	AW-2
AO content (wt%)	0.5	1.0
AC content (wt%)	1.0	1.5
AW content (wt%)	1.0	1.5
Reaction condition(°C)	160	180
Reaction condition(rpm)	30	15
Roll milling(a time)	2	4

* AO: Anti oxidation

* AC: Anti corrosion

* AW: Anti wear

이와 같은 인자와 수준을 로버스트 공학 (Robust Engineering)을 응용한 공학적인 표준 직교표(orthogonal array)로 작성하여 최

적의 그리이스 합성설계를 실행하였다. 표준 직교표는 Table 2에 나타내고 있다.

설계된 합성 그리이스는 총 12종류이며 기본적으로 정성분석을 위한 적외선 분광분석(FT-IR)과 현미경 구조관찰을 실시하였다. 열과 산화특성을 평가하기 위해 적점(dropping point)과 산화도 지수인 OIT값을 측정하여 평가하였다. 최적화를 위한 시험 데이터로는 적점과 산화도 지수를 적용하였으며 프로그램은 SSRED(Six Sigma Robust Engineering Design)을 활용하였다. 최적화 프로그램으로 실행한 결과로 2종의 최적화된 합성 그리이스를 제작하여 예측된 값과 유사한 값이 나오는지에 대한 확인시험을 실시하였고, 깊은 홈 볼 베어링인, #6203용 베어링에 적용한 후 그리이스 내구수명시험을 비교 평가하였다.

Table 3. Physical properties of grease

Test method		Grease		
		A	B	C
Thickener		Urea	Urea	Urea
Base oil		Ether	Ether	Ether
Worked penetration	KS M 2032	295	287	285
Dropping point (°C)	KS M 2033	245	255	260
Oil separation (100°C×24hr, wt%)	KS M 2050	1.5	1.3	1.2
Oxidation stability (99°C×100hr, kg/cm ²)	KS M 2049	0.17	0.15	0.10
Bearinrust preventive (52°C, 48hr)	ASTM D1743	# 1	# 1	# 1
Viscosity of base oil (cSt)	40°C	96.5	97.0	96.1
	100°C	11	10	10

3. 결과 및 고찰

3-1. 예비시험 결과

예비시험용 그리이스의 물성 시험결과는 Table 3과 같다. 3종의 그리이스들은 NLGI 주도 번호 2등급으로 제조되었으며, 이것은 통상 베어링용 그리이스로 적용되는 주도 등급이다. A그리이스는 증주제의 함량(15wt%)이 B, C시료 그리이스보다 적은 이유로 주도 값이 작게 나타났다. 내열성 평가는 그리이스의 적점시험으로 비교가 가능하다. 적점 시험에서는 A, B, C시료 모두 240°C이상의 값을 나타내었다. 이 중에서 증주제의 양이 제일 많이 함유(20wt%이상)된 C시료 그리이스가 260°C이상의 고온의 수치를 보이고 있어 내열성 측면에 유리 할 것으로 판단된다. 이유도(oil separation)시험의 경우 1.2~1.5wt%의 값을 나타내고 있다. 이유도는 베어링 윤활성 측면에서 어느 정도(약 3%이내 추천)는 있는 것이 적절하다고 하나 과도한 이유가 생길 경우 저장성과 누설성에 불리하다.

산화안정성 시험에서는 C>B>A순으로 우수한 수치를 나타내고 있으며 베어링 방청시험은 모두 녹 발생이 관찰되지 않았다.

사용된 에테르 기유의 동점도 값은 3종 모두 동등한 결과를 보이고 있다.

3종 시료에 대한 그리이스의 기초 물성시험 결과 증주제의 함량이 많은 C가(20wt%) A(17wt%)와 B(15wt%)그리이스와 비교하여 대부분 시험항목에서 다소 우수한 성능을 나타내고 있다.

수명시험 결과에서 B와 C그리이스가 1,000시간(L₁₀ 수명 신뢰도 90%) 이상의 그리이스 수명시간을 나타냈으며 반면 A 그리이스는 900시간으로 차이를 보이고 있다. 수

명시간이 차이가 나는 것은 그리이스 조성물의 종류가 동일해도 증주제의 함량에 따라서 그리이스의 수명이 차이가 난다는 것을 확인할 수 있었다.

일반적으로 그리이스의 조성 중에서 증주제의 양을 10~25 wt%사이에서 제조하는데 그리이스의 종류와 타입에 따라서 성능의 차이가 생길 수 있다. 금번 urea/에테르 오일 타입의 그리이스에서는 시험결과에서 증주제의 함량이 약 20wt%일 때가 양호한 수명시험 결과를 보이는 것이 확인되었다.

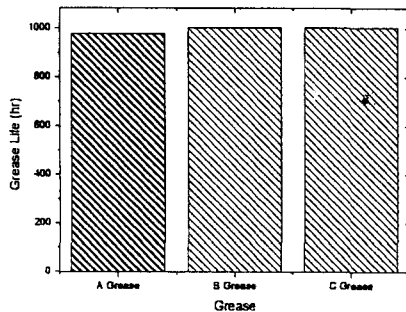


Fig. 2. Results of grease life test.

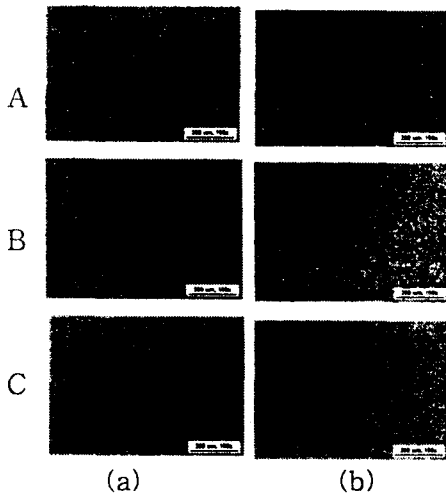
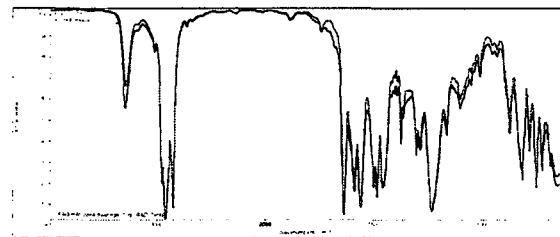


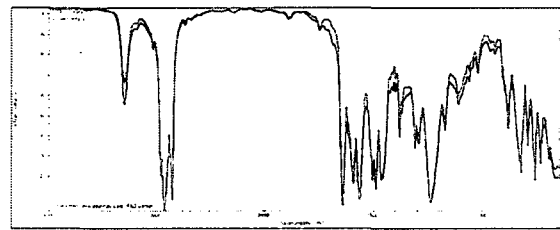
Fig. 3. Micrographs of greases (a) before and (b) after life test.

FE-9 그리이스 수명시험은 Fig. 2에 나타내었으며 수명시험 전후의 그리이스의 현미경 관찰결과는 Fig. 3과 같다.

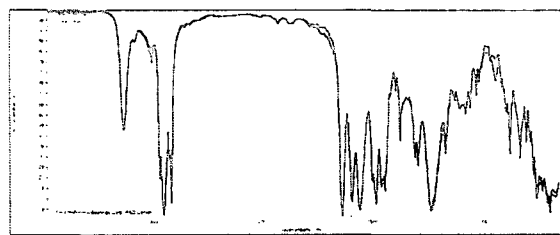
시험후 그리이스 A, B, C 모두 진한 갈색과 건조한 상태를 보이고 있으나 점성은 아직 그대로 유지하고 있다. 그리고 베어링의 마모분과 이물질(크기 $80\mu\text{m}$ 이하)이 관찰되었다.



A Grease



B Grease



C Grease

Fig. 4. IR transmittance spectra of greases before and after life test.

그리이스 수명시험 후 그리이스의 산화정도를 비교 분석하기 위해 FT-IR분석 결과는

Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보면 시험후의 시료별 그리이스의 산화물 특성 피크(1700~1720cm⁻¹ C=O)는 A, B, C그리이스 모두 발견되지 않았다. 그외의 모든 특성치와 증주제 및 기유의 소모여부는 사용전의 IR peak와 거의 동일한 특성으로 나타내었다.

그리이스 수명시험 전후의 산화 및 열적인 특성을 비교 분석 평가하기 위해 PDSC를 이용한 OIT시험을 실시하여 Table 4에 나타내었다. A그리이스는 시험전후의 OIT값의 차이가 18이고, B는 10, C는 6을 각각 나타내었다. 이러한 시험 결과를 놓고 볼 때 C그리이스 경우가 A와 B그리이스 보다 산화도 측면에서 다소 유리한 결과를 나타내고 있다고 판단된다.

Table 4. OIT value of greases before and after life test (unit: min)

Grease	New Grease	Used Grease
A Grease	38	20
B Grease	37	27
C Grease	40	34

Table 5. T.A.N(mgKOH/g) data of grease before and after life test

Grease	A	B	C
Before	0.29	0.47	0.30
After	3.79	2.78	2.15

그리이스 수명시험 전후의 전산가를 비교하여 그리이스의 화학적인 변화를 관찰하였

다. 시험결과는 Table 5와 같으며 C그리이스가 A와 B그리이스 보다 변화의 폭이 적게 나타났으며 양호한 결과를 보이고 있다. 정확하게 규격화 된 기준은 아니지만 일반적으로 산화여부의 예상 판정기준은 전산가 수치가 약 mg KOH/g이하이다.

3-2. 합성 그리이스 시험결과

로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 공학적인 방법으로 합성 설계한 표준 직교표를 작성하였다. 직교표인 12[2(11)]은 총 인자의 수는 11개이고 2개의 수준으로 12번의 실험을 의미한다. 이에 대한 인자와 수준에 대해서는 Table 2에 나타내었다.

Table 6. Dropping point of greases (unit: °C)

Test No	First	Second	Third
1	262	260	259
2	265	268	265
3	260	264	262
4	259	262	260
5	260	259	257
6	259	260	261
7	263	267	265
8	262	264	267
9	251	260	254
10	259	257	250
11	260	259	257
12	259	254	257

이와 같이 그리이스 합성설계로 제작된 12종 그리이스에 대하여 적점(dropping point)과 산화도 지수인 OIT값을 측정하였는데

Table 6과 Table 7의 결과와 같이 12종 모두 250℃이상의 고온의 적점 값을 나타내었으며, OIT수치 역시 20분이상으로 비교적 양호한 결과를 얻었다.

Table 7 . OIT value of greases
(unit: min)

Test NO	#1	#2	#3	#4	#5	#6
OIT Value	25.4	28.9	24.5	23.7	25.8	23.9
Test NO	#7	#8	#9	#10	#11	#12
OIT Value	29.5	28.9	25.7	24.8	26.5	27.3

Table 8. Result of ANOVA (dropping point)

분석요인 표 (원 데이터)

인자	수준	S	V	F ₀	검정 기어값	최적화
부호	(자유도)	(변동)	(모산)	(F-값)		
A	1	23.36	23.36	3.8	**	2.8 %
B	1	140	140	22.7	***	21.9 %
C	1	8.028	8.028	-	-	풀
D	1	0.02778	0.02778	-	-	풀
E	1	30.25	30.25	4.9	**	3.9 %
F	1	1.361	1.361	-	-	풀
G	1	156.3	156.3	25.3	***	24.6 %
H	1	1.361	1.361	-	-	풀
I	1	34.03	34.03	5.5	**	4.6 %
J	1	20.25	20.25	3.3	*	2.3 %
K	1	34.03	34.03	5.5	**	4.6 %
e(p)	4	10.78	2.694	-	-	2.2 %
e(2)	24	162	6.75	-	-	33.1 %
e	(28)	(172.8)	(6.171)	-	-	(35.3 %)
전체	35	611	-	-	-	100.0 %

최적 조건의 추론 (원 데이터)

인자 수준
(B) 증주제의 양 (1) 20%
(E) 마모방지제종류 (1) 마모A
(G) 부식방지제량 (2) 1.5%
(I) 반응온도 (1) 160
(K) 밀링횟수 (2) 4회

기준 공정/실험 - 모든 인자가 수준 1인 경우의 데이터 평균
260.333

모든 공정/실험에서의 데이터 평균
259.972

추정된 최적 조건에서의 예측된 평균 값
266.881 (+/- 3.6) (기준 공정/실험 보다 2.52% 향상된 평균 값)

최적화를 위한 시험 데이터로는 적점과 산

화도 지수를 프로그램은 SSRED(Six Sigma Robust Engineering Design)을 활용하였다. 최적화 프로그램으로 실행한 결과는 Table 8, Table 9에 나타내고 있다.

Table 9. Result of ANOVA (OIT value)

분석요인 표 (원 데이터)

인자	수준	S	V	F ₀	검정 기어값	최적화
부호	(자유도)	(변동)	(모산)	(F-값)		
A	1	9.188	9.188	3006.7	***	20.8 %
B	1	9.901	9.901	3240.1	***	22.4 %
C	1	0.00083340	0.00083340	-	-	풀
D	1	4.441	4.441	1453.3	***	10.0 %
E	1	0.8008	0.8008	262.1	***	1.8 %
F	1	1.687	1.687	552.2	***	3.8 %
G	1	7.321	7.321	2461.3	***	17.0 %
H	1	0.3008	0.3008	98.4	***	0.7 %
I	1	1.841	1.841	602.4	***	4.2 %
J	1	8.501	8.501	2782.0	***	19.2 %
K	1	0.0075	0.0075	-	-	풀
e(p)	2	0.008334	0.004167	-	-	0.1 %
e	(2)	(0.008334X0.003056)	-	-	-	(0.1 %)
전체	11	44.18	-	-	-	100.0 %

최적 조건의 추론 (원 데이터)

인자 수준
(A) 증주제의 종류 (2) 아민B
(B) 증주제의 양 (1) 20%
(D) 부식방지제종류 (1) 글락A
(E) 마모방지제종류 (1) 마모A
(F) 산화방지제량 (2) 1.0%
(G) 부식방지제량 (2) 1.5%
(I) 반응온도 (1) 160
(J) 교반속도 (2) 15rpm

기준 공정/실험 - 모든 인자가 수준 1인 경우의 데이터 평균
25.400

모든 공정/실험에서의 데이터 평균
26.242

추정된 최적 조건에서의 예측된 평균 값
31.291 (+/- 0.206) (기준 공정/실험 보다 23.2% 향상된 평균 값)

최적 추론 조건으로 인자와 수준을 기초로 그리이스를 제작하여 추정된 최적 조건에서의 예측평균값과 비교평가를 실시했다.

제작 그리이스는 적점시험 결과와 OIT값을 최적화 수단으로 사용하였기에 2종의 최적조건 그리이스를 합성하였다.

적점의 시험결과는 최적조건 예측 평균값이 266℃였는데 실제의 확인시험에서 264~267℃로 잘 일치하는 것을 확인하였다. 반면에 OIT시험 결과에서는 예측치인 31.29분보다 다소 우수한 32.34~33.97분을 나타내었다.

2종 그리이스에 대한 적외선 분광분석과

전자 현미경 관찰 결과는 Fig. 5 , Fig. 6에 나타내고 있는데 기본조성과 증주체의 구조는 전형적인 형태를 보이고 있으며 균질한 상태를 보이고 있다.

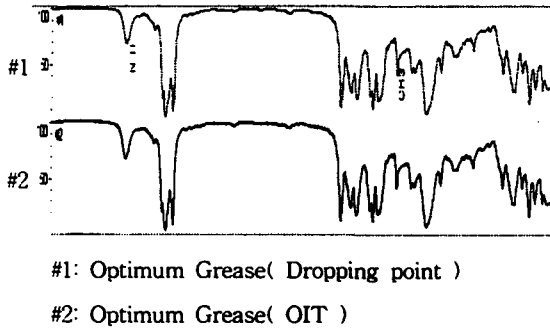
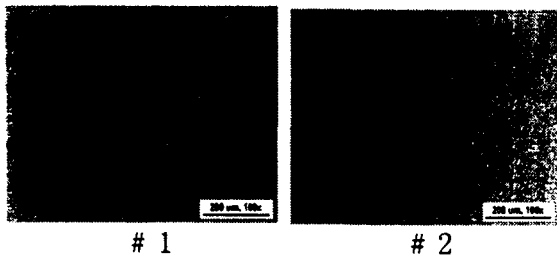
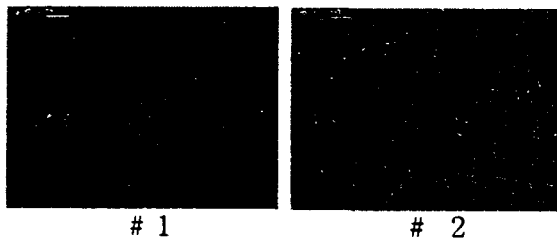


Fig. 5. IR transmittance spectra of optimum greases.



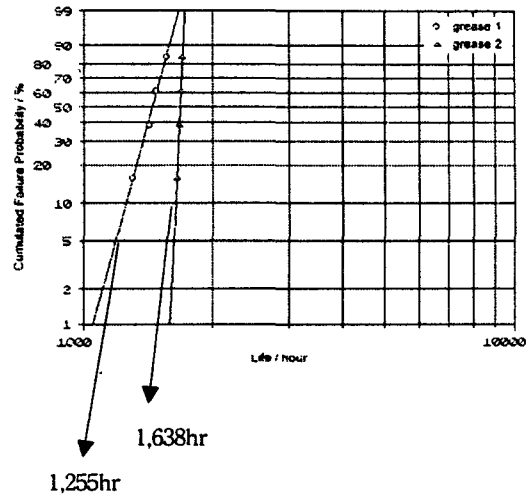
(a) Micrographs of optimum greases



(b) Electro micrographs of thickener in optimum greases

#1: Optimum Grease (dropping point)
#2: Optimum Grease (OIT)

Fig. 6. Micrographs of optimum greases.



Grease 1 : Optimum Grease (dropping point)
Grease 2 : Optimum Grease (OIT)

Fig. 7. Results of bearing life test.

또한 2종 그리이스에 대하여 깊은 홈 볼베어링인 #6203용 베어링에 적용하여 그리이스의 내구 수명시험을 비교평가 하였다. 시험 조건은 회전수 10,000 rpm, 온도 150℃, 하중 100 kgf, 그리이스 주입량 1±0.1g(공간용적의 35%), 시험 베어링은 KBC #6203DD로 시험하였다. 베어링 적용 내구 수명시험 결과 L₁₀수명(90%의 신뢰도)은 OIT값을 기준으로 최적화 된 그리이스가 적점을 기준으로 한 것보다 장수명의 결과를 나타내었다. 적점기준 시료수명 1,255 hr, OIT기준 시료수명 1,638 hr 으로 나타났다. 그리이스 전용 수명시험기로 시험 평가한 것은 아니며 베어링 내구 수명시험기를 이용하여 실시한 시험으로 그리이스의 자체 수명으로 판단하기에는 정확성이 떨어지나 통상의 동일 조건에서의 수명시험에서 L₁₀수명 1,000시간 정도인 것을 감안하면 베어링의 내구수명이 향

상된 것을 확인 할 수 있었다. 또한 베어링의 수명에 끼치는 영향인자가 OIT값이 적점보다는 다소 크게 나타나는 것으로 예측되었다. 향후 신뢰성 평가를 통한 그리이스 수명 시험을 실시할 예정이다.

4. 결론

상기 시험결과를 통해서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 자동차 전장 베어링용 그리이스로 적용되는 urea/에테르계 그리이스의 증주제의 조성 함량을 다르게 제작된 3종의 그리이스 중에서 증주제 함량이 20wt%인 C시료가 A와 B보다 물성시험에서 유리한 시험 결과치를 얻었다.

2. 그리이스 수명시험 결과 B와 C 그리이스가 1,000시간(L₁₀ 수명 신뢰도 90%)이상을 나타내었으며 반면에 A그리이스는 900시간으로 작게 나타내고 있다. 수명시간의 차이는 그리이스의 조성물의 종류가 동일해도 특히 고온고속의 가혹한 조건에서는 증주제의 함량에 따라서 그리이스의 수명이 차이가 난다는 것을 확인 할 수 있었다.

3. 그리이스 수명시험 전후 그리이스의 성상변화를 분석하기 위하여 현미경 입자 관찰과 산화 열화정도 평가(IR 분석, OIT, 전산가)를 실시한 결과 현미경 관찰과 IR분석에서는 3종(A, B, C)그리이스가 동등 수준의 결과를 보였고 OIT와 전산가 평가에서는 C 그리이스가 A와B보다 다소 우수한 성상을 나타내었다.

4. 이상의 결과와 같은 예비시험을 바탕으로 로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 공학적인 표준 직교표 (orthogonal array 12 [2(11)])를 활용하여 제작된 12종 그리이스의 적점과 산화도 지수인 OIT값을 적

용하여 SSRED(Six Sigma Robust Engineering Design) 프로그램을 실행하였다. 최적화로 제작된 2종의 그리이스에 대하여 최적조건 예측 평균값이 266℃였는데 확인시험에서 264~266℃의 범위로 동일 수준으로 확인 되었다. 또한 OIT시험 결과에서는 예측치 31.29분보다 다소 우세한 32.34~33.97분을 나타내었다.

5. 최적화 된 2종 그리이스에 대하여 불베어링을 적용하여 그리이스 내구 수명시험을 비교 평가한 결과 L₁₀수명(90%의 신뢰도)은 OIT값을 기준으로 최적화 된 그리이스가 적점을 기준으로 한 것보다 적점기준 시료수명 1,255 hr, OIT기준 시료수명 1,638 hr 으로 장수명의 결과를 나타내었다.

이들 결과로부터 최적화로 제작된 2종 그리이스의 베어링 내구수명이 향상된 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. I. Couronne, P. Vergne and D. Mazuyer, "Effect of Grease Composition and Structure on Film Thickness in Rolling Contact" ASLE Trans., 46 pp 31~32 (2003)
2. M. Nishimura, "Technology Forecast for the 21st Century", KOYO Journal, pp 4~6 (2000).
3. T. Kawamura, M. Minami and M. Hirata, "Grease Life Prediction for Sealed Ball Bearings", ASLE Trans., 44, pp 256~262 (2001).
4. I. Daguchi, "Robust Engineering", Bell Lab., pp 100~150 (1980).

5. Y. Sugimori, "Development of Low-Noise Grease for Fan Motor Bearing" *Motion & Control* No. 13, pp 23~26 (2002).
6. R. Fisher, "Design of Experiment" ASI, pp 78~140 (1926).
7. H. Ito, and T. Suzuki, "Physical and Chemical Aspects of Grease Deterioration in Sealed Ball Bearings", *Lubr. Eng.*, 44 (1988).
8. 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).
9. 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).
10. K. Furumura, "Recent Trends in Research and Development of Rolling Bearings at NSK", *Motions & Control* No. 1, pp 9~10 (1996).
11. M. Naka, "Research and Development of Lubrication Grease by NSK", *Motion & Control* No. 3, pp 1~8 (1997).
12. K. Adach, "Development of Low Noise Long life Lithium Complex Grease", *KOYO Engineering Journal*, 153, pp 43~48 (1998).
13. H. Ito and M. Naka, "Grease life Equations for Sealed Ball Bearings", *NSK Technical Journal* No. 660, pp 11~12 (1995).
14. I. S. Rhee, "Development of a New Oxidtion Stbility Test Method for Grease Using a Pressure Differential Scanning Calorimeter," *NLGI's 57th Annual Meeting*, (1990).
15. S. D. Khwag, "6Sigma Expert Training" *KSSC*. pp 1~91 (2003).