

유체동압 함유소결베어링의 마찰특성

Friction Characteristics of Oil-impregnated Sintered-Metal Bearing

정광섭, 김병주, 정대현*, 박왕식*, 이 호*, 이영제**

성균관대학교 대학원, * 삼성전기(주), ** 성균관대학교 기계공학부

1. 서 론

현재 널리 보급되어 있는 볼베어링은 몇 개의 볼에 의해 작동하기에 회전이 불균일하며 진동과 소음이 크다. 이는 고속에서 한계를 갖는 주된 원인이 되고 있다. 또한 그리스의 손실로 인한 수명의 단축이나, 유출된 그리스로 인한 손상은 제품의 내구성에 치명적인 결과를 초래한다. 더욱이 기존에 사용하는 소형 정밀 베어링은 전량 수입에 의존하고 있으며, 기술 선진국의 기술 이전 회피로 개발이 어려우며, 수입물량도 확보하기 어려운 상황이다.

이를 극복하기 위한 하나의 방법이 볼과 그리스를 대신해서 유체의 압력을 이용한 유체동압베어링의 개발이다.

유체동압을 이용한 베어링의 장점은 그리스의 누유가 없고, 이로 인한 설계상의 제약이 없으며, 볼베어링으로는 불가능한 고속회전에 적합하고, 안정성이 뛰어나며 회전이 균일하여 제품의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. [4,5]

함유소결베어링은 다공성의 조직을 가지고 있으며 기공 내에 오일이 함유되어 있다. 축이 회전함에 따라 펌핑작용으로 인하여 베어링의 기공 내에 있던 오일이 유출되어 틈새에서 윤활작용을 하다가 축이 정지하면 틈새에 있던 오일이 모세관력에 따라 소결베어링의 기공 속으로 들어간다. 이러한 베어링에 축방향 힘을 만들어 유체의 동압력 발생을 용이하게 하여 하중을 지지하고 접촉면적을 감소시키므로 마찰력을 줄이는 효과를 나타내게 된다. [2]

이러한 유체동압 함유소결베어링은 진동과 소음이 적고, 저렴하며 구조가 간단

하고, 급유기구를 필요로 하지 않는 자기윤활(self-lubrication)특성과 생산성 등 많은 장점을 가지고 그 사용범위가 점차 광범위하게 넓어지고 있지만, 저속상태에서의 유막형성, 고속상태에서 기름의 누유, 고하중상태에서 강도와 기공의 늘어남과 출발과 정지 시에 발생하는 두 금속간의 직접 접촉을 피할 수 없는 것과 같은 해결해야 하는 문제를 가지고 있다.[5,7]

본 연구에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 유체동압 함유소결베어링의 마찰특성을 알아보고자 한다.

먼저 설계한 유체동압 함유소결베어링(S-Bearing)의 속도변화, 하중변화에 따른 마찰 특성을 관찰하고 기존의 볼베어링의 마찰특성과 현재 일본에서 양산되고 있는 축방향힘을 가진 유체동압 함유소결베어링(J1-Bearing)과 진원형의 유체동압 함유소결베어링(J2-Bearing)의 마찰특성을 비교하여 베어링의 특성을 파악한다.

2. 실험 및 결과

2.1 베어링제작

일반적으로 함유소결베어링은 동계와 철계, 또는 동철계를 사용하지만 현재는 기기장치 등에 대한 사용조건의 다양화에 따라 베어링의 성능향상과 사용조건 범위를 확대시키기 위한 여러 가지 베어링 재료가 개발, 사용되고 있다.

본 실험에서는 Fe 40%, Cu 60%의 분말 재료를 사용해서 가압성형하여 용융점보다

낮은 온도에서 가열 성형하는 분말야금(Powder metallurgy)법을 이용하여 베어링 내부에 축방향 홈을 가진 소결베어링에 점도가 55cSt(20℃)인 오일을 함유율 18%이상으로 함유시킨 후 Fig.1과 같이 최종 교정하여 베어링을 제조하였다.

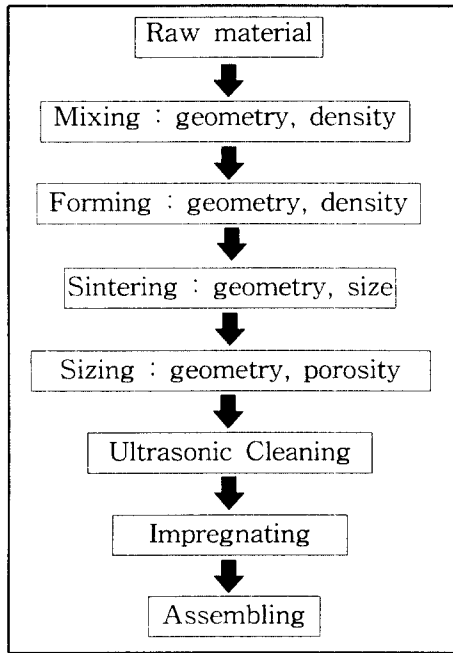


Fig.1 Process of sintered metal bearing

새로 개발된 S-Bearing의 내면 형상을 측정된 결과가 Fig.2에 나타나 있고 참고로 일본 제품과의 성능비교에 사용될 축방향 홈을 갖는 J1-Bearing(일본 양산품)의 내면 형상이 Fig.3에 나타나 있다.

유체 동압을 발생시키기 위해서 S-Bearing에 첨가한 축방향 홈은 Step groove를 사용하고 6개의 홈, 깊이 5 μ m, 홈폭비는 6 : 4로 설계하였다

비교대상인 J1-Bearing은 Step groove를 사용하였고 6개의 홈, 깊이 7 μ m, 홈폭비는 5 : 5로 설계된 베어링이다.

2.2 실험 장치 및 방법

본 실험에서 사용한 시험기는 Fig.4와 같이 일반 저어널베어링 시험기를 자체 제작

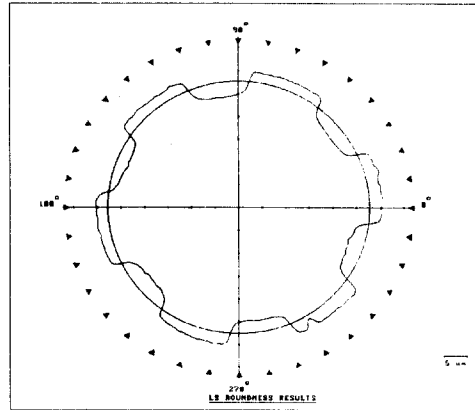


Fig.2 Inner surface geometry of S-Bearing

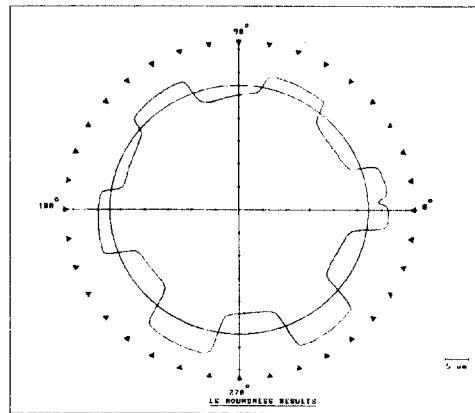


Fig.3 Inner surface geometry of J1-Bearing

하여 사용하였다.

이 시험기는 Controller가 부착되어 있는 DC 모터에 축을 연결해서 양쪽을 지지하고 마찰력을 측정하기 위하여 베어링에 홀더를 부착하고 축에 결합한다. 하중은 베어링의 위에서 수직하중을 주며, 마찰력은 홀더에 접촉되어 있는 로드셀을 통해서 인디케이터로 측정하였다. 또한 외부환경에 대한 변수를 최대한 줄이기 위하여 밀봉케이스를 제작하여 실험중의 온도와 습도의 환경조건이 거의 일정하게 유지될 수 있도록 하였다.

실험은 먼저 상온의 조건에서 S-Bearing에 대한 하중 변화와 속도변화에 따른 마

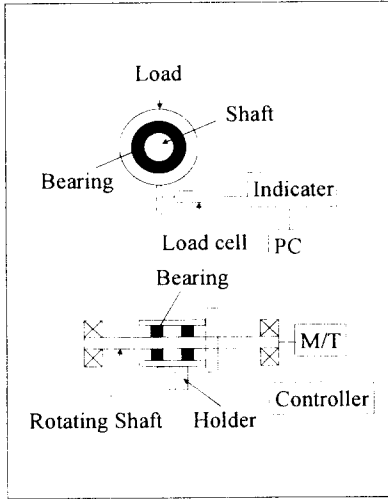


Fig.4 Schematic diagram

찰특성을 관찰하기 위해서 하중은 0.3N, 4.9N, 9.8N, 19.6N으로 변화시키고, 속도는 1000, 3000, 5000, 7000, 8000rpm으로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

다음으로 개발된 S-Bearing의 성능을 비교하기 위해서 같은 실험조건에서 현재 일본에서 양산되고 있는 groove가 있는 베어링(J1-Bearing)과 groove가 없는 진원형 베어링(J2-Bearing)에 대해서 실험을 수행하였다.

또한 기존에 사용되고 있는 볼베어링과의 성능 비교를 위해서 생산중인 모터에 S, J1, J2-Bearing과 Ball Bearing을 채용하고 동일한 로터를 사용하여 마찰 토크를 측정하였고, 각각의 전기적 특성을 비교하기 위해서 정상전류, 기동시간, Jitter 등을 측정하였다.

2.3 실험결과 및 고찰

2.3.1 S-Bearing에 대한 마찰특성

Fig.5의 일정한 속도(7000rpm)에서 하중이 증가함(0.3N, 4.9N, 9.8N, 19.6N)에 따른 베어링의 마찰특성에 대해서 살펴보면 하중이 증가함에 따라 유막형성이 불안정하여지므로 베어링 내에서의 윤활이 유체윤활의 상태에서 경계윤활의 상태로 바뀌면서 급속간의 직접적인 접촉이 일어나고 있다. 이로 인해 마찰력

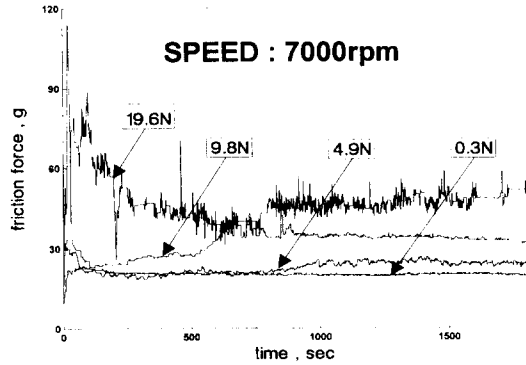


Fig.5 Friction due to load variation

이 증가하고 있으며, 불안정한 부분이 많아지고 있는 것을 볼 수 있다.

0.3N과 4.9N에서 측정된 마찰력의 차이는 크지 않지만 하중이 증가함에 따라 접촉으로 불안정해지는 현상이 관찰되고 있으며, 9.8N은 마찰력이 두배정도로 크게 뛰며 접촉이 증가하여 불안정한 정도가 심해지고 그 구간도 점차 증가되고있는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 높은 하중으로 인한 유막형성이 절대적으로 부족해서 나타나는 것으로 판단된다. 19.6N이 되면 마찰력도 크게 증가될 뿐만 아니라 전 구간이 유압의 부족이 일어나고 이로 인해서 급속간의 직접적인 접촉이 심하게 일어나는 것으로 생각된다.

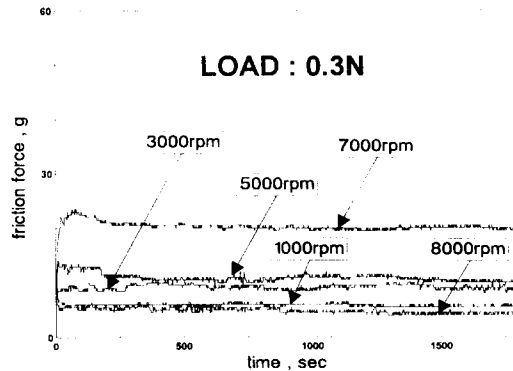


Fig.6 Friction due to speed variation

일정한 하중 조건(0.3N)에서 속도가 증가함(1000, 3000, 5000, 7000, 8000rpm)에 따른 베어링의 마찰특성을 살펴보면 7000rpm까지는

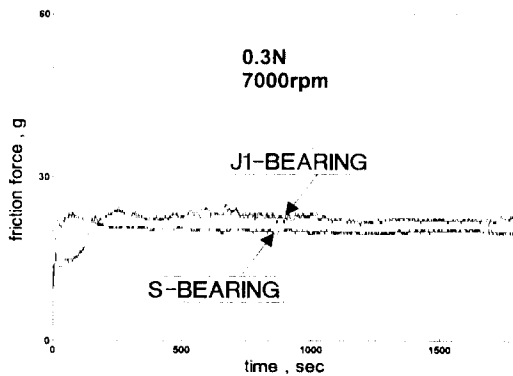
속도가 증가할수록 전단력이 커지고 완전 유체마찰이 아닌 금속간의 접촉으로 인해서 마찰력이 증가하다가 고속 조건(8000rpm)에서 경계윤활이 아닌 완전 유체 윤활영역으로 들어가면서 마찰력이 급격하게 떨어지는 것이 Fig.6에 나타나있다.

그러므로 저속 조건에서는 흠의 존재가 유체 마찰에 큰 영향을 미치지 못했지만 고속 조건이 되면서 흠이 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

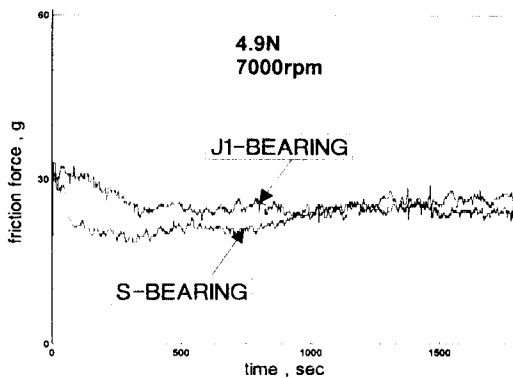
2.3.2. 일본베어링과의 비교

2.3.2.1 Grooved 베어링과의 비교

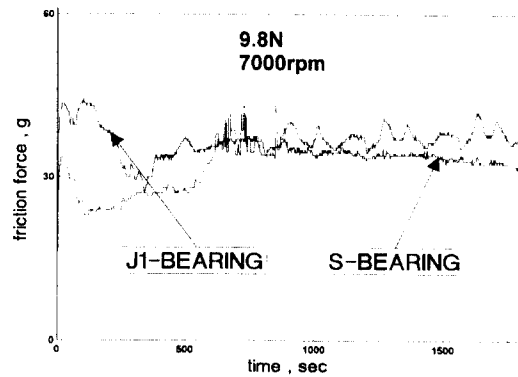
Cu(59.2%), Fe(40%), Sn(0.8%)의 원재료로 함유율 21(Vol %)과 다른 형상(흠길이, 폭비)을 가지고 현재 양산중인 일본베어링(J1-Bearing)과 마찰특성을 비교했다



(a) 0.3N, 7000rpm



(b) 4.9N, 7000rpm



(c) 9.8N, 7000rpm

Fig.7 Friction of S-bearing and J1-bearing with load variation

Fig.7은 하중변화에 따른 S-Bearing과 J1-Bearing의 마찰력을 나타낸 것이다.

J1-Bearing도 하중의 변화에 따라서 마찰력이 증가되고 유막형성이 절대적으로 부족해지는 현상을 보이고 있다. 그런데 하중변화에 따라 S-Bearing과 J1-Bearing의 마찰력이 약 10%의 차이가 나는 것은 설계된 축방향의 흠 영향이 J1-Bearing보다 S-Bearing이 우수하기 때문이다.

Fig.8은 속도변화에 대한 마찰력을 나타낸 것이다. J1-Bearing과 7000rpm까지 마찰력이 10~30%의 차이를 보이고 있지만 8000rpm에서 흠의 영향으로 S-Bearing과 J1-Bearing의 마찰력이 약 70%의 차이를 보이고 있다. 이는 7000rpm까지는 흠의 영향이 마찰력에 크게 작용하지 못하지만 8000rpm에서부터 흠의 영향이 뚜렷하게 나타난다.

이것으로 볼 때 저속과 고속에서 모두 S-Bearing 흠의 특성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

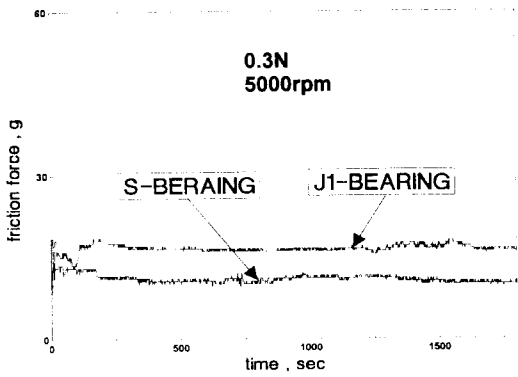
2.3.2.2 진원형 베어링과의 비교

Cu(75%), Fe(20%), Sn(5%)의 원재료로 함유율 18~24(Vol %)를 가진 진원형의 일본베어링(J2-Bearing)과 마찰특성에 대한 비교가 Fig.9에 나타나 있다.

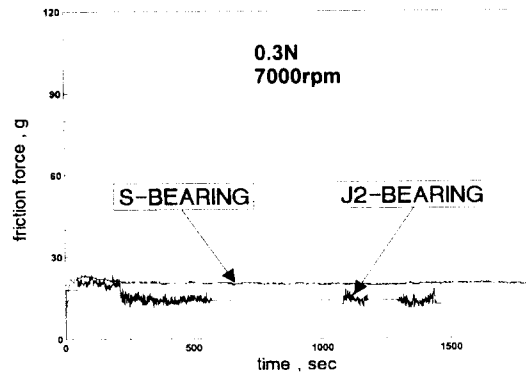
J2-Bearing은 0.3N이하의 하중에서 S-Bear

ing보다 약10%의 마찰력이 적게 나타나고 있다. 이는 진원형 베어링(J2-Bearing)의 경우 비진원형(S-Bearing)에 비해 저하중에서 유체윤활의 효과가 크기 때문으로 생각된다.

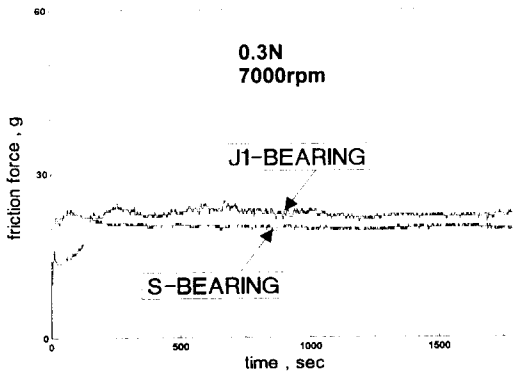
그러나 어느 정도의 하중이 가해지면 유압의 발생이 쉬운 S-Bearing은 접촉이 J2-Bearing보다 적고 유막형성이 용이한 반면에 J2-Bearing은 접촉이 매우 심해지고 유막형성



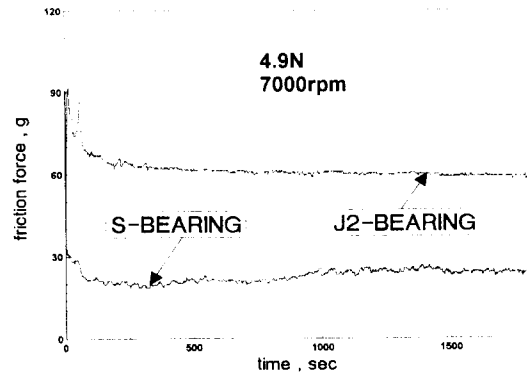
(a) 0.3N, 5000rpm



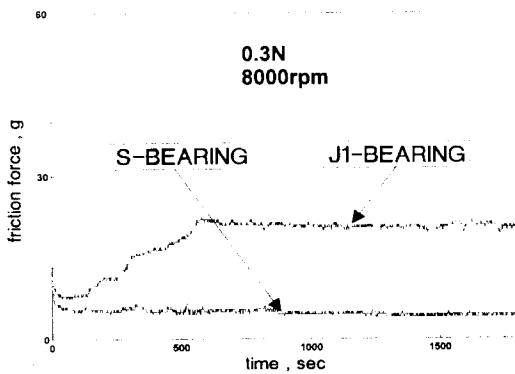
(a) 0.3N, 7000rpm



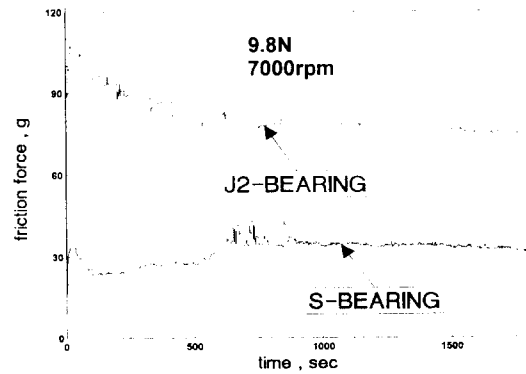
(b) 0.3N, 7000rpm



(b) 4.9N, 7000rpm



(c) 0.3N, 8000rpm



(c) 9.8N, 7000rpm

Fig.8 Friction of S-bearing and J1-bearing with speed variation

Fig.9 Friction of S-Bearing and J2-bearing with load variation

이 어려워서 마찰력이 2배이상 현저하게 차이가 발생한다.

2.3.3 볼베어링과 비교

Fig.10은 볼베어링과 저어널형 베어링(S, J1, j2)을 모터에 조립하여 토크를 측정 한 것이다.

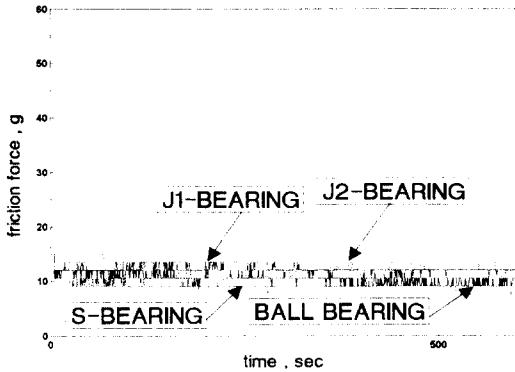


Fig.10 Friction of bearings in scanner motor

볼베어링과 S-Bearing의 모터에서 마찰 토크의 차이는 거의 미소하게 측정되었다.

두 베어링간의 마찰력이 거의 차이가 없지만 볼베어링은 소형 베어링의 제작이 어렵고 소결베어링에 비해서 가격이 비싸고 그리스를 사용하므로 그리스 누유로 인한 제품에 치명적인 손상을 입히기 쉬우며, 고속에서 볼의 접촉으로 회전이 불안정하기 때문에 소형 정밀제품에 있어서 볼베어링보다 유체동압 함유소결베어링이 사용하기 용이할 것이다.

2.3.4 전기적 특성(정상전류, 기동시간, Jitter)측정

전기적 특성은 개발된 S-Bearing의 상품화 가능성을 파악하기 위해서 Scanner 모터를 사용하여 양산품에서 정상전류, 기동시간, Jitter를 측정하였다.

정상전류는 제품이 정상적으로 기동할 때의 전류치를 말하는 것으로 전류치는 제품의 전력소요에 영향을 미친다.

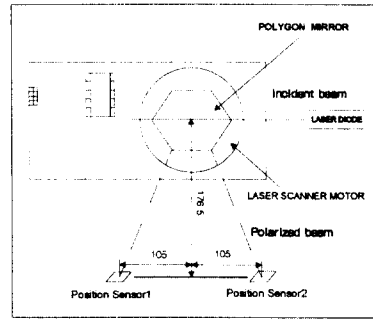


Fig.11 Test of Jitter

Bearing in Motor	Ball Bearing	S-Bearing	J1-Bearing	
Motor rpm	11244	11244	11244	
Rating current (mA)	152.0	150.8	159.0	
Starting time (sec)	3.40	3.12	3.22	
Jitter (%)	LF	0.0073	0.0069	0.0070
	RF	0.0057	0.0063	0.0064

Table1 Electrical Characteristics

기동시간은 스타트 신호를 High에서 Low로 바뀐 순간부터 전 사양을 만족시키고 모터에서 Ready신호가 출력될 때까지의 시간, 즉 정상전류가 출력될 때까지의 시간을 말한다.

Jitter는 정격의 회전수로 회전시킨 Polygon Laser광을 입사하고 그 반사주사 Beam이 2개의 Sensor를 통과하는 시간간격에서 구한다. LF는 측정한 전체에서 최대 및 최소 사이의 차이를 전체평균으로 나눈 값을 나타내고, RF는 측정치중 임의의 6개의 최대와 최소의 차이를 평균으로 나눈 값을 말한다. 측정방법은 Fig.11에 나타나 있다.

Table.1은 모터의 spec과 각 베어링의 전기적 특성 측정치를 나타낸다.

볼베어링이나 J1-Bearing에 비해서 S-Bearing이 측정된 정상전류의 값을 보면 전력의 소비가 적고 유체동압 함유소결베어링(S-Bea

ring, J1-Bearing)이 볼베어링 보다 빠르게 정상전류의 영역으로 들어간다. 즉, 기동시간이 빠르다. 또한 두 유체동압 함유소결베어링에 있어서 J1-Bearing은 S-Bearing보다 늦음을 알 수 있다. 회전안전성을 나타내는 Jitter에서 RF는 볼베어링이 우수하나 LF는 S-Bearing, J1-Bearing이 우수하다.

3. 결 론

본 연구에서는 설계한 홈을 가진 유체동압 함유소결베어링의 속도변화 및 하중변화에 따른 마찰특성과 기존의 볼베어링과 현재 생산되고 있는 일본베어링과의 마찰특성을 비교하고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 개발한 S-Bearing은 하중이 0.3N, 4.9N, 9.8N에서 일본제품에 비해 10~20%의 마찰력의 차이를 나타내었는데 이는 설계된 베어링 형상이 유체동압 발생을 촉진시킨 결과이다.

2. S-Bearing은 1000rpm, 3000rpm, 5000rpm, 7000rpm에서는 유막형성이 불균일하여 속도에 따라 마찰력이 상승하였으나 8000rpm 이상)에서는 충분한 유막의 형성으로 매우 낮은 마찰력을 나타내었다.

3. S-Bearing은 일본제품이나 볼베어링에 비해 정상전류, 기동시간, Jitter의 측정치가 매우 우수하다.

4. 홈을 가진 함유소결베어링이 진원형의 함유소결베어링보다 고하중에서 유막의 형성이 용이하고 회전 안전성이 좋다.

참 고 문 헌

[1] V.T. Morgan and A. Cameron, "Mechanism of Lubrication in Porous Metal Bearings", Proceedings Conf. on Lubrication and Wear, pp.151-157, 1957
 [2] H. Shikata, "Sintered bearing", Journal of Japan Society of Lubrication Engineers, vol.30, pp.573-578, 1985
 [3] W.A. Glaeser, Materials for Tribology, Elsevier, pp.55-59, 1992
 [4] 축수설계메뉴얼, Porite(주), pp.1-20

[5] 소결합유축수, 일본과학야금(주) 상품개발 연구소, pp.1-20

[6] Z. Rymuza, Tribology of Miniature Systems, Elsevier, pp.406-409, 1989

[7] R. Raman, "Experimental Studies on wear in oil-impregnated sintered bearings", Wear, vol.155, pp.73-81, 1992

[8] Y. Quan, "Theoretical Analysis and Experimental Investigation of a Porous Metal Bearing", Tribology, vol.18, pp.67-73, 1985

[9] R. Gorla, "Flow and Thermal Characteristics of a Circular Porous Bearing", Wear, vol.94, pp.157-174, 1984

[10] A. Braun, "Porous Bearings", Tribology International, vol.15, pp.235-242, 1982

[11] V. Morgan, "Porous Metal Bearings", Tribology International, vol.2, pp.107-105, 1969