

비접촉식 센서를 사용한 형상 측정 연구 A Study of Form Measurement using Noncontact Sensor

송정섭(부산대 대학원), 황윤호(부산대 대학원), 김종건(삼성중공업), 배종일(부경대 공대), 이만형(부산대 공대)
Jung Sup Song(Pusan Univ), Yun Ho Hwang(Pusan Univ), Jong Gun Kim(Samsung Heavy Industry),
Jong Il Bae(Bukyung Univ), Man Hyung Lee(Pusan Univ)

ABSTRACT

Many researches on measurement technology has been made and developed by various methods. Considering the measurement environment with cutting fluid, coolant and the like, contact type measurement methods are mostly used. But contact measurement method has measuring force and so the sensing head becomes worn. By these reasons, we considered sensors not influenced by the former fluid and so can acquire accurate measured values using error compensation due to temperature and vibration. For this purpose, eddy current sensors and Extended Kalman Filter Algorithm for processing measured data has been used.

In this paper, we present new technology that can be used for measuring workpiece with previous bad environment using direct method and comparison measurement method. We used cylindrical workpieces which were produced by grinding machine for the target.

Key Words : eddy current sensor, Extended Kalman Filter, comparison measurement, direct measurement

1. 서론

연삭가공과 같은 가공의 최종단계에서는 정밀측정이 중요하다. 이러한 정밀측정에는 여러 준비작업으로 많은 시간과 경비가 소요되므로, 생산성을 고려해서 실제 산업현장에서는 몇 개의 표본에 대해서만 이런 정밀측정작업을 수행하고 있는 실정이다. 대부분 산업현장은 정밀측정을 수행하기에는 열악한 환경인 경우가 많으며, 특히 진동, 절삭유, 냉각수 등이 정밀측정작업을 어렵게 하는 요인들이며, 이러한 환경속에서도 정밀측정을 수행할 수 있는 측정시스템을 개발할 수 있다면 가공기에서 양·불량을 판단하고, 또한 가공물을 다시 연삭하게 하는 등 여러 가지 제어가 가능하게 되어 정밀도를 높이는 방향으로 가공공정을 개선할 수 있을 뿐만 아니라, 생산성 향상을 기대할 수 있으리라 생각된다.

본 연구에서는, 가공물을 연삭기에 부착한 상태에서 비접촉식 센서인 와전류센서를 사용하여 측정하고, 잡음이 포함된 측정데이터를 확장칼만필터(EKF, Extended Kalman Filter)를 이용하여 처리하고, 그 추정된 결과로 측정물의 형상 및 치수를 판단할 수 있게 하였다. 가공물의 형상은 반경과 진원도의 2가지를 측정하도록 하였다.

2. 시스템의 구성

전체 측정 시스템은 측정센서와 센서고정장치, 센서고정장치를 이송하는 이송부, 센서로부터의 측정값을 처리하는 측정부, 연삭석과 CNC로 구성되는 가공부, 프레임 등으로 구성된다.

2.1 측정센서와 센서고정장치

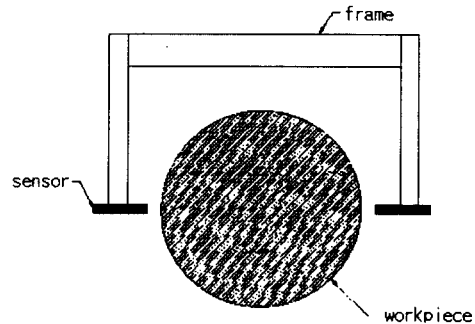


Fig. 1 측정센서와 센서고정장치

측정센서는 측정력과 센서 헤드의 마찰로 인한 오차가 없고, 절삭유나 냉각수와 같은 유체가 존재하는 환경에서도 고정도의 측정이 가능한 비접촉식 센

서인 와전류센서(eddy current sensor)를 사용하였고, 정밀도를 고려하여 측정범위를 0~1[mm]로 설정하였다.

센서고정장치는 Fig. 1에서 보듯이 'ㄷ'자 형태로, 측정방향의 흔들림을 보정해 줄 수 있게 그 끝단에 센서 헤드의 측방향으로 일치하도록 구성하였다.

2.2 이송부

이송부는 직선유니트, PLC 등으로 구성된다. 센서고정장치의 Y축(상하)방향과 X축(좌우)방향은 서보모터를 이용하여 구동한다.

2.3 측정부

센서와 측정물간의 거리는 와전류센서로 측정하여 센서 앰프와 A/D 보드를 이용하여 PC로 전달되고, 센서의 수직위치는 이송부의 Y축 서보모터의 엔코더신호를 카운터 보드로 획득하여 A/D 보드의 DI 포트를 이용하여 PC로 전달된다.

측정센서로부터의 측정잡음은 특정 주파수대역만의 성분이 아니라 거의 모든 주파수대역에서 나타나므로, 특정주파수역을 통과시키는 필터(LPF, BPF, Notch Filter 등)를 사용하여서는 효과적인 제거가 불가능하다. 그래서, 확률(Stochastic) 시스템에서 상태변수의 추정을 위한 대표적인 기법인 확장칼만필터(extended Kalman Filter)를 사용하여, 추정값으로부터 가공물의 반경 및 진원도를 추정하였다.

3. 측정 시스템의 모델링 및 모델링 오차

측정시스템(센서와 측정물)의 기하학적인 형태는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 이 측정시스템을 모델링하여 그 모델을 근거로 확장칼만필터를 구성하고자 한다.

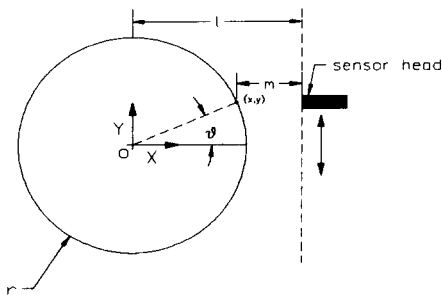


Fig. 2 측정 시스템의 모델

3.1. 측정 시스템의 수학적 모델링

Fig. 2로부터 (r, θ) 와 (x, y) 는 아래와 같은 관계를 가짐을 알 수 있다.

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

$$x = l - m \quad (2)$$

여기서, m 은 센서가 실제로 측정하는 데이터이다.

측정시스템의 상태변수를 다음과 같이 선정한다.

$$X_k = [r_k \ \theta_k \ \dot{\theta}_k]^T \quad (3)$$

Fig. 2에 나타낸 측정시스템에서 센서 헤드는 Y축 방향으로 일정속도로 내려오게 하고, Y축 방향으로의 움직임 양을 각도로 환산하면 미소하다는 가정으로 선형화된 시스템과 측정 방정식을 유도하면 시스템행렬과 측정행렬을 아래처럼 구할 수 있다.

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad h(X_k, k) = \begin{bmatrix} r_k \cos \theta_k \\ r_k \sin \theta_k \end{bmatrix}$$

$$H_k = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & -r_k \sin \theta_k & 0 \\ \sin \theta_k & r_k \cos \theta_k & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 모델링 오차

측정시스템의 모델링시 선형화로 인한 오차를 구하여 오차의 표준편차를 구해보면, 각은 2.3593×10^{-4} [rad], 각속도는 0.0015[%]이다. 여기서 구해진 각과 각속도의 오차의 표준편차는 확장칼만필터의 설계시 설계파라미터인 잡음의 공분산을 결정할 때 사용된다.

4. 시뮬레이션

반경 추정을 위한 확장칼만필터의 적용가능성을 시뮬레이션을 통해 확인하고자 하였다. 시뮬레이션을 위해서 측정물의 반경을 35[mm]이고, 센서는 1초 동안 ± 3 [mm]범위를 Y축 방향으로 일정하게 이송하는 것으로 설정하였고, 측정값은 1초 동안 250개 획득되는 것으로 설정하였다. 시뮬레이션에 사용된 시스템 및 측정 잡음의 공분산은 다음과 같다.

$$Q_k = \text{diag}[0.0005 \quad 2 \cdot 10^{-4} \quad 0.0015]$$

$$R_k = \text{diag}[0.003 \quad 0.002]$$

시뮬레이션을 통하여 실험에 확장칼만필터를 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 실험

5.1 반경 측정 실험

정밀측정기로 측정된 가공물의 반경값은 40.001 [mm]이었으며, 진원도는 2.5[μ m]이다.

5.1.1 실험 1

실험방법은 센서고정장치가 측정물의 중심 부위를 일정속도로 지나가면서 X, Y축의 측정값을 획득하여 그 값을 이용하여 반경을 측정하는 것이다.

실험에 사용된 측정물의 반경은 40[mm]이고, 센서는 1초동안 Y축 방향으로 약 ± 3 [mm]범위를 일정하게 이송하는 것으로 설정하였고, 측정값은 1초 동안 250개 획득되도록 하였다.

시뮬레이션에 사용된 시스템 및 측정 잡음의 공분산은 다음과 같다.

$$Q_k = \text{diag}[0.0005 \quad 2 \cdot 10^{-4} \quad 0.0015]$$

$$R_k = \text{diag}[0.01 \quad 0.007]$$

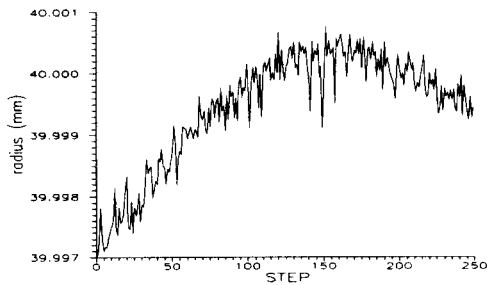


Fig. 3 측정된 반경

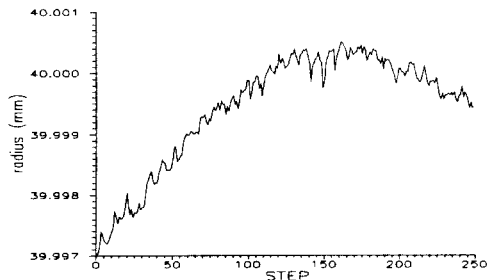


Fig. 4 추정된 반경

실험에 대한 결과는 Fig. 3에 측정된 반경, Fig. 4에 추정된 반경을 나타내었다. 추정된 반경이 측정된 반경에 비해 잡음성분이 제거됨을 볼 수 있으나, 반경이 수렴하도록 측정되는 것이 아니고, 측정구간

에서 그 값이 상승하였다가 하강하는 현상을 볼 수 있다. 와전류센서는 평면을 측정하는 센서이므로, 그 특성에 의한 오차이며, 이러한 오차를 해결하기 위하여 2가지 방법을 사용하여 계속 실험하였다.

5.1.2 실험 2

5.1.1의 실험 1의 문제점을 해결하기 위하여 두 가지 방법을 사용하여 계속 실험하였다.

첫째, 측정범위를 줄여서 실험을 하는 것이다.

실험에서 측정물의 중심의 위치로부터 ± 1 mm의 측정값을 받아서 반경을 구하는 것이다. 와전류센서는 평면을 측정하는 센서이므로, 원통의 측정물의 중심부위에 가까울수록 평면에 가깝게 되는 현상을 이용한 것이다.

둘째, 센서오차에 대하여 보정을 하여 실험을 하는 것이다.

반복실험을 통하여, 측정된 거리 x 값은 이론적으로 나타나게 되는 x' 값에 비하여 가공물의 중심에서 멀어질수록 오차가 커지는 센서의 특성이 나타났으므로, 40[mm]측의 측정된 거리 x 의 값과 수학적으로 이상적인 거리 x' 를 구하여 그 오차를 구하고, 반복실험(Fig. 5)을 통하여 그 값의 평균값을 구하여 곡선형태로 만들고, 그 값을 실제 측정된 거리 x 에 보정을 해 주어 반경을 측정하게 하는 것이다.

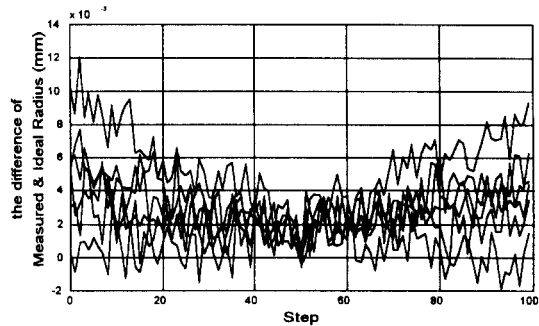


Fig. 5 측정된 값과 이상적인 x 의 값의 차(반복실험)

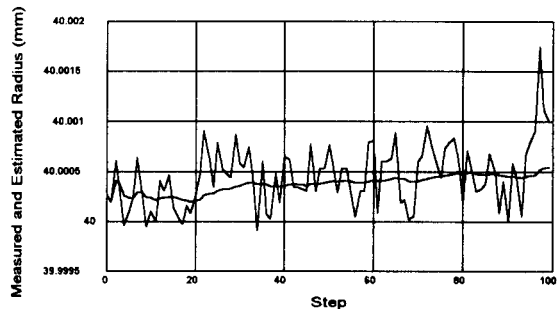


Fig. 6 보정후 40mm측의 측정된 반경 및 추정된 반경

실험의 결과는 Fig. 6에 측정된 반경, 추정된 반경을 나타내었다. 추정된 반경이 측정된 반경에 비해 잡음성분이 제거됨을 볼 수 있고, 수평방향에서 일정하게 측정이 되었다.

실험1에 비해 실험2의 결과(Fig. 6)에서 측정구간에서의 측정값의 폭이 매우 좁아졌고, 그에 따른 수렴성 역시 증가하여 신뢰도가 한층 증가하였다.

5.2 진원도 측정 실험

진원도를 측정하기 위하여 최소영역중심(MZC ; Minimum Zone Center)법을 이용하였고, 측정물을 회전시키는 방식을 사용하였고, 측정물을 일정속도로 회전시켜야 하므로 회전장치를 부착하였다.

실험에 사용된 시스템 및 측정 잡음의 공분산은 다음과 같다.

$$Q_k = \text{diag}[0.0005 \quad 0.0000 \quad 0.0000]$$

$$R_k = \text{diag}[0.003 \quad 0.002]$$

5.2.1 실험 및 결과

진원도는 센서고정장치를 측정대상물의 중심위치로 이송시킨 후, 최대 반경과 최소 반경의 차(Max.-Min.)를 구함으로써 얻어진다.

센서고정장치의 1개의 센서를 사용하였고, 샘플링 주기는 1/250초 간격으로 250개의 측정값을 저장하고, 측정값을 모두 획득한 후에 확장칼만필터 알고리즘을 실행시켜서 추정된 값을 구하였다.

실제 정밀측정한 진원도는 Fig. 7에, 실험한 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 실제 측정값에 의한 진원도는 약 5.1[μm]이었고, 추정값에 의해 나타난 진원도는 약 2.8[μm]이었으며, 실제 정밀측정기를 통하여 측정된 값과 그렇게 큰 차이가 나지 않았다.

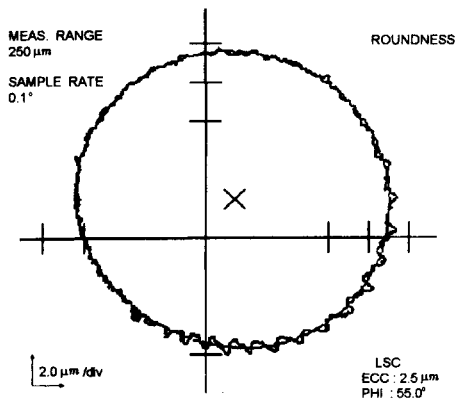


Fig. 7 정밀 측정된 진원도

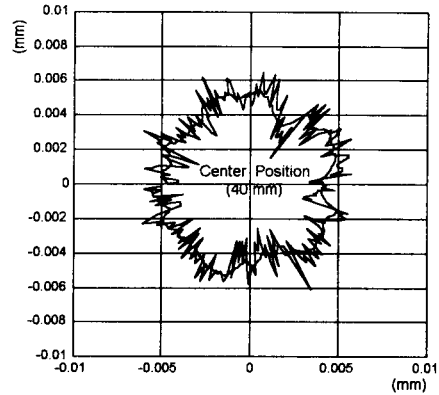


Fig. 8 진원도(실험결과)

확장칼만필터의 측정잡음이 적절하였음을 알 수 있었으나, 실제 정밀측정한 값(Fig. 7)에 비해 그 외 관형태의 차이가 있음을 알 수 있었고, 추후에 더욱 연구할 가치가 있을 것이다.

6. 결론 및 향후 연구방향

비접촉식 센서인 와전류 센서를 사용하여, 측정물이 연삭기에 장착된 상태에서 형상을 측정할 수 있는 시스템을 구성하였다. 그리고, 측정값에 포함된 측정잡음을 확장칼만필터를 이용하여 효과적으로 제거하고, 원하는 형상을 추정할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 보이고, 또한 실험을 통하여 확장칼만필터를 이용한 측정알고리즘의 현장에서의 적용가능성을 입증하였다. 그러나 정밀한 형태의 모습을 나타내기에는 아직 부족한 면이 있었으며, 추후 정밀한 형태를 측정할 알고리즘과 실제 연삭기에의 부착에 대하여 연구하여야 할 것이다.

참고문헌

1. G. Minkler and J. Minkler, *Theory and Application of Kalman Filtering*, Magellan, 1993.
2. Andrew H. Jazwinski, *Stochastic Processes and Filtering Theory*, ACADEMIC PRESS, 1970.
3. 윤강섭, "좌표변환을 이용한 확장된 칼만 필터의 구조적 개선에 관한 연구," 부산대학교 공학석사 학위 논문, 1988.
4. 한국표준연구소, 가공체 치수의 자동 측정기술 개발 (I), KSRI-89-93-1R, 1989.
5. 한국표준연구소, 가공체 치수의 자동 측정기술 개발 (II), KSRI-91-91-1R, 1991.