

원심력을 이용한 자동 가변 예압장치 개발에 관한 연구 A Study on Development of Automatic Pre-load Control System using Centrifugal Force

*김웅¹, 황영국¹, #이춘만², 은인웅³

*W. KIM¹, Y. K. Hwang¹, #C. M. Lee(cmlee@changwon.ac.kr)², I. E. Eun³

¹창원대학교 기계설계공학과, ²창원대학교 기계설계공학과, ³경기공업대학 금형설계과

Key words : Automatic Preload, Centrifugal force, Spindle

1. 서론

공작기계 주축의 회전정도는 가공 후 공작물의 가공정밀도와 직결되는 중요한 요소이고 이 회전정도에 영향을 미치는 중요 원인중의 하나는 축을 지지하는 베어링의 운동오차를 들 수 있다. 일반적으로 베어링 예압이 증가하면 베어링의 강성과 감쇠가 커져서 회전정도가 좋아진다. 하지만 예압이 증가할수록 발열의 원인이 되어 베어링의 수명감소와 주축의 열변형 등의 문제를 야기한다. 최근 가공능률을 향상시키기 위한 주축의 고속화에 대한 요구가 증대하면서 고속회전에 따른 열변형과 이로 인한 회전정도 저하현상이 해결과제로 대두되고 있다.

이에 본 논문에서는 주축의 고속화를 위해 회전수, 부하조건, 온도상승 등에 따라 베어링에 가하는 예압을 가변적으로 제어할 수 있는 자동 가변 예압장치를 개발하는데 그 목적이 있다. 자동 가변 예압방법은 주축 회전수 및 가공조건에 따라 적절한 예압으로 가변시키는 방법으로 광범위한 주축 회전수가 요구되는 주축에 적용되는 예압방식이다.

현재 제어가 쉬운 유압을 이용한 가변예압 방식이 널리 이용되고 있지만 유압을 이용한 가변예압은 회전수, 예압의 상관관계의 정확한 제어가 힘들고 비용이 많이 발생하는 단점이 있다. 본 논문에서는 구름베어링 채용 주축계에 예압을 가할 때 원심체를 이용하여 주축의 회전속도에 따른 원심력 변화에 따라 베어링에 가해지는 예압을 자동으로 조절할 수 있는 원심력을 이용한 자동 가변 예압장치를 개발하고자 한다. 이를 통해 기존의 자동 가변 예압장치에서 필요한 복잡한 기계구성이나 전기장치, 예압장치를 제거할 수 있어 제조비용이 절감되고, 주축회전수-예압의 정확한 상관관계에 대한 구현이 용이하여 정밀한 예압 조절이 가능하고 이를 통해 주축계 전체의 성능을 향상시킬 수 있는 자동 가변 예압장치를 개발하고자 한다.

2. 자동 가변 예압장치 개발

원심력을 이용한 자동가변 예압장치의 개념은 저속 회전시와 고속 회전시 원심력을 받은 원심체에 의해 베어링의 예압을 조절하는 것으로 Fig.1 과 같다. 동작원리는 주축이 회전함에 따라 원심력이 발생하여 주축 표면의 금속이 팽창 될 때, 'Y' 모양의 원심체에 레이디얼 방향으로 전달되는 힘이 축 방향 힘으로 변환되어 베어링에 예압 조절 역할을 한다. 즉, 예압을 조절하기 위해 부가적으로 설치한 원심체에 의해 베어링의 내륜을 원심력에서 변환된 힘으로부터 밀어주고, 이 힘이 전동체를 거쳐 외륜을 밀어주어 최종적으로 주베어링에 적용되는 예압을 제어하는 구조이다.

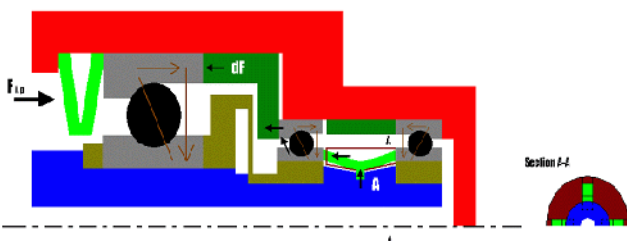


Fig. 1 Automatic Pre-load Control System using Centrifugal Force

본 논문에서는 자동 가변 예압장치의 구조적 안정성 및 설계의 신뢰성을 위해서 Fig.2 와 같이 3D CAD 상용 소프트웨어인 CATIA V5 R17 를 이용하여 구매품 및 제작품을 모두 모델링 하여 제품 제작과 조립 과정에서 생길 수 있는 간섭이나 치구의 어긋남 등을 최소화하였다.

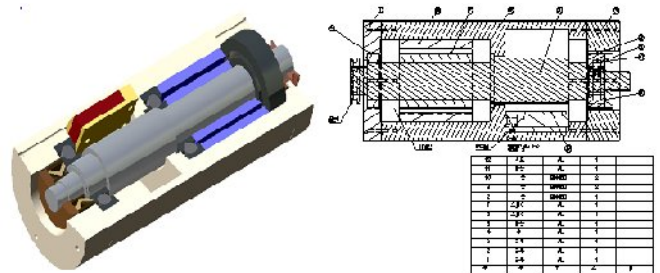


Fig. 2 Modeling of Automatic Pre-load Control System

실제 제작하여야 하는 부분을 더욱 빠르고 정확하게 설계하기 위해서 우선적으로 선정된 베어링, 모터, 로드셀 등을 주어진 치수와 형상에 맞게 정확하게 모델링하여 제작에 직접적으로 반영 하였으며, 전 모델링은 실제 구매품을 구입하기 이전에 주어지는 설계 데이터를 참조하여 미리 모델링 되어짐으로 설계상의 문제점과 구매, 제작 또는 조립에 소요되는 시간을 줄일 수 있었다.

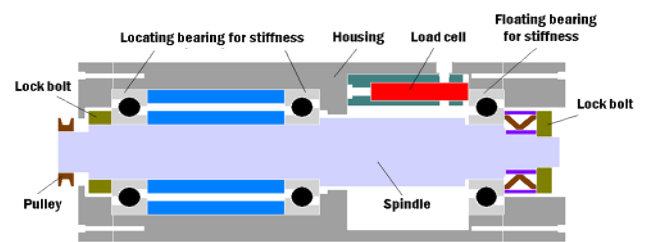


Fig. 3 composition of Automatic Pre-load Control System

장치 구성은 Fig. 3 과 같다. 구조물의 경량화와 조립 및 운송 등의 편의를 위해서 전체적으로 알루미늄 재질 (Al6061)을 선택하였고 원심체는 정밀한 가공과 원심력을 받은 원심체의 팽창효과를 높이기 위해 SM45C 로 가공하였다. 샤프트는 회전운동을 전달하는데 사용되는 도구로 원심력을 이용한 자동가변 예압장치에서는 일반적인 샤프트와는 달리 키홈이 있는 구조되어 있다. 키 홈은 원심체와 결합하여 원심력을 전달한다. 본 장치에서 속도변화에 따른 베어링의 예압을 측정하기 위하여 하중센서를 장착하였으며 선정된 로드셀은 측정범위는 100kgf 로써 로드셀 지지대를 설치하여 흔들림이 없도록 하우징 내부에 볼트결합으로 설치하여 베어링에 전달되는 힘을 안정적으로 측정 가능하게 하였다.

베어링은 허용회전수는 7,000rpm 이며 기본정격하중은 4550kgf 인 앵글러 콘택트 볼 베어링(7308B)을 채택하였다.

모터는 최대회전수 3,000RPM, 최대 토크는 2kgf-cm 인

BD90-N220105 를 사용하였으며 모터와 샤프트 사이 폴리(폴리비 2:1)를 연결하여 샤프트의 최대회전수가 6,000RPM 까지 가능하도록 제작하였다. 각각의 단품을 고정 및 지지하기 위해서 하우징을 제작하였고 공차 및 운동오차를 줄이기 위해 락볼트를 설치하였다.

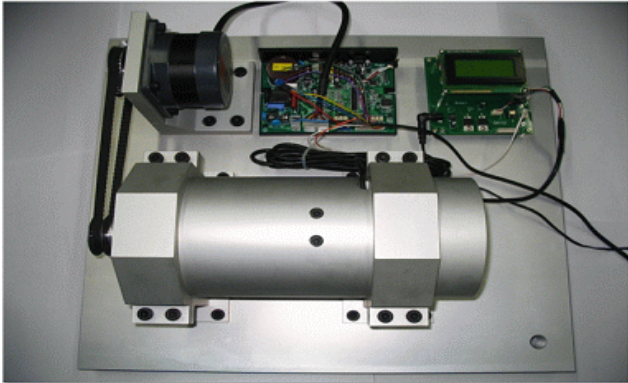


Fig. 4 Automatic Pre-load Control System using Centrifugal Force

자동가변 예압 장치 구동에 대한 디스플레이를 위해 C++을 이용하여 프로그램을 코딩하였다.

모터의 피드백 신호를 받아 펄스의 개수에 따른 현재 모터의 회전 속도를 디스플레이 창에 표시 한다. 이때 설정된 기준 속도에 대하여 하우징 내부의 로드셀을 통해 현재 베어링이 받는 예압을 디스플레이 창에 나타내게 되며 키보드의 인터럽트 신호에 따라 현재 설정된 속도를 리셋하거나 다시 설정 할 수 있도록 프로그래밍하였다.

3. 유한요소해석

원심력을 이용한 자동 가변 예압장치에서 베어링에 예압을 가하는 'Y'형 원심체 축방향 변위와 샤프트의 원심력에 의한 반경방향의 팽창과의 상관관계는 샤프트의 회전수에 따른 변위를 해석함으로써 축방향 힘으로 변환되는 변위값을 예측 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 ANSYS 10.0 을 이용하여 원심력에 의한 샤프트의 변위를 해석하였으며 y 축을 중심으로 축대칭형상으로 모델을 구축하였으며 모델링 된 샤프트는 Fig. 5 와 같다.

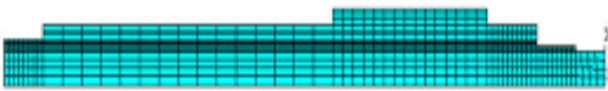


Fig. 5 FE-Model of shaft

Table 1 Material properties

Matrial	Al6061
Young's modulus[Gpa]	68.9
Density[g/cc]	2.70
Poisson's ratio	0.330

해석이 수행되어진 샤프트는 Al6061 로써 물성치는 Table. 1 과 같다. y 축을 기준으로 원심력을 적용 시켰으며 샤프트 회전수에 따른 반경방향 변위에 대한 해석결과는 Fig.6 과 같이 나타난다. 원심력에 의한 최대변위는 20000RPM 에서 1047 μm로 Fig.7 과 같이 y 축을 기준으로 대칭되는 해석결과를 확인할 수 있다.

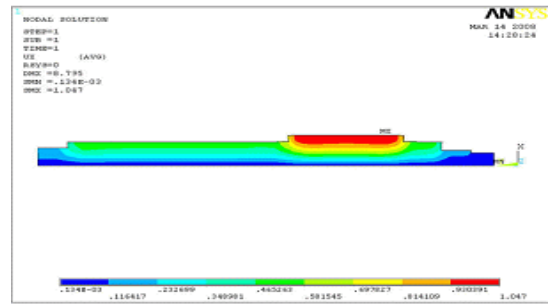


Fig. 6 Maximum displacement of the Shaft

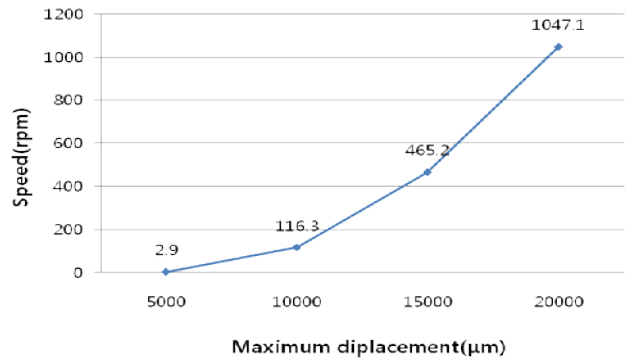


Fig. 7 Result of analysis of the shaft

4. 결론

본 논문에서는 원심력을 이용한 자동 가변 예압 장치의 구조설계 및 제작을 하였다. 저속의 황삭가공에서는 주축의 강성을 높이기 위해 큰 예압이 필요하고, 고속가공에서는 큰 강성 대신에 발열을 저하시키고 넓은 회전수 범위가 더 중요해 적은 예압이 필요하다. 본 논문에서 제작한 원심력을 이용한 자동 가변 예압장치는 주축이 회전시 발생하는 원심력이 주축 표면의 금속을 팽창시킬 때 단순한 구조로 되어있는 원심체를 통해 반경방향의 힘을 축방향의 힘으로 전환하여 베어링에 적절한 예압을 가하는 방식이다. 이 시스템은 최적의 예압은 속도에 의존하기 때문에 스피들 동작 속도가 증가할 때 원심력도 증가하여 베어링에 최적의 예압을 주게 된다.

기존의 예압방법은 복잡한 기계구성으로 인해 경제적인 손실과 정확한 회전수-예압의 상관관계를 얻지 못하였지만 본 과제에서 개발한 자동 가변 예압장치에서는 간단한 구조를 제안하여 이러한 문제점들을 개선하였다. 주축의 속도에 맞는 적절한 예압을 가하므로 회전 정밀도를 향상시킬 수 있고, 베어링의 수명 증가에도 영향을 준다. 향후 원심력의 효과를 극대화 할 수 있는 원심체의 형상 최적설계를 통한 성능개선이 요구된다

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술 혁신 사업[RTI04-01-03]의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- 이찬홍 외 2 명, “고속주축 베어링용 예압제어 장치의 미소운동 특성에 대한 연구”, 한국정밀공학회, 276-279, 1999
- 강종욱, 홍성욱, “각접촉 볼 베어링의 정위치 예압 변화에 따른 회전체 계 동특성 변화 연구”, 한국정밀공학회, 389-392, 2001
- 최대봉 외 4 명, "예압과 냉각조건에 따른 고주파 모터 내장형 주축계의 열특성", 한국공작기계학회, 14, 31-36, 2005.