

초고속 스피ن들의 언밸런스 특성 분석

Unbalance analysis of super high speed spindle

* 박기범¹, # 정원지², 조영덕¹

*K. B. Park¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)², Y. D. Cho¹

¹창원대학교 기계설계공학과, ²창원대학교 메카트로닉스 공학부

Key words : Unbalance, Rotational accuracy performance, Vibration

1. 서론

진동이란 움직일 진과 움직일 동을 서서 흔들리어 움직인다는 뜻을 가지고 있다 진동계(vibration system)이란 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 입력이 동적인 힘 즉 가진력이고 출력이 진동 즉 변위나 각변위, 속도, 가속도로 나타나는 시스템을 말한다.

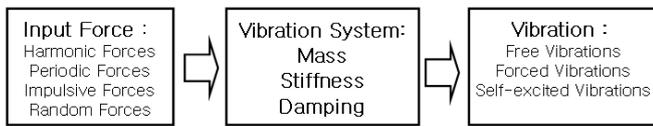


Fig. 1 Vibration System

어떠한 진동계든지 공진현상이 발생하게 된다. 공진은 계의 고유진동수와 가진 주파수가 일치할 경우 발생하게 되며 공진주파수 영역 부근에서 응답이 증폭되어 진동폭이 증가 하게 된다. 이러한 공진현상은 위험하며 회피해야만 한다. 일반적인 회전체 시스템에서 위험속도(critical speed)라는 것이 존재하게 되는데 이것은 회전계의 고유진동수와 운전 속도가 일치하게 되면 발생하게 된다. 따라서 이러한 공진을 제어하기 위해서 고유진동수 변경, 감쇠의 부가, 부진동계를 추가하는 방법 등, 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다.

회전계에 있어 진동의 원인으로는 Unbalance, Misalignment, Bent Shaft, Shaft Crack, Mechanical Looseness, Bearing Faults, Cavitations, Rotor Rub, Electrical Motor Problems 등이 있다.

Unbalance의 원인으로는 소재의 밀도의 불균일, 가공정밀도, 비대칭형상, 조립공차, 부식, 이물질 부착 등 다양한 원인이 있다. 대부분의 회전체 시스템에서 Unbalance 질량은 어느 정도 불가피하게 존재하게 되며 이는 Fig. 2와 같은 속도의 제곱에 비례하는 원심력을 발생시키게 된다. (1)

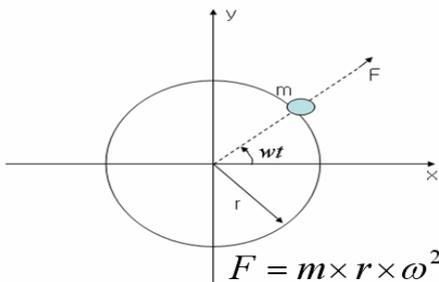


Fig. 2 Static unbalancing Force with unbalance mass

산업현장에서는 주축의 balancing을 맞추기 위해 질량을 재분배 시키는 방법을 사용하고 있다. 질량 재분배 방법에는 질량을 더해주는 방법과 주축에 구멍을 뚫어 질량을 제거하는 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 이러한 balancing 작업을 거쳤음에도 불구하고 회전체는 Unbalance 질량을 가질 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 초고속 40,000rpm 스피ن들에서 주축을 2,000 ~ 30,000rpm 까지 2,000rpm 씩 증가시켜 회전시키고 이때 강제적으로

Unbalance 질량을 추가했을 때 회전 정밀도와 진동 특성에 어떠한 변화가 있는지 알아보았다.

2. 실험장치

2.1 회전 정밀도 실험장치

주축의 회전 정밀도 측정시스템은 Lion사의 Lion Precision을 사용하였고 프로그램은 SEA(Spindle Error Analyzer)를 사용하였다. 실험 장치는 Fig. 3과 같이 X, Y축에 근접 센서를 고정 지그에 결합하여 공구의 끝단에 위치시켜 측정한다. 주축 회전 수는 Table 1과 같이 2,000rpm ~ 30,000rpm 까지 2,000rpm 간격으로 주축 회전수를 연속적으로 변화시키면서, x, y축 가속도 신호를 획득하였다. 1회 주축 가동 시간은 2분이며 신뢰성을 위해 2번 측정하였다. 그리고 0.5g, 1g, 1.5g 세 가지의 각기 다른 Unbalance 질량을 스피ن들의 1번 홀에 각각 붙여서 실험하였다.



Fig. 3 Rotational accuracy performance measurement system

Table 1 Rotational accuracy testing parameters

| 측정 실험 내용 | 측정 실험 조건 |
|----------------|---|
| Unbalance mass | 0g, 0.5g, 1g, 1.5g |
| 주축 회전수 | 2,000rpm ~ 28,000rpm(매 2000rpm 씩 증가) |
| 측정 내용 | TIR X, TIR Y, Synchronous, Asynchronous, Total Error Motion |

측정 내용은 스피ن들의 TIR X, TIR Y, Synchronous Error Motion, Asynchronous Error Motion, Total Error Motion 값을 측정하여 데이터를 추출하였다. TIR X, TIR Y 값들은 각 채널 별로 전체 움직이는 폭을 나타내며, Synchronous는 각 회전 각도에 있어서 전체 오차를 측정하는 회전수로 나눈 값으로 주축의 특성이 가장 뚜렷이 나타나게 되는 지표이며 이 값은 피삭재의 진원도에 직접적인 영향을 미치는 인자이다. Asynchronous Error Motion은 전체 오차성분과 평균오차 성분의 차이로 가공물의 표면 거칠기를 예측할 수 있고, 이 오차 성분이 매우 작은 주축의 경우 정밀 가공에 이용될 수 있는 인자이다. 마지막으로 Total Error Motion은 측정으로부터 얻은 원래 그 대로의 전체 오차를 뜻한다.

2.2 스핀들 진동 실험장치

스핀들의 진동을 측정하기 위하여 Vibrotest 60[®]이란 진동 측정기를 사용했다. Fig. 4 와 같이 두 개의 가속도 센서를 ISO 10816 에 의거하여 스핀들 쪽에 부착하였다. 그리고 회전 수를 측정할 수 있는 레이저 계측기를 설치한 뒤 반사 테이프를 붙여 측정한다.

진동시험도 회전 정밀도 측정과 동일한 조건으로 실험하였다.



Fig. 4 Vibration characteristic Experiment system

2.3 측정 결과

스핀들의 회전 정밀도를 각 rpm 대역마다 측정하여 Fig. 5 에 그래프로 나타내었다. 측정값으로 두었던 TIR X, TIR Y, Synchronous Error Motion, Asynchronous Error Motion, Total Error Motion 값 모두 언밸런스 량이 0g ~ 1.5g 까지 증가함에 따라 미소하지만 증가한 것을 알 수 있었다.

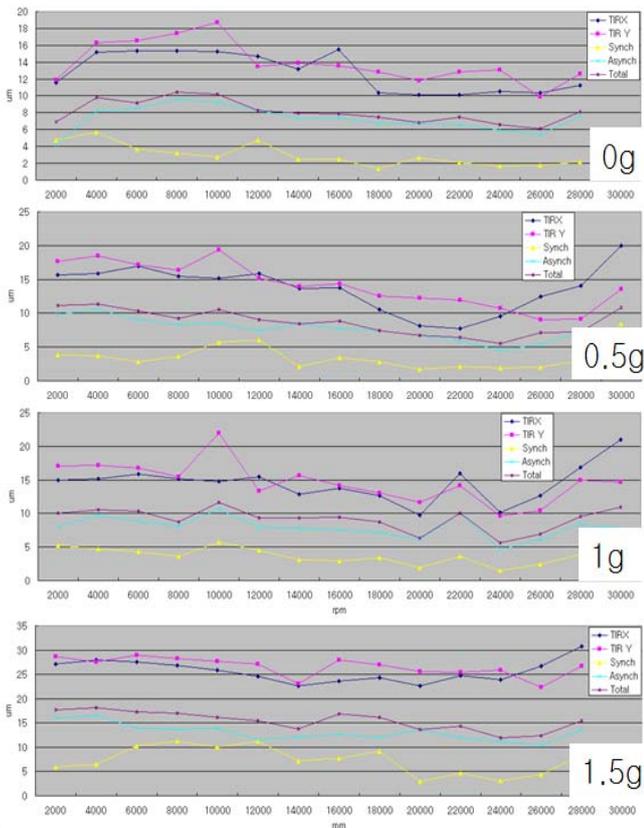


Fig. 5 Result of Rotational accuracy performance

그리고 Fig. 6 에서 보여지듯이 X, Y 두 축 모두 unbalance 량이 증가함에 따라 진동 값이 상승한 것을 볼 수 있다. 진동량이 급격하게 커지는 CH X 의 8000rpm 대역과 CH Y 의 24000rpm 대역에서의 진동값을 줄이기 위한 밸런싱 작업이 필요하다는 것을 알 수 있다.

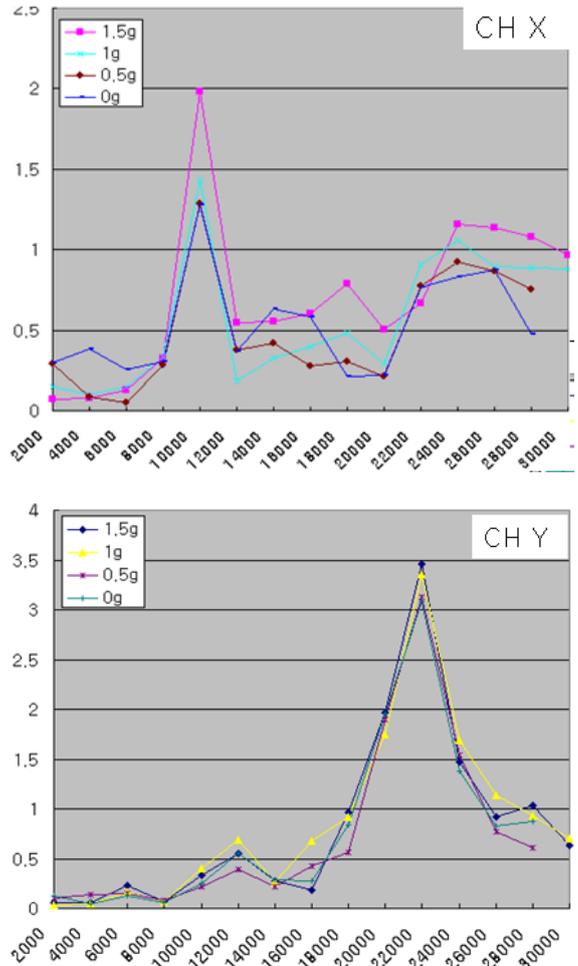


Fig. 6 Vibration characteristic

3. 결론

주축의 회전 정밀도실험 장치와 진동 측정기를 이용하여 스핀들에서 강제적으로 Unbalance 질량을 추가했을 때 회전 정밀도와 진동 특성에 어떠한 변화가 있는지 알아보았다.

(1) 스핀들의 회전 정밀도를 측정한 결과 측정값으로 두었던 TIR X, TIR Y, Synchronous Error Motion, Asynchronous Error Motion, Total Error Motion 값 모두 언밸런스 량이 0g ~ 1.5g 까지 증가함에 따라 미소하지만 증가한 것을 알 수 있었다.

(2) 진동시험결과 X, Y 두 축 진동값이 급격하게 커지는 CH X 의 8000rpm 대역과 CH Y 의 24000rpm 대역에서의 진동값을 줄이기 위한 밸런싱 작업이 필요하다는 것을 알 수 있다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업[RTI04-01-03]의 지원으로 수행되었습니다.

이 연구에 참여자는 [2 단계 BK 21 사업]의 지원비를 받았습니다.

참고문헌

1. 김용재, “ 고속 공작기계 주축의 능동 밸런싱 시스템에 관한 연구” 아주대학교 대학원.
2. 조영덕, 정원지, 이춘만, 윤상환, 황영국, 박기범, “ ADAMS 를 이용한 초고속 스핀들의 회전 밸런싱에 대한 연구 ” 한국정밀공학회 추계학술대회, 560-563,2005