

ADAMS[®]를 이용한 초고속 스피ن들의 회전 밸런싱 (Balancing)에 대한 연구

조영덕*(창원대학교 기계설계공학과), 정원지, 이춘만(창원대학교 메카트로닉스공학부),
윤상환(클러스터 사업단), 황영국, 박기범(창원대학교 기계설계공학과)

A Study on Rotating Balancing of High-speed spindle by using ADAMS[®]

Y. D. Cho* (Dept. of Mechatronics. CNU), W. J. Chung, C. M. Lee (Dept. of Mechatronics. CNU),
S. H. Yoon(R&D Cluster), Y. K. Whang, G. B. Park(Dept. of Mechatronics. CNU)

ABSTRACT

According to the demand of the high productivity, the interest of manufacturing skills is growing in industrial society. Especially the high-speed spindle in machining center becomes important these days. The rotating accuracy of the spindle in machining center concerns the centrifugal force. In detail explaining, it is influenced by the unbalance mass. In this study, we could find changes of the vibration caused by condition (increased mass, rotating speed, position) of unbalance mass and verify it using a software – ADAMS[®]. With this study, it will help workers on the spot solve the problems concerning unbalance mass.

Key Words : high-speed spindle (초고속 스피ن들), unbalance mass (언밸런스 질량), vibration (진동), the centrifugal force (원심력), rotating balancing (회전 밸런싱), ADAMS[®]

1. 서론

최근 고속으로 정밀한 생산성을 추구하는 공작 기계에서는 주축시스템이 중요한 부분을 차지하고 있다. 고성능화 측면에서 주축시스템은 고속화를 통한 시간 단축 및 가공 표면을 개선시키는 효과를 내어야 한다. 스피ن들의 정밀도는 공작물의 가공정도에 직접적인 영향을 주는 요소이기 때문에 오차성분을 줄이는 것이 중요하다. 특히 초고속 스피น들에서는 공작물이 회전하는 방향의 오차성분이 존재하며 이 성분들은 회전 밸런싱에 영향을 미쳐 공작물의 가공시 선단 부분에 진동을 발생시킨다. 따라서 공작기계 주축시스템의 회전 밸런싱 문제는 점점 주축의 스피ن들의 회전수가 증가함에 따라 중요한 요소로 대두되고 있다.

산업 현장에서는 주축의 밸런싱을 맞추기 위해 질량을 재분배 시키는 방법을 사용하고 있다. 재분

배 방법에도 크게 질량을 더해주는 방법과 주축에 구멍을 뚫어주어 질량을 제거해주는 방법이 있다. 보통 질량을 제거하는 방법은 소음 발생이 심해서 현장에서는 질량을 첨가하여 개선하는 방법을 많이 사용하고 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 초고속 스피น들을 대상으로 모델링 및 유연체를 포함한 다물체 동역학 해석이 가능한 ADAMS[®]를 이용하여 질량 첨가에 따른 회전 밸런싱, 즉 위치별 언밸런스 질량과 선단 부분의 변위관계, 질량의 증가량과 변위관계, 회전수 증가에 따른 변위관계를 분석하였고 이를 개선시키는 방향 또한 모색하였다.

2. 언밸런스에 영향을 미치는 요소

2.1 언밸런스 측정

일반적으로 산업 현장에서 사용하고 있는 스피

들 밸런스 검사장치의 구성은 Fig.1 과 같다.. 지지대에 스피들을 얹은 후, 모터와 스피들에 풀리(pulley)로 서로 연결하여 일정한 속도로 회전을 시켜 데이터를 획득하게 된다. 결과 데이터는 스피들의 A 부분 또는 B 부분 단면의 xy 축 방향에 언밸런싱 질량의 위치와 무게를 표시하게 해준다. 하지만 현 측정장치로는 z 축 방향 언밸런스 질량의 위치는 측정이 불가능하다. 그러므로 A 부분이나 B 부분에 스피들 제작시 구멍을 뚫어 놓아 여러 무게별 나사를 결합한 후 반복적인 검사를 통해 언밸런싱을 해결하고 있다. 검사를 통해 측정된 언밸런스 질량 값이 통상 2g 이하이면 정밀하다고 판단한다. 또한 균형성등급에 따른다면 통상적으로 변위 정도가 3 μm 이내의 오차 범위에 들어오면 진동의 영향이 미미한 것으로 판단할 수 있다.

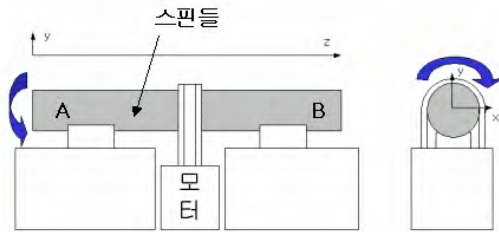


Fig. 1 Unbalancing inspectable device of the high-speed spindle

2.1.1 언밸런스 질량과 스피들과의 관계

초고속 스피들에서는 회전수와 언밸런스 질량, 원심력과의 관계는 식 (1)과 같다.

$$F = m \times r \times \omega^2 \quad (1)$$

(F: 원심력, m: 언밸런스 질량, r: 반지름, ω: 각속도)

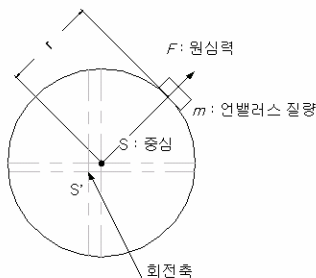


Fig. 2 Relation between unbalancing and unbalance mass

이런 관계에 의해 질량 불평등이 있는 스피들에서는 150gmm의 언밸런스 질량은 30,000rpm의 회전속도에서 1,500N의 원심력이 작용하게 된다.

Fig. 2와 같이 언밸런스 질량이 생기게 되면 중심과 회전축이 일치하지 않아 진동이 발생된다. 발

생된 진동은 공작물의 면거칠기 문제를 야기시킬 뿐만 아니라 스피들 툴홀더(tool holder) 부분과 공구의 수명을 저감시키게 되는 원인이 된다.

3. 언밸런싱 시뮬레이션(simulation) 해석

3.1 해석모델

해석 모델은 Fig. 3에서와 같이 D사의 초고속 스피들(20,000rpm)이다. 그 중에서 주축 부분의 스피들 부분을 ADAMS® 상에서 간략히 모델링하여 언밸런스 문제에 대한 해석을 수행하였다

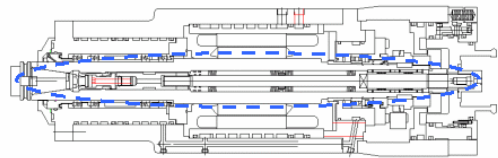


Fig. 3 Analysis model - high-speed spindle(20,000rpm)

3.1.1 모델구성

우선 드로우바(drawbar) 부분이 비어있는 스피들을 해석대상으로 하고 ADAMS®의 workspace 상에서 모델링 하였다. 기존에 행해졌던 베어링 해석과는 달리 질량에 의한 불평형만 연구의 초점을 맞추었기 때문에 베어링 부를 고정시켰다. 우선 해석을 위해 스피들 안의 비어있는 부분에 Fig. 4와 같이 회전 조건을 줄 수 있는 중심축을 장축으로 대신해 보조적으로 더해준다. 보조로 더해준 장축의 질량은 무시할 수 있을 정도로 작게 주어 해석에 영향을 미치지 않게 한다.

베어링의 지지되는 부분에 Fig. 4와 같이 스피들 부분과 고정시켰으며 보조 장축 부분에 그라운드 부분과 회전 조건을 주었다.

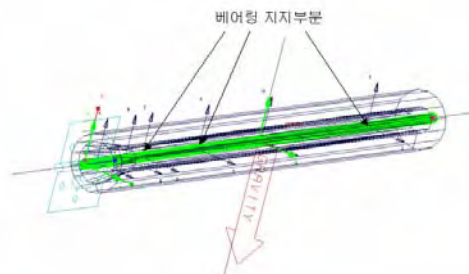


Fig. 4 Modeling of spindle part for ADAMS®

모델의 기초적인 구성이 끝난 후 Fig. 5의 그림처럼 스피들 부분만 유연체로 적용하였다. 스피들 부분을 제외한 보조 장축은 강체로 두었다.

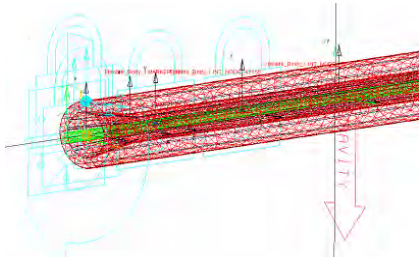


Fig. 5 Conditioning to carry out the analysis

시뮬레이션 수행 결과 스펀들 내에 언밸런스 질량이 존재하지 않으면 선단 중심 부분이 Fig. 6 와 같은 그래프 모습을 보인다. 그래프는 스펀들 선단 부분의 중심부에서 측정된 값으로 변위정도가 약 2.2 μm 정도로 나와 균형성등급에 만족한다.

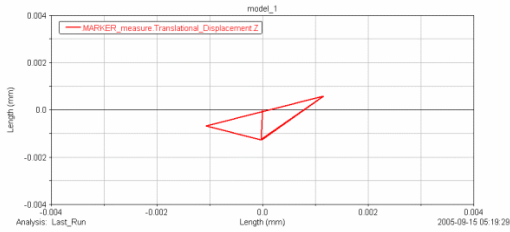


Fig. 6 Displacement graph of spindle without unbalance mass

3.2.1 회전 밸런싱에 대한 해석

스핀들의 앞쪽 선단 부분의 변위가 공작물의 가공에 영향을 많이 미치게 되어 품질을 결정한다. 그러므로 스펀들의 선단 부분의 변위를 변화시킬 수 있는 인자들을 고려하여 3 가지 해석을 수행하였다. 첫번째 해석은 각 베어링 지지부분을 기준으로 언밸런스 질량의 위치별로 해석을 수행하였다. 두번째 해석은 언밸런스 질량을 5g 씩 증가시키며 선단 부분의 변위와의 관계를 구하였으며, 세번째 해석을 통해서 언밸런스 질량이 존재할 때 회전 수 증가에 따른 선단 부분의 변위 관계를 살펴보았다.

3.2.2 언밸런스 질량의 위치별 해석

위치별 해석은 Fig. 7 와 같이 각 위치별로 언밸런스 질량을 5g 정도 존재하게 두어 20,000rpm 회전 속도로 해석을 수행하였다.

Fig. 8 의 그래프는 1 번과 2 번 위치에서 해석을 한 그래프이다. (1)의 식에서 원심력은 중심에서의 반지름과 영향이 있다. 두 점 사이에는 반지름이 9.5mm 차이지만 정밀도는 0.35 μm 정도의 차이를 보였다.

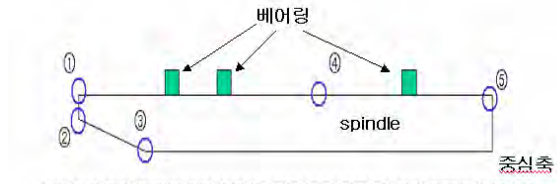


Fig. 7 Position choice for a simulation

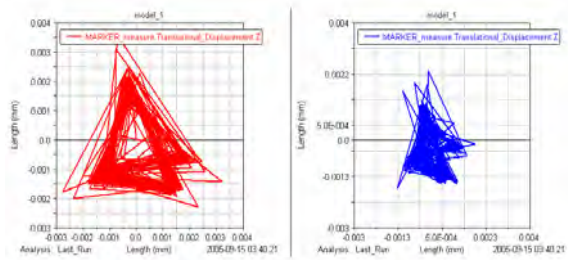


Fig. 8 Displacement graphs of ①position and ②position

스핀들에 언밸런스 질량이 분포할 때 가장 위험적인 부분의 판단이 필요하다. 그래서 선단 쪽부터 1 번, 3 번, 4 번, 5 번 위치를 정한 후, 언밸런스 질량 5g 을 달아 놓아 선단 중심 부분의 변위를 측정하여 Fig. 9 와 같은 그래프를 나타내었다.

그래프에서는 1 번과 5 번 부분에 많은 변위 변동이 일어난다. 반대로 3 번과 4 번과 같이 양쪽 끝 쪽이 아닌 곳에서는 변위가 작게 발생한다. 즉 특히 스펀들의 앞쪽과 뒤쪽 부분에 존재하는 질량은 스펀들 선단 부분의 떨림에 많은 영향을 주어 공작물을 가공시 위험적인 요소로 판단된다.

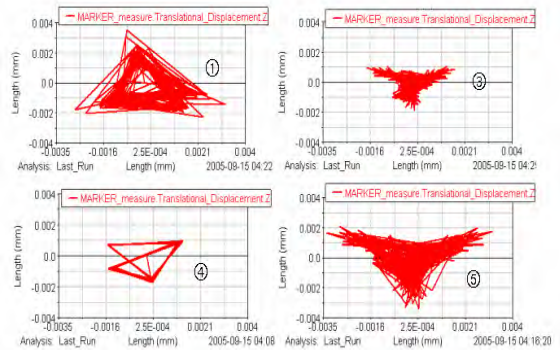


Fig. 9 Displacement graphs of each position

3.2.2 언밸런스 질량의 증가에 따른 해석

앞의 (1)의 식에서 참조하면 언밸런스 질량이 증가하면 원심력이 증가하는 사실을 알 수 있다. 하지만 언밸런스 질량이 증가할 때 발생하는 진동이 어느 정도의 변위를 가지는지 정확히 알기는 어

럽다. 본 연구에서는 언밸런스 질량이 Fig. 7의 1번 위치에 있을 경우에 5g, 10g, 20g 증가시켜 선단 부분의 변위상태를 Fig. 10의 그래프로 나타내 보았다.

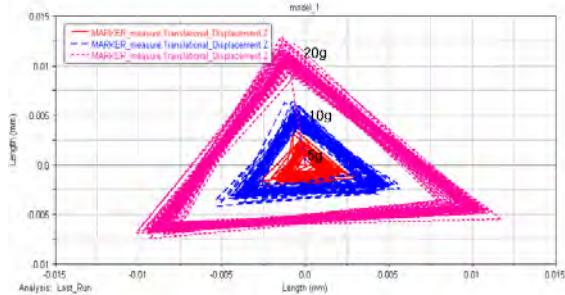


Fig. 10 Displacement graphs of various mass

Fig. 10에서 볼 수 있듯이 언밸런스 질량이 5g 일 때는 5 μm , 10g 이 존재할 때는 10 μm , 20g 일 때는 약 20 μm 의 변위가 발생한다. 질량의 증가량이 증가할수록 선단 중심 부분의 변위 정도도 같이 증가한다는 것을 증명하였으며 언밸런스 질량이 2g 이상이 된다면 균형성등급 3 μm 을 넘어서 정밀도가 떨어짐을 판단할 수 있다.

3.2.3 회전수 증가에 따른 진동해석

마지막으로 스핀들의 회전 속도가 고속으로 증가함에 따라 언밸런스 질량이 내부에 존재하는 경우 회전수와 선단 부분 진동과의 관계를 해석하여 보았다.

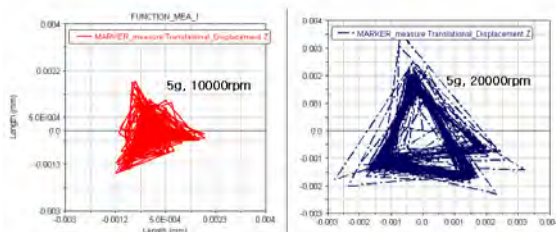


Fig. 11 Displacement graphs of rotation speed

Fig. 11을 보면 언밸런스 질량이 내부에 존재할 때, 회전수가 증가하면 할수록 선단 부분에서의 떨림이 강하게 나타난다. 스핀들의 초고속화를 위해서는 고정밀의 밸런싱을 유지시키는 연구가 진행되어야 한다.

3.3.1 밸런싱을 맞추는 방법에 대한 해석

일반적으로 밸런싱을 맞추기 위해서 질량을 첨가하거나 질량을 제거하여 준다. 하지만 후자는 현장내 소음을 발생시켜 전자를 택하는 추세이다. 언밸런스 되는 질량에 대칭적으로 질량을 추가하였을 시 변위의 변동정도는 Fig. 12에 나타난다. 20,000

rpm 회전 조건에서 5g의 언밸런스 질량이 존재할 시 대칭적으로 질량 5g을 달았을 경우 선단 중심 부분의 변위는 급격히 줄어들고 균형성등급 3 μm 이내로 들게 된다. 왼쪽 그래프가 언밸런스 5g이 존재하는 그래프이며 오른쪽 그래프가 추가로 질량을 대칭적으로 단 그래프이다. 이러한 결과로 질량을 추가하여 밸런싱을 맞추는 방법은 신뢰성이 있다는 것을 검증하였다.

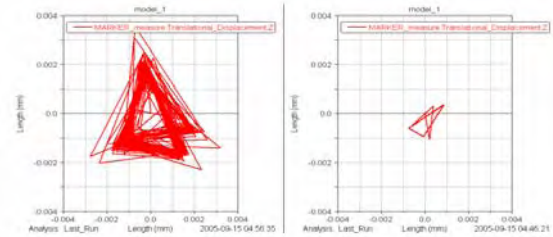


Fig. 12 The effect of adding symmetry mass

4. 결론

회전 정밀도를 측정하는 검사장치를 이용하지 않고 ADAMS® 시뮬레이션을 이용하여 언밸런스 질량이 스핀들 진동에 어떤 영향을 미치는지 알 수 있었다.

본 연구를 통해 스핀들 각 위치 부분마다 언밸런스 질량 분포시의 진동정도를 파악할 수 있었으며 대칭 위치에 질량을 첨가하였을 때 변위 정밀도를 향상시킬 수 있었다. 추가적으로 언밸런스 질량의 증가량에 따른 선단의 변위는 물론 회전 속도와 선단의 변위와의 관계를 파악하였다. 이러한 결과는 경험적으로 밸런싱 문제를 해결하고 있는 산업 현장에 도움을 줄 수 있으며 추후에 iSight®를 접목하면 반복되는 해석수행 과정을 통해 언밸런스 위치를 효과적으로 구할 수가 있다.

후 기

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

참고문헌

1. 신현장, 이석원, 박희재 "공작기계 주축 스핀들 종합오차 측정 및 평가기술개발," 한국정밀공학회, pp.1005-1008, 1997
2. 최창희, "금형 가공을 위한 고속 가공 및 톨링 기술," 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, pp. 18-23, 2001.
3. MSC. Software Cooperation., ADAMS/Flex Training Guide, 2000", 1997.