

공작기계 마운트의 강성 측정

Stiffness Measurement of Machine Tools Mounts

*#하태호¹, 이재학¹, 김양진¹, 이찬홍¹

* #T. H. Ha(taehoha@kimm.re.kr)¹, J. H. Lee¹, Y. J. Kim¹, C. H. Lee¹

¹한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부

Key words : Machine tools, Stiffness, Mounts, Measurement

1. 서론

기존의 장비개발은 개념설계에서 장비 디자인, 프로토타입 제작, 테스트, 디자인 변경, 프로토타입 수정, 장비 구축과 같은 프로세스를 거치고 있다. 장비개발에 있어서 물리적인 프로토타입의 제작에 앞서 미리 발생 가능한 설계상의 문제점이 파악 가능한 가상 시스템이 있다면 장비 시제작전에 설계보완을 통하여 공작기계와 같은 산업용 기계 개발 시 장비 개발 시간 단축 및 비용 절감이 가능하게 된다. 가상 시스템은 1차적으로 완성된 설계 CAD 모델로부터 단순화 모델을 작성한 후 FEM 해석을 통한 해석 결과를 재설계에 반영하는 프로세스를 거치게 된다. 이를 위해서는 단순화된 모델의 강성 값 및 감쇠 값의 데이터베이스 구축 및 추정기능이 필요하게 된다. 관계식의 도출 및 시뮬레이션을 통하여 강성 값의 추정이 가능하나 보다 정확한 결과를 위해서는 실제 실험을 통한 식의 보정이 필수적이다.

공작기계와 같은 산업용 기계마운트는 기계의 최하단에 설치되어 바닥면과 접하는 부분으로 장비의 지지, 고정, 높이 조정, 방진 등의 목적으로 사용된다. 마운트의 종류로는 바닥면에 앵커볼트를 사용하여 고정시키는 방법, 웨지형 레벨링 블록, 방진패드 등을 사용하는 방법 등이 있으며, 마운트의 종류 및 조건에 따라 장비의 정적·동적 안정성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있어 적절한 마운트의 선정 및 설치가 중요한 역할을 한다.

본 연구는 궁극적으로 전술한 바와 같이 가상시스템 구축 프로세스 중에서 특히 마운트의 강성 값 및 감쇠 값 추정을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 마운트의 강성측정이 가능한 기구를 제작하여 산업용 기계에 사용되는 대표적인 마운트 모델에 대한 실험적 강성추정을 행하여 그 결과에 대해 논하였다.

2. 마운트 강성 측정실험기구

Fig. 1 에 마운트 강성 측정실험기구의 개략도를 나타내었다. 실험기구는 크게 상부에서 하중을 가하는 부분, 하중 측정을 위한 로드 셀, 마운트 홀더, 마운트 변위 측정을 위한 변위센서 등으로 나누어진다. 상부에서 세목나사를 이용한 회전으로 하중을 가하게 되며, 마운트는 마운트 홀더와 체결되어 있으며 이 마운트 홀더 상부에 로드 셀이 장착되어 있어 가해지는 하중치를 모니터링 하게 된다. 수직 방향의 변위 만을 발생시키기 위하여 마운트 홀더 외부에 원통형 가이드를 장착하여 마운트의 수직 방향 이외의 움직임을 제약하도록 설계하였다.

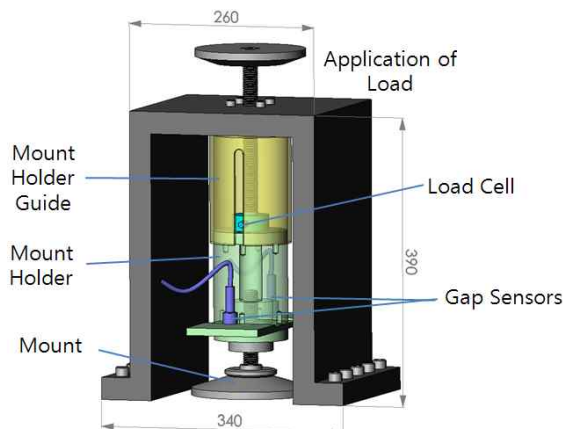


Fig. 1 Sketch of stiffness measurement apparatus

마운트 상부에 2개의 변위센서를 설치하여 그 평균값을 이용하여 하중에 따른 마운트의 변위를 측정하도록 하였다.

3. 마운트 경강성 측정 실험

Fig. 2는 강성 측정에 사용된 실험기구의 사진을 나타낸다.

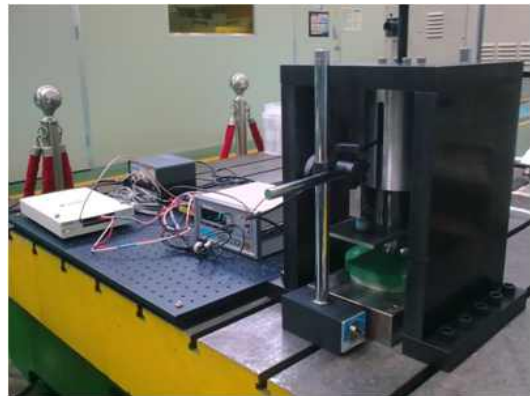


Fig. 2 Picture of experimental apparatus

실험에 사용된 마운트는 각종 산업용 기계에 가장 많이 적용되는 형태중의 하나로 바닥과 접하는 부분에 고무 재질의 패드가 있고 그 상부에 케이싱, 레벨링 플레이트, 공작기계에 연결 가능한 레벨링 볼트가 있는 높이조절이 가능한 상용 제품을 사용하였다. 각각 허용하중에 따라 패드의 직경, 두께가 상이하며 Table 1 에 대상 마운트의 스펙 대해 나타내었다.

Table 1 Comparison of measured roughness data

Unit [mm]	Type A	Type B	Type C
Diameter	150	100	80
Pad Thickness	20	20	15
Allowable Load [kg]	1,200	600	350

가해지는 하중 측정을 위해서 최대 1tf 까지 측정 가능한 로드 셀 (CAS사, 모델 : MNC-1, 인디케이터 : NT-570A)을 사용하였다. 또한, 와전류 센서(AEC사, PU-20) 2개를 마운트 부에 장착하여 마운트의 변위를 측정하였다. 마운트 홀더 가이드를 설치하여 수직 방향 만으로의 움직임을 가지도록 구속하였으나, 발생 가능한 틸팅에 의한 오차를 최소화하기 위해서 서로 맞은편에 설치된 두 센서로 부터의 측정치의 평균값을 이용하여 변위치를 결정하였다. 사용된 변위센서는 분해능 1 μ m과 최대 8 mm의 측정영역을 가진 센서로 ± 5 V의 출력을 가지며 이는 출력볼트 당 0.8 mm의 변위에 상당하는 값이 된다.

일반적인 금속재료와는 달리 고무재료는 하중과 변형이 비선형 관계를 보이는 대변형 범위에서도 탄성 거동을 보이는 초탄성 특성을 가지고 있다. 또한, 고무재료에는 Mullins effect가 존재한다. Mullins effect란 고무의 기계적인 반응에 관한 것으로 응력-변형률 곡선이 직전에 가한 최대 하중의 영향을 받는 현상을 말한다. 즉, 일정 변형률 범위 내에서 반복하중을 받을 때 상대적으로 응력이 점점 감소되며 안정화되는 현상이다. 일반적으로 가황고무의 경우 10회 정도의 반복하중을 가했을 때 응력-변형률 곡선이 안정되며, 특히 경도가 높은 고무재료일수록 반복회수가 증가할수록 또한 변형률 구간이 커질수록 응력이 완화된 현상이

두드러지게 나타나는 것으로 보고되고 있다. 본 실험에서는 각각 최소 30회 이상의 반복하중을 가하여 Mullins effect를 최소화한 후 실험을 진행하였다. 각 마운트에 대한 하중-변위 그래프를 각각 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 에 나타내었다.

가로축은 변위를, 세로축은 하중을 나타낸다. 이들 데이터 중 가압 상승부의 데이터의 평균값을 이용하여 다항 회귀 분석을 통한 힘-변위 곡선 추정식을 도출하였다.

$$Y = A + B1 \times X + B2 \times X^2 + B3 \times X^3 + B4 \times X^4 \quad (1)$$

Table 2에 추정식의 상수를 나타내었다. Fig. 6은 한 예로 A타입의 마운트에 대하여 이를 이용한 강성추정을 나타낸다. 그래프에서 보는 바와 같이 하중의 상승에 따라 비선형적으로 변형이 일어남을 알 수 있다.

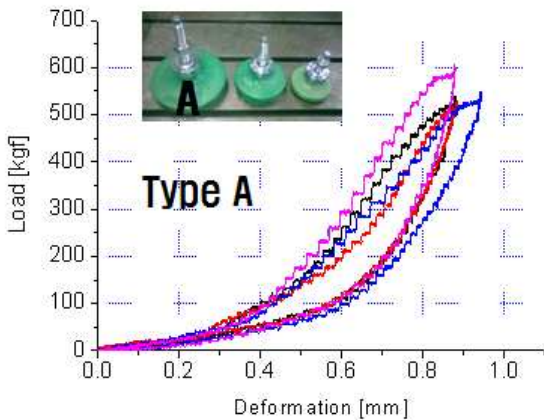


Fig. 3 Load-Deformation graph [Type A]

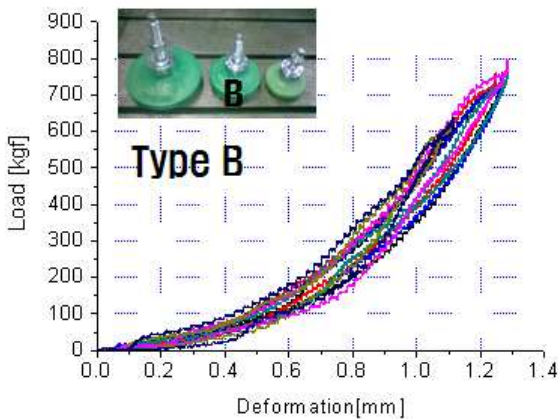


Fig. 4 Load-Deformation graph [Type B]

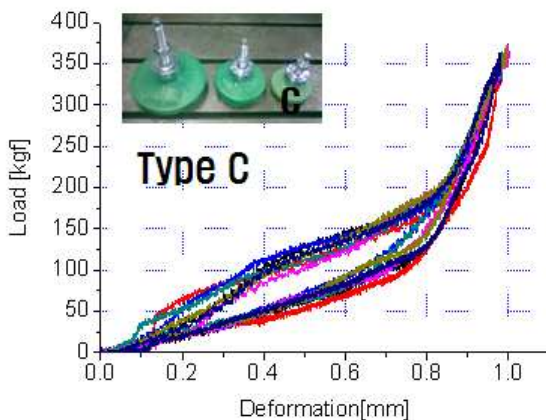


Fig. 5 Load-Deformation graph [Type C]

Table 2 Constant for polynomial

Constant	Type A	Type B	Type C
A	-4.36007	1.13319	1.01545
B1	270.8416	-24.2826	19.4793
B2	-275.85	500.9354	1506.998
B3	-53.5559	-403.179	-3195.06
B4	911.0812	310.8887	2047.17

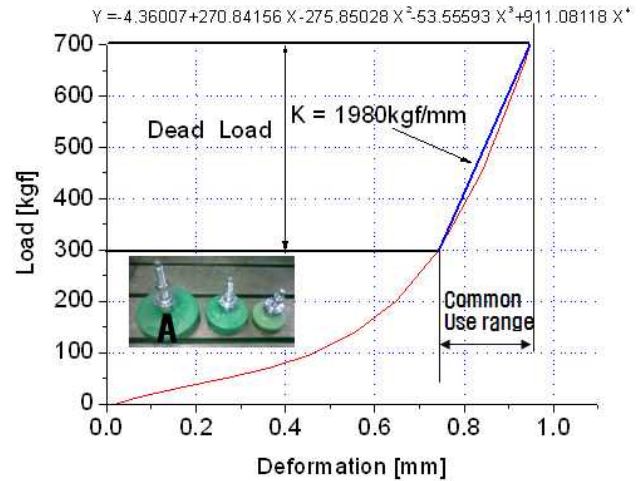


Fig. 6 Stiffness estimation [Type A]

마운트의 경우 장비의 하중을 받는 상태 즉, 예압력을 받는 상태에서 주로 사용하게 되므로 주로 사용되는 상용구간을 선정하여 하중-변위 관계에서 선형화된 강성치를 추출하였다. 이 결과 A 타입의 정강성은 19,404 N/mm로 구해졌으며, 동일한 방법으로 B 타입 및 C 타입의 마운트 정강성은 각각 4,900 N/mm, 4,237 N/mm 로 측정되었다.

4. 결론

본 연구에서는 공작기계의 마운트의 강성 측정을 위한 기구를 설계·제작하여 하중에 따른 변위를 측정하여 마운트의 정강성값 및 추정식을 구하였다. 사용한 마운트는 고무패드, 케이싱, 레벨링 플레이트, 레벨링 볼트로 구성된 높이 조절이 가능한 제품으로 고무재료의 Mullins effect를 최소화하기 위하여 반복하중을 가한 후 실험을 행하였다. 서로 다른 3종류의 마운트에 대하여 실험을 통해 하중에 따른 변위 곡선을 추출하였으며, 이 결과를 바탕으로 강성 추정식 및 상용구간에서의 선형화된 강성값을 획득하였다.

이와 같이 주로 사용되는 상용 마운트의 강성값의 데이터베이스화 및 실험을 통한 강성 예측식의 보정을 통한 강성값 예측을 통하여 물리적 프로토타입 제작전의 가상 시스템을 이용한 해석에 적용함으로써 실제 공작기계 개발기간 및 시간 단축이 가능할 것으로 판단된다. 향후, 임팩트 가진 실험을 통하여 부가하중에 따른 감쇠계수의 측정 및 앵커볼트를 이용한 마운트에 대하여 강성치·감쇠계수 측정 및 추정 이론식을 도출할 예정이다.

참고문헌

- Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., and Witt, S., "Virtual machine tool," Annals of the CIRP, 54,115-138,2005
- Yoshida, K., Shimura, H., Yoshioka, J., "Development of Special Mounting Elements with Damping for Surface Grinding Machines", Japan Society for Precision Engineering, 55, 05, 49-52, 1992, in Japanese
- 김완두, 김완수, 김춘휴, "Mullins 영향을 고려한 고무 탄성체 재료 및 부품의 변형 거동 예측", MSC Korea User conference, 2001.