

초고속 에어베어링 스피들 개발

Development of an Ultra-highspeed Air Bearing Spindle

*하양협¹, 이정환¹, #이득우², 오현성³, 이춘만⁴, 정원지⁴

*Y. H. Ha¹, J. H. Lee¹, #D. W. Lee(dwlee@pusan.ac.kr)², H. S. Oh³, C. M. Lee⁴, W. J. Chung⁴

¹ 한국기계연구원 재료연구소, ² 부산대학교 나노과학기술학부, ³ 티유폴리탄, ⁴ 창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Air Bearing, Air Turbine, Metal Foam, Porous Bearing

1. 서론

최근 급격히 발전하고 있는 IT기술의 영향으로 고속, 고품위 가공, 다축 복합가공, 최첨단 IT융합 가공 기술의 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 휴대폰, 카메라 등 이동통신 부품, 임플란트 구성부품 등 초소형 정밀부품에서 선박, 항공우주, 풍력발전 산업의 대형 가공물에 이르기까지 고기능화 기술, 다축 제어기술과 복잡한 형상에 대한 가공기술이 발전하고 있다.¹



Fig. 1 Application of Recent Machining Technology

일반적으로 공작기계의 고성능화에 대한 요구 조건으로는 주축의 고강성, 높은 회전정밀도, 저발열, 장수명을 들 수 있으며, 이러한 특성과 함께 가공능률과 가공정밀도의 향상을 위해 주축의 고속화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 공기베어링은 상대운동하는 면과 면 사이에 수 ~ 수십 μm 의 공기막을 통하여 윤활하기 때문에 금속간의 직접 접촉이 발생하지 않으므로 마찰열이 거의 발생하지 않아서 고속가공 기술의 적용에 유리하고, 이에 따라 생산성 향상 및 납기 시간 단축을 기대할 수 있다. 또한 윤활유를 사용하지 않기 때문에 청정 환경을 요구하는 분야에도 적용할 수 있는 장점이 있으며 전통적인 전기·화학적 미세가공을 대체하는 가공방법으로 부각되고 있다.² 그러나 압축성이 높은 공기의 특성상 다른 방식의 베어링에 비해 부하용량이 낮아서 부하용량을 올리기 위해 급기방식, 급기구의 위치, 배열 등에 대한 다양한 연구가 시도되고 있다.³⁻⁷

2. 시스템 구성

2.1 구동 시스템

대부분의 에어스핀들의 경우 모터가 스피들에 내장된 빌트인(built-in) 구조로 되어 있다. 하지만 빌트인 모터의 경우 모터장착 부위에 대한 설계 및 모터 구동 시 발생하는 열을 냉각하는 냉각시스템 추가 등으로 인해 시스템의 소형화가 어려우며 원가 상승 등의 문제가 있으므로 에어터빈 구동 방식을 채택한다. Fig. 2는 에어터빈 구동의 블레이드 형상을 나타낸다.



Fig. 2 Blade shape of an air turbine drive

2.2 스러스트 베어링(Thrust bearing)

Fig. 4는 오리피스 방식을 적용한 스러스트 베어링과 다공질 소재를 적용한 스러스트 베어링을 비교한 것이다. 오리피스 형상의 스러스트 베어링은 패드에 수 ~ 수십 개의 미세홀을 가공하여 제작한다. Fig. 3은 12개의 홀이 적용된 스러스트 베어링에 분포하는 압력을 나타낸다.⁸ 다공질 소재를 사용할 경우 축방향으로

발생하는 하중이 고르게 분포하게 되고 부하지지 능력이 증가하게 되어서 에어베어링의 단점을 보완할 수 있다.

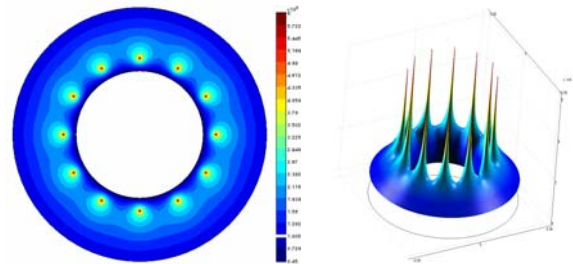


Fig. 3 Pressure distribution of an orifice type thrust bearing(12 holes)

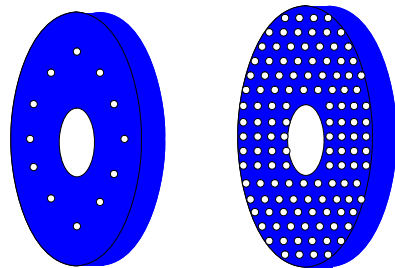


Fig. 4 Comparison between an orifice type and a porous type

2.3 레이디얼 베어링(Radial bearing)

레이디얼 베어링은 전통적인 오리피스 방식을 적용하여 수열의 홀을 가공하여 제작하고 있는 실정이다. 이 방법은 수가공을 하여야 하기 때문에 부하 용량을 증가시키기 위한 가공 홀의 수에 제한이 있다. 이를 로터스(Lotus) 방식의 발포금속을 적용한다. Fig. 5는 기존의 오리피스 방식의 레이디얼 베어링과 발포금속을 적용한 레이디얼 베어링의 형상을 비교한 것이다.



Fig. 5 Comparison between an orifice type and a metal foam

2.4 샤프트 경량화

Fig. 6은 Mg 압출소재 및 발포 금속을 적용하여 샤프트의 중량을 감소시키는 방법을 나타낸 것이다. 에어터빈 구동의 경우, 회전수는 샤프트의 중량에 크게 영향을 받으므로, 기존의 SM45C 소재에 이러한 방법을 적용하면 10~20%의 중량 감소를 기대할 수 있고, 이에 따라 스피들의 속도도 증가할 것으로 생각된다.



Fig. 6 Weight reduction using extruded Mg Material or metal foam

2.5 스프인들 설계

Fig. 7은 제작을 위한 스프인들의 형상을 나타낸다. 스프인들의 크기는 직경 84mm, 길이 120mm, 샤프트의 직경은 20mm이다.

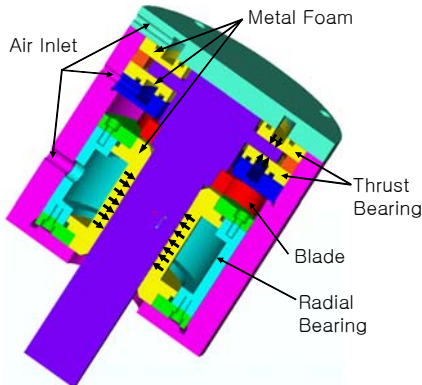


Fig. 7 Air bearing spindle model

2.6 고유진동수 해석

설계된 스프인들에 대한 진동 해석은 ARMD™ V5.6으로 수행하였다. Table 1은 해석을 위한 조건이고, Fig. 8은 해석 모델이며, Table 2는 결과를 나타낸다.

Table 1 Mechanical properties of the material

Properties	Unit	Value
Density	kg/m3	7,860
Young's Modulus	Gpa	200
Poisson's ratio	-	0.266
Yield Strength	Gpa	0.25

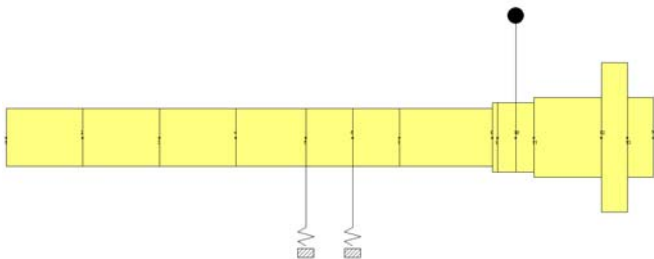


Fig. 8 Analysis model of the shaft

Table 2 Results of critical speed

Mode #1	Mode #2	Mode #3	Mode #4	Mode #5
1.1305E+04	1.0058E+05	3.4505E+05	7.8729E+05	1.3611E+06

3. 결론

본 연구를 통해서 에어베어링을 이용한 초고속 스프인들을 설계하였으며, 에어베어링의 초고속화를 이루기 위해서 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 컴팩트한 구조로 초고속 스프인들을 개발하기 위해서는 모터 구동 방식보다는 터빈구동 방식이 유리하다.
- (2) 슬러스트 베어링의 부하지지 용량을 증가시키기 위해서는 오리피스 방식보다는 다공질 방식이 유리하다.
- (3) 로터스 방식의 발포금속을 적용하게 되면 기존의 수가공 공정을 없앨 수 있고 부하지지 용량도 증가하게 되는 잇점이 있다.

(4) 터빈 구동 방식은 샤프트의 무게가 회전수에 크게 영향을 미치므로 Mg 압출소재나 발포 금속을 적용하게 되면 고속화에 유리하다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국공작기계공업협회 조사연구2팀, "SIOMTOS 2008 전시출품 현황", 한국공작기계공업협회, 2008.
2. Cheong, M. S., Cho, D. W., Kernel, F. Ehmman., "Identification and control for micro-drilling productivity enhancement", Int. Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 39, pp.1539-1561, 1999.
3. Cunningham, R. E., D. P. and Anderson, W. J., "Steady state experiment on rotating externally pressurized air lubricated journal bearing", Journal of Lubrication Technology, Trans., ASME, pp.336~345, April, 1970.
4. 1. A. Andrisano, A. Maggiore and V. Parenti Castelli, "Experimental Analysis of the dynamic behaviour of externally pressurized porous thrust bearing", 8th International GAS BEARING SYMPOSIUM, pp.311~322, 1981.
5. H. S. Chang, Z. S. Wang and D. C. Sun, "An experimental investigation of the stability of externally pressurized gaslubricated porous thrust bearings", Journal of Lubrication Technology, Vol. 105, pp. 630~637, 1983.
6. Changzhi Cui and Kyosuke Ono, "Theoretical and experimental investigation of an externally pressurized porous annular thrust gas bearing and its optimal design", Journal of Tribology, Vol. 119, pp. 486~492. 1997.
7. S. Yoshimoto and K. Kohno, "Static and dynamic characteristics of aerostatic circular porous thrust bearings(Effect of the shape of the air supply area)", Journal of Tribology, Vol. 123, pp. 501~508, 2001.
8. 오현성, "진공 예압형 에어 패드 베어링의 특성에 관한 연구", 박사학위논문, 부산대학교, 2008.