

# 보링바의 고유진동 계측을 위한 광섬유 진동센서 연구 Study of the Vibration of Frequency using Optical Fiber Sensor

\*송두상<sup>1</sup>, 신우철<sup>2</sup>, \*홍준희<sup>3</sup>, 정황영<sup>4</sup>

\*D. S. Song<sup>1</sup>, W. C. Shin<sup>2</sup>, J. H. Hong<sup>3</sup>(hongjh@cnu.ac.kr) H. Y. Jeong<sup>4</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 기계공학과, <sup>2</sup>한국기계연구원, <sup>3</sup>충남대학교 BK21사업단, <sup>4</sup>충남대학교 기계공학과

Key words : chatter, overhang

## 1. 서론

선반의 보링가공에서는 보링바의 돌출길이가 또 하나의 변수가 되어 외경가공대비 절삭조건에 제한을 가지므로 마찰진동에 대한 실시간 측정이 필요하며, 더불어 보링바 자체의 능동적인 방진이 필요하다. 마찰진동을 측정하기 위해서는 보링바의 돌출길이에 따른 고유진동수에 대한 고찰이 우선되어야 한다.

많은 연구에서는 고유진동수(Natural Frequency)의 측정 시, 가속도 센서를 이용하여 외팔보 형태의 실험적 시편을 통해 측정된 것이 대부분이며, 선반절삭에서 강제진동(Forced Frequency)의 하나인 마찰에 의한 진동을 측정하기 위해, 외경가공을 기준으로 가속도센서를 공구몸체에 부착하여 측정하거나, 공작물의 외경에 깎 센서를 이용하여 감지되는 변위를 측정 및 진동여부를 감시 하였다.<sup>(2)</sup>

이에 진동을 측정하기 위한 기존의 상용화 센서 이외에 다른 방법의 진동측정의 가능성을 고찰하고, 향후 가공에서 발생하는 여러 진동들이 공진되지 않도록 실시간 신호화가 필요할 것이다.

특히 보링작업의 경우는 외팔보 형태의 보링바가 공작물의 내부로 진동되면서 가공하므로 내부에서 비산되는 칩이나 절삭유로 인하여 보링바에 가속도센서 또는 깎 센서를 근접시키는 것이 매우 곤란하므로, 본 연구에서는 기존의 센서에 비해 구조가 간단하고 제작비용이 저렴하며 높은 성능을 구현할 수 있을 뿐 아니라, 관련 부품들의 성능 향상으로 회전, 가속도, 전기, 자기장, 온도, 압력, 음파, 진동, 위치, 응력, 습도, 점도, 화학 측정에서 사용 및 연구되고 있는 광섬유 센서를 이용하였으며 광섬유 센서의 다양성 중, 진동에 한하여 상용 가속도센서와 비교 고찰하고 광섬유 센서의 진동측정의 가능성을 검토하였다.

## 2. 유한요소법에 의한 보링바의 고유진동수 예측

본 논문에서는 고유진동수의 시험에 대한 예측을 위하여 유한요소해석법을 이용하여 보링바의 고유진동수를 예측하고 진동 모드에 대한 경향을 분석 하였다. 3차원 모델링(Pro-engineer)을 통해 보링바, 슬리브, 척, 볼트를 디자인 하여 보링바의 돌출길이에 따라 고유진동수의 변화를 확인하고 모드(1차, 2차)별 주파수의 차이에 대하여 고찰 하였고, 해석에 대한 고찰은 3개(Φ16, Φ20, Φ25)의 보링바를 이용하여 각각 3D, 5D, 7D의 돌출길이를 변수로 하였으며, 간단한 구조를 통해 고찰 하였다.

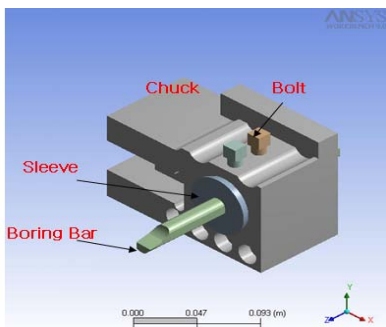


Fig.1 Model of boring bar

여러 모드에 대하여 해석한 결과, 보링바에 대한 진동특성은 1차 모드와 2차 모드로 국한되었기에 본 논문에서는 1차와 2차 모드에 대해서만 논하였으며 해석한 결과, 보링바의 직경이 작을수록 보다 높은 진동주파수를 가지고, 오버행이 길수록 진동주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다.

## 3. 광섬유 진동센서의 성능평가

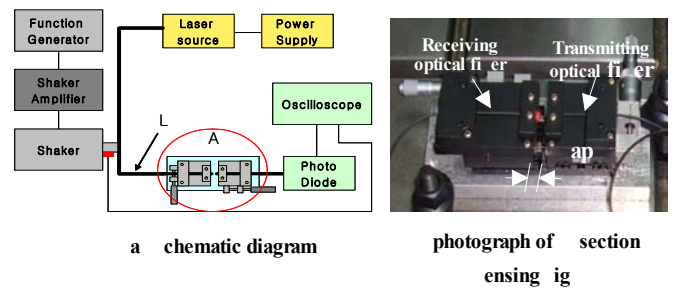


Fig.2 schematic vibration sensing system

진동 센싱 시스템의 성능 평가를 위해 시스템을 Fig.2와 같이 구성하였다. 즉, 가진기에 광섬유를 부착하고 함수발생기를 통해 가진기에 일정한 정현파 진동을 입력하면 발광부(Laser diode)에서 전파되는 광이 광섬유를 통해 전파되다가 가진기에서 발생하는 진동에 의해 센싱지그의 깎에서 반복적으로 광량의 변화가 발생하고 변화된 광량이 수광부의 광섬유로 전달되며 전달된 빛은 포토다이오드를 통해 신호화되어 오실로스코프로 출력되도록 구성하였다. 광섬유 진동센서의 성능을 평가하기 위하여 두 가지 측면에서 실험하였다. 즉, 가진기와 센싱지그 사이의 광섬유 길이와 센싱지그의 깎을 토대로 성능을 평가하였다. 광섬유 길이 즉, 짧은 것(100mm)과 긴 것(1000mm)에 대해 주파수 100, 300, 500, 800, 1200, 1500, 1800, 2100 Hz의 정현파 강제진동을 가한 상태에서 감도를 비교하였더니 길이가 긴 것이 좋은 감도를 나타냈다. 또한 센싱지그의 깎 크기는 0mm부터 5mm까지 1mm 간격으로 실시하였으며, 가진 주파수는 100, 500, 1000, 2100Hz로 나누어 실시하였다. 실험 결과 광섬유 길이는 1000mm, 센싱 지그의 최적의 깎은 4mm가 가장 좋은 감도를 나타냈으므로 이들 조건들을 보링바의 진동주파수 특성을 고찰하는데 센싱장치 조건으로 설정하였다.

## 4. 실험 장치 및 실험 고찰

절삭가공에 의한 마찰 진동을 논하기 전에 보링바의 오버행에 따른 고유진동수를 알아야 공진을 피할 수 있으며 공구에 따른 마찰진동을 피할 수 있는 적절한 방안을 마련할 수 있다.

본 논문에서는 보링바의 오버행에 따른 고유진동수를 측정하여 보링바를 이용한 내경절삭에 있어서 제어의 기초 자료로 이용하고자 했다.

보링바에 센서 부착시 부착위치에 따라 고유진동수의 변동여

부를 검토하기 위하여 센서의 부착 위치에 따른 고유진동수를 측정 검토하였다.

가속도 센서는 주분력 방향과 배분력 방향으로 Fig.3과 같이 A,B,C 구간으로 나누어 각각의 위치에서의 고유진동수를 측정 및 비교 고찰하였다. 그 결과 1.6 kHz의 일정한 주파수를 얻을 수 있었으며 이 또한 주분력 방향의 주파수가 A, B, C 구간에 관계없이 일정한 것을 알 수 있었다.

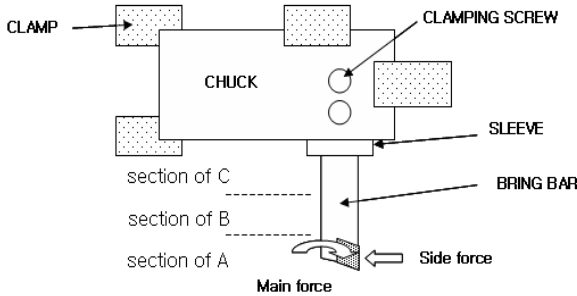


Fig.3 ssem I condition

광섬유 진동센서의 유효성을 검증하기 위해 광섬유 진동센서는 상용 가속도 센서를 Fig.4와 같이 주분력과 배분력에 대해 같은 부위에 센서 부착을 하였다.

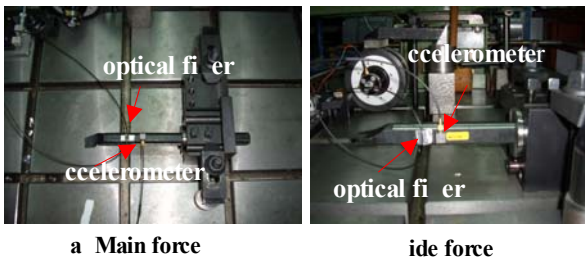


Fig.4 Test condition of boring bar

유한요소해석과 동일하게 3개 지름(D ;  $\Phi 16$ ,  $\Phi 20$ ,  $\Phi 25$ )의 보링바를 이용하여 각각 3D, 5D, 7D의 오버행을 변수로 하고 가속도센서와 광섬유 진동센서를 이용하여 보링바의 고유진동수를 실험하였다.

결과적으로 Table.1과 같으며 아래의 데이터를 통해 알 수 있듯이 3가지(유한요소해석, 가속도 센서, 광섬유진동센서) 비교 결과가 거의 동일함을 알 수 있다. 다만, 해석결과와 다소의 오차가 발생하였으나 이것은 해석할 때의 모델링에 따른 차이로 판단된다.

따라서 광섬유 진동센서의 유효성을 입증한 것이다.

Table.1 Final compared data with test

Boring Bar Dia.	Overhang	Analysis	Accelerometer	Optical fiber
$\Phi 16$	3D	3971	4185	4200
	5D	1532	1645	1650
	7D	824	860	865
$\Phi 20$	3D	3197	2985	3005
	5D	1239	1185	1185
	7D	652	645	645
$\Phi 25$	3D	2508	2585	2605
	5D	997	995	1005
	7D	524	540	545

## 5. 결론

본 연구는 상용 가속도 센서로 적용이 곤란한 절삭상태에서의 보링바 진동측정 문제에 대해 매우 간단한 구조의 광섬유 센서를 제작하여 그 적용 가능성을 확인하였다.

이에 광섬유의 길이, 고정구 간극에 따른 진동 측정신호의 특성을 고찰하고 최적의 구성으로 광섬유 진동센싱 장치를 제작하였다. 이 조건으로 제작된 측정 장치를 이용하여 실험하였고 상용 가속도 센서와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 최적의 광섬유 진동센싱장치를 구성하는데 광섬유의 길이가 길수록 좋으며 고정구 간극은 4mm 일 때 가장 감도가 우수하였다.

(2) 유한요소해석과 상용 가속도 센서 결과를 광섬유 진동센서와 비교한 결과 거의 동일한 결과를 보였으며 오히려 광섬유 진동센서의 고유진동수 측정감도가 보다 우수함을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 보링바의 진동 측정에 광섬유 진동센서를 이용할 수 있는 가능성을 확인했다.

향후 광섬유의 타입별, 광원의 종류별 센싱 감도에 대한 비교 검토가 이루어지면 가공 시 발생하는 진동에 대한 효율적인 측정이 가능할 것으로 전망한다.

## 참고문헌

1. 최준규, 이동주, 이우영, "방진 보링바의 성능향상에 관한 연구" Research institute of industrial technology, Vol.13, No.1, June 1998.
2. 신승춘, 남궁석 "선삭에서 공작물 지지조건이 chatter진동 발생에 미치는 영향" Journal of the Korean Society of Machine Tool engineers Vol 7, No.1, Feb 1998.
4. 신우철, 투광 조도분포 모델링에 의한 멀티모드 광섬유 변위 센서의 설계", 충남대학교 박사 학위 논문, 2006.
5. K. T. V. Grattan, Dr T. Sun, "Fiber optic sensor technology: an overview", Sensor and Actuators. Vol. 40 ~ 61, 2000.
6. T. G. Giallorenzi, et al., "Optical fiber sensor technology", IEEE J. Quantum Electron., QE-18, pp. 626-665, 1982.
7. 윤재용, "절삭력을 이용한 chatter의 감지에 관한 연구" Journal of the Korean Society of Machine Tool engineers Vol 9, No.3, June 2000.
8. Leonard Meirovitch, "Principles and techniques of vibrations" pp.371-379, 1997.