

전자석 구동기를 적용한 가변예압주축 개발 Development of a Variable Preload Spindle by using Magnetic Actuator

*.#황영국¹, 박정훈¹, 심동수¹

*.#Y. K. Hwang(hyk@hyundai-wia.com)¹, J. H. Park¹, P. S. Shim¹

¹현대위아(주)

Key words : High efficiency spindle, Variable preload, Active magnetic actuator

1. 서론

가변예압기술은 주축 회전수 및 가공조건에 따라 예압을 적절히 가변시키는 방법으로 광범위한 회전이 요구되는 주축에 가장 적합한 예압방법으로 알려져 있다. IBAG, MAZAK, YASDA 등 선진 업체에서는 가변예압기술을 통한 주축의 고능률화에 대해 소개하고 있다. Fig. 1에 보이는 바와 같이 주축의 고속화, 고능률화가 진행될수록 가변예압기술과 같은 예압제어기술에 대한 필요성은 점점 증대될 것이다.

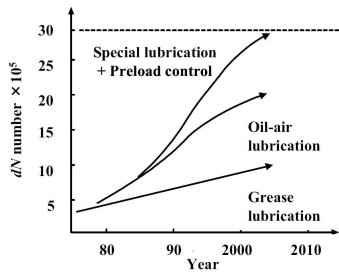


Fig. 1 Change in spindle technologies¹

MAZAK¹ 등 현재 업체에서 소개하고 있는 가변예압방식은 회전수의 범위에 따라 예압을 몇 단계로 나누어 제어하는 방식으로 예압변경이 스텝단위로 제한되는 경우가 대부분이다. 본 논문에서는 스텝 단위의 예압제어가 아닌 모든 속도 영역에서 예압제어가 가능한 새로운 구조의 가변예압장치를 개발하고자 한다. 이에 주축 회전수에 따라 예압을 임의로 조절할 수 있는 새로운 구조의 능동형 전자석 구동기를 개발하였으며, 실제 주축계에 적용하였다. 예압력 제어에 관한 구동실험과 강성실험을 수행하여 개발된 능동형 전자석 구동기와 가변예압주축의 효과를 검증하였다.

2. 능동형 전자석 구동기 개발

공작기계 주축용 구름베어링의 예압조절을 위해 전자석 구동기를 응용한 새로운 구조의 가변예압장치를 개발하였다.

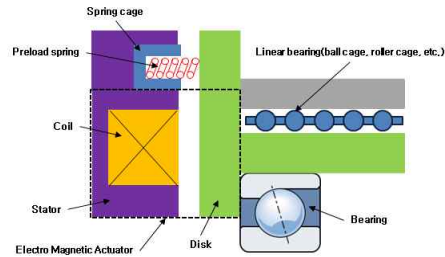


Fig. 2 Conceptual drawing of the active magnetic actuator

Fig. 2는 본 논문에서 예압조절을 위해 고안한 능동형 전자석 구동기의 개념도이다.

능동형 전자석 구동기는 크게 전자석 구동기, 예압용 스프링, 스프링 케이지, 롤러 케이지 등 디스크 안내용 직선베어링으로 구성된다.

예압조절 원리는 다음과 같다. 베어링에 가해지는 예압은 식 (1)을 통해 결정된다.

$$F_p = F_s - F_a + F_f \approx F_s - F_a \quad (1)$$

여기서 F_p 는 예압, F_s 는 스프링력, F_a 는 작동력, F_f 는 마찰력이다.

식 (1)에서 예압은 베어링 수명, 베어링의 허용 최대 접촉응력 등을 제한조건으로 주축회전수에 따라 특정 범위로 주어지는 값으로 베어링 해석을 통해 구할 수 있다. 스프링력은 설계단계에서 결정되는 고정 값이다. 직선베어링의 역할에 의해 디스크의 축 방향 움직임이 원활하다면 마찰력은 무시

할 수 있다. 따라서 베어링에 가해지는 예압은 전자석 구동기의 작동력 변경을 통해 조정할 수 있다. 작동력은 Maxwell stress tensor method, Virtual work method 등으로 부터 예측할 수 있으며, 코일에 공급되는 전류 조절을 통해 제어할 수 있다.

3. 가변예압주축 개발

능동형 전자석 구동기를 적용한 가변예압주축을 개발하였다. 개발 주축의 사양은 Table 1과 같다. 최대 회전수는 24,000rpm(D_mN 216만)이며, 주축 인터페이스 형식은 HSK-A63이다. 주축 회전수에 따라 1,400~2,400N의 예압조절 범위를 가진다.

Table 1 Specifications of the developed spindle

Item	Specification
Shaft interface	HSK-A63
Lubricating method	Oil-air
Preload range [N]	1,400 ~ 2,400

적용된 능동형 전자석 구동기의 예압제어에 대한 성능실험을 수행하였다. 로드셀을 이용하여 제어전류에 따른 작동력 변화를 측정하였다. Fig. 3은 제어전류와 작동력 사이의 실험결과를 나타내고 있다.

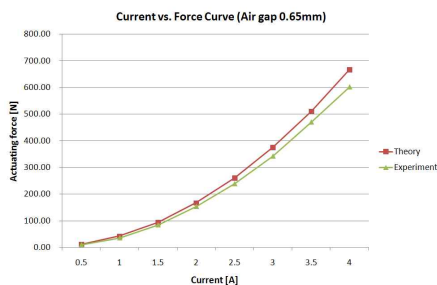


Fig. 3 The measured actuating force according to control current

Maxwell stress tensor method를 이용하여 계산한 예측값과 실험값의 비교결과 15%오차 이내에서 일치하였다. 개발된 능동형 전자석 구동기의 설계 여유를 고려했을 때 설계와 제작 상에는 문제가 없는 것으로 판단하였다. 또한, 반복성과 재현성 등 기본 성능 측면에서도 주축 적용 시 문제가 없는 것으로 나타났다.

능동형 전자석 구동기가 적용된 가변예압주축의 효과를 확인하기 위해 정강성 평가를 수행하였다.

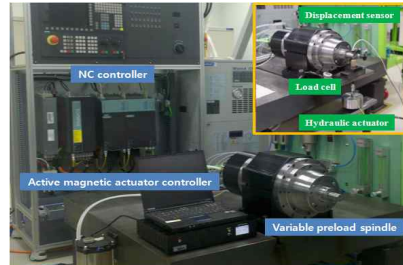


Fig. 4 Experimental set-up

유압구동기, 로드셀, 변위센서를 이용하여 주축계의 굽힘강성을 측정하였다. Fig. 4는 실험사진을 보여주고 있다. 예압변화에 따른 굽힘강성 실험결과 14%의 강성향상 효과를 확인하였다.

4. 결론

예압 제어를 위한 새로운 구조의 능동형 전자석 구동기를 개발하였다. 개발된 시제품에 대한 성능평가를 수행한 후 실제 주축계에 적용하였다. 가변예압주축의 효과를 확인하기 위해 예압제어에 따른 굽힘강성 변화를 측정하였다. 실험결과 예압제어를 통해 주축계의 굽힘강성을 충분히 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 현재 성능평가에 대한 기초 연구를 마친 상태이며, 제안된 구조의 상용화를 위해 환경성과 내구성 평가 등 추가적인 연구를 계속 수행할 계획이다.

후기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업인 “고신뢰 고능력 머싱센터 기술개발”과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Yamazaki, T., Muraki, T., and et al., "Development of a High Performance Spindle for Multitasking Machine Tools," International Journal of Automation Technology, Vol. 3, No. 4, 378-384, 2009.
2. Hwang, Y. K., Lee, C. M., "Development of a newly structured variable preload control device for a spindle rolling bearing by using an electromagnet," International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50, 253-259, 2010.