

고속 회전체의 에러 검출 방법

Error Detection of High-speed Motorized Spindle

*임정숙¹, 정원지², 이정환¹, #이춘만²

*J.S. Lim¹, W. J. Chung², #C.M. Lee³ (cmlee@changwon.ac.kr)

¹ 한국기계연구원 부설 재료연구소, ²창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Motorized spindle, High-speed spindle, Error detection, Data acquisition, Non-contact sensor

1. 서론

급속하게 변하는 제품의 생산변화에 발맞추어 이를 가공하는 가공기의 성능 또한 발빠르게 변하고 있다. 제품의 형상이나 급형을 좀 더 정확하고 빠른 시간 내에 가공해야 하며, 대상물의 소재 또한 다양해지고 있어 고속고정밀 가공기에 대한 수요와 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 그와 더불어 이러한 고속고정밀 가공기의 성능을 검증하기 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 공작기계의 경우, 가공기가 고속고정밀이 됨에 따라 가공 및 이송의 유연성을 위해 스피ndl은 컴팩트하게 되고, 그에 따라 모터내장형 스피ndl을 사용하게 된다. 모터내장형 스피ndl의 경우 가장 큰 관심의 대상이 되는 것이 바로 발열문제이다. 스피ndl 내부에서 발생하는 열은 외부로 방출되는 것이 쉽지 않고, 가공시 발생하는 열은 스피ndl의 각 부분에 영향을 주어 최종적으로 제품의 가공정밀도에 영향을 미치게 된다. 이러한 열변형을 근본적으로 차단하기는 상당히 어려운 문제이기 때문에 이러한 열변형을 예측하고 보정하기 위해 많은 선행 연구들이 수행되어져 왔다.

J.F.Tu¹는 멀티-오리엔테이션(multi-orientation) 방법을 이용하여 스피ndl이 회전할 때의 에러를 쉽고, 저렴하게 예측할 수 있는 방법을 고안하였지만, 이는 저속에서만 가능하며, 고속에서는 그 성능을 제대로 발휘하지 못한다는 단점이 있다. Wasawat Nakkiew²는 실제 가공시의 에러를 검출하기 위해 스피ndl에 공구를 부착하여 여러 가지 실험을 하였는데, 실험자가 일일이 절삭깊이를 제어해야 하는 데서 실험의 반복성과 재현성에 대한 단점이 있다. Gi-Bum Jeong³은 FFT 알고리즘과, 3개의 비접촉식 센서를 이용하여 스피ndl의 에러를 검출하고자 시도하였다. 이 방법은 두 개 이상의 센서를 사용하여 측정하는 방법으로 스피ndl 오차의 반복성을 필요로 하지 않는 장점이 있지만, 고주파 성분이 정확하게 측정되지 않는 단점이 있다. 또한 센서를 이용한 측정 시 마스터볼을 사용하였으므로, 측정물이 바뀔 때마다 그에 해당하는 마스터볼을 제작해야 하는 번거로움이 있다⁴. 이러한 측정을 통한 시스템의 구성과 검증에서는 항상 측정의 용이성, 반복정밀도, 고속에서의 정확성, 에러 검출방법, 에러 보상 등에 대한 고민을 동반하게 된다.

따라서 위의 고민들을 해결하기 위하여, 최소한의 비용을 지출하고, X, Y 그리고 Z축의 에러를 검출하고, 설치가 용이하며 실험의 재현성이 유용한 고속 회전체의 에러를 실시간으로 검출하여 제품의 가공정밀도를 향상시키고자 한다. 본 논문에서는 두 개의 프로브와, 속도 측정용 광센서, 열전대를 이용하여, 속도와 온도에 따른 고속 회전체의 반경방향 오차를 효과적으로 평가할 수 있는 방법에 대해 연구하고자 한다.

2. 에러검출 시스템 구성

스피ndl의 회전 정밀도는 공작물의 가공정밀도에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 스피ndl의 회전 정밀도를 구하기 위하여 거의 대부분 스피ndl에 마스터볼을 부착하여 이를 시험하는데, 마스터볼을 사용하게 되면, 공구의 톨 홀더에 따라 다양한 마스터볼을 구비해야 한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 스피ndl의 회전 정밀도를 파악하기 위하여 J.F.Tu¹는 멀티-오리엔테이션(multi-orientation) 방법을 이용하여 스피ndl이 회전할 때의 에러를 쉽고, 저렴하게 예측할 수 있는 방법을 고안하였다. J.F.Tu¹는

X축과 Y축의 데이터를 취득하기 위하여 4개의 프로브(probe)를 사용하여 데이터를 취득하였지만, 본 연구에서는 단 2개의 프로브만을 사용한 개선된 멀티-오리엔테이션 방법을 사용하였으며, 그에 대한 개념도를 Fig. 1에 나타내었다.

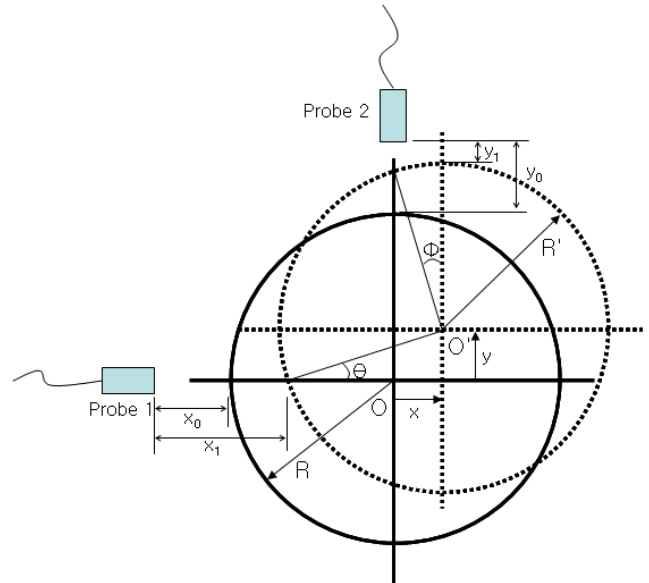


Fig. 1 Schematic diagram of probe installation and radial motion measurements

스피ndl이 정지 상태에서의 원점을 O라고 하면, 스피ndl이 회전할 때 편심이 발생하면 원점 O는 O'로 이동하게 된다. Fig.1에서 측정 가능한 값인 x_0, x_1, y_0 및 y_1 으로 프로브와 회전체의 원점을 나타낼 수 있다. Fig. 1에서 실선의 원은 비운전상태의 스피ndl을 나타내고 점선의 원은 회전상태의 스피ndl이 임의의 방향으로 편심되어 회전하는 것을 단편적으로 나타낸 것이다. 이렇게 이동하는 원의 중심점의 좌표를 (x, y) 라고 하면, 측정되어지는 값인 x_1 과 y_1 은 식 (1), (2) 같이 표현된다. 그러므로 x점의 좌표와 y점의 좌표는 식(3)과 식(4)와 같이 나타내어진다. 스피ndl이 회전함에 따라 각각의 회전각에 대한 O' 점의 좌표를 그래프로 나타내면, 스피ndl의 회전 정밀도에 대한 데이터를 얻을 수 있다. 또한 Z축 방향에 프로브를 설치하여 모터내장형 스피ndl의 주된 관심사인 스피ndl의 축방향 길이변화를 모니터링 할 수 있다.

$$x_1 = R + x + x_0 - R' \cos \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$y_1 = y_0 + R - R' \cos \phi - y \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$x = x_1 - x_0 - R + R' \cos \theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$y = -y_1 + y_0 + R - R' \cos \phi \quad \dots\dots\dots (4)$$

실험장치는 다음의 Table 1과 같이 구성하였다. 스피ndl의 변위에 대한 데이터를 취득하기 위해서 비접촉식 갭-센서(Gap-sensor)를 사용하였으며, AEC 사의 PU-05로 0.3 μ m의 분해능을 가지고 있다. 데이터취득 시스템을 구성하기 위해 National Instrument 사의 SCXI 시리즈인 1600, 1126 및 1125로 구성하였으며, 프

랩은 LabVIEW를 사용하여 취득하고자 하는 데이터를 쉽게 얻고 원하는 분석을 할 수 있도록 프로그램을 직접 작성하였다. 스피ndl의 회전속도를 측정하기 위하여 비접촉식 광센서를 사용하였으며, 회전속도와 발생한 열에 따른 스피ndl의 회전 정밀도를 파악하기 위하여 관심위치에 열전대를 심어 데이터를 취득하였다.

Fig. 2에서 센서와 프로그램이 설치된 모습을 볼 수 있다. 프로브는 스피ndl의 끝단에 위치하고 있으며, 프로브의 측정을 방해하지 않는 범위에서 속도를 측정하는 광센서를 설치하였다. 열전대는 베어링부와 내장형 모터부, 실내온도 등을 측정할 수 있도록 설치하였다.

Table 1 Specifications of experimental equipment

Item	Specifications
Probe	AEC Gap sensor PU-05
Data Acquisition Board	SCXI1600, 1126, 1125
Speed detector	Optical Reference Sensor P-95
Thermocouple	T type



Fig. 2 Installation for experiment

3. 실험결과

Fig. 1의 개념도에 따라 데이터 취득 프로그램을 National Instrument사의 LabVIEW로 프로그램하고 Fig. 2와 같이 실험장치를 설치하여 고속으로 회전하는 스피ndl의 회전 정도를 구하였다. 두 개의 프로브만 사용하여 각 센서의 측정값을 좌표상에 나타내면, 각 센서에 대한 두 개의 원 형상을 얻을 수 있다. 센서가 위치한 축이 회전중심과 편차가 생기면 좌표상의 원의 반지름은 달라지게 된다⁴. 이렇게 얻은 두 원의 중심과 원점을 정확하게 일치시킨 다음 스피ndl의 오차를 측정하였다.

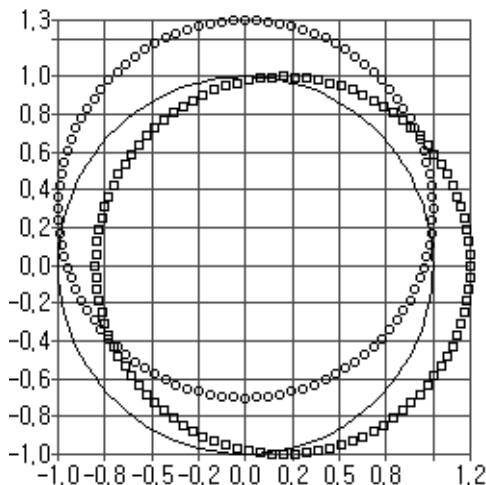


Fig. 3 Simulation data of spindle error motion

Fig. 3은 스피ndl의 회전 오차에 대한 시뮬레이션 데이터를 나타내고 있다. 여기에서 실선은 기준원이고 사각형점은 X축으로의 편심, 원형점은 Y축으로 편심된 원을 보여준다. Fig. 3과

같은 기능을 수행하는 프로그램을 작성하여 고속 회전체의 회전 정도 에러에 대한 분석을 수행하였다.

4. 결론

본 연구에서는 실험장비에 드는 비용을 최소화하기 위하여 두 개의 프로브를 이용하여 스피ndl의 반경방향 오차를 측정한 후 새로운 측정데이터 분석 방법을 통해 효과적으로 스피ndl의 반경방향 오차를 평가할 수 있음을 보였다. 또한 기존 방식보다 적은 개수의 프로브를 사용하여 설치가 용이하고 비용이 절감되는 효과 또한 얻을 수 있었다. 향후, 본 시스템에 모터내장형 스피ndl의 회전속도와 온도발열에 따른 측정시스템을 구축하여 스피ndl의 반경방향 오차와 축방향 오차를 동시에 측정할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다.

후기

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

참고문헌

1. J.F. Tu, M. Corless, M.J. Gehrich and A.J. Shih, "Experimental study of a precision, hydrodynamic wheel spindle for submicron cylindrical grinding," Precision Engineering, 22, 43-57, 1998.
2. Wasawat Nakkiew, Chi-Wei Lin and Jay F. Tu, "A new method to quantify radial error of a motorized end-milling cutter/spindle system at very high speed rotations," International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 877-889, 2006.
3. Gi-Bum Jeong, Dong Hwan Kim and Dong Young Jang, "Real time monitoring and diagnosis system development in turning through measuring a roundness error based on three-point method," International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, 1494-1503, 2005.
4. 이용삼, 이재하, 양승한, "소형-고속 스피ndl의 반경방향 오차 분석 방법," 한국정밀공학회 2004 추계학술대회논문집, 604-608, 2004.
5. Gao, W., kiyono, S., Nomura, T. "A new multiprobe method of roundness measurements," Precision Engineering, 19, 37, 1996.