

# 초정밀가공기용 기상측정장치를 이용한 가공시편 센터 오차 보상에 관한 연구

## Compensation of workpiece decenter by on-machine measurement system in diamond turning machine

\*#김상인<sup>1</sup>, 이광일<sup>1</sup>, 김호상<sup>1</sup>, 김민기<sup>2</sup>, 김태형<sup>2</sup>

\*#S. I. Kim(ksi2958@iae.re.kr)<sup>1</sup>, K. I. Lee<sup>1</sup>, H. S. Kim<sup>1</sup>, M. K. Kim<sup>2</sup>, T. H. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>고등기술연구원 로봇/생산기술센터, <sup>2</sup>두산인프라코어 공기자동차 BG 연구개발 1팀

Key words : On-machine measurement, Diamond turning machine, 2R method, Least square method, Decenter

### 1. 서론

초정밀 가공의 형상정밀도 향상은 각 이송축의 정밀도, 가공환경, 공구의 초기 설치 위치에 따라 결정된다. 특히 초정밀 선삭에서 원형의 반경을 갖는 가공시편의 고속 회전을 통해 가공이 수행되기 때문에 이상적인 가공 과정에서 공구와 공작물의 초기 공구 설정 오차는 가공물의 가공 오차에 많은 영향을 미치게 된다. 특히 공구 끝단의 중심과 가공시편이 부착되는 스피들의 중심 사이의 오차는 비구면, 자유곡면, 마이크로 렌즈 어레이 등 복잡한 형상을 가지고 있는 광학 부품일 경우에 그 오차가 형상에 그대로 전사되어 광학부품의 가공형상오차를 발생시키는 요인이 된다. 이는 광학부품의 광학 성능 저하로 이어져 광학 부품으로서의 역할을 하지 못하게 되는 경우가 많다. 이러한 이유로 가공시편의 중심 부분에 생기는 오차를 제거하기 위한 많은 연구가 진행되어 오고 있지만, 대부분은 광학현미경을 이용해 가공 시편의 센터에 남아 있는 부분을 측정하고, 이 센터 부분의 직경 치수와 형태 등을 측정하여 보상하는 경우가 많다.<sup>1,2</sup> 그러나 광학현미경으로 측정하는 경우 2 차원 형상으로 측정하기 때문에 중심에 나타나는 3 차원적인 형상을 측정하여 센터 오차를 정확히 보상하기 어려우며, 수 차례의 측정과 재가공을 해야 한다는 단점이 있다. 이로 인해 측정과 가공을 수행하는 작업자에 의해 측정 오차가 발생할 수 있으며, 많은 시간이 소요되어 많은 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 단점을 보완하기 위해 기존의 광학현미경을 이용해 센터 오차를 보상하는 방식을 이용하지 않고, 가공시편의 형상 측정 및 형상 보정 등에 이용되는 기상측정장치를 이용하여 공구 끝단의 센터 축과 가공시편이 부착되는 스피들 중심축의 오차를 보상하는 방식을 제안하고, 이를 실제 초정밀가공기에 적용시켜 광학현미경을 이용하는 방식과 비교 분석하였다.

### 2. 실험 장치 및 방법

#### 2-1 2R Method

본 연구에서는 기상측정장치를 사용하여 공구 끝단의 센터축과 가공시편이 부착되는 스피들 중심축의 오차를 보상하는 2R Method 를 제시한다. 2R Method 방법의 적용 방법은 다음과 같다. 첫째, 초정밀가공기(Diamond Turning Machine, DTM)를 이용하여 원형 시편에 이송거리 D 만큼의 차이를 두어 반경 r1, r2 인 2 개의 원 형태의 그루브(groove)형상을 가공한다. 둘째, Fig. 1 과 같이 각각의 원의 원주 근처에서 그루브 형상을 포함하도록 기상측정장치를 이송시켜 이에 따른 프로브 신호를 측정한다. 셋째, 프로브 신호로 측정된 값을 최소 자승 원피팅 방법(Least square circle fitting)을 통해 가공된 두 원의 중심과 반지름을 계산한다. 넷째, 계산된 원의 중심과 반지름, 그리고 점 A 와 두

원 사이 간격 D 를 이용하여 Fig. 2 의 형상으로부터 식 (1),(2),(3)과 같이 각축의 이송량  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  를 계산 할 수 있다. 여기서 두 원 사이 간격 D 는 가공 시 미리 알 수 있는 값이며  $\theta$ 는 공구의 이송경로와 작은원의 중심과 점 A 를 잇는 선분사이의 각도이다.

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{D^2 + r1^2 - r2^2}{2 \cdot D \cdot r1}\right) \quad (1)$$

$$\Delta x = r1 \cdot \sin(\theta - 90^\circ) \quad (2)$$

$$\Delta y = r1 \cdot \cos(\theta - 90^\circ) \quad (3)$$

마지막으로 초기 가공시 알 수 있는 임의의 점 A 의 X 축과 Y 축 값에 식 (2)와 식 (3)에서 얻은  $\Delta x$  와  $\Delta y$  만큼 이송함으로써 공구 끝단의 센터 축과 가공시편이 부착되는 스피들 중심축의 오차를 보상할 수 있다.

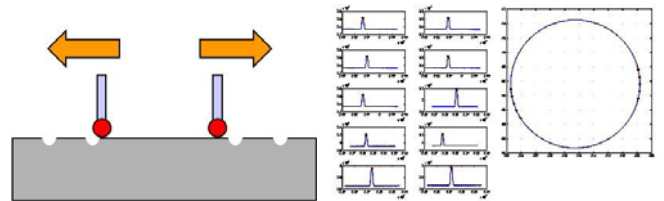


Fig. 1 Movement of OMM probes and least square circle fitting for detecting two radii of machined areas

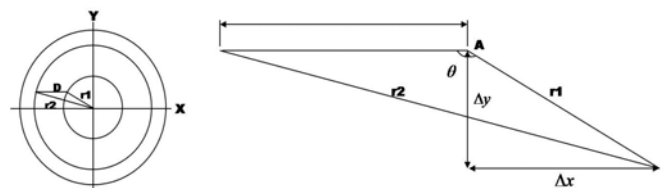


Fig. 2 Geometry of two circles machined by 2R method

#### 2-2 기상측정장치 구성

기상측정장치의 사진은 Fig. 3 과 같다. 접촉식 형태로서 Ruby 재질의 Ball 과 공기베어링으로 지지하는 CAP(Contact Adapter Probe)으로 구성되며 분해능 10 nm 의 정전용량형 센서를 장착하여 프로브 끝단의 변위 측정하였다. 정전용량형 센서에서 출력되는 신호는 기상측정장치가 장착될 NC 장비 각 축의 좌표값과 동시에 받을 수 있도록 모션 콘트롤러인 PMAC 을 이용하여 취득하였다. Table 1 은 기상측정장치에 장착되는 정전용량형 센서의 사양을 나타내며 Table 2 는 공기베어링이 내장되어 있는 기상측정장치의 CAP 사양을 나타낸다.

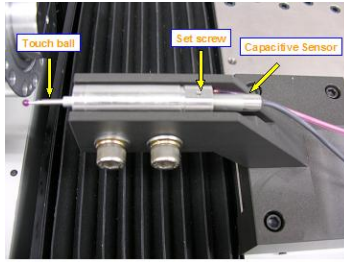


Fig. 3 Photograph of on-machine measurement

Table 1 Specifications of capacitive sensor

Resolution	nm	10
Working Range	μm	±75
Output Signal	V	±10
Bandwidth	KHz	20
Radius	mm	9.53
Length	mm	38.1

Table 2 Specifications of CAP

Contact Force	N	0.002 ~ 1
Measurement Range	μm	500
Air Unit	kPa	420 ~ 480

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1 광학현미경을 이용한 센터보상

제안된 방법의 효율성을 살펴보기 위해 기존의 광학현미경을 사용하는 센터 보상 방법을 사용하여 가공실험을 수행하였다. 시편은 직경 50 mm의 알루미늄을 사용하였으며 Precitech社 Nanoform 350 가공기에서 다이아몬드 공구(직경 200 μm)를 이용하여 평면 가공실험을 수행하였다. 가공 후 센터 부근의 가공된 형상의 측정을 위해 배율이 1000 배인 OLYMPUS社의 광학현미경 BX60M를 이용하였다. Fig. 4는 3회 가공과 측정을 반복하여 센터보상 후 작업자가 시편의 센터 미절삭 부분이 Sub-micron 이내로 들어온 것으로 판단한 2개의 시편을 측정된 결과이다. 그러나 Fig. 4는 2차원으로 측정된 결과로서 정확한 센터오차를 측정하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 최종 가공된 시편을 Zygo社의 3D-profiler를 사용하여 3차원으로 재 측정해 보았다. Fig. 5는 3차원 측정결과를 보여주며 시편 중심에 원뿔 형태로 미절삭된 부분이 남아있는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 X축의 오차가 있을 경우의 전형적인 모양이며, 이를 공구 반경을 고려하여 계산한 결과 (a), (b)는 각각 센터를 기준으로 X축 방향으로 5.44 μm, 6.38 μm 오차가 남아있는 것으로 계산되었다. 작업자가 광학현미경을 이용하여 2차원으로 측정했기 때문에 원뿔 형태의 미절삭 부분 측정을 할 수 없어 생긴 것으로 판단된다.



Fig. 4 Measurement result of machined surface by compensation of microscope view(Olympus BX60M)

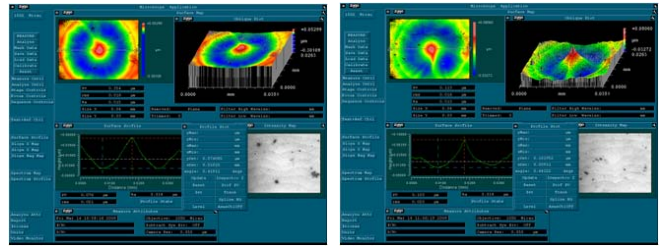


Fig. 5 Measurement result of machined surface by compensation of microscope view (Zygo 3D profiler)

#### 3-2 기상측정장치를 이용한 센터보상

제안된 2R method를 이용하여 센터보상 실험을 수행하였다. 시편 가공을 위해 두산인프라코어의 초정밀 5축 가공기 NT300F에서 다이아몬드 공구(직경 500 μm)를 이용하여 평면 가공을 하였다. 기상측정장치는 NT300F에 장착하였으며 Fig. 6은 기상측정장치를 이용하여 센터 보상 후 3D-profiler를 이용하여 측정된 결과이다. 측정 결과 시편 중심에 원뿔 형태로 미절삭 부분이 남아있는 것을 볼 수 있었다. 이 결과는 Y축의 오차가 있을 경우에 생기는 모양이며, 센터 오차는 (a), (b)는 각각 Y축 방향으로 6.28 μm, 6.95 μm 오차가 있는 것으로 측정되었다.

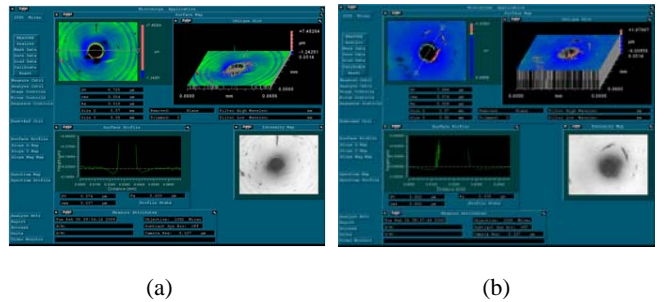


Fig. 6 Measurement result of machined surface by proposed 2R method (Zygo 3D profiler)

### 4. 결론

본 연구에서는 공구 끝단의 센터 초과 가공시편이 부착되는 스핀들 중심축의 오차를 보상하기 위해 기상측정장치를 이용한 2R method를 제안하였다. 제안된 방법의 효율성을 판단하기 위해 기존의 광학현미경을 이용하는 방식과 비교해 보았다. 비교 결과 기상측정장치를 이용한 2R method를 사용한 경우 가공 후 센터오차가 약 1~2 μm 정도 크게 측정되었다. 이는 가공시 사용되는 공구나 가공기 정밀도 등의 오차가 포함되어 있기 때문으로 판단되며 이들 조건들이 개선될 경우 센터오차를 더욱 감소시킬 수 있을 것으로 판단되며, 현미경을 이용하는 방식을 대체할 수 있음을 본 연구를 통해 확인하였다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 지역중점기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 박순섭, 이기용, 김형모, 원종호 "B축 제어 초정밀 가공기에서의 공구위치 설정," 한국정밀공학회지, 제 24 권 제 10 호, 25-30, 2007.
2. Gao W, Araki T, Kiyono S, Okazaki Y, Yamanaka M, "Precision nano-fabrication and of a large area sinusoidal grid surface for a surface encoder," Precision Engineering, 27, 289-298, 2003.