

고속 스피ن들의 변위측정 시스템 개발

김효곤*, 정원지⁺, 주지훈⁺⁺, 조영덕⁺⁺
(논문접수일 2007. 10. 20, 심사완료일 2008. 9. 22)

Development of a Measurement System for High-Speed Spindle Displacement

H. G. Kim*, W. J. Chung⁺, J. H. Ju⁺⁺, Y. D. Cho⁺⁺

Abstract

At present many research projects on high-speed spindles are being conducted. These projects require a measurement technique which includes heat expansion, vibration and displacement measurement according to angular velocity. This paper presents the development of a measurement system for high-speed spindle displacement. The measurement system is based on LabView[®] and features the following sensors: optical sensor which reacts to the position of a marker on the spindle and enables two Laser Displacement Sensors(LDS). These Laser Displacement Sensors send their data to a DAQ (Data Acquisition Device). It is important that the delay time caused by the response times of the sensors as well as the sampling rate of the DAQ is considered because the spindle revolves at very high speeds.

Key Words : LabView[®](랩뷰), DAQ(데이터 수집 장치), high-speed spindle(고속 스피인들), Laser Displacement Sensor(레이저 변위 센서)

1. 서론

현재 제품의 라이프 사이클은 더욱 짧아지는 경향이 있다. 이와 같은 필요에 신속히 대응하기 위해서는 금형 제작의 리드 타임을 단축할 필요가 있으며 그 실현을 도모하기 위한 수단으로서 고속가공에 뜨거운 시선이 쏠리고 있다. 금형 가공에 고속절삭을 적용하면 종래의 복잡한 생산 공정이 합리화될 뿐 아니라 가공 정밀도나 가공면 품질의 향상 그리고

가공비용 절감 등의 효과가 기대된다. 금형의 고속가공에 있어서는 고속가공 기계의 진동 특성을 충분히 파악하여 양호한 조건에서 사용하는 것이 중요하다. 최근에는 고속 주축에 빌트 인 모터를 채용하여 종래의 벨트 구동이나 커플링 구동에 비하여 진동에 관한 문제는 대폭 개선되었으나, 실제로 공구를 장착한 상태에서 회전속도를 높여가면 잔류 언밸런스 때문에 회전 성분의 진동이 증가하고 특히 고유 진동수에 근접한 곳에서는 극단으로 커진다. 따라서 고속가공 기계를

* 창원대학교 기계설계공학과 대학원 (silver_river@daum.net)
주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지
+ 창원대 기계설계공학과
++ 창원대 기계설계공학과 대학원

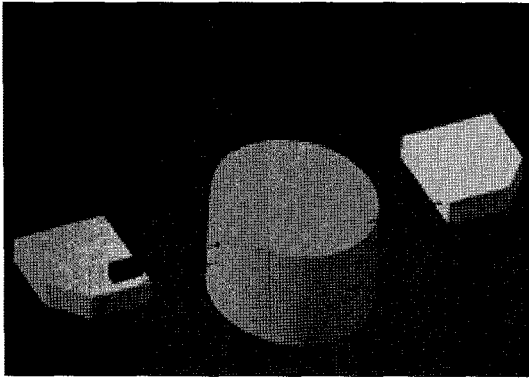


Fig. 1 Schematic of a measurement system for high-speed spindle displacement

구사하기 위해서는 먼저 그 진동 특성을 파악할 필요가 있다.

종래의 진동 측정 시스템은 고속 회전하는 스피ndl에서 특정 포인트의 변형량을 측정 할 수 없었다. 특정 포인트의 변형량 측정은 언밸런스 분석에 도움을 줄 수 있다.

본 연구는 고속 회전 시 스피ndl의 특정 포인트의 변형량을 측정할 수 있는 계측 시스템을 개발하는 것이다⁽¹⁾.

Fig. 1은 본 계측 시스템의 단순도 이다. 시스템의 원리는 고속 회전하는 스피ndl의 특정 포인트를 광학 센서가 감지하고 광학 센서는 레이저 변위 센서를 작동시켜, 레이저 변위 센서의 데이터를 DAQ(Data Acquisition) 보드에서 받는 형식이다. 스피ndl이 고속으로 회전하기 때문에 DAQ 보드의 샘플링 속도와 광학 센서의 응답 속도, 레이저 변위 센서의 응답속도를 고려하여 지연 시간을 조정하는 것이 본 계측시스템의 핵심이다. 트리거와 데이터 수집, 사용자 인터페이스를 LabView[®]로 구현하였다. 본 연구는 고속 가공을 위한 데이터베이스화에 많은 도움을 줄 것이다.

2. 시스템의 구성

본 연구의 시스템은 DAQ 보드와 National Instrument의 LabView[®] 전용 PC PXI-1042Q, keyence의 레이저 변위 센서 LK30M, 레이저 변위 센서 컨트롤러, 광학센서로 구성되며, 소프트웨어는 시스템 구축을 위한 LabView[®] 8.0을 사용하였다. Table 1은 시스템에 사용된 장치의 세부 제원을 나타낸다.

시스템의 구성은 Fig. 2와 같이 스피ndl의 특정 포인트를 감지하기 위한 광학센서와 스피ndl의 중심축 상에 2개의 레

Table 1 Equipments used in the experiment

No.	Equipment
1	Labview [®] PXI-1042Q, PXI-4472B Sampling rate 102.4kHz Vivo : +10 ~ -10v /NATIONAL INSTRUMENTS
2	Laser Displacement Sensor LK30M Accuracy : 0.05 μ m /KEYENCE
3	Laser Displacement Sensor's controller LK-G3001V /KEYENCE
4	Optical sensor FS-V31 Response rate: 33 μ s /KEYENCE

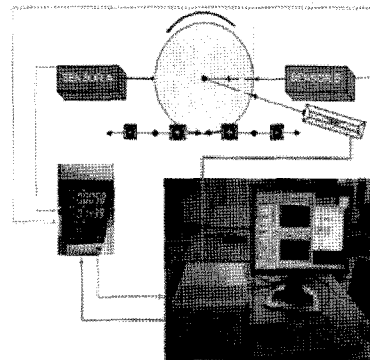


Fig. 2 The schematic of measurement system

이저 변위 센서를 위치시키고 레이저 변위 센서 컨트롤러에서 나온 전압 데이터를 수집, 분석하는 DAQ 시스템으로 구현하였다. 스피ndl이 고속으로 회전하기 때문에 특정 위치를 인지해서 그 지점의 변위를 바로 측정하는 것은 시스템의 응답 속도와 처리속도에 따른 지연시간으로 불가능하다.

따라서 DAQ 보드의 샘플링 속도와 광학 센서의 응답 속도, 레이저 변위 센서의 응답속도를 고려하여 지연시간을 조절해야한다.

스피ndl의 회전속도가 12,000rpm 일 때 임의로 지연시간을 주지 않았을 때 측정된 결과, 원하는 지점에서 4° 떨어진 지점의 변위가 측정 되었다. 따라서 전체 시스템은 55 μ s의 지연시간을 가진다. 측정을 원하는 위치를 광학센서가 감지했을 때 지연시간 T를 주어서, 스피ndl이 회전하여 원하는 위치에 돌아

왔을 때, 레이저 변위센서가 변위를 측정하게 한다.

스핀들의 회전 속도에 따른 추가로 주는 지연시간 T를 구하는 방법은 식 (1)과 같다⁽²⁾.

$$T = \frac{60(s)(rpm)}{\omega} - 55(\mu s) \quad (1)$$

ω : Spindle velocity(rpm)
 s: second
 rpm: revolution per minute

식 (1)을 반영하여, LabView® 인터페이스 프로그램을 만든다. Fig. 3과 Fig. 4는 LabView®로 구현한 시스템의 프론트 패널과 블록 다이어그램이다. LabView®는 데이터의 수집 및 제어, 데이터 분석, 데이터의 표현 등을 위한 혁신적인 프로그래밍 시스템으로 효과적인 프로그래밍 방법을 제공하여 준다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 사용자는 스핀들의 속도만 지정하면 블록 다이어그램에서 추가지연시간을 계산하여 사용자가 원하는 측

정지점의 변위 데이터를 디지털 값과 그래프로 나타낸다.

그리고 LabView® 프로그램은 PC기반이기 때문에 Excel과 같은 스프레드시트 프로그램과 연동이 가능하다. 본 시스템도 측정 데이터를 엑셀파일로 출력하여 사용자의 데이터 분석을 용이하게 하였다⁽³⁾.

3. 시스템 구현 및 검증

광학센서는 발광부에서 빛을 쏘고 대상 물체에 반사되어 돌아온 빛을 수광부에서 받아 빛의 세기에 따라 출력을 High에서 Low로 Low에서 High로 조정한다. 스핀들의 측정을 원하는 위치에 검정색으로 표시하면 광학센서가 이를 감지하여 전압을 High에서 Low로 출력한다. 이 신호를 DAQ에서 트리거 신호로 입력받는다. Fig. 5는 사용된 광학센서와 작동영역 조절 값을 나타낸다.

빛이 검정 마크에 닿으면 반사된 빛의 세기는 544이하로 떨어지고 검정 마크 이외의 부분은 544이상 800이하의 값을 가진다. DAQ에서 트리거 입력신호를 받으면 DAQ는 스핀들의 속도에 따른 지연시간을 적용한 뒤 레이저 변위 측정기를 동작시키고, 레이저 변위 측정기는 아날로그 출력 값을 DAQ시스템으로 전송한다. Fig. 6은 레이저 변위 측정기의

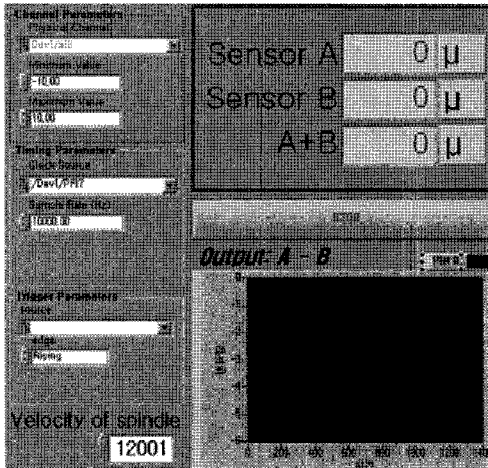


Fig. 3 Front-panel of measurement system

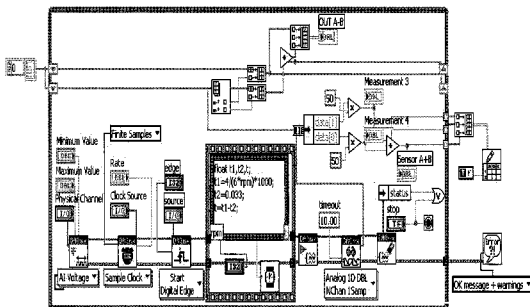


Fig. 4 LabView® Block diagram of measurement system

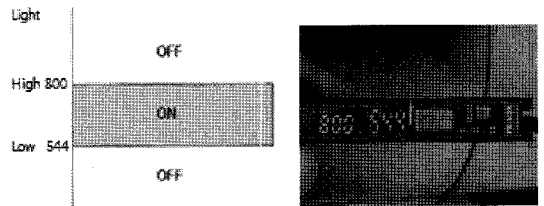


Fig. 5 Area detection mode

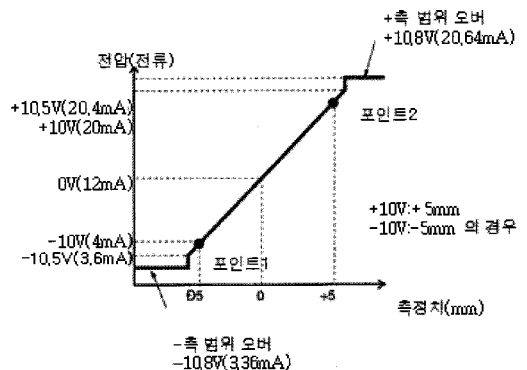


Fig. 6 Relation between displacement and analog output

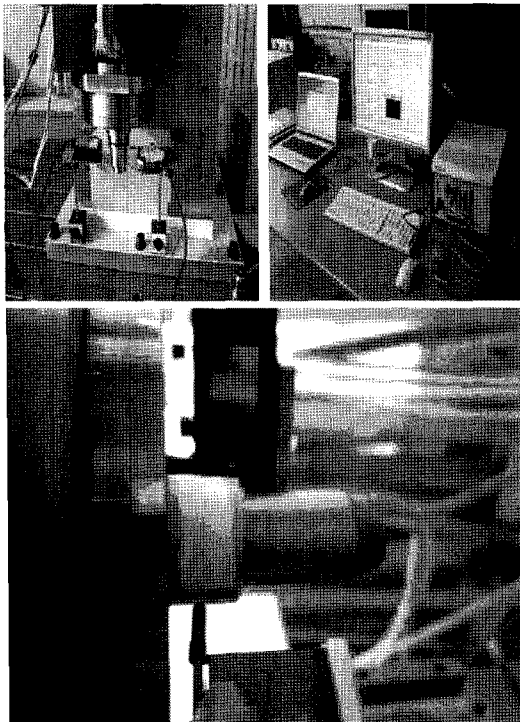


Fig. 7 Experimental setup

아날로그 출력 값과 변위의 관계 그래프이다.

스케일링을 설정할 때에는 임의로 정한 2점의 표시치에 대해 각각 아날로그 출력치를 설정한다⁽⁴⁾.

Fig. 7은 직경 55mm 스피들에 시스템을 설치한 모습이다. 시스템이 스피들에 마크된 특정 위치를 정확하게 측정하는 것을 검증하기 위해 스피들에 마크된 지점에 일치선으로 검정 스티커를 붙여, 시스템이 스티커의 두께를 포함하여 측정하는지 테스트 한다. 스피들의 회전 중심과 레이저 변위 센서의 측정축의 불일치할 경우 최종 측정값에 심각한 오차를 유발할 수 있고, 피측정물의 진원도, 원통도, 표면거칠기, 웨이비니스등의 형상정도에 의한 오차가 발생할 수 있다. 본 실험에서도 이러한 오차가 발생할 수 있으나, 스피들의 고속 회전시 특정 포인트에서 변위를 정확하게 잡아낼 수 있는나에 대한 실험이므로 오차값 이상의 두께를 가진 테이프를 부착하여, 본 시스템의 특정 지점의 변위 측정 가능 유무를 판단한다.

Fig. 8은 스피들에 트리거 신호를 사용하지 않고 일정 두께를 가진 스티커도 부착하지 않았을 때의 아날로그 출력을 테스트한 결과이다.

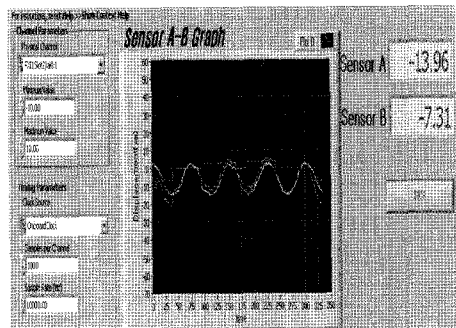


Fig. 8 The analogue output from the indicator without using trigger signals and a sticker at 5000rpm

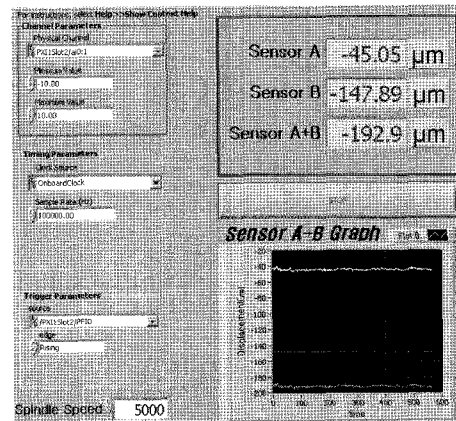


Fig. 9 Measured output data as graph at 5000rpm

스피들의 회전속도가 5000rpm일 때 트리거를 사용하지 않고 스피들의 모든 면을 측정했기 때문에 스피들의 진동요소로 인해 스피들의 변위가 정현파의 형태를 띤다. 측정된 스피들의 최대 변위량은 21.27 μm 이다.

Fig. 9는 스피들의 회전 속도가 5000rpm일 때 트리거 신호를 사용하고 계산된 지연시간을 적용한 변위측정 시스템으로 측정했을 때의 측정 결과이다. 스티커의 일정 두께가 포함되어 192.9 μm 로 측정 되었고, 일정 지점을 트리거하여 측정하였기 때문에 데이터들이 거의 일정한 변위값을 유지하는 것을 확인 할 수 있다⁽⁵⁾. 따라서 개발된 시스템이 특정 위치에서 변위값을 정확하게 측정하는 것을 확인할 수 있다.

Table 2와 Fig. 10은 스피들의 속도, 1000rpm에서 5000rpm까지 1000rpm 간격으로 측정된 변위 데이터로 출력된 엑셀파일이다. rpm이 클수록 스피들의 변형량이 커졌을 확인할 수 있다. 본 시스템은 Excel과 같은 스프레드시트 프로

Table 2 Measured data firpm

Spindle speed (rpm)	Average Spindle displacement(μm)
2000	-11.049
3000	-11.377
4000	-11.651
5000	-11.715
6000	-11.750
6300	-12.064

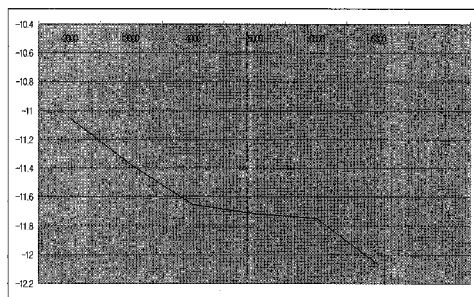


Fig. 10 Displacement graphs created by Excel file for the following spindle speeds: 1000rpm ~ 5000rpm

Table 3 Measured data at 9210rpm

	SENSOR_A (μm)	SENSOR_B (μm)	A+B (μm)
MAX	-3.812	-0.014	-4.324
MIN	-5.211	-1.212	-5.730
AVERAGE	-4.451	-0.684	-5.135
RMS	4.312	0.514	4.826
Dispersion	0.031	0.025	0.056
Standard deviation	0.177	0.158	0.237

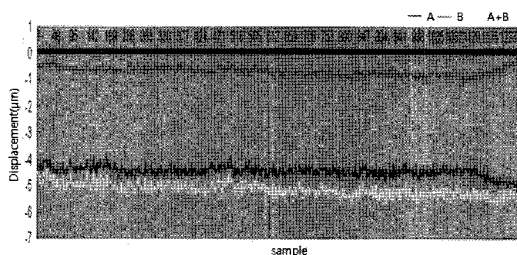


Fig. 11 Measured output data graph at 9210rpm

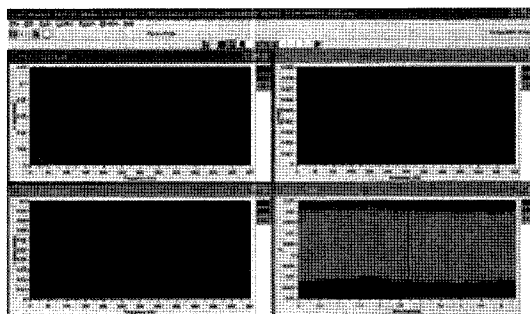
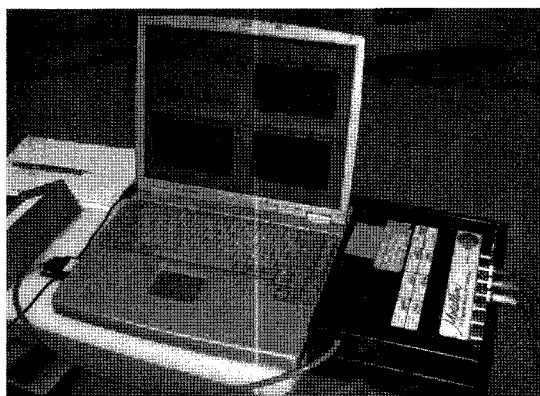


Fig. 12 Measured output data as graph at 9210rpm

그래프와 연동이 가능하여 데이터 분석이 용이하다⁽⁶⁾.

Table 3과 Fig. 11은 스티커를 제거하고 스핀들이 9210rpm으로 회전할 때 스핀들의 특정 위치에서 변위를 측정된 결과이다. Table 3을 보면 스핀들의 변위 측정 표준 편차가 0.2366, 최대 최소 차이가 1.4 μm 정도 차이가 난다.

스핀들이 고속으로 회전할 때 레이저 변위센서의 진동에 의해 오차가 발생할 수 있다. Fig. 12는 스핀들이 9210rpm으로 회전할 때 레이저 변위센서 끝단의 진동을 측정된 결과이다. 센서 끝단의 진동 최대치는 0.118 μm 정도로 변위 오차에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다⁽⁷⁾.

4. 결론

본 연구는 고속으로 회전하는 스핀들의 특정 포인트의 변형량을 측정할 수 있는 계측 시스템을 개발하는 것이다.

고속 회전하는 스핀들의 특정 포인트를 광학 센서가 감지하고 광학 센서는 레이저 변위 센서를 작동시켜, 레이저 변위센서의 데이터를 DAQ(Data Acquisition) 보드에서 받는 시스템이다. 스핀들이 고속으로 회전하기 때문에 DAQ 보

드의 샘플링 속도와 광학 센서의 응답 속도, 레이저 변위 센서의 응답속도를 고려하여 지연 시간을 조정하는 것이 본 계측시스템의 핵심이다. 트리거와 데이터 수집, 사용자 인터페이스를 LabView[®]로 구현하였다.

본 시스템을 직경 55mm 스피들에 적용하여 데이터 측정과 검증을 하였다. 기존의 진동 측정 시스템은 고속 회전하는 스피들에서 특정 포인트의 변형량을 측정할 수 없었다. 특정 포인트의 변형량 측정은 언밸런스 분석과 고속 스피들 개발을 위한 데이터 수집에 적용할 수 있을 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Kim, S. W., 1999, "Research on the Effect of Cutter Wear on the Torsional Vibration of Spindle in Milling," *Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 9, pp. 62~67.
- (2) Beckwith, T. G. and Roy, D. M., 1993, *Mechanical Measurements*, Prentice Hall, pp. 104~118.
- (3) Bruce, 2001, *LabVIEW for Data Acquisition with CDROM*, Prentice Hall PTR, USA, pp. 151~172.
- (4) Nam, Y. S., Kim, H. G., Yoo, N. S., and Lee, J. W., 2003, "Development of a Wind Turbine Monitoring System using LabVIEW," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 5, pp. 92~98.
- (5) McDonough, A. L., 2000, *Data Acquisition & Analysis for the Movement Sciences*, T-Mecha, USA, pp. 221~243.
- (6) Choi, S. J., 2002, "Graphical Programming Language," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 39~46.
- (7) Liu Z. X. and Zhang D. W., 2006, "A high-speed cutting temperature measurement equipment based on semi-manual thermocouple method," *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, Vol. 4, pp. 59~61.