

# 회전체 정밀 측정 및 오차 분석에 대한 연구

정원지<sup>1</sup>, 조영덕\*, 이춘만<sup>2</sup>, 윤상환<sup>3</sup>

창원대학교 메카트로닉스공학부<sup>1</sup>, \*창원대학교 기계설계공학과,  
창원대학교 메카트로닉스공학부<sup>2</sup>, R&D 클러스터 사업단<sup>3</sup>

## Study on an accurate measurement and an error analysis of a body of rotation

\*W. J. Chung(department of Mechatronics. CNU), C. M. Lee(department of Mechatronics. CNU),  
Y. D. Cho\* ( department of Mechatronics. CNU) and Y.K.Whang, D.W.Chung(Graduate School, CNU)

Key words : rotation, synchronous, asynchronous, error analysis

### 1. 서론

최근 생산성 향상과 가공능률의 극대화를 위해 초고속 가공기술의 발달이 이루어지고 있다. 공작기계에서 고성능화와 생산원가 절감은 제조사들에게 가장 중요한 요점이라 볼 수 있다. 이는 다른 말로 고성능화 측면에서 스피ndl의 고속화와 동시에 가공시간을 단축시키고 고공 표면을 개선시키는 효과를 내어야 한다.

특히 자동 공구교환을 하는 머시닝 센터의 주축 부분의 테이퍼(Taper) 부분은 공작물을 가공하는 부분으로써 발생하는 진동의 크기 및 파형을 중요하게 여긴다. 이처럼 발생하는 진동은 공작물의 표면에 영향을 주며 이는 공작물의 품질과 직접적인 관련이 있다. 제조사들의 입장에서의 공작기계의 가공 정밀도는 가공시간 단축과 아울러 가장 중요한 요점이라 볼 수 있다.

특히 스피ndl 부분은 전반적으로 Fig.1과 식(1)에서 볼 수 있듯이 원심력이 작용하며 이에 따라 언밸런스 질량(unbalance mass), 회전수, 반지름이 중요한 요소로 작용한다. 원심력의 효과에 따른 미소한 편심 오차가 생길시 진동은 물론 불안정한 가공현상을 야기하여 공작물의 품질을 결정한다.

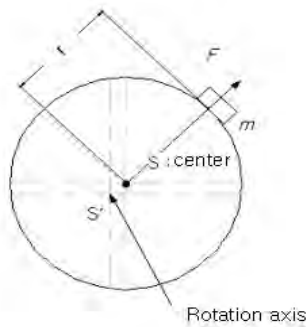


Fig. 1 Centrifugal force in the spindle

$$F = mr^2 \quad (1)$$

이 논문에서는 12,000rpm급 고속 스피ndl을 대상으로 하여 진동현상 및 진동 종류를 파악하며 진동현상의 원인이 정밀도에 어느 정도 영향을 주는지에 대해 ARMD 및 ANSYS와 같은 3D 시뮬레이션과 현장 실험을 통해 논의하였다.

### 2. 계측에 필요한 설정

우선 계측에 필요한 측정을 위하여 회전 정밀도 측정에 우수한 독일의 Lion(社)의 회전정밀도 측정 시스템을 이용하였다. 이

시스템의 전체적인 모습은 Fig.2와 같으며 총 크게 4가지 부위로 나누어진다. 스피ndl의 변위를 측정할 수 있는 센서(probe라 칭함) 및 온도를 감지 할 수 있는 온도센서 부위, 스피ndl 관련 측정시에 probe의 조절을 위한 부위인 지그 부위, 그 밖에 데이터 수신 부위와 디스플레이 부위로 나눌 수 있다. 이 각각의 부위는 서로 실시간으로 스피ndl의 회전 결과를 송수신하게 된다.

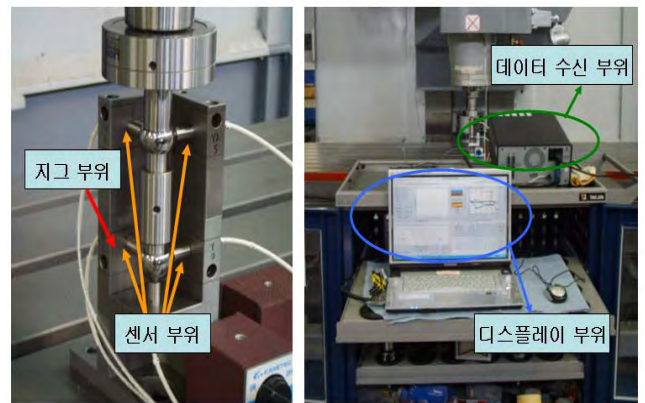


Fig. 2 Rotation measurement system

### 3. 스피ndl 에러 성분

회전 정밀도 측정기를 이용하여 측정할 수 있는 에러 성분은 Synchronous, Asynchronous, Total 값으로 총 3개이다. 일반적으로 Synchronous 값은 주파수와 관련 있는 에러 값으로 Asynchronous 값에서 추출이 가능하며 Asynchronous 값은 회전 속도와 관계없는 에러 값으로 non-repeatable 성분을 뜻한다. Synchronous 값은 주로 하우징의 결함 등의 결함에서 발생을 하며 Asynchronous 값은 베어링의 부적절한 예압 등에 의해 생겨난다.

Fig. 3의 그림은 Total 에러 성분으로 그래프 상의 같은 중심의 2개의 동심원인 내접원과 외접원의 폭을 말한다. 이는 제일 높은 값과 제일 낮은 값의 차이로 뜻하며 스피ndl의 에러 성분 중 Synchronous 값과 Asynchronous 값을 합한 값을 뜻한다.

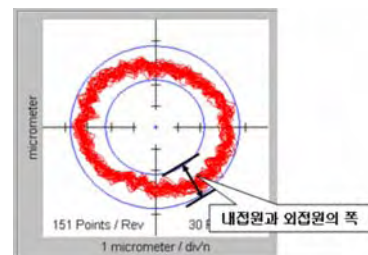


Fig. 3 total error motion

Synchronous 에러 값은 Fig. 4의 그림과 같이 각도별 평균값(그래프의 중심선)의 내접원과 외접원의 차이를 말한다.

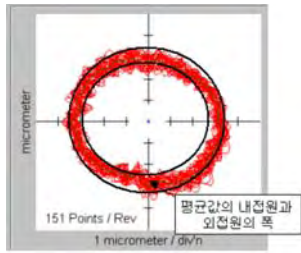


Fig. 4 Synchronous error motion

Asynchronous 에러 값은 Fig. 5와 같이 각도별 Max 값과 Min 값의 차이들 중에서 가장 큰 값을 말하며 앞선 두 에러 값과는 달리 내외접원의 개념이 아닌 측정된 그림의 외곽선의 띠 형태에서 구한다.

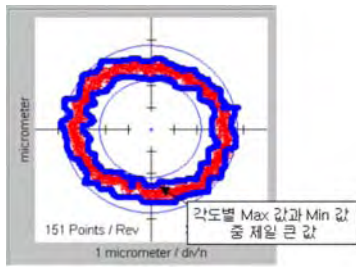


Fig. 5 Asynchronous error motion

4. 스피들 측정

12,000rpm 급의 스피들의 각 rpm 별 에러 값들의 측정은 table 1과 같다. 각각의 rpm 별의 Asynchronous의 값은 거의 변동이 없이 측정이 되었다. 하지만 Total 값과 Synchronous의 값은 10,000rpm에서 증가하여 12,000rpm에서 감소하는 경향을 보였다.

table 1 Values of error motion about respective rpm

RPM		회전수	3,000	5,000	7,000	8,000	10,000	12,000
Run - out	Total	1	1.26 $\mu$ m	2.26 $\mu$ m	3.70 $\mu$ m	4.42 $\mu$ m	16.38 $\mu$ m	7.27 $\mu$ m
	Synchronous	1	0.47 $\mu$ m	0.78 $\mu$ m	2.39 $\mu$ m	3.26 $\mu$ m	15.12 $\mu$ m	6.44 $\mu$ m
	Asynchronous	1	0.89 $\mu$ m	1.69 $\mu$ m	1.59 $\mu$ m	1.45 $\mu$ m	1.95 $\mu$ m	1.28 $\mu$ m

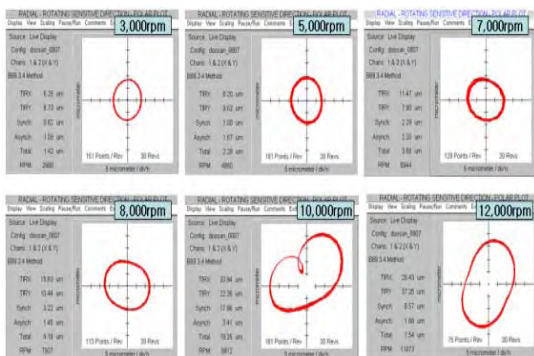


Fig. 6 Polar plot about respective rpm

이 원인의 규명을 위하여 현장에서의 주파수 측정은 물론 ARMD와 같은 전문 회전 소프트웨어를 이용하여 진동현상을 규명하였다. 더불어 Fig. 6과 같이 10,000rpm 때의 굴곡 모양의 곡선이 나온 현상도 실험적으로 언밸런스 질량을 달아주는 실험과 ANSYS와 같은 유한 해석을 이용하여 원인을 규명하였다.

5. 3D 시뮬레이션 및 실험

ARMD와 ANSYS를 이용하여 본 스피들을 모델링하여 Fig. 6과 같이 고유진동수를 측정하였다. 또한 table 1에서 보았듯이 Synchronous 값만 커졌으므로 하우징 쪽의 결합 오차가 에러 값에 영향을 주었다고 판단하여 이 부분 역시 해석하였다.

해석 결과 고유진동수에 대해서는 본 스피들은 위험 범위에 들지 않았으며 하우징 쪽의 결합 오차에 대해서 해석을 수행한 결과 비슷한 결과가 나왔다. 이를 통하여 Asynchronous 값이 하우징 쪽의 결합에 의하여 일어나는 것을 검증하였다.

언밸런스 질량 파악을 위한 실험에서는 각각 질량이 다른 여러 종류의 나사를 체결하여 다시 회전 정밀도 측정 시스템으로 측정을 하였지만 굴곡 곡선과는 영향성이 없었다.

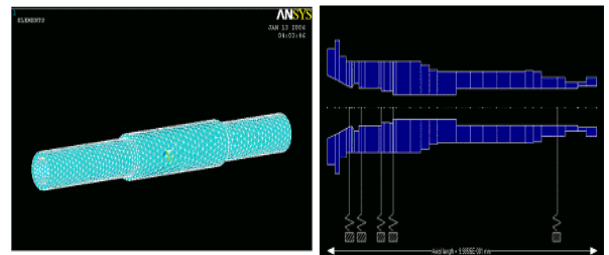


Fig. 7 Analysis using ANSYS and ARMD.

6. 결론

우선 스피들에 일어날 수 있는 에러 값들을 조사한 수 회전 정밀도 측정 시스템을 이용하여 12,000rpm 급의 스피들을 측정하였다. 측정 결과 10,000rpm 대에서 Synchronous 값이 증가하고 12,000rpm에서 다시 떨어졌다. 또한 이 값이 전체 total 에러 값에 영향을 주었다고 판단하였다.

이 현상을 파악하기 위하여 3D 해석과 언밸런스 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 고유진동수 해석 결과 위험 진동수에 들지 않았다.
2. 하우징 쪽에 오차 성분의 영향이 Synchronous 값에 영향을 주었던 사실을 검증했다.
3. 언밸런스 질량을 달아주는 실험 후 회전 정밀도 측정 시스템으로 재측정 결과 영향성이 없다고 판단되었다.

이 위의 3가지 결론을 통하여 대상 스피들의 회전 정밀도를 측정은 물론 오차 성분까지 파악을 하여 분석을 할 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. Qi, X., Shimizu, S. and Imai, N., "Measuring Method of Thermal Displacement for Machine Tools at High speed Spindle Rotation," Jr. of JSPE, Vol. 65, No.3, pp. 396~400, 1999
2. 신현장, 이석원, 박희재, "공작기계 스피들 종합 오차 측정 및 평가 기술 개발," 한국 정밀공학회 추계 학술대회 학회지, pp. 1005 ~ 1008, 1997
3. 신현장, 이석원, 박희재, "스피들 회전오차 종합적 성능 평가 기술에 관한 연구," 한국 정밀공학회 추계 학술대회 학회지, pp. 333 ~ 337, 1996
4. 김종관, 이증기, "고속주축의 회전정밀도 성능평가에 관한 연구," 한국소음진동공학회지, 483-492, 1995.
5. Kamigaki, I., Yamakawa, O., Omori, Y., Yamagiwa, T. and Sakai, H., "Roundness measurement and its uncertainty in international comparison," Proc. of IMESO 2000, Wien, PP. 139~144, 2000