

대면적 미세형상 보정가공을 위한 기상측정장치 설계 및 성능평가

The design and performance evaluation of the on-machine measurement probe for corrective machining of micro features on large surfaces

*이찬희¹, 이정훈¹, 김호상¹, 김민기², 하재용², 김태형²

¹C. H. Lee(leecle@iae.re.kr), J. Lee¹, H. S. Kim¹, M. K. Kim², J. Y. Ha², T. H. Kim²
¹고등기술연구원 로봇/생산기술센터, ²두산인프라코어 공기자동화 선행개발 1팀

Key words : On-machine measurement, Touch probe, Axial stiffness, Performance evaluation

1. 서론

최근 제품의 정밀도를 높이고, 품질을 개선하기 위하여 공작기계의 가공정도를 향상시키려는 노력이 급격히 증가하고 있다. 이를 위하여 공작기계가 가지고 있는 3차원 위치 오차를 측정하고 해석해야 할 뿐만 아니라 가공이 끝난 제품을 측정 및 검사를 통하여 제품 가공 시 제시된 설계를 만족하는지를 검사하고, 여기서 얻어지는 오차 정보를 가공 공정으로 다시 피드백하는 기능이 필요하다. 일반적으로 공작기계의 3차원 위치오차는 무부하시의 위치정밀도를 나타내는데, 기계의 상태에 따라 가변적으로 변하며, 공작기계의 가공 정도에 큰 영향을 끼친다. 3차원 위치오차가 보상된 후 가공된 가공물을 측정 및 검사를 통하여 가공물의 설계와 일치하는지를 확인하고 분석할 필요가 있다. 현재는 가공이 끝난 제품을 검사하기 위하여 3차원 좌표 측정기(Coordinate Measuring Machine, CMM)를 사용하여 측정하고 있다. 이는 생산현장의 품질관리에 필수적인 장비로 고도의 정밀도를 요구하는 부품이나 자유곡면과 같은 복잡한 형상을 가지고 있는 금형의 정도 측정을 위한 효과적인 검사설비로 중요한 역할을 하고 있지만, 관리가 어렵고 설치 및 측정시간이 길어져 비경제적이며, 측정을 위한 가공물의 이동시간은 생산성 저하 및 측정 오차 발생의 요인이 되고 있다. 또한 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형 공작물이나 공정 특성상 가공물의 분리가 어려운 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.¹

본 연구에서 이러한 문제를 해결하기 위하여 가공이 끝난 제품을 공작기계에서 떼어내지 않은 상태에서 직접 측정이 가능한 기상측정장치를 제작하였다. 또한 제작한 기상측정장치를 사용한 초정밀 측정의 타당성을 성능평가 실험을 통해 증명하였다.

2. 기상측정장치 설계

접촉식 프로브 타입 기상측정장치의 측방향 강성이 크게 되면 측정 시 시편에 소성변형이 발생할 수 있다. 시편과 프로브 사이에 접촉력(측방향 강성)을 최소화 시켜야 시편의 소성변형을 막을 수 있다. 접촉식 프로브 형태의 기상측정장치는 크게 stylus tip ball 과 moving part, 변위센서로 구성된다. 위의 Fig. 1의 ideal case 와 같이 기상측정장치의 측방향으로만 힘이 작용하면 문제가 되지 않으나, Fig. 1의 real case 와 같이 횡방향으로 힘이 작용하게 되면, 발생하는

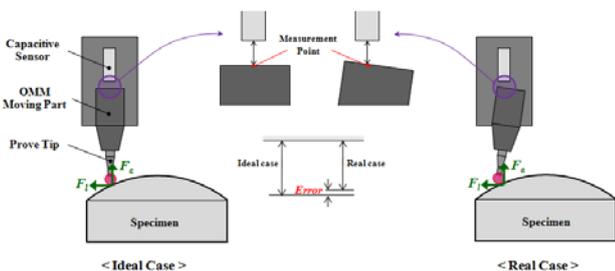


Fig. 1 Influence of the lateral displacement

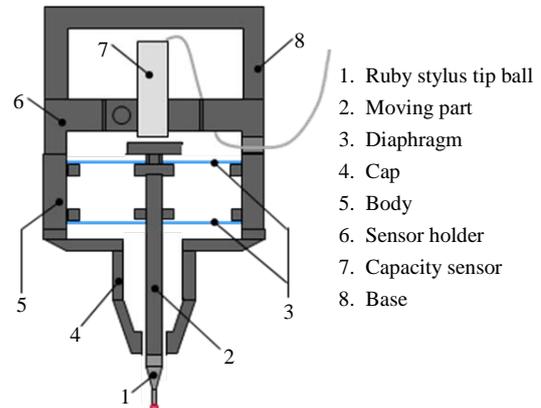


Fig. 2 Schematic cross section of the diaphragm type OMM probe

모멘트에 의해 moving part가 흔들리거나 회전하게 되어 측정 오차가 발생되게 된다. 접촉식 프로브를 사용하여 구면 및 토릭면 측정 시 측방향 힘 뿐만 아니라 횡방향으로도 힘이 발생되게 되므로 횡방향 힘에 의해 발생하는 프로브의 횡방향 흔들림을 줄이기 위해서 기상측정장치 설계 시 횡방향 흔들림의 최소화가 요구 된다.¹

기상측정장치의 개념도는 Fig. 2 와 같다. 접촉식 프로브 형태로서 ruby 재질의 stylus tip ball이 연결된 moving part가 황동재질의 50 μm 두께의 동일한 diaphragm 두개에 지지되어 있다. Moving Part 끝에 분해능 0.36 nm의 정전용량형 센서를 장착하여 프로브 끝단의 변위를 측정할 수 있도록 구성되어 있다. Cap 부분의 필요 없는 부분을 제거하여 측정 시 간섭의 영향을 줄였다. 유한요소해석 결과 1 차 고유진동수가 약 174.81 Hz로 구해졌다. 이는 가공장비의 고유진동수 보다 크며, 가공기에서 오는 노이즈의 영향없이 충분한 정도를 낼 수 있음을 나타낸다.²

3. 기상측정장치 성능평가

제작된 기상측정장치가 측정 대상물에 대해 형상정밀도가 1 μm 이하로 측정되는 것을 보이기 위하여 센서 분해능, 기상측정장치의 선형성, 마스터볼(Master ball)의 형상정밀도 측정실험을 실행하였다.³

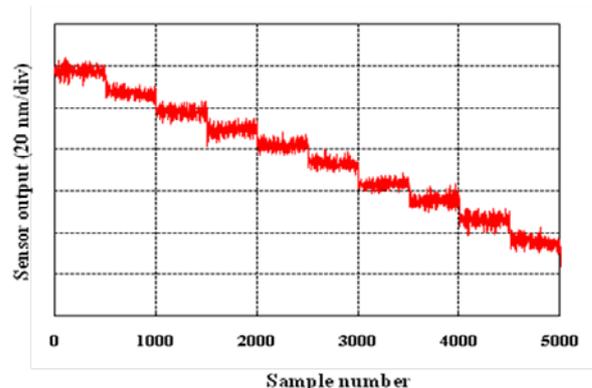


Fig. 3 Resolution of the displacement sensor

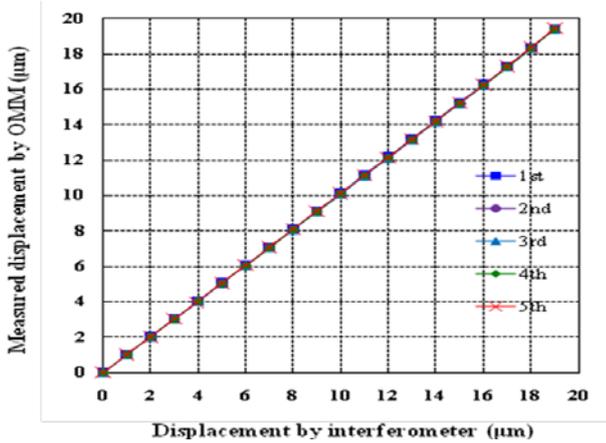


Fig. 4 Linearity of OMM probe

3.1 센서 분해능 측정 실험

본원에서 보유한 T-base DTM(Diamond Turning Machine)의 Z 축 슬라이드에 기상측정장치를 설치하고 10 nm의 스텝으로 Z 축 슬라이드를 총 10개의 스텝을 이동시키며 기상측정장치의 정전용량형 센서 출력값을 측정하였다. 측정결과는 Fig. 3과 같으며, 기상측정장치 정전용량형 센서 출력값이 10 nm의 스텝으로 총 10개의 계단을 그리는 것 볼 수 있으며, 이 결과 기상측정장치가 10 nm 분해능을 만족함을 확인하였다.

3.2 기상측정장치의 선형성 측정 실험

기상측정장치의 선형성을 보이기 위해 T-base DTM의 Z 축 슬라이드를 이동시키면서 기상측정장치의 센서 출력값과 Z 축 슬라이드에 장착된 레이저 인터페로미터 반사경의 거리값을 비교하였으며 사용된 레이저 인터페로미터는 HP5529A이다. 기상측정장치의 정전용량형 센서의 최대 측정길이 20 µm를 고려하여 Z 축 방향으로 전체거리 19 µm에 대해 1 µm 간격으로 5회씩 이동시키며 기상측정장치를 시편의 동일지점으로 접촉시켰다. 매 1 µm 이동 시 Z 축에 설치된 레이저 인터페로미터를 사용하여 Z 축 움직인 거리를 구할 수 있다. 이러한 이동을 하면서 기상측정장치의 정전용량형 센서의 출력값과 레이저 인터페로미터의 이동거리를 비교하였다. 측정 결과는 Fig. 4와 같으며, x-축, y-축은 각각 레이저 인터페로미터의 이동거리와 정전용량형 센서의 출력값을 나타낸다. 측정결과 Z 축상의 동일점에 대해 이동거리에 따른 기상측정장치의 출력값이 0.2% 이내에 들어오는 것을 나타냈다.

3.3 마스터볼의 형상 정밀도 측정 실험

기상측정장치의 초정밀 측정에서의 적용 여부를 검증하기 위한 방안으로써 Precitech社의 R12.7004 마스터볼을 측정하고 실제 참값과 측정값의 비교를 진행하였다. 여기서 Precitech社의 마스터볼을 사용한 것은 현재 초정밀 가공기 시장에서 가장 우위를 점하고 있는 회사에서 제공하는 측정 기준시편을 사용함으로써 제작된 기상측정장치의 타당

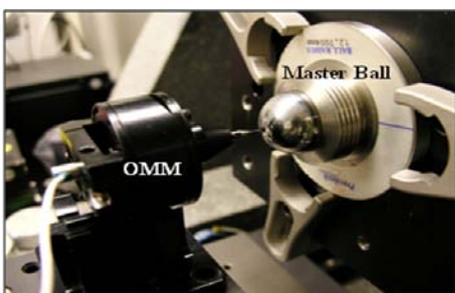


Fig. 5 Master-ball measurement experiment

Table 1 The result of the master-ball measurement experiment

| | Radius (mm) | PV-error(mm) | |
|-----------------|-------------|--------------|---------------|
| | | Constrained | Unconstrained |
| 1 st | 12.700505 | 0.000370 | 0.000370 |
| 2 nd | 12.700386 | 0.000710 | 0.000710 |
| 3 rd | 12.700524 | 0.000641 | 0.000638 |

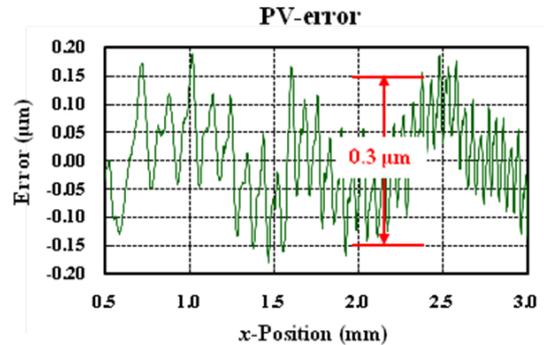


Fig. 6 PV-error of the master-ball measurement

성을 객관적으로 검증하기 위함이다. 제작된 기상측정장치를 사용한 마스터볼 측정 실험을 3회 반복 진행 하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. Table 1의 반경(Radius)값은 측정 데이터에 가장 유사한 곡선의 반경값을 나타내고, 형상오차(PV-error)에서 구속한(Constrained) 경우는 마스터볼 반경과 측정데이터 사이의 최대형상오차이며, 구속하지 않은 경우(Unconstrained)는 최소자승원정의(Least square circle fitting)를 사용하여 구한 구면의 반경값과 측정데이터 사이의 오차를 나타낸다.⁴ Fig. 6는 첫 번째 측정실험에서 x-축 이동에 따른 형상오차를 나타내며, 첫 번째 측정실험에서의 최대형상오차는 대략 0.3 µm임을 확인할 수 있었다. 같은 방식으로 두 번째, 세 번째 실험의 최대형상오차는 대략 0.7 µm임을 확인하였다. 위의 실험으로 기상측정장치의 형상 정밀도가 1 µm 이내를 만족함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 대면적 미세형상 보정가공을 위해 측방향 강성과 횡방향 흔들림을 최소화 하는 기상측정장치를 설계 제작 하였으며, 실험을 통해 기상측정장치의 성능을 검증 하였다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략기술개발사업으로 진행중인 대면적 미세가공시스템기술개발과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이정훈, 이찬희, 김호상, 김민기, 임경진, 김태형, “3 차원 초정밀 미세형상 가공기용 기상측정장치의 설계,” 한국정밀공학회 2009년도 추계학술대회는문집, 231-232, 2009.
2. 김건희, 원종호, “정전용량센서를 이용한 대구경 비구면형상의 기상측정에 관한 연구,” 한국기계가공학회지, 2, 3, 56~61, 2003.
3. Shibuya, A., Gao, W., Yoshikawa, Y., Ju, B.F., Kiyono, S., “Profile Measurements of Micro-aspheric Surfaces Using an Air-bearing Stylus with a Microprobe,” International Journal the Korean Society of Precision Engineering, 8, 2, 26-31, 2007.
4. 이찬희, 이정훈, 김호상, 김민기, 김태형, “에어베어링 타입의 기상측정장치를 이용한 구면 프로파일의 측정에 관한 연구,” 한국정밀공학회 2009년도 춘계학술대회는문집, 109-110, 2009.