

구름베어링용 우레아계 최적 그리이스의 합성과 특성평가

김상근* · 김병관 · 한종대†

*FAG 베어링 코리아, 창원대학교 화학시스템공학과

A Study on Synthesis and Characteristics of the Optimum Urea Type Greases for Rolling Bearings

Sang-Keun Kim*, Byung-Kwan Kim, Jong-Dae Han†

*R&D Center, FAG Bearings Korea Corp.,
Dept. of Chemical Engineering, Changwon National University

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 different composition were synthesized to compare the performance of these greases. The typical grease physical properties were investigated, and life test of these greases was conducted by FE-9 grease life tester. The grease with higher content of the thickener showed higher performance. After these preliminary test, twelve greases were synthesized and evaluated the performance of dropping point and OIT value. And optimized conditions for grease synthesis were selected by SSRED (Six Sigma Robust Engineering Design) using dropping point and OIT value respectively. The optimized grease using OIT value showed longer grease life than that using dropping point. Two greases were synthesized following the optimum synthesis conditions by means of OIT value. Then grease life and other properties of these greases were investigated. These two greases showed longer grease life than typical urea/ether oil grease.

Key words – rolling bearing, grease life, optimum grease, bearing lubrication.

1. 서 론

구름베어링은 산업기계, 모터, 가전기기, 자동차용 등의 다양한 분야에 적용이 되고 있으며 최근에는 자동차 부품용에서 고온, 고속, 장수명 및 소형화, 고강성화, 저소음 및 저토오크화 등으로 요구되는 특성이 점점 증가하는 추세이다[1]. 구름베어링의 80% 이상에서 윤활용 그리이스를 사용하고 있으며 이는 구조가 간단하고 취급이 용이하기 때문이다[2]. 구름 베어링용 윤활 그리이스는 베어링의 내구 수명에 중요한 요소로서 이에 대한 중요성은 일반화되어 있다[1,3,4].

고성능의 베어링을 얻기 위하여 베어링의 설계, 소재, 열처리와 제조공정의 개선이 지속적으로 추진되고 있으나 거의 한계 수준에 도달했다고 할 수 있다. 반면

에 간편하고 실용적인 방법으로 고품질의 그리이스를 사용할 경우 베어링 품질개선의 효과를 거둘 수 있으며 그리이스의 종류와 특성에 따라서 많은 성능의 차이를 나타낸다[5,6].

본 연구에서는 자동차 전장 베어링용으로 적용되는 ether를 기유로 하는 우레아계 그리이스를 증주제 및 기유(base oil)의 함량을 변화시켜 시작품을 제조하고 기초적인 물성시험과 그리이스 수명시험을 통하여 최적의 증주제 함량을 정하기 위한 예비시험을 실시하였다. 이와 같은 예비시험을 기초로 증주제의 함량, 첨가제의 종류와 함량 그리고 가공조건을 변수로 하여 공학적인 표준 직교표를 작성하였다. 작성된 직교표의 인자를 변수로 사용하여 12종의 그리이스를 합성하고, 그리이스의 적점과 OIT(oxidation index time)값을 조사하였다. 이들 그리이스의 적점과 OIT값을 각각 사용하여 로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 최적의 그리

†주저자 · 책임저자 : jdhan@sarim.cwnu.ac.kr

이스 합성을 위한 조건을 찾았다. 이렇게 선정된 방법을 이용하여 최적의 그리이스를 합성하고, 합성된 그리이스의 수명과 물성을 조사하여 기존의 그리이스 성능과 비교평가 하였다.

2. 시료 및 실험

2-1. 기초시험

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

그리이스의 수명시험은 그리이스 수명시험 평가(DIN 51821규격: FE-9그리이스 수명시험)로 실시하였으며 그리이스 수명시험에 대한 시험조건은 Table 1과 같다.

그리이스 수명시간의 판단은 온도가 시험온도보다 20°C이상 상승했을 때와 과도오르크 및 베어링이 파손될 때까지의 시간을 기준으로 하였다. 그리이스 시료 별로 각각 5회의 수명시험을 실시하였으며 L10수명(신뢰도 90%의 수명)을 기준으로 비교평가 하였다.

그리이스의 OIT측정은 PDSC(pressure differential scanning calorimeter, PSC-TGA SDT2960 TA Co.)시험기를 이용하여 분석하였다[7]. OIT측정 방법은 미량의 시료 3±0.2mg을 고르게 퍼서 PDSC cell에 reference pan과 함께 올려 놓는다. Cell의 cover를 덮고 압력 cover를 체결한다. Cell의 온도를 230°C 등온상태로 가열한다. 등온 상태가 되면 산소통의 압력밸브를 서서히 열어 PDSC의 압력계가 500±25 psig가 되도록 조절한 후에 산소가스의 흐름이 100 ml/min이 되도록 맞춘다.

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°C
Rotational speed	6,000 rpm
Applied load	150 kgf

시간에 따라서 발열 peak가 관찰되면 시험을 종료하고 peak접선의 기울기로 OIT값을 구한다. OIT값이 클수록 산화 및 열적 특성이 유리하다고 볼 수 있다[7,8]. 관련 시험규격은 ASTM D5483에 준하여 시험하였다.

그리이스의 산화 및 열화도를 조사하기 위하여 적외선 분광법(FT-IR, MAGNA-IR 750 Nicolet Co.)을 실시하였다. 그리이스의 전산가는 화학적인 변화 정도를 나타내는 값으로 KS M2004 석유제품 중화가 시험방법에 준하여 시험하였다.

2-2. 그리이스 합성 및 특성평가

기초시험을 바탕으로 증주제의 종류(방향족 아민-1,, 아민-2)를 채택하였으며 첨가제 종류는 산화방지제로 benzene amine, butylated hydroxy toluene, 부식방지제로 barium sulfonate, 2-heptadecenyl-4(5H)-oxazolidimethanol, 마모방지제로 Zn-DTP, amine phosphate 등을 선택하였고, 첨가제의 함량은 산화방지제의 경우는 0.5 wt%와 1.0 wt%이고 부식과 마모 방지제는 각각 1.0 wt%와 1.5 wt%로 선택하였다. 또한 그리이스 가공 조건에서의 인자는 반응온도, 교반속도, 밀링의 횟수로 정하였다.

이와 같은 인자와 수준을 로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 공학적인 표준 직교표(orthogonal array)로 작성하여 그리이스 합성설계를 실행하였으며 표준 직교표의 작성을 위한 인자와 수준은 Table 2와

Table 2. Factors and levels of grease synthesis for 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 (times)	2	4

AO⁺: Anti oxidation

AC⁺: Anti corrosion

AW⁺: Anti wear

같다.

직교표에 의해 설계된 합성 그리이스는 총 12종류이며 열과 산화특성을 평가하기 위해 적점(dropping point)과 산화도 지수인 OIT값을 측정하여 평가하였다.

최적화를 위한 시험 데이터로는 적점과 OIT 값을 각각 적용하였으며 프로그램은 SSRED(Six Sigma Robust Engineering Design)을 활용하였다. 최적화 프로그램으로 실행한 결과로 2종의 최적화된 그리이스의 합성조건을 선정하여 그리이스를 합성하고 예측된 값과 유사한 값이 나오는지에 대한 확인시험을 실시하였고, 깊은 흠 불 베어링인 #6203용 베어링에 적용한 후 그리이스 내구수명시험으로 비교 평가하였다. 이들 최적 합성조건을 근거로 하여 최적 그리이스 2종(증주제 17%, 증주제 20%)을 합성하였다. 합성된 2종의 그리이스를 기본물성 조사와 #6203용 베어링에 적용한 수명시험 평가를 통하여 기존의 그리이스의 성능과 비교하였다. 그리이스 속의 철함량은 회화법(ashing method)을 이용하여 고온 노에서 탄소성분을 회화시켜 제거하고 냉각시킨 후 염산용액으로 용해시켜 여과하고 ICP(inductively coupled plasma spectroscopy, Varian Livity RL)를 이용하여 철함량을 분석하였다.

그리이스의 수명시험 전후의 증주제의 구조는 기유성분을 용제(benzene)로 추출하여 제거하고 SEM(scanning electron microscope, Hitach S-2400)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 기초시험 결과

기초시험용 그리이스의 물성 시험결과는 Table 3과 같다. 3종의 그리이스들은 NLGI주도 2등급으로 제조

되었으며, 이것은 통상 베어링용 그리이스로 적용되는 주도 등급이다. A그리이스는 증주제의 함량이 B와 C 그리이스보다 적은 이유로 주도 값이 작게 나타났다. 내열성 평가는 그리이스의 적점시험으로 비교가 가능하다. 적점시험에서는 A, B, C시료 모두 240°C 이상의 값을 나타내었다. 이 중에서 증주제의 양이 제일 많이 함유된 C시료 그리이스가 260°C 이상의 고온의 수치를 보이고 있어 내열성 측면에 유리할 것으로 판단된다. 이유도(oil seperation)시험의 경우 1.2-1.5 wt%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 A와 B시료 그리이스와 비교하여 대부분 시험항목에서 다소 우수한 성능을 나타내고 있다.

FE-9수명시험 결과에서 B와 C그리이스가 1,000시간(L10 수명 신뢰도 90%) 이상의 그리이스 수명시간을 나타내었다. 반면 A그리이스는 950시간을 나타내며 차이를 보였다. 일반적으로 그리이스의 조성 중에서 증주제의 양을 10-25 wt%사이에서 제조하는데 그리이스의 종류와 타입에 따라서 성능의 차이가 생길 수 있다. 사용된 그리이스에서의 수명시간의 차이는 증주제의 함량차이 때문으로 보인다[5].

그리이스 수명시험 전후의 그리이스의 산화정도를 비교 분석하기 위한 FT-IR분석 결과에서는 수명시험

Table 3. Physical properties of grease

Test method		Grease		
		A	B	C
Thickener		Urea (15%)	Urea (17%)	Urea (20%)
Base oil		Ether	Ether	Ether
Worked penetration	KSM2032	295	287	285
Dropping point (°C)	KSM2033	245	255	260
Oil separation (100°C×24 hr, wt%)	KSM2050	1.5	1.3	1.2
Oxidation stability (99°C×100 hr, kg/cm ²)	KSM2049	0.17	0.15	0.10
Bearinrust preventive (52°C, 48 hr)	STMD1743	# 1	# 1	# 1
Viscosity of base oil (cSt)	40°C	96.5	97.0	96.1
	100°C	11	10	10

전후의 peak에서 차이가 나타나지 않는 거의 동일한 특성을 보였다.

그리이스 수명시험 전후의 산화 및 열적인 특성을 비교 분석 평가하기 위해 PDSC를 이용한 OIT시험결과 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[9].

그리이스 수명시험 전후의 전산가를 비교하여 그리이스의 화학적인 변화를 관찰한 결과에서도 C그리이스가 A와 B그리이스 보다 변화의 폭이 적게 나타났으며 양호한 결과를 보였다. 이들 기초시험 결과로부터 urea/ether 타입의 그리이스에서는 증주제의 함량이 약 20 wt%일 때가 양호한 특성과 함께 우수한 수명시험 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

3-2. 최적 그리이스 합성조건 설정

기초시험 결과에서 내구성과 산화특성이 양호한 증주제의 함량을 17 wt%, 20 wt%로 선정하였다. 프로그램 SSRED(Six Sigma Robust Engineering Design)을 활용하기 위하여 적점과 OIT 값을 각각 구분하여 이용하였다. 로버스트 공학(Robust Engineering)을 응용한 공학적인 방법으로 설정한 12[2(11)] 표준 직교표가 작성되었다. 직교표의 12[2(11)]은 총 인자의 수가 11개이고 2개의 수준으로 12번의 실험을 한다는 것을

Table 4. Dropping point and OIT value of grease

Test number	Dropping point (°C)			OIT (min)
	1st	2nd	3rd	
1	262	260	259	25.4
2	265	268	265	28.9
3	260	264	262	24.5
4	259	262	260	23.7
5	260	259	257	25.8
6	259	260	261	23.9
7	263	267	265	29.5
8	262	264	267	28.9
9	251	260	254	25.7
10	259	257	250	24.8
11	260	259	257	26.5
12	259	254	257	27.3

RED - Raw Data - Synthesis of Optimum Grease(Dropping point)

Date: 2004-02-11 Time: 1:35:21 p.m.
 Input File Name: grepdata Output File Name: red1.out
 Data Type: Continuous Data Characteristics: Larger-the-Better
 Inner Array Interactions: 0 Outer Array Interactions: 0

Factors and Levels

Controllable(Inner) Factors: (*): Current or Standard Level

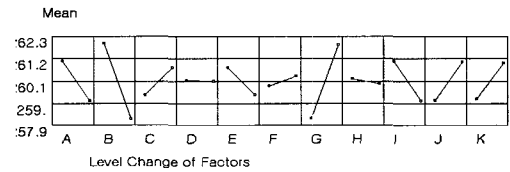
Symbol	Name	Level 1	Level 2
A	Thick	Amine-1(*Amine-2	
B	Thlok co	20(*)	17
C	AOtype	Amine(*)	Phenol
D	ACtype	Metal-1(*)Metal-2	
E	AWtype	AW-1(*)	AW-2
F	ACoon	0.5(*)	1.0
G	ACoon	1.0(*)	1.5
H	AWoon	1.0(*)	1.5
I	Re con C	160(*)	180
J	Re rpm	30(*)	15
K	Roll	2(*)	4

Orthogonal Arrays

Inner Array: Std L12[2(11)] Outer Array: None
 Exp Factor Column

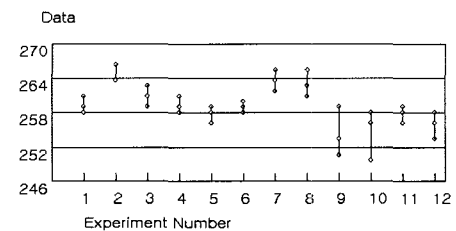
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2
6	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2
7	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2
8	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2
9	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2
10	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2
11	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2
12	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2

Level Mean (Raw Data)



Legend of Graph Factors

Raw Input Data



Level Sum (Raw Data)

Factor	Level 1	Level 2
Sym	1	2
A	4702	4665
B	4718	4649
C	4671	4696
D	4684	4683
E	4696	4671
F	4679	4688
G	4650	4717
H	4686	4681
I	4702	4665
J	4666	4701
K	4667	4700

Fig. 1. Process of SSRED using dropping point.

의미한다. 직교표 작성을 위한 인자와 수준은 Table 2와 같으며, 작성된 직교표는 SSRED 과정을 나타낸 Fig. 1에서 볼 수 있다.

직교표를 이용한 그리이스의 합성설계로 제작된 12종 그리이스에 대하여 적점(dropping point)과 산화도 지수인 OIT값을 측정하였는데 결과는 Table 4와 같다. 12종 모두 250°C 이상의 고온의 적점 값을 나타내었으며, OIT수치 역시 20분이상으로 비교적 양호한 결과를 얻었다.

적점을 이용한 SSRED에 따른 최적화 프로그램의 과정은 Fig. 1과 같고 결과는 Fig. 2와 같다. OIT 값을 이용한 SSRED에 따른 최적화 과정의 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 2의 프로그램 수행결과에서 pool로 표시된 인자는 무시가 될 정도로 중요도가 낮은 것이며, 별표가 많을수록 중요한 인자를 나타낸다. 아래 부분에 적점을 이용하였을 경우의 최적의 합성조건과 이때 예상되는 적점값을 나타내고 있다. Fig. 3의 결과에서는 아래 부분에 OIT 값을 이용한 경우의 최적 합성조건과 이때 예상되는 OIT 값을 나타내고 있다.

제시된 최적 그리이스 합성조건인 인자와 수준을 바탕으로 그리이스를 제작하여 추정된 최적 조건에서의 예측값과 비교평가를 실시했다. 제작 그리이스는 적점

Factor Sym	(DoF)	S (Variation)	V (Variance)	Fo (F-Value)	Test Contribution
A	1	38.028	38.028	5.7	** 5.3 %
B	1	132.25	132.25	19.9	*** 21.3 %
C	1	17.36	17.36	-	pool
O	1	0.02778	0.02778	-	pool
E	1	17.36	17.36	-	pool
F	1	2.25	2.25	-	pool
G	1	124.69	124.69	18.8	*** 20.0 %
H	1	0.6944	0.6944	-	pool
I	1	38.028	38.028	5.7	** 5.3 %
J	1	34.028	34.028	5.1	** 4.6 %
K	1	30.25	30.25	4.6	** 4.0 %
e(p)	5	37.6944	7.53889	-	- 7.7 %
e(2)	24	154.67	6.4444	-	- 31.7 %
e	(29)	(192.36)	(6.63311)	-	- (39.4 %)
Total	35	589.639	-	-	100.0 %

Estimate of Optimum Conditions (Raw Data)

Factor	Level
(A) Thick	(1) Amine-1
(B) Thick oo	(1) 20
(G) ACcon	(2) 1.5
(I) Re con	(1) 160
(J) Re rpm	(2) 15
(K) Roll	(2) 4

Mean of data when all factors set at current or standard level
260.333

Mean of data of all experiments
260.194

Predicted Optimized Mean at Estimated Optimum Conditions

267.917 (+/- 4.02) (2.91% Improved mean value over standard run)

Fig. 2. Result of SSRED using dropping point.

ANOVA Table (Raw Data)

Factor Sym	(DoF)	S (Variation)	V (Variance)	Fo (F-Value)	Test Contribution
A	1	9.1875	9.1875	89.2	*** 20.6 %
B	1	9.9008	9.9008	96.1	*** 22.2 %
C	1	0.00083340	0.00083340	-	pool
D	1	4.4408	4.4408	43.1	*** 9.8 %
E	1	0.80083	0.80083	7.8	* 1.6 %
F	1	1.6875	1.6875	16.4	** 3.6 %
G	1	7.5208	7.5208	73.0	*** 16.8 %
H	1	0.3008	0.3008	-	pool
I	1	1.8408	1.8408	17.9	** 3.9 %
J	1	8.5008	8.5008	82.5	*** 19.0 %
K	1	0.0075	0.0075	-	pool
e(p)	3	0.30916	0.103053	-	- 2.6 %
e	(3)	(0.30916)	(0.103053)	-	- (2.6 %)
Total	11	44.1892	-	-	100.0 %

Estimate of Optimum Conditions (Raw Data)

Factor	Level
(A) Thick	(2) Amine-2
(B) Thick oo	(1) 20
(D) ACtype	(1) Metal-1
(E) AWtype	(1) AW-1
(F) AOcon	(2) 1.0
(G) ACcon	(2) 1.5
(I) Re con	(1) 160
(J) Re rpm	(2) 15

Mean of data when all factors set at current or standard level
25.400

Mean of data of all experiments
26.242

Predicted Optimized Mean at Estimated Optimum Conditions

31.292 (+/- 0.885) (23.2% Improved mean value over standard run)

Fig. 3. Result of SSRED using OIT value.

을 이용한 Fig. 2의 결과와 OIT값을 이용한 Fig. 3의 결과를 사용하여 2종의 최적조건 그리이스를 합성하였다. 적점의 시험결과는 최적조건 예측 평균값이 266°C 였는데, 실제의 확인시험에서 264~267°C로 잘 일치하는 것을 확인하였다. 반면에 OIT시험 결과에서는 예측치인 31.29분 보다 다소 우수한 32.34~33.97분을 나타내었다.

2종 그리이스에 대하여 깊은 홈 볼베어링에 적용하여 그리이스의 내구 수명시험을 조사하여 비교평가 하였다. 시험조건은 회전수 10,000 rpm, 온도 150°C, 하중 100 kgf, 그리이스 주입량 1±0.1 g(공간용적의 35%), 시험 베어링은 KBC #6203DD를 사용하였다. 내구 수명시험 결과의 L10수명(90%의 신뢰도)은 OIT값을 기준으로 최적화된 그리이스는 1638시간이고, 적점을 기준으로 한 것은 1255시간으로 OIT값을 이용한 경우가 적점을 이용한 경우보다 장수명의 결과를 나타내었다. 김 등[10]의 연구결과에 의하면 OIT값은 그리이스의 산화안정성을 나타내는 중요한 인자로 나타났으며, 그리이스의 수명과 상관관계를 갖는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 그리이스의 최적화 과정에서 OIT값의 활용이 유용한 것으로 나타났다. 이는 OIT값이 그리이스의 산화안정성을 평가하기 위한 좋은 변수이기 때문으로 보인다.

Table 5. Physical properties of grease

Test method		Grease	D	E
Thickener			Urea (17%)	Urea (20%)
Base oil			Ether	Ether
Worked penetration		KSM2032	280	267
Dropping point (°C)		KSM2033	250	265
Oil separation (100°C×24 hr, wt%)		KSM2050	1.5	1.0
Oxidation stability (99°C×100 hr, kg/cm ²)		KSM2049	0.10	0.07
Bearinrust preventive (52°C, 48 hr)		STMD1743	# 1	# 1
Viscosity of base oil	40°C		96.0	97.0
(cSt)	100°C	KSM2014	10	11

3-3. 최적 그리이스 합성과 특성평가

최적화 조건을 설정할 때 OIT값을 이용하는 것이 적점을 이용하는 경우보다 우수한 그리이스 특성을 나타내는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 OIT값을 이용하여 얻은 최적 그리이스 합성조건을 활용하여 증주제의 함량이 17%(D)인 것과 20%(E)인 2종의 최적 urea/ether 그리이스를 합성하고 특성을 조사하여 평가하였다. 그리이스의 기본적인 물성을 조사한 결과는 Table 5와 같으며 우수한 물성을 나타내고 있다.

이들 그리이스에 대하여 그리이스의 내구 수명시험을 조사하였다. 시험조건은 회전수 5,000 rpm, 온도 150°C, 하중 100 kgf, 그리이스 주입량 1±0.1 g(공간용적의 35%), 시험 베어링은 KBC #6203DD로 시험하였다. 베어링 적용 내구 수명시험 결과 L10수명(90%의 신뢰도)은 증주제가 17%인 D는 2000시간 이상을 나타내었고 증주제가 20%인 E는 3000시간 이상의 수명을 나타내었다. 그리이스 전용 수명시험기로 시험평가한 것은 아니지만 베어링 내구 수명시험기를 이용하여 실시한 시험으로 그리이스의 자체 수명으로 판단하기에는 정확성이 떨어지나 통상의 동일조건에서의 수명시험에서 L10수명 1700-1800시간과 비교하면 수명이 향상된 우수한 내구성을 나타내고 있다.

그리이스 시료별 수명시험 전후의 SEM 사진의 증주제 형상은 Fig. 4와 같다. E그리이스(E1, E2)는 시험 수명시간이 D그리이스(D1, D2)에 비하여 길지만 수명시험 후의 증주제 형상을 보면 손상정도와 경화된 정도가 덜한 것을 나타내고 있어 우수한 그리이스의 성능을 나타내고 있다. 수명시험과 SEM의 결과로부터 증주제가 20%인 경우에 내구성과 안정성이 우수한 것을 알 수 있다.

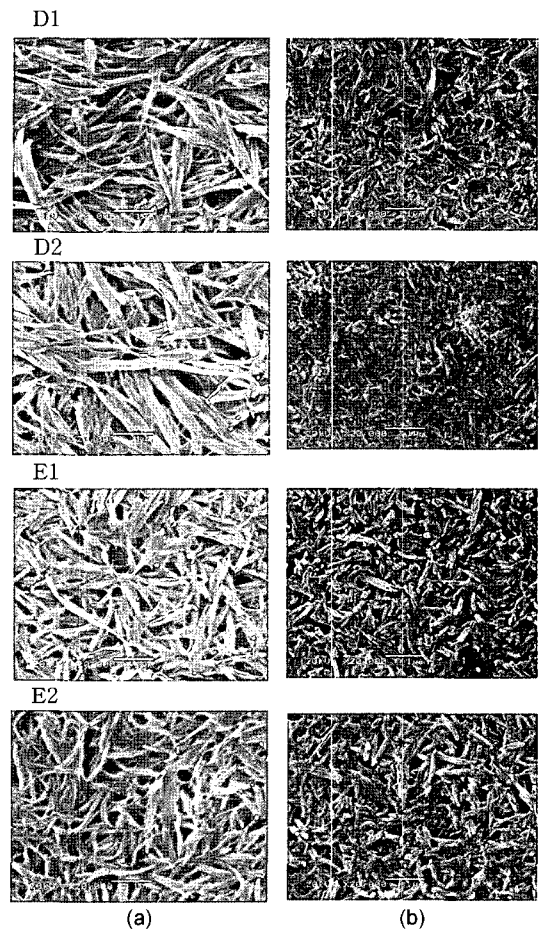


Fig. 4. Electron micrographs of thickener (a) before and (b) after life test.

수명시험 전후의 그리이스에 함유된 철의 양을 Table 6에 나타내었다. 철함유량을 보면 사용전의 그리이스

Table 6. Iron amount in the grease before and after life test (Unit: ppm)

Grease	D1	D2	E1	E2
Before	69	70	63	64
After	138	167	187	188

에서는 D그리이스(D1, D2)가 철함량이 많지만 수명시험 후에는 E그리이스(E1, E2)가 높게 나타났다. 사용 전의 철의 함량은 합성시 재료에 포함된 철과 밀링작업에서 철의 함량이 증가하기 때문으로 보인다. 수명시험 후에는 베어링의 마모에 기인하여 철의 함량이 증가하였지만 모두 200 ppm 이하로 최대 허용농도인 1000 ppm과[2] 비교하면 크게 낮은 값을 나타내었다.

4. 결 론

이상의 결과로부터 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 로버스트 공학의 응용은 최적의 그리이스 합성조건을 얻기 위하여 유용하였다.
2. 최적의 그리이스를 얻기 위한 그리이스의 물성으로 적접보다는 OIT값의 활용이 효과적이었다.
3. OIT값을 활용하여 최적화한 우레아 20% 함유 그리이스는 내구성과 마모특성에서 아주 우수한 특성을 나타내었다.

후 기

이 논문은 2004년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. Kawamura, T., Minami, M. and Hirata, M., "Grease Life Prediction for Sealed Ball Bearings," *Trib. Trans.*, Vol. 44, No. 2, pp. 256-262, 2001.
2. Naka, M. "Research and Development of Lubrication Grease by NSK," *Motion & Control*, No. 3, pp. 1-8, 1997.
3. Adach, K., "Development of Low Noise Long life Lithium Complex Grease," *KOYO Engineering Journal*, No. 153E, pp. 50-54, 1998.
4. Cann, P. M., Doner, J. P., Webster, M. N. and Wikstrom, V., "Grease Degradation in Rolling Element Bearings," *Trib. Trans.*, Vol. 44, No. 3, pp. 399-404, 2001.
5. Couronne, I., Vergne, P. and Mazuyer, D., "Effect of Grease Composition and Structure on Film Thickness in Rolling Contact," *Trib. Trans.*, Vol. 46, No. 1, pp. 31-32, 2003.
6. Nishimura, M., "Technology Forecast or the 21st Century," *KOYO Engineering Journal*, No. 156E, pp. 4-6, 2000.
7. Rhee, I. S., "Development of a New Oxidation Stability Test Method for Grease Using a Pressure Differential Scanning Calorimeter," *NLGI's 57th Annual Meeting*, TA-052, pp. 2-11, 1990.
8. Keller, M. A. and Sara, C. S., "Behavior of High Temperature Lubricants in a Pressure Differential Scanning Calorimeter," *Tran. Trans.*, Vol. 41, No. 4, pp. 586-592, 1998.
9. Kim, S. K., Park, C. N. and Han, J. D., "A Study on Characteristics of the Optimum Urea Type Grease for Rolling Bearings," *Journal of the KSTLE*, Vol. 21, No. 1, pp. 21-26, 2005.
10. Kim, S. K., Park, C. N., Kim, B. K. and Han, J. D., "Study on Oxidation Stability and Life of Rolling Bearing Grease," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 15, No. 8, pp. 907-912, 2004.