

# 판 스프링 패드 공기베어링 성능에 관한 실험적 연구 (An Experimental Study on Performances of Leaf Spring Pad Air Bearing)

\*이 회 락 (Heerak Lee), \*\*제 양 규 (Yang-Gyu Jei),

\*머신나우쥬

\*\*한동대학교 기계제어시스템 공학부

\*Machinenow. Co.Ltd.

\*\*School of Mechanical and Control System Engineering  
Handong University

## ABSTRACT

As the rotating speed of rotors is increased, the instability and power loss become serious problems. Gas bearings are introduced as a good solution to those problems. But in the development of gas bearings, high load capacity and high damping force to vibrations are required. In this study a new air bearing using leaf spring pad is introduced to improve load capacity and damping force. The experimental results of the leaf spring pad air bearings show high load capacity and high damping forces. And the results show that leaf spring pad air bearings can be simultaneously acted as radial and thrust bearings

**key words:** leaf spring pad, air bearing, load capacity, lift-off speed, damping force

## 1. 서 론

회전기계의 고속화에 따라 발생하는 진동문제와 동력손실은 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. 동력손실이 가장 크게 발생하는 부위 중의 하나가 베어링인데 회전기계 고속화와 베어링에서의 동력손실 문제를 해결하기 위해서 최근 공기베어링이 좋은 대안으로 제시되고 있다. 공기베어링은 다른 오일 베어링이나 구름베어링에 비해 마찰 저항이 작고 열 발생이 적은 이점이 있다. 공기베어링은 오래 전부터 기본적인 개발이 진행되었으나 최근의 회전

기계 고속화에 따라 아주 좋은 대안으로 제시됨에 따라 최근 많은 회사와 연구기관에서 새롭게 연구 및 개발을 진행 중에 있다.

공기베어링으로서 플레인 저어널 베어링(plain journal bearing)과 플레인 저어널 베어링에 홈을 낸 헤링본 저어널 베어링(Herringbone journal bearing)이 있는데 이들은 고속에서의 불안정 진동이 발생하여 높은 속도에서는 사용하기 어려운 문제가 있다. 최근 많은 연구가 진행되고 있는 공기베어링으로서 포일 베어링(foil bearing)이 있으나(Fig.5) 진동감쇠력이 작아서 위험속

도를 통과하기 어렵고 하중지지력이 낮은 단점이 있다.

본 연구에서는 새로운 형태의 공기베어링 시스템인 판스프링 패드 공기베어링을 소개하고 기초 성능특성 살펴보고자 한다.

## 2. 판 스프링 패드 공기베어링

Fig. 1 은 새로운 공기베어링인 판스프링 패드 공기베어링에 대한 개념도를 나타내고 있다.

Fig. 1 에서 보듯이 스러스트 패드에는 스파이럴 그루브(spiral groove)들이 형성되어 있다. 이들은 축이 회전할 때 외부 공기를 내부로 유입시키는 역할과 축 방향 하중을 지지할 수 있는 압력을 발생시키는 역할을 한다. 스러스트 패드에 의한 공기 유입은 판스프링 패드 경계면의 압력을 상승시켜 축 부상속도와 저널 하중지지력에 큰 도움을 줄 수 있다. 뿐만 아니라 감쇠 공간의 압력도 같이 상승시킬 수 있어 진동감쇠력을 더욱 높여줄 수 있으리라 기대된다.

판스프링 패드는 일정한 두께와 곡률을 갖고 있으며, 축 회전방향을 따라 윤활면이 선형적으로 줄여지도록 되어있다. 윤활틈새를 패드면을 따라 줄여줌으로써 쉘기막 작용(wedge action)에 의한 압력을 발생시켜 저널 축 하중 용량을 높일 수 있다.

Fig. 2 와 Fig. 3 은 기초 이론을 통해 설계. 제작된 판스프링 패드 공기베어링을

나타내고 있다. 판스프링 패드 두께와 틈새 크기에 따라 네 가지 타입(type)으로 제작하였다. 이들에 대한 자세한 구조 및 사양은 Table 1 에 정리하였다.

## 3. 실험장치와 방법

Fig. 5 와 Fig.6 은 판스프링 패드 공기베어링 성능 실험을 위한 실험장치 사진을 나타내고 있다. 로터는 정압 공기베어링으로 지지되어 있으며 최고 60,000 rpm 의 고속모터를 이용하여 구동되도록 하였다. 여기에 판스프링 패드 공기베어링을 장착하였으며 공기 실린더를 이용하여 부하를 가해주고 로드셀을 이용하여 측정하였다. 축 부상 회전수는 저널과 판스프링 패드 베어링의 마찰 토크를 측정하여 알아 볼 수 있다. 즉, 축이 완전히 부상하였을 때 (이 시스템의 경우 베어링이 부상함)는 마찰토크는 작은값에서 안정된 상태를 보이지만 부상하지 못하고 축과 베어링이 접촉하였을 때는 상대적으로 매우 큰 값에서 불안정하게 된다. 이 때 마찰 토크는 로터 회전에 의한 베어링 회전을 구속시킬 수 있는 방향에 토크미터를 설치하여 측정하였으며 고속에서 저속으로 진행하며 측정하였다.

그리고 시스템 응답특성을 알아보기 위해 베어링 하우징에 변위센스를 설치하여 베어링에 대한 로터의 상대변위를 측정하였다.

## 4. 실험 결과

동압으로 구동되는 공기베어링 같은 경우 정지시와 저속의 초기 구동시 회전축과 패드면의 접촉(rubbing)으로 인해 윤활면을 상하게 하여 베어링 수명을 단축시킬 우려가 있다. 따라서 회전축이 패드로부터 부상(lift-off)하여 형성되는 최소윤활막을 빠른 시간에 형성시키는 것은 베어링의 안정성 및 내구성에 있어서 매우 중요하다.

Fig. 8 은 판스프링 패드 공기베어링의 네 가지 타입에 대해 스러스트 장착 유무에 따른 축 부상속도를 나타내고 있다. Fig. 8 에서 알 수 있듯이 스러스트 패드를 장착한 것이 그렇지 않은 것에 비해 약 300~3000rpm 빠른 시점에서 축을 부상시켜주고 있음을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급한 스러스트 패드에 의한 저널내부 압력발생이 빠르게 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 틈새 크기와 판스프링 강성 변화에 대해서도 부상속도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 9 는 Type-B 에 대해 스러스트를 장착한 것과 그렇지 않은 상태에서 시스템 응답특성을 나타내고 있다. Fig. 9 에서 알 수 있듯이 1 차 공진영역에서 스러스트 패드를 장착한 것이 그렇지 않은 것에 비해 진폭이 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 스러스트 패드에 의한 진동감쇠력이 발생함을 알 수 있다.

## 5. 결론

새로운 공기베어링 시스템인 판스프링 패드 공기베어링의 중요한 성능변수에 따라 기본적인 하중지지력, 진동감쇠력, 축 부상속도를 확임함에 따라 우수한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 특히, 스러스트 패드 베어링을 장착함에 따라 베어링 성능이 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

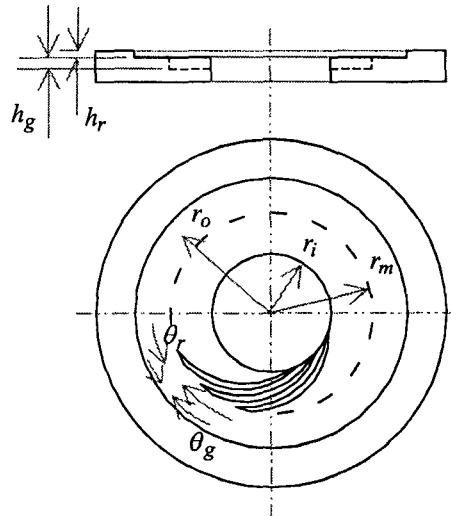
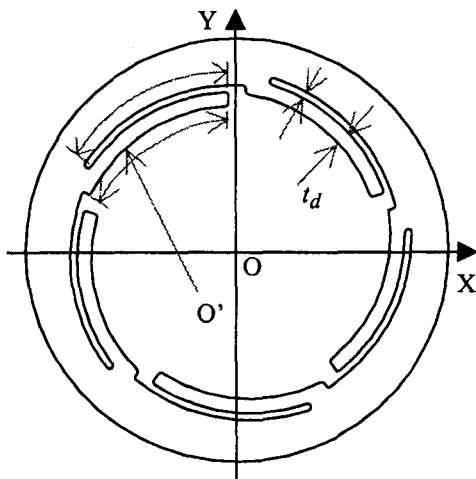
차후에는 이론개발에 따른 성능변수들의 최적화 모델을 개발 할 필요성을 깨달았다. 이를 통해 더욱 더 개선된 베어링 개발이 가능하리라 기대된다.

## 참고문헌

1. Jei, Y.-G., Kim, J.-S., Hong, S.-W., and Jung, S.-Y., "A New Lateral Vibration Damper Using Leaf Springs", ASME J. of Vib. And Acoustics, Vol.121, pp 343-350, 1999
2. Reiger, N.F., "Design of Gas Bearings", RFP-MTI Gas Bearing Design Course, Mechanical Technology Inc., Latham, New York.
3. Gross, W.A., 1980, "Fluid Film Lubrication", John Wiley & Sons, New York
4. Castelli, V. and Pirvics, J., "Review of Numerical Methods in Gas Bearing Film Analysis", J. Lub. Tech., Trans. ASME, Vol. 90, No. 4, pp 777-792, 1968

**Table 1 Specifications of leaf spring pad bearing**

	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D
Diameter of journal, $d_j$ [mm]	35.0			
Diameter of shaft, $d_s$ [mm]	18.0			
Diameter of bearing, $d_b$ [mm]	55.0			
Length of bearing, $l_b$ [mm]	40.0			
Number of leaf, $N_l$	5			
Curvature radius of leaf, $\rho$ [mm]	17.54	17.61	17.67	17.61
Distance from leaf center to bearing center in the X-dir., $x_e$ [mm]	0.053	0.053	0.353	0.053
Distance from leaf center to bearing center in the Y-dir., $y_e$ [mm]	0.038	0.038	0.118	0.038
Length of lubrication surface of leaf, $l_f$ [mm]	20.0			
Length of damping space of leaf, $l_r$ [mm]	19.0			
Thickness of leaf, $t_p$ [mm]	1.0	1.0	1.0	0.8
Height of damping space, $t_d$ [mm]	0.5			
Number of spiral grooves, $N_s$	12			
Groove width ratio, $\psi (= \theta_g / \theta_r)$	0.6			
Depth of groove, $h_g$ [mm]	0.06			
Film thickness ratio, $h (= h_s / h_g)$	0.3			
Groove length fraction, $R (= (r_m - r_i) / (r_o - r_i))$	1.6			
Modulus of elasticity, $E$ [GPa]	210			



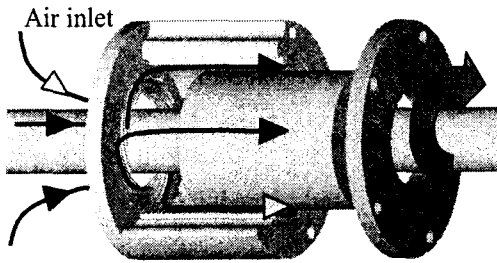


Fig. 1 Schematic diagram of leaf spring pad bearing

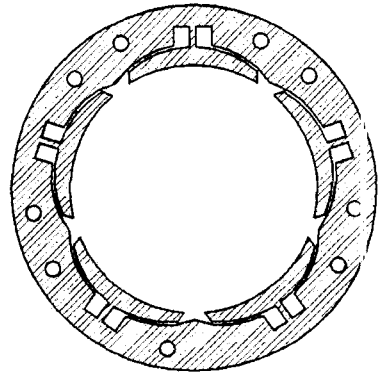


Fig. 4 Flexure pivot bearing

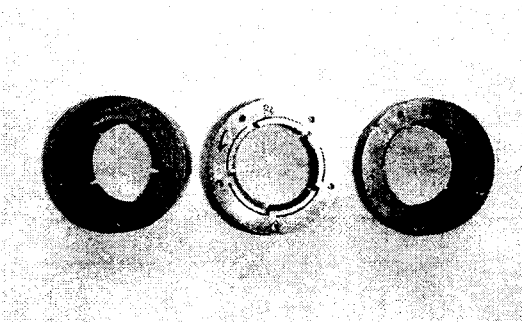


Fig. 2 Photograph of leaf spring journal bearing

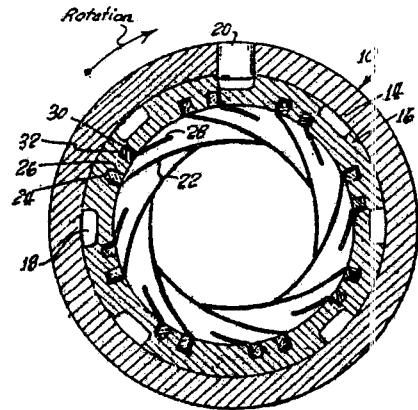


Fig. 5 Foil bearing

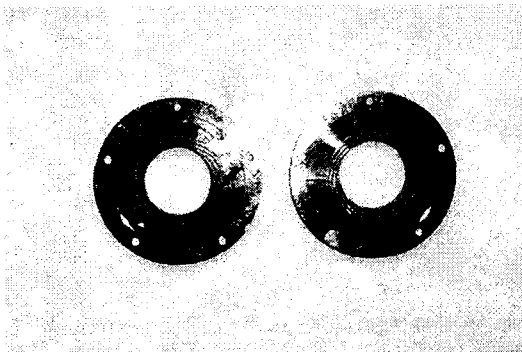


Fig. 3 Photograph of thrust pad bearing

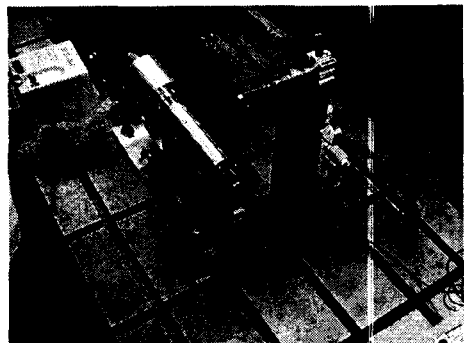


Fig. 6 Photographs of test apparatus for leaf spring pad bearing ( )

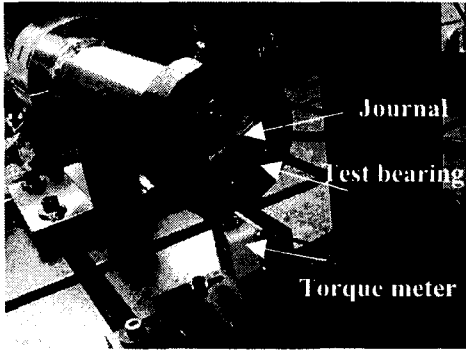


Fig.7 Photographs of test apparatus for leaf spring pad bearing

Table 2 Lift-off speed of leaf spring pad bearings

(w=20N)

	Lift-off speed (rpm)	
	With thrust brg.	Without thrust brg.
Type-A	7200	9000
Type-B	6900	7200
Type-C	16000	18000
Type-D	15000	18000

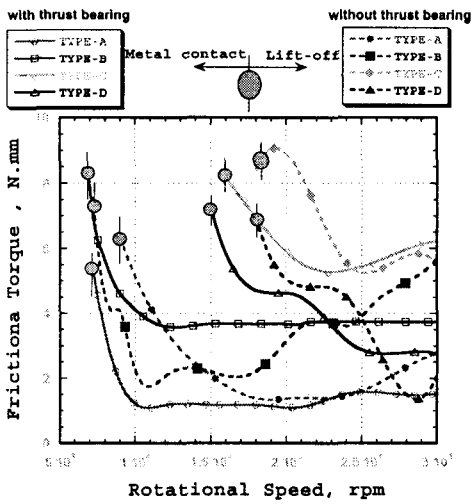


Fig.8 Lift-off speed of leaf spring pad bearings

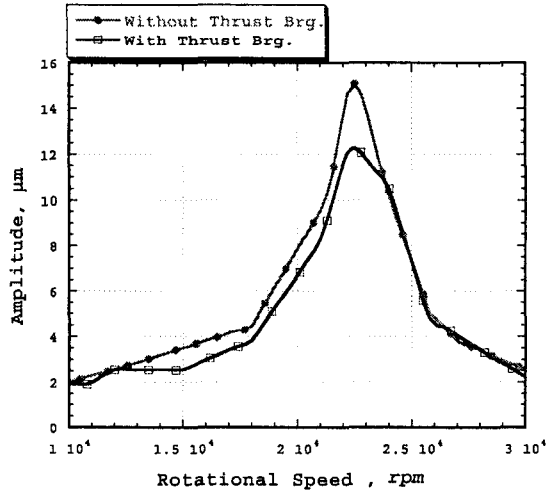


Fig.9 Unbalance response for leaf spring pad bearing(type-B)