

3축 구조를 가지는 기상측정용 초소형 변위 센서 개발 Displacement Sensor with 3 Axes Eddy Current for OMM

#김선호¹, 김태욱², 강병춘², 안중환³

*S. H. Kim(sunhokim@deu.ac.kr)¹, T. O. Kim², B. C. Kang², J. H. Ahn³

¹ 동의대학교 메카트로닉스공학과, ² (주)금오기전, ³ 부산대학교 기계공학부

Key words : OMM(On Machine Measurement), Eddy Current Sensor, Displacement Measurement

1. 서론

제품의 고급화 추세에 따라 다양한 형상을 가진 가공품을 정확하고 빠르게 측정하기 위한 다양한 기술들이 연구되고 있다. 대량 생산시스템의 경우에는 전용 측정 및 검사공정을 두는 것이 유리하지만, 다품종 소량 생산시스템에 적합한 제품의 경우에는 이와 같은 방식은 비효율적일 수가 있다. 따라서 가공이 끝난 제품을 검사하기 위해서는 3차원 측정기를 설치하여 운용하고 있다. 이러한 방법은 유지비용이 많이 들고, 가공물의 이동시간이 길고, 설치 및 측정시간이 길어져 생산성 저하 요인이 되고 있다. 특히, 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형 가공물이라든지 공정 특성상 가공물의 분리가 어려운 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.

이러한 문제들을 해결하기 위해, CNC 공작기계에서 제품의 가공이 완료된 후, 공구를 측정용 센서인 프로브(Probe)로 교체하여 OMM(機上測定: On the Machine Measuring; OMM)이 가능한 시스템이 연구되고 있다. OMM을 도입하는 경우 검사공정이 단순해지고 측정 후공정의 효율적인 수행이 기대된다.

OMM에 적용이 가능한 센서의 방식은 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있는데, 접촉식으로는 터치 트리거 프로브가 사용되고, 비접촉식으로는 레이저, 와전류, 정전용량형 센서 등이 이용되고 있다.

터치 트리거 프로브의 경우 CNC와의 인터페이스가 필요하고 측정시간이 오래 걸리는 단점을 가진다. 상용화 되어 있는 와전류 및 정전용량 센서는 넓은 면을 측정하기에 적합한 오픈형 구조를 가지고 있으며, 레이저 센서의 경우 측 방향으로만 측정이 가능한 단점을 가진다.

펌프, 사출기, 공작기계용 리드스크류 등과 같이 축 방향으로 긴 형상 특성을 가진 기어나 스크류의 경우에는 크기가 크고 무게가 무겁고 이동시 셋팅이 어려울 뿐 아니라 이(tooth) 사이의 간격이 좁아 측정에 적합한 상용 센서도 없는 실정이다.

이러한 필요성에 따라 본 연구에서는 기어나 스크류의 치형을 비접촉식으로 연속 스캐닝 측정이 가능한 소형 다축 형상측정용 센서 및 신호처리 시스템을 개발하고자 했다.

2. 센서 개발 및 성능실험

그림 1은 본 연구에서 개발하고자 하는 센서의 구조를 보여준다. 그림에서 센서1과 3의 간극은 최대 8mm로 했다.

와전류 센서의 코어에 적용된 철은 전도율이 높아 장시간 사용할 경우에는 와전류에 의해 발생된 열이 센서의 노이즈로 작용되어 정밀도를 저하시키게 된다.

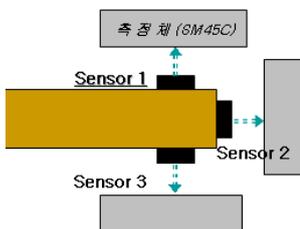


Fig. 1 Structure of eddy current sensor with 3 axes

센서 1, 2, 3의 거리가 매우 짧아 코일이 동시에 발진을 하는 경우 각 센서 간에 간섭이 발생할 수 있다. 이는 센서의 선형성을 저하시켜 정밀도를 저하시키게 된다.

그림 2는 측정된 결과를 보여 준다. 그림에서 직선 그래프는 센서 1, 2, 3을 독립적으로 발진시킨 경우이며, 비선형적인 곡선 그래프는 센서 1, 2, 3을 동시에 발진시킨 경우이다. 오차의 원인은 코일에서 생성되는 자기장의 간섭이 원인으로 판단된다.

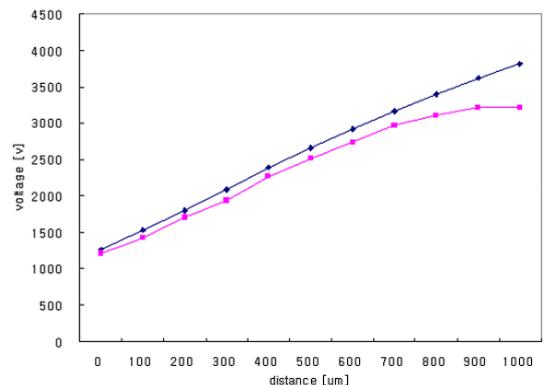


Fig. 2 Non-linearity of sensor output with target distance variations

본 연구에서는 센서 간에 간섭을 제거하기 위해 재질 측면에서는 높은 투자율과 낮은 전도성을 갖는 재질의 코어를 적용하고, 구조 측면에서는 센서 간의 간섭을 차폐할 수 있는 최적의 구조를 적용하고자 했다.

페라이트는 비투자율이 높은 강자성체이므로 자속(magnetic flux)이 자기저항이 적은 곳으로 집중되는 성질을 갖는다. 따라서 코일에 삽입하면 적은 코일 권선수로 높은 용량(L)을 얻을 수 있어, 소비전력이 낮고 코일부의 열 발생량이 감소하는 장점을 가질 수 있다. 또한, 가공이 용이하고 센서의 소형화 등을 이룰 수 있는 이점이 있다.

코어로서 적용이 가능한 페라이트는 니켈-아연을 주성분으로 하는 그룹과 망간-아연을 주 성분하는 그룹으로 나눌 수 있다.

니켈-아연을 주성분으로 하는 페라이트는 온도변화에 대한 안정성이 좋고 500kHz에서 100MHz사이의 주파수 대역에서 Q-Factor가 상당히 높지만, 큰 고유저항을 갖고 투자율이 낮기 때문에 광대역 트랜스포머용이나 필터용으로 주로 사용된다.

망간-아연을 주성분으로 하는 페라이트는 1kHz와 1MHz사이의 주파수 대역에서 높은 Q-Factor를 갖고 매우 낮은 고유저항을 갖기 때문에 망간-아연을 주성분으로 하는 페라이트 코어가 미소한 와전류를 센싱하는 코어로 적합한 것으로 평가되었다.

그림 3은 코어를 망간-아연계 페라이트로 적용한 경우의 실험 결과를 보여 준다. 비선형성이 크게 향상되었음을 보여 준다.

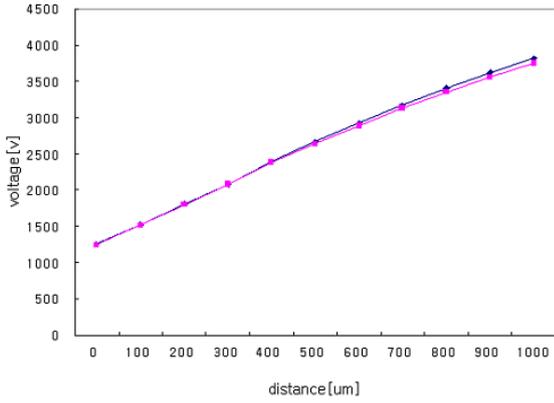


Fig. 3 Linearity improvement of sensor output

센서의 코어 구조는 매입형과 돌출형이 있는데 매입형 구조의 페라이트 코어는 그림 4와 같이 코어가 코일은 감싸고 있는 구조이다. 이러한 구조는 공기 중의 자속변화를 차단하고 다른 센서와의 간섭을 배제할 수 있어 와전류형 센서의 정밀도 향상과 외부 간섭을 차폐할 수 장점을 가진다. 본 연구에서는 요크 구조를 취한 매입형 코어를 적용했다.

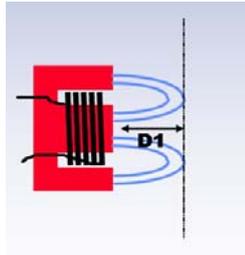


Fig. 4 Structure for sensor core

그림 5는 측정범위인 2mm 이내에서 돌출형과 매입형의 구조에 따른 신호특성 실험결과를 보여 준다. 그림에서 위쪽에 나타낸 그래프가 매입형을 아래쪽에 나타낸 그래프가 돌출형을 나타낸다. 매입형은 검출 범위는 짧지만 외부 간섭으로부터 강해 상대적으로 센싱 민감도와 선형성이 뛰어난 것을 보여 준다.

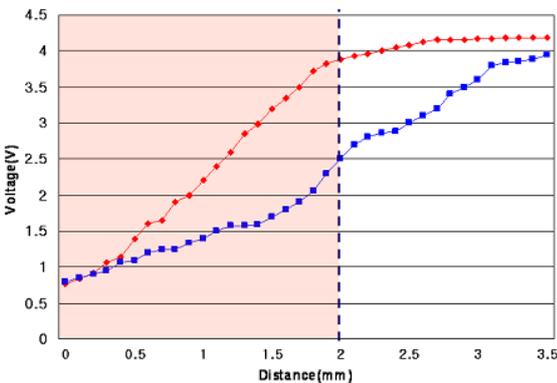


Fig. 5 Gain of sensor output for 2 types of core

코어 재질 및 형상에 의해 센서간의 간섭을 최소화 할 수 있지만 1m 이상의 신호 케이블을 이용할 경우, 측정 대상체인 금속모재의 거리변화에 따라 와전류 센서의 임피던스 변화가 노이즈를 생성하게 된다.

본 연구에서는 높은 측정정확도를 얻기 위해, 샘플링 된 신호에 이동평균(moving average)을 적용했다.

측정된 샘플링 데이터가 다음의 순서로 입력되는 경우,

$$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n, S_{n+1}, S_{n+2}, S_{n+3}$$

평균 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 을 구하면,

$$A_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=S_1}^{S_n}, A_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=S_2}^{S_{n+1}}, A_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=S_3}^{S_{n+2}}, \dots,$$

$$A_n = \frac{1}{n} \sum_{i=S_n}^{S_{2n-1}}$$

위의 식과 같이 선행 데이터를 포함해서 이동평균을 하기 때문에 한 측정점에서의 오차율을 줄일 수 있다.

3. OMM 적용실험

개발된 와전류 센서를 적용한 OMM 측정 시스템을 그림 6과 같이 구성했다. 시스템은 3축 와전류 센싱 시스템과 운영 시스템으로 구성된다. 센싱 시스템은 센서와 앰프로 구성되고, 운영 시스템은 센서와의 인터페이스와 드라이버와 운영 SW로 구성된다. 운영 시스템은 PC 기반의 판별 컴퓨터를 활용해 SW를 개발해서 적용했다.

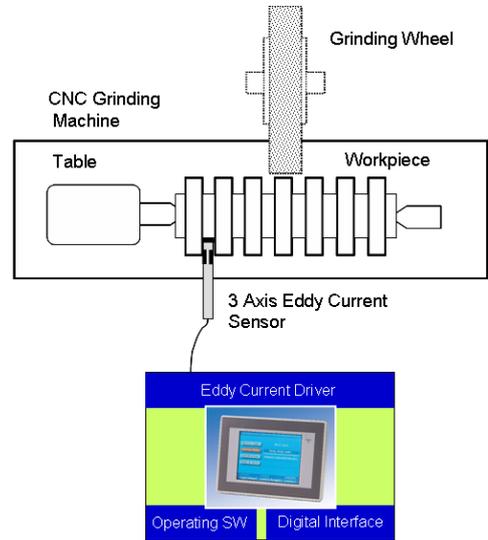


Fig. 6 OMM system for gear screw measurement

그림 7은 OMM 측정 장면을 보여 준다. 측정은 로터의 반경방향과 축방향으로 각 30회씩 측정을 수행했다. 측정의 정확성을 위해 매 측정 시마다 일정위치로 복귀시킨 후 측정을 반복했다. 반경방향의 경우, 300mm 범위에서 반복 측정결과 반복정밀도는 $1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$, 오차는 $-4\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ 으로 나타났다. 축방향의 경우에는 반복정밀도는 $1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$, 오차는 $-2\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 으로 나타났다.

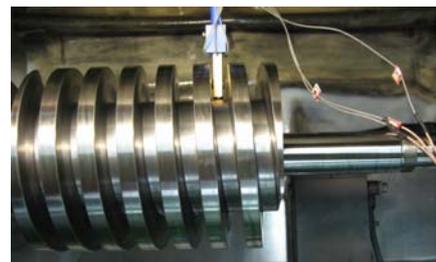


Fig. 7 Photograph for OMM measurement

4. 결론

리드 스크류와 같이 깊고 좁은 가공형상 측정에 적합한 3축 구조를 가지는 와전류 센서를 개발하고 이를 기어 가공기에 설치하고 OMM 시스템을 구성했다.