

광섬유 센서를 이용한 선삭가공 공구진동 측정

Measurement of Lathe Machine Tool Vibration During Cutting Process By Using the Fabry-Perot Interferometric Fiber Optic Sensor

*#이종길¹

*# J. Lee(jlee@andong.ac.kr)¹

¹ 안동대학교 기계교육과

Key words : Fiber optic sensor, Cutting process, Machine tool vibration, Chattering, Fabry-Perot interferometer

1. 서론

공작기계와 그 구조물을 진동시키는 외부 가진원에는 여러 종류가 있다. 선삭 가공시 절삭 깊이나 이송속도에 따라 공구에는 원치 않는 진동을 유발시킬 수 있다. 선삭 가공시 발생하는 진동에는 두 종류가 있는데 첫째는 외부 가진(excitation)으로서 공구가 공작물에 갑자기 충돌할 때, 공작물에 불균일한 조직이 있을 때, 불평형 회전력에 의한 주기적 가진, 베어링 결함 등에 의해 발생하는 진동이다. 둘째는 절삭공구 채터(chatter)로서 자려진동의 일종이다. 절삭작업시 채터링이 발생하면 공작물의 정밀도 저하와 공작기계의 수명 단축 등이 일어날 수 있다.[1-3]

이러한 공구진동의 계측을 위하여 보통은 가속도계(accelerometer)를 사용하여 진동을 측정하고 있으나 일반 접촉식 가속도계는 고정된 크기 때문에 공구에 접촉하는데 한계가 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 광섬유 간섭계 센서를 도입하여 공구에 원하는 위치에 부착하여 진동을 계측하고자 하였다.

2. 광섬유 센서 및 감도

구조물의 음향이나 진동을 측정하는데 많이 쓰이는 광섬유 센서는 주로 간섭계를 이용하며 이러한 광섬유 간섭계의 형태는 주로 Fabry-Perot, Mach-Zehnder, Sagnac, Speckle 등이 있으나 센서부를 소형화 할 수 있는 Fabry-Perot 간섭계가 널리 쓰이고 있다.[4-6] Fabry-Perot 간섭계의 원리는 입사되는 광은 첫 번째 반사거울에서 반사되는 광과 첫 번째 반사거울을 통과하여 두 번째 거울에서 반사되는 광 사이의 경로차가 발생하고 광의 간섭현상이 발생하게 된다. 이것은 광간섭 무늬의 가시도를 높이는 데 중요한 변수가 된다. Fig. 1은 길이가 일정한 단일 센서를 이용한 간섭계이며 이를 여러 개의 센서를 이용한 Fabry-Perot 간섭계형 배열센서로 구성한 것이다. 이것은 간섭계를 2×2 방향성 결합기를 이용하여 병렬로 구성한 것이다. 한 개의 광원에서 나온 빛은 방향성 결합기를 거쳐 둘로 나누어지고 각각의 빛은 각각의 센서에 도달하여 음향신호를 받아 광위상차를 일으킨다.

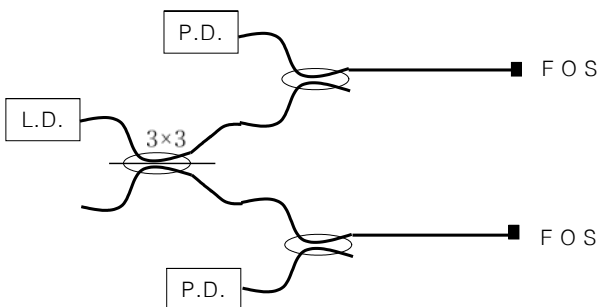


Fig. 1 Schematic diagram of Fabry-Perot fiber optic sensor[4]

출력 신호의 음원 복원은 신호처리가 별도로 필요치 않으며 오실로스코프로 직접 볼 수 있는 장점이 있다. 센서의 개수는 병렬로 연결하는 간섭계를 같은 방법으로 쉽게 확장할 수 있으며 구성이 용이하다는 장점이 있다.[4-6]

따라서 본 연구에서는 구성이 비교적 용이한 Fig. 1과 같은 형태의 배열센서를 선정하고 이를 공구진동 측정에 응용하였다. 또한 광섬유 센서가 횡방향 음압을 받을 때 광위상차로 표현되는 음압 감도식을 수치해석 하여 광섬유 센서의 물리적 특성이 감도에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 페브리-페롯 센서는 압력이나 진동센서로 활용할 경우 종방향의 압력을 입력으로 이용한다. 그러나 본 실험에서는 횡방향으로 음압이 작용할 때 배열 센서의 음압 감지 특성을 보았으므로 단일모드 광섬유에 횡방향 음압이 작용하는 경우에 대하여 음압 감도를 수치해석 하였다. 외부 횡음압이 광섬유 센서에 주어지면 광섬유 내에는 물리적 변화가 발생하고 이는 응력-변형률 관계식에서 광섬유를 통과하는 빛의 위상 변화 $\delta\phi$ 를 일으켜 음압에 비례한 위상정보를 얻을 수 있다. 따라서 무차원(non-dimensional) 위상 변화량을 감도(sensitivity)라 칭하고 이는 다음 식 (1)로 표현된다[5].

$$\frac{\delta\phi}{\phi} = \frac{E\delta\phi}{\beta l} = 4\nu - n^3[\nu - 1 - 3\nu - 1] \begin{bmatrix} p_{11} \\ p_{12} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 E는 탄성계수(Young's modulus), β 는 전파상수(propagation constant), ν 는 푸아송비(Poisson's ratio), n은 굴절률, p_{11} 및 p_{12} 는 포켈상수(Pockel's constant)이다. 식 (1)의 좌변은 무차원수로 표현되며 따라서 센서의 무차원 위상 변화는 광섬유의 푸아송비, 포켈상수, 굴절률의 함수이다[5].

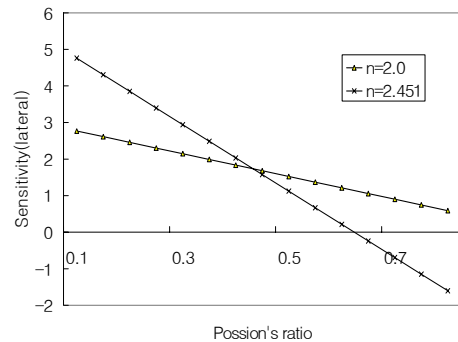


Fig. 2 Lateral sensitivity vs. Poisson's ratio for n=2.0 and n=2.451 case[5]

식 (1)에서 위상 변화는 횡방향 음압과 광섬유의 길이에 비례하며 탄성계수의 값에 반비례함을 알 수 있다. Fig. 2에는 횡방향으로 음

압이 작용할 때 푸아송비의 변화에 따른 감도변화를 식 (1)을 이용하여 수치해석 하였다. Fig. 2에는 횡방향으로 음압이 작용할 때 푸아송비의 변화에 따른 감도변화를 굴절률 $n=2.0$ 과 $n=2.451$ 일 경우로 나누어 수치해석 한 결과이며 그림과 같이 푸아송비가 증가하면 감도는 반비례하여 감소함을 알 수 있다. 특히 굴절률의 값이 클수록 감소 기울기는 증가하였다.

3. 광섬유를 이용한 측정 및 결과

광섬유 센서를 이용하여 Fig. 3과 같은 범용 선반의 선삭 작업시 공구에 발생하는 chatter 진동을 감지하기 위하여 Fig. 4의 바이트를 사용하였다. Fig. 4에 보인 바이트는 모서리 부분(공작물에 직접 접촉하는 부분)이 마모된 상태이며 절삭 작업시 심한 진동을 유발하는 상태이다.

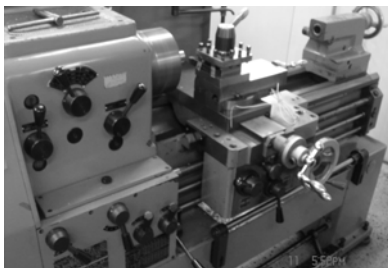


Fig. 3 Lathe machine for material cutting in this experiments

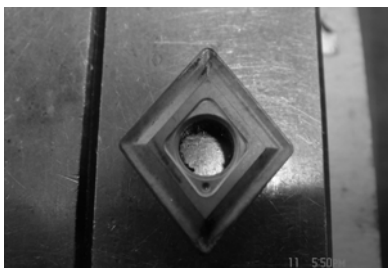


Fig. 4 Photograph of the worn tool for the cutting experiments

Fig. 5와 같이 광섬유를 공구의 측면에 부착하고 Fig. 6에서와 같이 절삭작업을 수행하였다. 공구 측면에 광섬유를 부착하는 것은 접촉식 가속도계를 부착하는 것보다 간편하고 주위의 장애물에 영향을 받지 않는 장점이 있다.

Lee[3]의 결과에 의하면 절삭공구가 chatter링을 일으킬 때 AE 신호와의 관계는 AE신호는 주기적으로 관찰되며 수평과 수직축 방향의 진동과의 관계는 Lissajous loop의 방향 전환점에서 폭발점이 있는 것으로 조사되었다. 따라서 본 실험에서도 chatter링의 판별은 시간 영역에서 진동이 주기적으로 일어나는지를 판단하고 이를 근거로 chatter링을 확인하였다.

본 실험을 통하여 Table 1과 같이 선삭 작업시 광섬유가 픽업한 chatter진동과 가속도계가 픽업한 chatter진동은 동일함을 확인하였다. chatter진동이 발생하면 수평축과 수직축의 진동을 리사주(Lissajous) 루프에서는 원형 혹은 타원형으로 보여 진다. 이러한 페브리-페롯형 광섬유 센서는 특히 공구진동의 측정에 유용함을 보였으며, 선삭 작업뿐만 아니라 다른 기계가공에서 발생하는 진동도 픽업할 수 있음을 유추할 수 있다.

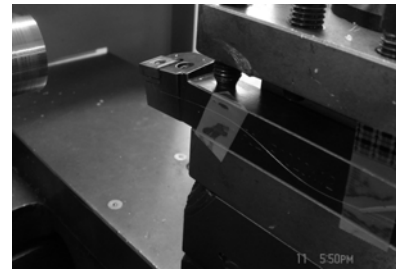


Fig. 5 Installation of Fabry-Perot fiber optic sensor

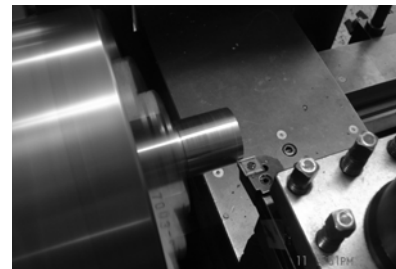


Fig. 6 Photograph of chatter measurement during cutting process

Table 1 Experimental results

Experiments	Chatter detection	Remarks
Fiber optic sensor	Yes	Fabry-Perot
Accelerometer	Yes	PCB

4. 결론

본 연구에서는 간접계형 광섬유 센서를 이용한 선삭가공 공구 진동의 측정을 실험으로 수행하였다. 먼저 광섬유 센서의 감도해석을 수행하였는데 푸아송비가 클수록 감도는 감소하였다. 선삭 진동시 공구진동의 측정은 가속도계로 쓰는 것이 보통이나 본 연구에서는 접촉식 가속도계가 가지는 단점을 보완한 광섬유 센서를 이용하였다. 간접계형 센서로는 페브리-페롯형을 이용하였고 선삭작업용 공구 측면에 부착하여 광섬유 센서가 chatter 진동을 감지함을 확인하였다. 이러한 광섬유 센서는 특히 공구진동의 측정에 유용함을 보였으며, 본 연구의 결과는 향후 공구진동과 마멸을 연구하는데 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Lee, M., thomas, C. E., and Wildes, D. G., "Review Prospects for In-Process Diagnosis of Metal Cutting by Monitoring Vibration Signals," J. of Material Science, 22, 3821-3830, 1987.
2. Koenigsberger, F. and Tlustý, J., Machine Tool Structures, Pergamon Press, 1970.
3. 이종길, "절삭공구의 chatter진동과 음향방출과의 실험적 연구," 한국정밀공학회지, 12(1), 112-122, 1995.
4. 이종길, "두 개의 Fabry-Perot 광섬유 센서 배열을 이용한 횡방향 음압 감지 특성 연구," 대한공업교육학회지, 31(1), 185-199, 2006.
5. 이종길, "종횡방향 음압에 의한 페브리-페롯 광섬유 센서의 감도해석," 과학교육연구논집, 8, 133-140, 2005.
6. 이종길, "양단이 지지된 Fabry-Perot 광섬유 센서의 음압 감지 특성 연구," 한국음향학회지, 22(7), 585-591, 2003.