

고체윤활 베어링의 제조방법 및 특성연구

김창욱[†] · 류수현*

광운대학교 화학공학과 교수
*광운대학교 화학공학과 박사과정

A Study on Manufacturing and Characteristics of solid Lubricant Oilless Bearin

Kim Changwook[†] and Ryoo Soohyun*

Professor of Dep. of Chemical Engineering of Kwangwoon Univ

*Doctor of Dep. of Chemical Engineering of Kwangwoon Univ

(2001년 8월 31일 받음, 2001년 11월 3일 최종수정본 받음)

Abstract This study is the manufacture of solid lubricant oilless bearing using sintered parts. PTFE was as organic solid lubricant and MoS₂ as inorganic solid lubricant, and its characteristics were studied. Thickness of lubricant was suited 25~100 μ m for lubricant characteristics.

Curing temperature of MoS₂ film was 120 $^{\circ}$ C, 2 hours and that of PTFE film was 260 $^{\circ}$ C, 20 minutes.

The solid weight and solid volume of MoS₂ film was 51.7% and 27.4%, and that of PTFE was 44.9% and 24.3%.

Chemical resistant of PTFE solid lubricant oilless bearing was excellent as salt test was 520hours, and usable temperature range was -200~+280 $^{\circ}$ C.

Conduction of electricity can be increase by addition of graphite or α -PbO₂. The electric conductivity was 100~180 Ω .

Key words: lubricant solid lubricant oilless bearing PTFE

1. 서 론

고체 윤활베어링^{1,2)}은 고체윤활제가 항상 유막을 형성하고 있기 때문에 경계마찰이나 건조마찰이 발생하지 않으므로 완전 무급유상태로 가동할 수 있다.

또한 고체윤활제의 재질특성상 진동 충격 특성이 우수하며 내열성, 내수성, 내화학성이 우수하여 각종 용제, 가스, 수증기의 영향을 받지 않으며, 급유로 인한 제품의 오염 및 폐유에 의한 오염을 방지할 수 있다.

따라서 고체윤활베어링은 소음방지 및 작동을 부드럽게 하는 곳(자동차 door hinge, 속 압소바, 클러치 미션)이나, 급유가 곤란하거나 불가능한 곳(선풍기, 자동판매기, 인쇄기 등의 bush) 및 오일에 의하여 오염을 방지할 수 있는 기기(방적기, 식품가공기, 인쇄기 등의 bush) 등에 이용되며 국내 자동차 공업, 기계공업, 가전기기 공업의 발전으로 인하여 고체 윤활베어링의 수요가 크게 증가되고 있는 실정이다.

또한 최근에는 모든 구동기기의 품질향상 및 품질의 국제화를 기하기 위하여 각종 구동기기의 베어링은 유체윤활베어링에서 고체윤활베어링으로 대체되어가고 있는 실정이며, 이러한 고체윤활베어링은 미국, 일본, 독일 등의 특허상품으로 국내에서는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철계, sus계, 금속분말의 입도, 입

도분포, 성형압, 소결시간, 소결온도 등을 조절하여 소결체 내부의 기공도를 조절하고, 표면을 소수성에서 친수성으로 개질시켜 기공내의 흡착강도, 흡착율을 증대시키고, 금속소결 bush에 함침시킬 수 있는 고체윤활제의 선택 및 고체윤활제의 물리적, 화학적 특성을 충분히 발휘할 수 있는 배합공정을 연구개발한다.

또한 진공처리법, 가압처리법, spray법, deeping법, 전착 coating법 등 여러 가지 고체윤활막의 처리공정법을 실험을 통하여 가장 효과적인 방안을 연구개발하며 윤활막의 두께조절 윤활막 처리장치의 설계 및 자동화 방안을 검토하며, 고체윤활막의 건조 및 소성조건 확립, 고체베어링의 특성을 나타낼 수 있는 고체윤활 베어링을 제조하였다.

2. 이론적 배경

Fig. 1은 소결합유베어링과 고체윤활금속소결 베어링의 구조를 나타낸 것으로 소결합유 베어링은 샤프트가 회전할 때 샤프트와 bush 사이에 유막이 형성되어 경계마찰 및 건조마찰을 방지하여 준다.

또한 샤프트가 회전할 때 열이 발생되므로 금속소결체에 내포하고 있던 oil이 경계면으로 나왔다가 샤프트의 회전이 중단되면 oil이 다시 금속소결체 내부로 흡입되므로 한번 oil을 함유시켜 주면 오랜 시간 사용할 수 있다.

고체윤활베어링은 금속소결체 bush 내부표면에 고체윤

[†] E-mail: djpmco@unitel.co.kr

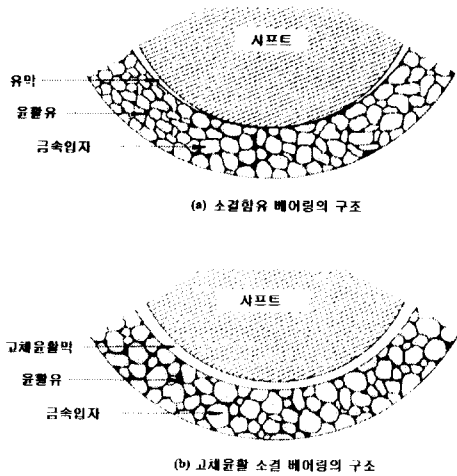


Fig. 1. Structure of impregnated oil and solid lubricant oiles bearing

활막이 형성되어 있어 샤프트와 금속소결체 사이에 항상 고체윤활막이 존재하므로 경계 마찰이나 건조마찰이 전혀 발생되지 않으며 특히 고체 윤활제의 우수한 물리적, 화학적 특성으로 인하여 내열, 내수, 내화학적성이 우수하며 각종 용제, 가스, 수증기의 영향을 받지 않으며 급유로 인한 제품의 오염 및 폐유에 의한 환경오염을 방지하여 준다.

3. 실험방법 및 측정

3.1 금속소결체의 기공조절

고체윤활베어링용 금속소결 재료는 철계(Fe-Cu 2%)를 사용하였으며, 소결체의 기공율을 5~18%를 유지하기 위하여 -100 mesh에서 +320 mesh의 입도가 가장 양호하였으며, 금속분말의 입도분포와 성형압 및 소결온도에 의하여 기공율을 5~18%로 조절하였다.

고체윤활베어링용 금속소결체는 유체윤활베어링과 같은 형태의 내경 8 mm, 외경 10 mm, Frange 16 mm, Frange 두께 1 mm, 높이 10 mm의 금형을 제작하여 성형, 소결하였다.

성형압은 5ton/cm²의 압력으로 고정하였으며, 소결온도에 따라 기공도가 변화하였다.

소결체의 기공율은 JIS 규격 Z-2501에 의거하여 다음과 같은 식에 의하여 측정하였다.

$$P = \frac{A-B}{(C-D) \times S} \times 100$$

여기서

P : 용적 100분율로 표시한 함유율 (기공율)

A : 함유시료의 질량 (g)

B : 기름을 제거한 시료의 질량 (g)

C : 방수처리한 시료의 질량 (g)

D : 방수처리한 시료의 부유질량 (g)

S : 사용한 기름의 비중 (0.875)

3.2 표면활성화 및 표면개질

금속소결체의 표면은 소수성을 띄며 고체윤활제를 포함하는 용액의 성분은 친수성이므로 금속소결체의 기공에 고체윤활제가 함침되지 않기 때문에 고체윤활제의 함침을 증대시키기 위하여 친수성으로 표면 개질 처리를 하였다.

금속소결체를 KMnO₄, K₂Cr₂O₇ 등 무기 산화제를 0.15 mol/l 의 묽은 용액에 60℃, 1~2분간 침적시킨 후, 곧 수세건조하고 n-methyl piri -don, Amino imide의 묽은 수용액으로 처리하면 금속소결체의 표면이 개질되어 소수성이 친수성으로 변화되었다.

3.3 고체윤활막의 제조

고체윤활제는 무기윤활제인 Graphite, MoS₂를 사용³⁾하였고, 유기윤활제인 poly tetra fluoro ethylene, poly amid imide melamine 수지⁴⁾를 사용하였으며, 유기윤활제인 epoxy 수지를 용매겸 부착제로 사용하였다.

유기윤활제는 반응용상태로 소결이 진행되면서 경화되고 표면장력을 감소시키며, 유동도를 조절하기 위하여 butyl alcohol, methyl iso- butyl ketone, naphtha 및 n-methyl pyrrolidine을 사용하였다. Table 1은 고체윤활제 및 용제의 조성을 나타낸 것이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 금속소결체의 기공조절

고체윤활베어링용 금속 소결체의 기공도를 조절하기 위하여 금속분말의 입도, 입도분포, 성형압, 소결온도, 소결시간을 조절하여 기공도를 조절하였으며, 기공도의 변화는 금속분말의 입도분포의 영향이 가장 컸다.

Fe-Cu(2%) 분말의 일반적인 소결온도인 1,050℃에서

Table 1. Kindness and preparation of solid lubricant

구 분	종 류	고 체 윤 활 제			
		유기고체윤활제	조성	무기고체윤활제	조성
윤활제	poly tetra fluoro ethylene		50	MoS ₂	50
	poly amidimide		15	Graphite	10
	melamine resin		10		
용매	Butyl alcohol		100	epoxy resin	25
첨가제	Methyl iso-Butyl Ketone		10	KBH 1085	10
	naphtha		5	BTEAC	5
	n-methyl pyrrolidine		10		

Table 2. Particle size distribution of sintering metal powder

mesh	분포(g)	%
-100~+170	145	29
-170~+230	160	32
-230~+270	115	23
-270~+320	50	10
-320	30	6
계	500	100

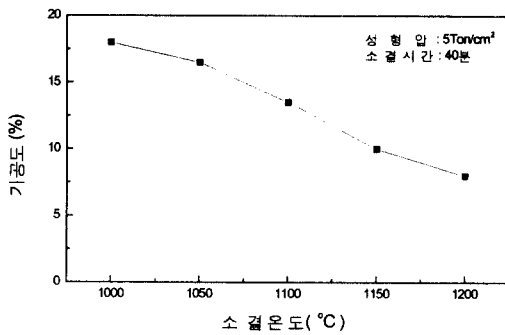


Fig. 2. Relation between sintered temperature and the pore rate

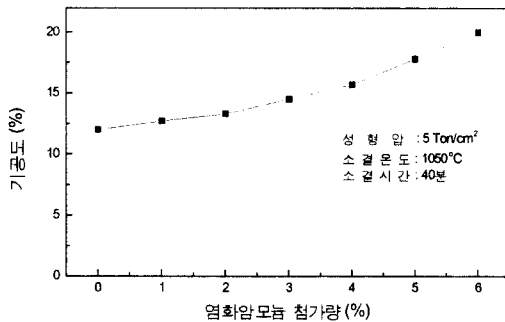


Fig. 3. Pore rate of Sintered parts by Amount of Ammonium Chloride

40분 소결한 소결체의 기공도는 16.5%였으며 소결온도가 높을수록 기공율이 감소되었다.

고체윤활베어링용 소결체의 소결온도는 1,050~1,100°C가 가장 적합하였다.

Table 2는 Fe-Cu(2%) 분말의 입도 및 입도분포를 나타낸 것이며, Fig. 2는 소결온도와 기공과의 관계를 나타낸 것이다.

또한 염화암모늄(NH₄Cl)을 첨가하면 소결체의 기공도가 증가하였다. 이러한 현상은 철계분말에 함유된 염화암모늄이 소결과정에서 분해되면서 염화암모늄이 차지하고 있던 공간이 모두 기공으로 변화되었기 때문이라 생각된다. Fig. 3과 같이 염화암모늄이 5%까지는 기공이 증가되나 그 이상 포함되면 소결체의 경도가 약화되는 현상이 나타났다.

기공도의 측정은 먼저 110°C의 dry oven에서 2시간 건조한 후에 시료를 상온으로 냉각시켜, 무게를 측정(B)하고, 10⁻³ torr의 진공장치에서 30분간 시료에 비전성 oil

Table 3. Pore rate of sintered parts

시험항목 Sample	함 유 율			
	A	B	C-D	함유율(%)
1	2.1332	2.0981	0.3346	11.99
2	2.1698	2.1371	0.3359	11.13
3	2.1479	2.1118	0.3362	12.27
4	2.1468	2.1117	0.3334	12.03
5	2.1195	2.0869	0.3276	11.37
평균	2.1434	2.1091	0.3335	11.76
시험방법	JIS Z-2501			

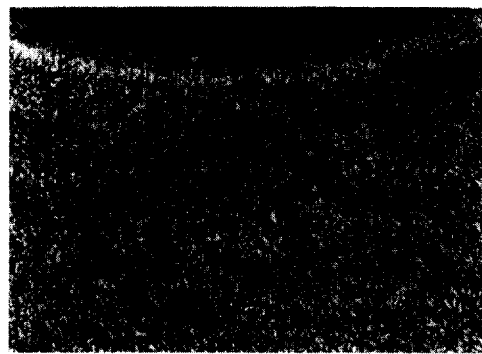


Photo 1. SEM Photograph of solid lubricant oilless bearing(×500)

(비중 0.875)을 함유시키고, 시료 표면의 oil을 제거하여, 무게를 측정하였다.(A)

이러한 함유된 시료를 가는 철사에 매달아 물 속에서의 무게를 측정(C-D)하여 소결체의 기공율을 측정하였다.

소결체의 기공율 측정결과는 Table 3과 같다.

고체윤활 소결금속베어링으로 사용되는 금속소결체의 기공율은 11~12%로서 기공율이 비슷하므로 충분히 고체윤활제를 함침시킬 수 있음을 확인하였다.

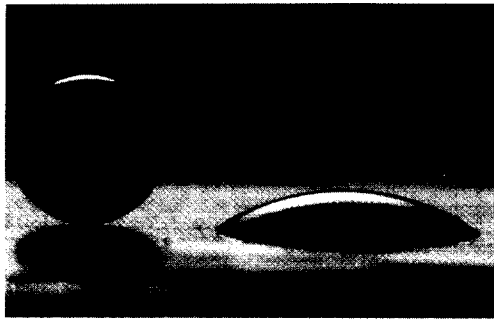
Photo 1은 소결체의 기공을 SEM으로 촬영하여 본 것이다.

4.2 표면활성화 및 흡착율

Photo 2는 고체윤활제인 불소수지(PTFE) 분말을 ethylalcohol 용매에 분산시킨 용액을 표면 활성화 처리를 한, 금속소결체 표면에 정확히 0.10 ml를 떨어 뜨렸을 때 소결체 표면의 기공에 흡수되는 현상을 나타낸 것이며, Photo 3은 금속소결체의 평면을 활성화시키지 않고 고체윤활액을 떨어뜨렸을 때의 흡수되는 현상을 나타낸 것이다.

Photo 2와 같이 금속소결체의 표면을 개질시켜 소수성이 친수성으로 크게 변화되어 고체윤활제가 금속소결체 내부의 기공에 많이 흡수되었으나 Photo 3과 같이 표면활성화처리를 하지 않은 것은 고체윤활제가 거의 흡수되지 않음을 확인할 수 있었다.

따라서 금속소결체의 표면개질에 의한 흡착 및 함침 결과는 매우 만족스럽다고 할 수 있다.



Left : 0.10m Iron ball Right : solid lubricant
Photo 2. Absorption shape of solid lubricant after surface improvement(after 10 second)

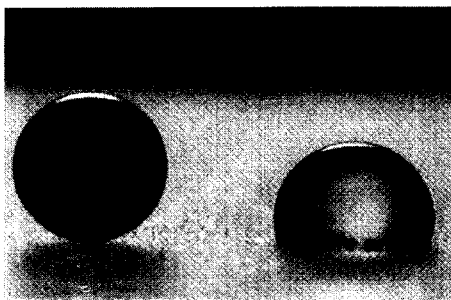


Photo 3. Absorption shape of solid lubricant before surface improvement(after 10 second)

4.3 고체윤활막의 형성 및 경화공정

금속소결체에 대한 함침율은 무기 고체윤활제와 epoxy 수지를 용매로 사용할 경우 22% 정도 였으나, 유기고체윤활제와 butyl alcohol을 용매로 사용하였을 경우 함침율이 81%까지 이르렀다.

이러한 현상은 butyl alcohol, methyl iso-butyl ketone 이 표면장력을 저하시키며, n-methyl pyrrolidine 이 금속표면을 개질시켜 소수성에서 친수성으로 변화시켜 주기 때문이라 생각된다.

따라서 내마모 및 윤활특성을 부여하기 위해서는 유기고체윤활제를 사용하고 내부식 및 윤활특성을 부여하기 위해서는 무기고체윤활제를 사용하는 것이 유리함을 알 수 있었다.

처리된 윤활막의 경화처리는 conveyer belt식의 전기로를 사용하였으며 무기고체윤활제인 경우 경화온도는 120℃, 경화시간은 2시간 정도였으며, 유기고체윤활제인 경우 경화온도는 260℃, 경화시간은 20분 정도가 적합하였다. 그러나 금속소결체의 표면이 높은 온도 및 분해기체로 인하여 변색될 우려가 있을 경우 경화온도를 260℃ 이하로 하고 경화시간을 약간 길게 하여도 무방하였다. 윤활막의 두께는 고체윤활액의 농도 및 부여방법에 따라 많은 차이가 있으나 25~100 μm의 두께가 윤활특성상 적합하였다.

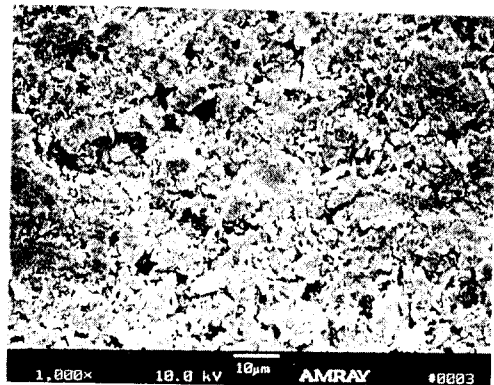
Table 4는 고체윤활제의 종류에 따른 윤활막의 처리 및 경화특성이며 Photo 4는 고체윤활제로 PTFE를 사용하여 spray법으로 코팅하여 260℃ 20분간 경화하였을때의 단면(a) 과 표면(b)을 SEM으로 촬영하여 본 것이다.

Table 4. Mechanical properties after surface treatment with solid lubricants

특성	종류	윤활제	
		유기고체윤활제	무기고체윤활제
전처리		표면개질처리	인산염처리
소성경화온도(℃)		250~280	110~120
경화시간(min)		30~20	150~120
고체함량(%)		44.9	51.7
고체부피(%)		24.3	27.4
밀도(g/cm ³)		1.34	1.48
윤활제두께(μm)		25~100	25~100
함침율(%)		81	22



(a)



(b)

Photo 4. SEM Photograph of PTFE lubricant layer. a) cross section of PTFE lubricant layer (×1000) b) surface of PTFE lubricant layer(×1000)

4.4 고체윤활베어링의 특성조사

4.4.1 내마모 실험

내마모 특성은 본 연구개발에서 제조한 고체윤활베어링을 자동차용 힌지(hinge)에 장착시켜 1분에 30번씩 힌지를 여닫을 때의 최대사용시간과 고체윤활제의 마모량을 비교 검토하였다.

초기운전단계에서는 적응마모 단계로서 고체 윤활제층의 일부가 상대면인 shaft의 요철면으로 신속히 이동하여 부드러운 저마찰의 보호피막을 형성한다. 사용시간이 경과함에 따라 소결체 표면의 고체윤활막이 모두 윤활역할을 하여 수명이 연장된다. 수명의 한계는 0.05 mm 정도의 고체윤활제층의 마모와 아울러 금속소결체 층이 90% 이상 나타나게

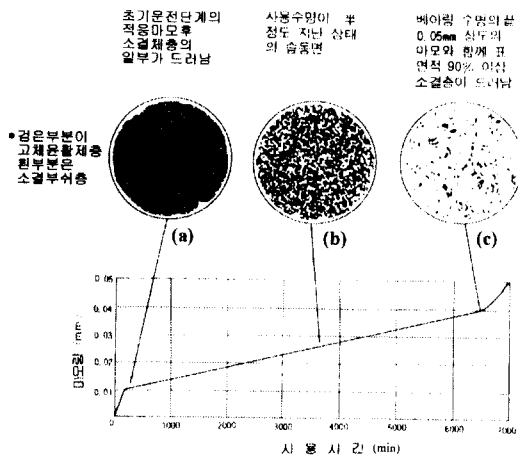


Fig 4. Abrasion rate of solid lubricant oilless bearing

Table 5. Characteristics of solid lubricant oilless bearing for door hinge of auto mobile.

▶ Characteristics of sintered parts

항 목	특 성	비 고
재 질	Fe(SMF 1050)	
밀도(g/cm ³)	6.2~6.8	조절가능 조절가능
기공도(%)	11.9~12.27	
경도(HR-B)	50~60	
인장강도(kg/mm ²)	20~30	

▶ Characteristics of solid lubricant oilless bearing

항 목	특 성	
최대허용하중 (kg · t/cm ²)	저속작동	1400
	일반운동	500
최대허용속도 (m/min)	고온	50
	상온	800
최대허용 PV값 (kg · t/m · m/min)	연속사용	1050
	불연속사용	2100
선풍창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	습동면과 평행	11
	두께방향	30
열전도도 (cal/sec · cm · °C)	-	0.1
전기저항 (Ω)	-	100~170
한계사용온도 (°C)	-	-200~+280
마찰계수	고하중 저속	0.02~0.07
	경하중 중속	0.05~0.10

될 때 볼 수 있다.

Fig. 4는 본 연구개발에서 제조한 고체윤활베어링을 자동차용 hinge에 장착시켜 고체윤활베어링의 마모량을 측정하여 본 것이다. 초기 100분까지는 초기운전단계의 적음마

모로 0.01 mm 정도가 마모되었으며 Photo (a)와 같이 금속소결층의 일부가 나타났다.

1000분을 가동하였을 때 고체윤활제 층의 마모량은 0.014 mm였으며 2000분 가동했을 때의 마모량은 0.18 mm였으며 고체윤활제층의 변화는 거의 없었다(a). 3000분 가동했을 때의 마모량은 0.023 mm 정도였으며 고체윤활제층은 (b)와 같이 50% 정도 나타났다. 그러나 소결체내 기공 속에 함침된 고체윤활제를 많이 포함하므로 윤활특성에는 변화가 없었으나 사용수명이 반 정도 지난 상태라 볼 수 있다.

7000분 가동했을 때 고체윤활제의 마모는 0.05 mm였으며 이 때 고체윤활베어링 표면의 고체윤활제는 물론이고 금속소결체 표면의 일부도 마모가 일어난 상태이므로 고체윤활베어링의 수명이 끝났다고 볼 수 있다.

Fig. 4(c)는 마모량이 0.05 mm일 때의 소결체의 표면을 나타낸 것으로 고체윤활제층은 20%정도만이 존재하였다.

4.4.2 내열시험

고체윤활제를 PTFE를 사용하였을 경우 -200°C까지 PTFE의 윤활특성과 경도를 그대로 변함없이 유지하였으며, 온도가 280°C까지 상승하여도 PTFE가 증발되거나 열분해 되지 않았다. 다만 320°C 이상이 되면 PTFE가 열분해되어 윤활특성이 현저하게 감소하였다.

유체윤활베어링의 경우 60°C에서 2개월 사용하면 oil이 모두 증발되는데 비하여 고체윤활베어링의 내열범위는 매우 넓었다. 최근 국내자동차의 세계적 수출로 인하여 자동차 내부의 기온과 습도의 차이가 더욱 커지고 있어 자동차용으로 사용되는 유체윤활베어링은 고체윤활베어링으로 대체할 필요가 있다.

4.4.3 전기전도도

고체윤활소결베어링의 경우 금속소결체와 샤프트면이 항상 접하여 있으므로 전기가 잘 통하나 고체윤활소결베어링은 고체윤활제 (PTFE)가 완전 부도체이므로 전기가 통하지 않는다.

베어링의 경우 기능적이거나 전착도장을 시행할 경우 통전이 되어야 하기 때문에 완전 부도체인 고체윤활제를 이용한 고체윤활베어링도 통전이 되어야 할 경우가 많다.

따라서 완전부도체 고체윤활제인 PTFE에 도체인 Graphite, 산화안티몬, α-이산화납 등을 적당량 혼합하여 경화시켰다. 이 때 전기저항은 100~170 Ω/cm였으며 고체윤활제층의 특성에는 전혀 변화가 없었다.

4.5 고체윤활베어링의 특성

본 연구에서 자동차 door hinge용 고체윤활베어링 (내경 8.0 mm, 외경 10.0 mm, frange 16.0 mm, frange 두께 1.0 mm, 높이 10 mm)을 제조하고 특성을 조사한 결과 Table 5와 같았다.

소결체의 재질은 Fe-Cu 0.5%로 사용하였을 때 밀도가 6.2~6.8g/cm³였고 기공도가 11.9~12.27%였으며 경도는 Hr-B 50~60였다.

고체윤활제를 함침하였을 때 마찰계수는 0.02~0.07이었으며 한계사용온도는 -200~+280°C로써 유체윤활베어

링에 비하여 사용온도 범위가 매우 넓었다.

또한 전기저항은 100 ~ 170 Ω 이었으며 열전도도는 0.1 cal/sec.cm. $^{\circ}\text{C}$ 였으며 선팽창 계수는 $11 \sim 30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 였다.

5. 결 론

금속소결 Bush의 기공에 고체윤활제인 PTFE를 흡착시켜 윤활막을 형성한 고체윤활 금속소결베어링은 다음과 같은 양호한 특성을 나타내었다.

- 1) 금속분말의 입도, 입도분포, 성형압, 소결온도의 조절로 기공율을 6~29%까지 조절할 수 있었다.
- 2) 고체윤활제인 PTFE에 butyl alcohol, methyl isobutyl ketone을 용매로 분산시킨 용액은 금속소결체 표면의 소수성을 친수성으로 변화시켜 흡수성이 매우 양호하였다.
- 3) 고체윤활막의 경화온도는 250~280 $^{\circ}\text{C}$, 경화시간은 20~30분이 가장 적당하였고 함침율은 22%였다.
- 4) 고체윤활베어링의 내열온도는 280~-200 $^{\circ}\text{C}$ 로써 광

범위 하계 사용할 수 있으며 7000분 사용하였을 때 마모율은 0.05 mm로써 사용 수명 특성도 매우 우수하였다.

참 고 문 헌

1. N.K. Myshkin and Hung-Gu Han, *Wear*, **215**, 25~33 (1998).
2. N. Tsuqmoto and K. uzuka, *JMA Journal*, **63**, 368~374 (1997).
3. Hung-Gu Han and Hosung Kong., *Journal Of KSTLE*, **14**(4), 72~78 (1998).
4. Il bae, Hosung Kong, Young-pil Park. *Journal of KSTLE*, **13**(3), 20~27 (1997).
5. Ashby, M.F. Abulawi J and Kong, H., *STLE Tribology Trans*, **34**, 577~587 (1991).
6. T. Endo, T. Iijima, Y. Kanoko, Y. miyakawa and M. Nishmura, *Wear*, **190**, 219~225 (1995).