

# 보링바내장형 광섬유 진동센서에 대한 기초 연구

## A Study of the Boring Bar Internal Vibration measurement using Optical Fiber Sensor

\*#정석규<sup>1</sup>, 송두상<sup>1</sup>, 정진<sup>1</sup>, 홍준희<sup>2</sup>

\*#S. K. Jung(seok-kyu-@Daum.net)<sup>1</sup>, J. Jeong<sup>1</sup>, D. S. Song<sup>1</sup>, J. H. Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 기계공학과, <sup>2</sup>충남대학교 기계공학과 BK21 메카사업단

Key words : Boring Bar, Internal Vibration Measurement

### 1. 서론

선반 보링가공에서의 진동은 여러 가지 원인에 의하여 발생할 수 있지만, 보링바가 외팔보 형태를 취하여 공작물의 내부로 진행하면서 가공이 이루어지는 가공 특성에 보링바의 직경과 오버행은 최적의 절삭조건을 생각할 때 매우 중요한 변수이다. 따라서 보링바 가공 중에 일어나는 마찰진동에 대한 실시간 측정이 필요하며, 마찰진동을 측정하기 위해서는 보링바의 직경과 오버행에 따르는 고유진동수에 대한 고찰이 이루어져야한다.

기존의 많은 연구에서 고유진동수 측정은 가속도 센서나 꺾 센서를 이용하여 외팔보 형태의 실험적 시편을 통해 측정된 것이 대부분이고, 이들의 센서로는 공작물 내부로 진행하면서 가공하여 발생하는 내부에서의 칩이나 절삭유 의 비산과 같은 여타의 진동 요인에 따른 진동을 측정하기 위한 접근이 매우 곤란하여 여러 진동들이 공진되어 일으키는 문제점들을 실제의 가공에 적용하여 알아보기가 어려운 단점이 있다.

광섬유 센서를 이용하여 기존의 가속도 센서나 꺾 센서와 동일하게 보링바의 고유진동수를 측정한 연구 결과가 있으나 이는 어디까지나 기존의 센서와 동일한 조건에서 측정의 가능성만을 제시하였을 뿐 실제 가공에 사용되기에는 적절한 대안이 되지 못하는 듯하였다.

본 연구에서는 기존의 센서에 비해 구조적으로 간단하고, 제작 비용이 저렴하며 높은 성능을 구현하면서 보링바의 내부에 위치해 복잡한 요인들로 발생하는 진동을 실제 가공을 통하여 측정할 수 있도록, 광섬유 센서를 이용하여 보링바 내장형 진동 센서를 제작하기 위한 기초 실험으로 기존의 센서와의 비교를 통한 성능 검토를 하였고, 더 나아가 실제 보링바에 적용하여 절삭 가공 중 일어나는 진동에 대한 측정의 가능성을 검토하였다.

### 2. 광섬유 진동센서의 원리

투광섬유로부터 방사되는 빛은 일정한  $\alpha$  각으로 퍼져나가며 일정거리 만큼 떨어진 수광면에 원형 조사면을 가진다. 그러므로 방사된 빛의 일부분만 수광 섬유로 입사된다. 이때 광섬유에 가해진 외란은  $\alpha$  각 이내의 입사각도  $\theta$ 를  $\Delta\theta$ 로 변화시키고, 이는 입사각도  $\theta$ 에 따른 거리  $x$ 의 값을  $\Delta x$ 로 변화시켜 일정거리 안에서의 조도분포를 변화시킨다.

이러한 조도분포는 광 강도의 크기 변화로 측정할 수 있으며 이러한 변화는 외란의 주파수 특성과 동일한 주파수 성분을 갖는다. 이는 곧 외란으로 발생하는 보링바의 진동을 측정할 수 있다고 말할 수 있다.

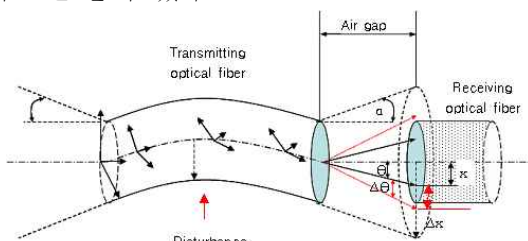


Fig. 1 Principle of sensing with optical fiber

외란을 받는 광섬유와 이에서 방사된 빛의 일부분만 받아들이는 수광섬유는 일정한 거리를 유지해야하며 최적화된 거리는 선 연구되어 발표된 논문에서 제시하는 값을 취하였다.

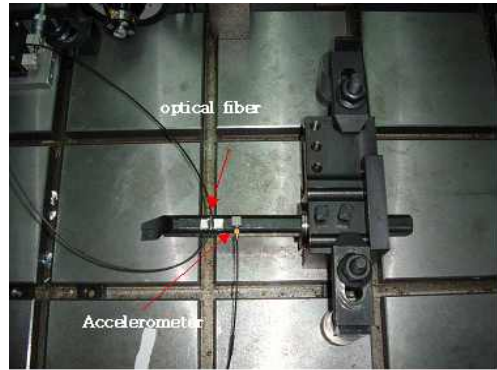
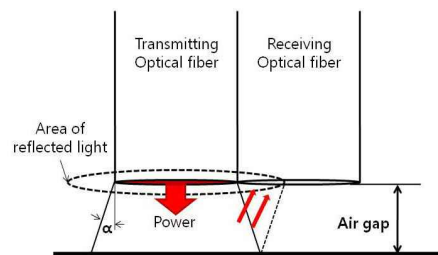


Fig. 2 Photograph of sensing with optical fiber

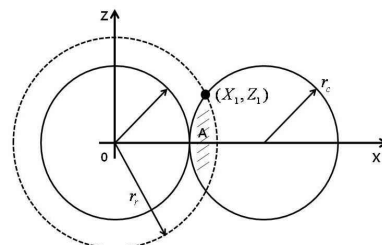
### 3. 보링바내장형 진동센서의 설계

Fig 2 는 기존에 연구된 광섬유 진동센서의 모습을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 연구에서는 광섬유를 보링바의 길에 걸쳐 놓음으로써 광섬유가 보링바의 진동을 전달 받도록 하였다. 이러한 방식은 광섬유를 보링바 내부에 위치시켜서 진동을 측정하기 어려운데 광섬유 자체가 가지고 있는 최대 굽힘 반경이 대부분 보링바의 직경보다 크기 때문이다.

본 실험에서는 기존 연구의 이러한 단점을 개선하기 위한 방법으로 보링바에 내장될 수 있을 정도의 작은 부피를 가지면서도 동일한 성능을 낼 수 있도록 광섬유 진동센서를 설계하였다. Fig. 3 (a) 는 투광섬유를 통해 나온 빛이 반사되어 수광부로 들어가는 모습을 도식화한 것이다. 이러한 방식은 광섬유를 진행하는 빛의 경로를 180° 바꿔주기 때문에 광섬유가 가지는 최대 굽힘 반경과 관계없이 직경이 작은 보링바 내부에 적용시킬 수 있을 것이다. 하지만 빛을 반사시켜 진행 경로를 바꿀 경우 광섬유와 반사판 사이의 공극의 크기에 따라 광량 손실이 생기게 되는데, 이 손실되는 광량의 크기를 이론적으로 계산해보았다.



(a)



(b)

Fig. 3 Principle of an optical fiber displacement sensor

Table 1 Constant list of used parameters

| Parameter                                     | Unit   | Constant |
|-----------------------------------------------|--------|----------|
| Radius of reflection area                     | mm     | 0.5      |
| Angle( $\alpha$ )                             | degree | 20       |
| Light intensity of Transmitting optical fiber | lx     | 1        |

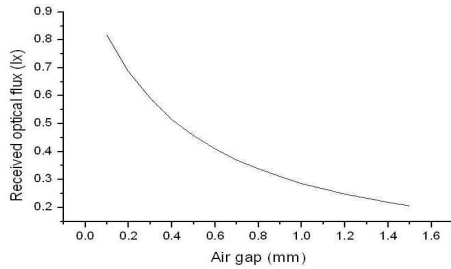


Fig. 4 Graph of according to air gap

Fig. 3 (b) 는 반사광의 조사면적을 도식적으로 나타내었다. 이를 토대로 기하 광학적 해석을 하는데 관계변수로는 공극(Air gap) D, 수광(투광)섬유 코어반경  $r_c$ , 광섬유의 최대 한계 방사각  $\alpha$  가 있다. 반사면이 모든 빛을 반사한다고 가정한다면 반사광 조사영역의 반경  $r_r$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_r = r_c + 2D \tan \alpha \quad (1)$$

$r_r$ 의 크기에 따른 반사광 조사영역 면적 A는

$$A = 2 \int_0^{z_1} \int_{2r_c - \sqrt{r_c^2 - z^2}}^{\sqrt{r_r^2 - z^2}} dx dz \quad (2)$$

반사광의 조도가 일정크기로 분포한다고 가정할 경우 공극에 따른 조도크기  $E_r$ 은 다음식에 의해 결정된다.

$$E_r = \frac{r_c^2}{r_r^2} E_t \quad (3)$$

여기서  $E_t$ 는 투광섬유로부터 방사되는 조도의 크기를 의미한다. 결과적으로 수광섬유 입사 광속  $\Phi_r$ 은 다음과 같이 나타낸다.

$$\Phi_r = A E_r \quad (4)$$

지금까지 유도된 수식을 토대로 공극에 따른 광량의 손실에 대하여 고찰하였고, 해석에 적용된 관련 상수는 Table. 1 에 정리하였다.

공극이 커질수록 수광섬유에 광이 입사되는 면적은 늘어나지만 Fig. 4 의 그래프에서 알 수 있듯이 입사되는 광량은 줄어드는 것을 볼 수 있다. 따라서 공극은 최소한으로 유지하는 것이 광의 손실을 최대한 줄일 수 있기 때문에 공극을 최소한으로 유지하였다.

### 3. 실험 방법 및 장치 구성

보링바의 진동을 감지하는 광섬유로는 오토닉스사의 FD-620-10 직접 반사형 광섬유를 사용하였다. 실험 장치는 Fig. 5 에 보이는 바와 같이 L자형 시탈 소재 바에 광섬유를 고정시키고 기존 연구된 방식과 본 연구에서 제시하는 방법 두 가지로 L자형 바의 진동을 측정하였다.

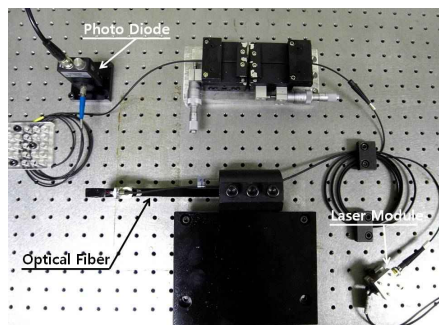


Fig. 5 Photograph Experimental setup

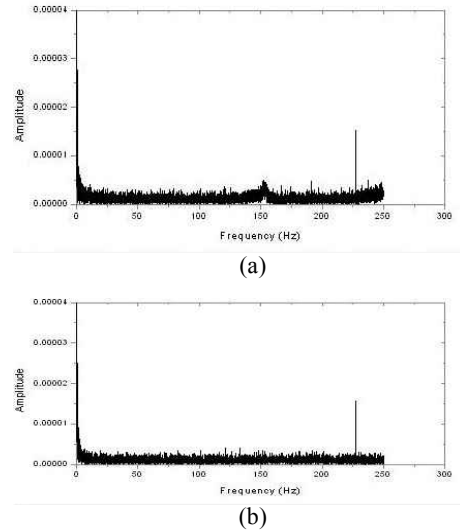


Fig. 6 FFT analysis

### 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 6 은 각각 기존 연구된 방식으로 측정된 데이터의 주파수 분석결과(a)와 본 연구에서 제시한 방식으로 측정된 데이터의 주파수 분석결과(b)이다. 두 가지 모두 257Hz를 나타내고 있다. 이는 동일한 상황에서 진동을 측정하는 방법으로 새롭게 제시한 방법을 이용하여도 동일한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구는 보링바 내부에 위치하여 실제 가공이 이루어지는 가장 가까운 부근에서 보링바의 진동을 측정할 수 있는 광섬유 진동센서 개발의 가능성을 확인하였다.

이는 기존에 제시된 광섬유 진동센서의 원리와 마찬가지로 외란의 영향을 받는 광섬유를 통과하는 빛의 강도 변화를 측정하여 주파수 분석하였으며 좁은 공간에 설치하기 힘든 특징을 가지는 기존 광섬유 진동센서와 동일한 성능을 가지지만 좁은 공간에 적용할 수 있도록 폐어형 광섬유 센서를 이용하여 보링바 내부에서 가공 중 발생하는 진동을 측정 할 수 있는 가능성을 확인하였다.

### 후기

광섬유 진동센서의 제작에 있어서 기존 센서와의 성능비교가 가능한 환경에서의 실험을 통하여 이루어졌다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법을 적용하여 실제 보링바에 의한 선반 보링 가공 시 나타나는 보링바의 진동을 측정하였을 때 센서의 신뢰성을 평가 할 수 있는 방법에 대한 고찰이 있어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. Youn, J.W., "A Sturdy on the Detection of Chatter Vibration using Cutting Force Measurement," Trans. of KSMTE, Vol. 9, No. 3, pp.150-159, 2000
2. Shin, S. C., Namgung, S., "Influence of Chucking Conditions on the Chatter Vibration Commencing Point in Turning", KSMTE Vol.7, No.1, Feb 1998.
3. Shin, W. C., "Design of multimode optical fiber displacement sensor by transmitting light irradiance distribution modeling", A doctor's thesis of Chugnam national university, 2006.
4. 송두상, "보링바 고유진동 계측을 위한 광섬유 진동센서 연구," 한국 정밀공학회지, Vol.26, No. 4, pp.107-113, 2009.