

측정대상물의 표면조도에 따른 광파이버 센서 특성고찰

박한수*, 정택구(충남대 대학원 기계공학과), 홍준희, 이동주(충남대 기계공학과)

The Characteristics of Fiber Optic Sensor on the Surface Roughness of Target

H. S. Park, T. G. Jung(Mech. Eng. Dept., Chungnam National Univ.), J. H. Hong, D. J. Lee(Mech. Eng. Dept., Chungnam National Univ.)

ABSTRACT

In fiber optic sensor, the error of the measurement is influenced by the surface roughness of the target and surroundings, especially the outside light. To reduce or modify this error, the sensitivity of the fiber optic sensor and the noise change by the surface roughness of the target should be known. The purpose of this paper is to observe the sensitivity of the fiber optic sensor and the noise according to the surface roughness of the target.

Key Words : Fiber optic sensor(광파이버 센서), surface roughness(표면조도), sensitivity(민감도), noise(노이즈)

1. 서론

최근 회전기계류(Rotating Machinery)에 대한 세계적인 기술추세를 볼 때 고속화와 정밀화에 대한 요구가 한층 강조되고 있으며, 이러한 측면에서 자기 베어링(Magnetic Bearing)에 대한 활용기술은 증대되고 있는 실정이다.

자기베어링의 장점은 기계적인 마찰, 마모가 없기 때문에 에너지 손실이 적고 수명이 반영구적이면서 윤활이나 밀봉의 필요성이 없어 진공이나 부식성 대기 및 광범위한 온도에서 사용할 수 있다. 특히 비접촉 베어링이어서 최대 허용속도를 매우 높일 수 있으며, 전기적인 제어가 가능하여 회전축의 회전정밀도를 고정도로 유지할 수 있고 회전 시스템의 내·외부 진동뿐만 아니라 불균형에 대한 자동 밸런싱도 능동제어로 유지할 수 있는 기능을 갖는다.

이러한 자기 베어링의 능동적 제어를 위해서 주축의 상태모니터링이 중요하다. 현재 자기 베어링 상태 모니터링에 사용되고 있는 센서로는 와전류형 센서(Eddy-Current Sensor)와 용량형 센서(Capacitive Sensor)가 가장 일반적이며 그 외에 유도형 센서(Inductive Sensor)와 본 연구에서 다루게 될 광파이버 센서(Fiber Optic Sensor) 등이 있다.

광파이버 센서가 다른 센서와 비교할 때 우수한 점은 비접촉식으로 물체를 검출하고 입사광량에 따른 출력전류의 직선성이 우수하고 응답특성이 뛰어나다. 또한, 고속응답이 가능하며 파이버를 이용하여 빛의 전달이 용의하고 자기와 진동의 영향을 적게 받는다. 그러나, 단점으로는 똑같은 측정 조건에서도 특정 대상물의 거칠기와 주변환경 특히 외부 빛에 따라 측정치의 편차를 가져올 수 있다는 것이다. 이러한 측정치의 편차를 줄이거나 보정하기 위해서는 측정 대상물의 거칠기에 따른 광 파이버센서의 민감도와 노이즈 변화를 알아야 한다.

본 연구는 광 파이버센서를 설계하고 제작하여 측정대상물의 표면조도에 따른 광파이버 센서의 민감도와 노이즈 변화특성을 고찰하는데 중점을 두었다.

2. 센싱 시스템의 설계

2.1 광 파이버센서의 원리⁽¹⁾

단일 파이버 반경을 r_o , 입사광 조도를 E_o , 시료 표면의 반사율을 ρ 로 하면 단일 파이버에 의한 시료 표면으로부터의 반사 광속 ϕ_o 는 식(2.1)과 같

이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_o = \rho \pi r_o^2 E_o \quad (2.1)$$

또한 Fig. 1에 나타냈듯이 반사광 조도가 일정한 범위의 원의 직경을 r' , 그의 조도를 P , 확산 반사광이 미치는 범위의 원의 반경을 r 로 하면 단일 파이버에 의한 시료 표면으로부터의 반사 광속 Φ_o 는 식(2.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi_o &= 2\pi P \left\{ \int_0^{r'} x dx + \int_{r'}^r \frac{1}{r-r'} (r-x) x dx \right\} \\ &= \frac{\pi}{3} P (r^2 + rr' + r'^2) \end{aligned} \quad (2.2)$$

식(2.1)과 (2.2)로부터 시료 표면으로부터의 반사 광 조도 P 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P = \frac{3\rho r_o^2}{r^2 + rr' + r'^2} E_o \quad (2.3)$$

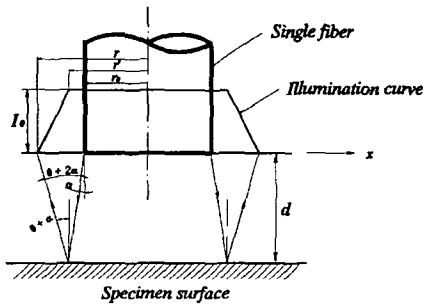


Fig. 1 Reflected light illumination curve of single fiber

측정 대상물로부터의 반사광을 수광하는 부분에 PIN다이오드를 사용하면, 광 입력 P 와 광 전류 I_L 사이의 관계는 식(2.4)와 같이 된다.

$$I_L = \frac{Pq\eta}{h\nu} \quad (2.4)$$

여기서, q 는 전자의 전하(Electronic charge)이고, $h\nu$ 는 광자에너지(Photon energy), η 는 전환효율(Conversion efficiency)을 나타내는 상수이다. 따라서 PIN다이오드의 광 전류 I_L 은 측정 대상물로부터 입사하는 광 입력 P 에 비례하며 이것은 거리에 따라 변하게 된다. 결국, 광 전류의 변화를 측정하므로써 측정대상물로부터의 변위를 구할 수 있게 되는 것이다.

2.2 광 검출회로 설계

광 검출회로는 Fig. 2와 같이 크게 3부분으로 되

어있다. 즉, I-V변환부분, 저역 통과 필터부분, 증폭 부분이다. I-V변환기(Current-to-voltage converter)는 PIN 다이오드로부터 나오는 전류신호를 전압신호로 변환하며 이렇게 변환된 신호는 저역 통과 필터(Low pass filter)에서 1.5 kHz 이상의 고주파 신호를 차단 된다.



Fig. 2 Block diagram of signal detection system

Fig. 2에서 I-V변환기와 저역 통과 필터부분의 회로는 Fig. 3과 같다.

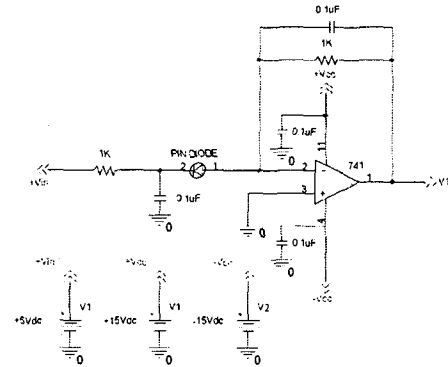


Fig. 3 Current-to-voltage converter & Low pass filter

Fig. 3에서는 피드백 전류를 I_F 라 하고, 광 전류를 I_L 은 식(2.5)와 같다.

$$I_L + I_F = 0$$

$$I_L = -I_F$$

$$I_L = -\frac{V}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad (2.5)$$

Fig. 3에서 차단주파수(Cut-off frequency)는 식(2.6)으로 나타낼 수 있으며 본 연구에서는 1.5 kHz로 설계하였다.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.6)$$

Fig. 4는 증폭부분의 회로도를 나타내며 이상적인 표면인 거울을 대상으로 민감도를 높이기 위해 출력 전압이 13V가 되도록 조정하였으며, 이때 증폭비는 800이었다.

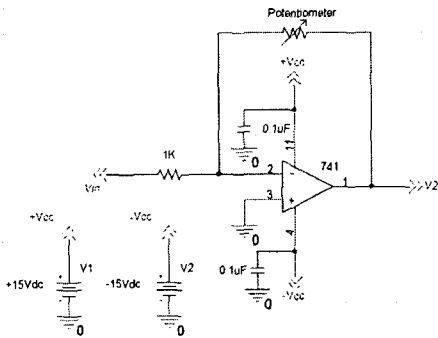


Fig. 4 Amplifier

3. 실험장치 및 정적특성 실험 고찰

3.1 실험장치

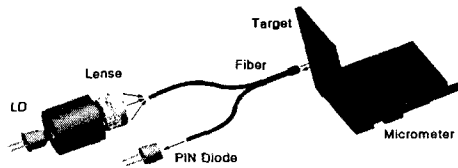


Fig. 5 Schematic of sensor probe

Fig. 5는 광 파이버센서프로브의 개략적인 모습을 나타낸 것이다. 각 타겟은 평면으로 하였으며 레이저 다이오드는 출력 5mW, 파장 650nm를 사용하였다. 또한 파이버는 플라스틱 파이버로 코어 직경이 1mm인 것을 사용하였다.

Fig. 6은 센싱 실험 장치 사진으로서 전원 공급 장치에 레이저 드라이버를 설치하고 전류의 공급을 제어하여 광의 세기를 일정하게 나오도록 하였다.

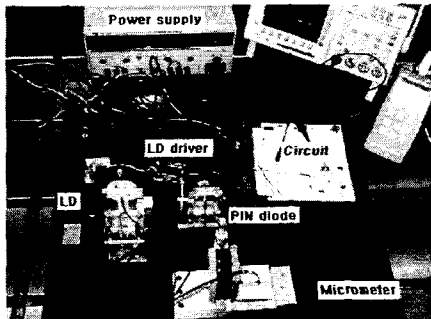


Fig. 6 Sensing test device

3.2 정적 특성 실험 고찰

센서의 출력은 1.65mm를 경계로 하강 곡선을 그리기 때문에 거리를 마이크로미터로 이동시킨후 출력을 13V가 되도록 회로의 저항비를 조절하였다. 마이크로미터의 변위를 조절하고 타겟을 표면조도에 따라 교체하면서 센서의 출력과 비교하여 정적 특성 실험을 수행하였다. 같은 조건에서 각 표면거칠기에 대한 민감도와 노이즈를 측정하기 위해 거울면을 기준으로 증폭비를 13V출력이 나오도록 조정했다.

(1) 선형성

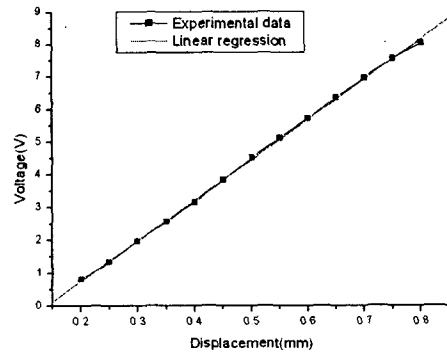


Fig. 7 Linearity

실험 데이터를 선형 회귀하면 다음과 같다.

$$Y = 12.28132X - 1.45758$$

또한, 선형성 계산 결과는 다음과 같다.

$$R(\text{Correlation coefficient}) = 0.99986$$

$$SD(\text{Standard deviation}) = 0.0425$$

$$\text{최대 편차} = 2.9887\% \text{FSO}$$

이상의 결과를 그래프로 나타내면, Fig. 7과 같으며 일정구간(0.2~0.8mm)에서 상당히 좋은 선형성을 보이고 있다. 따라서 0.6mm이내의 간극 변위 센싱에는 충분한 것으로 사료된다.

(2) 히스테리시스 오차

Fig. 8를 보면 거의 히스테리시스오차는 없으므로 판명되었으며 센서로서 충분한 조건을 갖췄다고 본다. 최대 히스테리시스 오차는 다음과 같이 나타났다.

$$\begin{aligned} \text{hysteresis} &= \frac{0.04V}{(8.28-1)V} \times 100 \\ &= 0.549\% \text{FSO} \end{aligned}$$

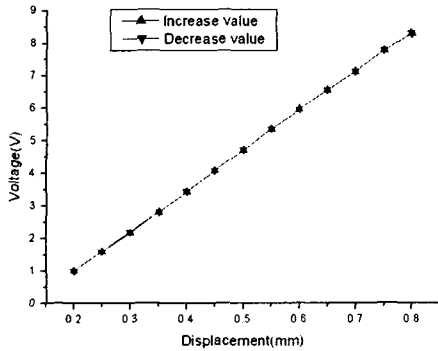


Fig. 8 Hysteresis

(3) 표면조도에 따른 민감도와 노이즈

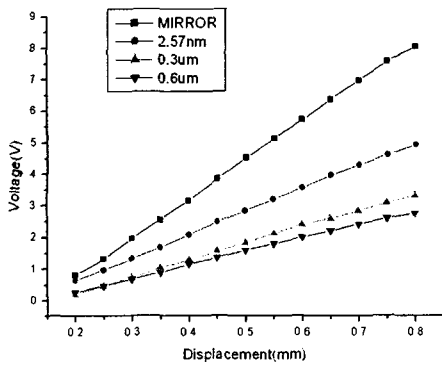


Fig. 9 Sensitivity according to surface roughness

Fig. 9는 각 표면조도에 따른 민감도를 나타낸 것이다. 일반적으로 표면 조도가 거칠면 반사율이 떨어져 민감도가 떨어진다고 알려져 있는데 실험에서도 마찬가지로 현상이 나타났다. 그러나, 표면 조도에 따른 노이즈증가는 실험결과 없다는 것을 알 수 있었다. 노이즈의 전체 범위는 46mV에서 32mV정도였으며, 전원 노이즈의 크기는 약 20mV로 많은 부분을 차지하고 있었다. Table 1의 노이즈값은 10회 노이즈 측정 결과의 평균값이다.

Table 1 Comparison sensitivity with noise

	Mirror	2.57 nm	0.3 μ m	0.6 μ m
Sensitivity (V/mm)	12.067	7.133	5.2	4.133
Noise (mV)	38.4	38	40.8	37.6

4. 결론

자기베어링 시스템개발에 필요한 센서 제작을 목적으로 본 연구는 광파이버 센서 제작과 신호 검출 회로를 구성하여 광파이버 센서의 정적 특성과 표면 조도에 따른 민감도와 노이즈를 고찰하였다. 각각의 표면조도에 따른 민감도와 노이즈 변화량을 실험한 결과 표면조도에 따른 민감도의 감소는 있었으나 노이즈의 증가는 없었다. 즉, 표면 거칠기의 영향으로 인한 노이즈는 없다는 사실을 확인할 수 있었다. 그리고, 노이즈 성분을 분석한 결과 60Hz의 전원 노이즈성분이 가장 큰 것으로 나타났다. 향후 전원 노이즈를 차단할 수 있는 대책을 세우고 민감도를 더욱 향상시킬 수 있는 회로설계를 하겠다. 또한 광파이버 센서의 동특성과 원형 타겟에서의 특성을 파악하고 연구하겠다. 앞으로 계속적인 연구를 통해 센서특성을 개선시켜 자기베어링에 적용할 수 있도록 하겠다.

참고문헌

1. Katsumasa Saito, Takashi Miyoshi, "Principles of the Fiber Optics Glossmeter," -Study on the Gloss Measurement of Polished Metal Surface by means of Fiber Optics (1st Report)-, pp. 129-131, 1974.
2. 이재호, "비접촉식 광학적 변위 측정기를 이용한 진동 및 변위 측정," 영남대학교 대학원 석사논문, pp. 9, 1999.
3. 송재복, 선우명호, 채장범, "전기전자공학개론," 반도출판사, pp. 296-297, 1998.