

머시닝센터의 오차보상을 통한 구면 가공형상 측정 OMM 시스템 연구

이찬호*, 오창진(충북대 대학원), 이용석, 김성청(충북대 기계공학부)

A study of an OMM system for machined spherical form measurement using the volumetric error compensation of Machining Center

C. H. Lee*, C. J. Oh(Graduate School, CBNU), E. S. Lee, S. C. Kim(Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

To improve the accuracy of products and improve the product quality, we need to enhance the machining accuracy of the machine tools. To this point of view, measurement and inspection of finished part as well as error analysis of machine tools has been studied for last several decades. OMM(On the Machine Measurement) has been issued to alternate with CMM, pointing out disadvantages of high expenses and lots of setting time in CMM. In this paper, we study 1) the spherical surface manufacturing by volumetric error compensation of machine tool, 2) the system development of OMM without detaching work piece from a bed of machine tool after working, 3) the generation of the finished part profile by On the machine measurement. Furthermore, the output of OMM is compared with that of CMM, and verified the feasibility of the measurement system.

Key Words : Machining accuracy(가공정밀도), OMM(On the Machine Measurement, 기기상 측정), Volumetric error (3차원 입체오차), CMM(Coordinate Measuring Machine, 3차원 좌표측정기)

1. 서 론

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 설계 시 제시된 사양을 만족하는지 판단하고, 여기서 얻어지는 오차 정보를 가공 공정으로 다시 피드백(feedback) 하는 기능이 요구된다.[1]

일반적으로 공작기계의 3차원 위치오차는 무부하 시의 위치정밀도를 나타내는데, 기계의 상태에 따라 가변적으로 변하며, 공작기계의 가공정도에 큰 영향을 끼친다. 3차원 위치오차가 보상된 후 가공된 가공물을 측정 및 검사를 통하여 제품의 CAD 모델과 일치하는지를 확인하고 분석할 필요가 있다.

국내 산업현장에서는 현재 가공이 끝난 제품을 검사하기 위하여 금형과 같은 제조라인에서 사용되는 3차원 좌표측정기(Coordinate Measuring Machine; CMM)를 사용하고 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, 구입과 관리에 있어서 고비용이 요구되며, 관리가 어렵고 설치 및 측정시간이 길어져 비경제적이며, 측정을 위한 가공물의 이동시간은 생산성 저하의 요인이 되고 있다. 또한 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형 공작물이나 공정 특성상 가공물의 분리가 어려운 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.[2]

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 가공이 끝난 제품을 공작기계 위에서 떼어내지 않은 상태에서 스핀들 축에 접촉식 변위센서를 부착하여 직접 측정을 하였다.

다품종 소량 가공 시스템에서 생산되는 부품의 경우 온머신 측정의 필요성이 높아지고 있으므로, 공작기계의 3차원 위치오차 보상 및 온머신 측정을 체계화하여 연구할 필요성이 인식되어 연구를 수행하게 되었다.

본 논문에서는 정밀한 구면형상 가공을 위해 체적 오차 보정을 실시하고, 위치오차가 보상된 공작기계에 접촉식 변위센서를 장착하여 가공이 끝난 공작물을 기기상에서 직접 측정하여 가공된 구면의 형상오차를 생성하였고, 3차원 좌표측정기를 통하여 비교검증을 함으로써 온머신 시스템을 이용한 측정의 신뢰도를 평가하였다.

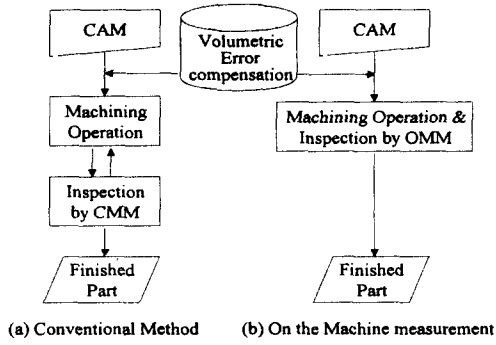


Fig. 1 Concept of OMM system

2. 체적오차 모델링 및 보상가공

공작기계의 3차원 오차는 각 축당 6개의 오차와 각 축간의 직각도 오차로 표현할 수 있다. X, Y, Z 축 이동시 발생하는 오차형태는 동일하며 각 축에 대한 오차는 4×4 변환행렬로 표현된다.

$$T_i = \begin{bmatrix} 1 & -\phi_x(X) & \phi_y(X) & \delta_x(X) + Dx \\ \phi_x(X) & 1 & -\phi_y(X) & \delta_y(X) \\ -\phi_y(X) & \phi_x(X) & 1 & \delta_z(X) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $\delta_x(X)$, $\delta_y(X)$, $\delta_z(X)$ 는 각 축 방향의 병진 오차이며 $\phi_x(X)$, $\phi_y(X)$, $\phi_z(X)$ 는 회전오차이다.

T_{ik} 를 X, Z축간 직각도 오차라고 할 때 X축 및 Z축 이동에 의한 최종 위치변환행렬은 다음과 같다.

$$T_x = T_i + T_{ik} \quad (2)$$

각 축을 함께 고려할 시 발생하는 체적오차는 테이블과 공구이동에 기인한 오차벡터의 합으로 표현된다.

$$E_x = T_x \cdot I - O_x \quad (3)$$

$$E_z = T_z \cdot I - O_z \quad (4)$$

여기서, $I = [0, 0, I_z, 1]^T$, $O_x = [x, 0, 0, 1]^T$, $O_z = [0, 0, z, 1]^T$ 이다.

따라서 3차원 오차벡터는 다음식과 같이 표현이 가능하다.

$$E_p = E_x + E_z \quad (5)$$

가공 및 OMM측정을 위한 공작기계를 대상으로 기하학적 오차를 측정하기 위한 실험을 하였다. 측정 영역은 가공이 직접 이루어지는 영역을 대상으로 하였으며 레이저간섭계를 사용하여 선형 이동오차를 측정 후 NC제어기 보정기능을 이용하여 각 축의 위치오차를 보정하였다. 또한 전자레벨을 이용하여 각도오차를 측정하였다. 측정된 모든 오차성분을 종합하여 체적오차 모델링에 의해 계산된 3차원 오차벡터를 보상가공시 가공 프로그램에 적용시킴으로써 체적오차가 보상된 공작물을 얻을 수 있다.

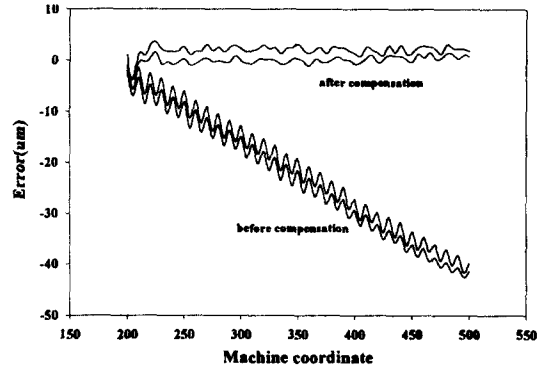


Fig. 2 Measurement and compensation in X-axis

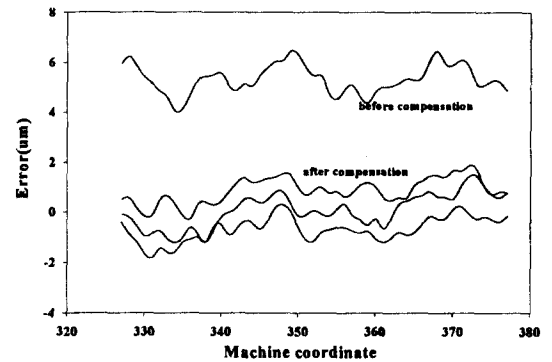


Fig. 3 Measurement and compensation in Z-axis

3. 온머신 측정 시스템

3.1 시스템 구성

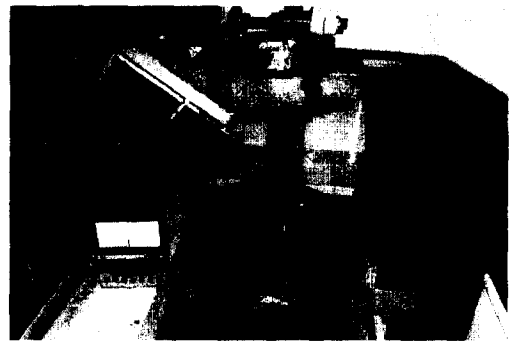


Fig. 4 On machine measurement system

Fig 4와 같이 CNC 공작기계에서 OMM시스템을 구성하기 위해 비교적 높은 분해능을 가지면서 응답성이 좋고 고속측정이 가능한 접촉식 변위센서를 사용하였다.

온머신 측정을 위하여 가공물의 CAD 모델에 대한 가공과 측정 각각의 NC 프로그램이 필요하다. 공구의 직경과 가공오차를 고려하여 가공용 NC 프로그램이 생성되고, 가공 후 가공물의 형상에 대한 임의의

위치에서의 기계좌표 값을 계산하여 측정용 NC 프로그램을 생성한다. 본 시스템에서 측정프로그램은 C언어로 프로그래밍 되었다.

무부하시의 체적오차가 보상된 경로로 가공된 공작물을 동일한 공작기계에서 직접 측정하는 OMM 시스템을 이용하여 수정가공을 함으로써 보상이 이루어지지 않은 가공오차, 환경오차 등에 대한 보상이 가능하다.

3.2 프로브의 측정물과 접촉에 따른 오차

측정프로브는 직경 2 mm의 구의 형상을 가지고 있기 때문에 Fig. 5에서와 같이 시편에서 측정하고자 하는 점은 P인데도 불구하고 볼의 반경에 의하여 Q점에 접촉한다. 편의상 Z 방향만 생각할 때 접촉점의 불일치로 인한 오차 ΔZ 는 접촉각 θ 의 함수로 표현된다.

$$\Delta Z = R \frac{1 - \cos \theta}{\cos \theta} \quad (6)$$

임의의 자유곡면의 형상 측정시, 접촉각 θ 는 가공물의 곡률반경의 크기와 중심점에서의 읍셋량을 기준으로 비례식으로 계산하였다.

본 연구에서는 측정물과의 접촉에 따른 오차를 감안하여 측정 프로그램 생성시 각 위치에서 측정오차 ΔZ 의 크기를 고려하였다.

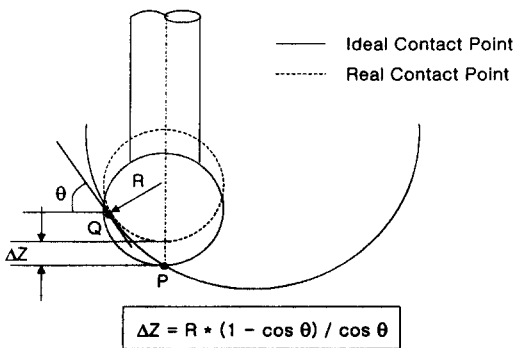


Fig. 5 Contact point configuration between a stylus and a workpiece

4. 온머신 측정 실험 및 결과

4.1 온머신 측정 실험

평면가공 실험을 한 후 측정한 결과에서 센터라인의 가공정도를 관찰한 결과 전체적으로 중간부분이 아래로 꺼지는 현상을 발견할 수 있었는데, 가장 가공라인의 평형도가 좋은 시편을 사용하여 전면을 온머신 측정하였다. 측정점은 가공면에 수직 수평 20 mm의 등간격으로 하였다.

온머신 측정 결과 Y축 방향으로 회전테이블 및 가

공물의 설치 오차로 추정되는 약 80 μ m 정도의 기울기 성분을 볼 수 있었는데 이를 제거하여 Fig. 6에 3차원 형상을 보였다. Fig. 6에서 보듯이 중심부와 외곽이 낮은 도우넛 형태를 가지고 있다. 평면도는 약 9 μ m가량이며 부분적으로 높은 부분이 나타나있다.

약 2시간 정도의 비교적 짧은 시간에 측정을 실시하였기 때문에 주위 환경에 의한 영향이 적었을 것으로 판단되고 부분적으로 나타나는 높은 부분은 공작기계 가이드의 반복정밀도의 영향으로 보인다.

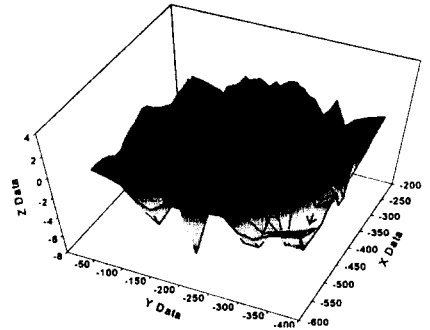


Fig. 6 Three-dimensional measurement of plane working surface(by OMM)

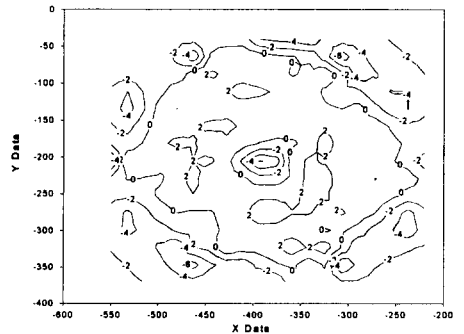


Fig. 7 Shape of working surface(by OMM)

4.2 CMM을 통한 비교/ 검증

기기상 측정 결과와 비교가 용이하도록 CMM 상의 측정점 좌표를 머시닝센터 좌표와 근사하도록 방향을 설정하였고 측정실의 실내 온도와 소재의 온도차가 없도록 측정기에 장시간 보관하였다.

아래 Fig. 8에 CMM 측정 후 온머신 측정과 마찬가지로 설치 오차로 판단되는 약 50 μ m 정도의 기울기 성분을 제거한 결과를 3차원 형상으로 나타내었다. Fig. 6의 기기상 측정 결과와 비교할 때 도우넛 형상이 선명하게 나타나고 있고 전체 형상이 유사함을 알 수 있다.

CMM 측정 결과 평면도는 6 μ m 이하인 것으로 나타났다.

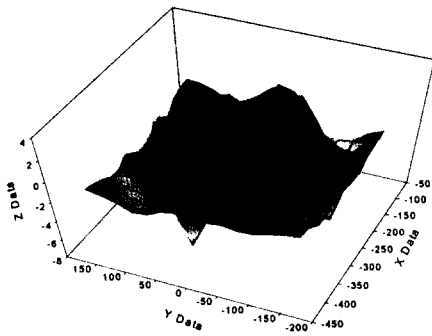


Fig. 8 Three-dimensional measurement of plane working surface(by CMM)

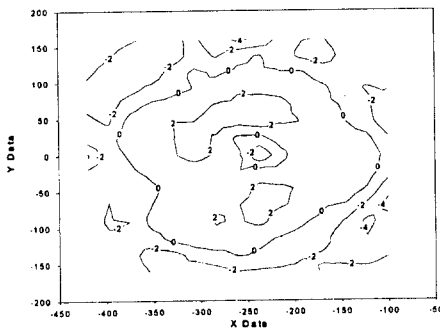


Fig. 9 Shape of working surface(by CMM)

4.3 온머신 시스템을 통한 구면형상 측정

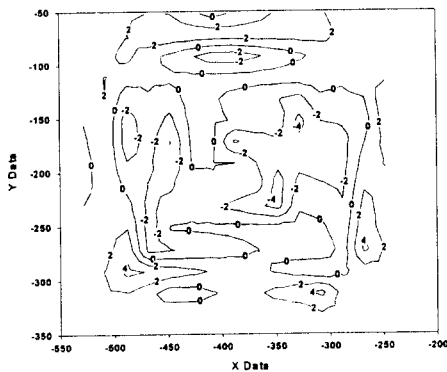


Fig. 10 Comparison between OMM and CMM

평면가공이 완료된 후 같은 가공조건을 가지고 구면가공에 적용하였다. 곡률반경 2000R의 구면을 가공하였고 가공 후 가공면의 각 위치에서의 Z의 좌표값을 계산한 후 측정프로그램을 생성하였다. 평면과 마찬가지로 중심점에서 X, Y 등간격으로 20mm씩 이동 후 접촉각 오차가 고려된 Z높이로 이동함으로써 구면의 형상오차를 얻었다.

온머신 시스템을 통하여 측정된 구면형상에 대해 CMM 측정 결과를 기준으로 비교하였고, 그 결과를

Fig. 10에 보였다. 비교 결과에서 온머신 측정시스템의 오차는 CMM 측정에 대하여 약 $4\mu\text{m}$ 이내의 상대오차를 가지고 있는 것으로 나타났고, 이 시스템은 신속한 오차측정이 가능하기 때문에 다품종 소량 생산 공정을 위한 부분적인 현장적용에 이용되어 생산성 및 효율성을 높일 수 있을 것으로 판별된다.

5. 결 론

본 논문에서는 가공정밀도 향상을 위하여 CNC 조각기계의 3차원 위치오차가 고려된 연삭가공을 하였으며, 가공이 끝난 공작물을 조각기계에서 접촉식 변위센서를 이용한 온머신 측정 시스템을 구성하여 측정하였다. 위치오차가 보상된 상태에서 측정용 접촉식 변위센서를 장착하여 구성된 온머신 측정 시스템의 측정오차는 3차원 좌표측정기를 기준으로 비교하여 성능을 평가하였다.

이상에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) NC제어기 보상기능을 이용하여 각 축의 위치오차를 보상한 결과 X, Y, Z축 방향에서 $\pm 2\mu\text{m}$ 이하로 오차범위를 줄일 수 있었다
- 2) 본 연구에서 개발한 온머신 측정 시스템을 이용하여 가공물의 신속한 오차 측정이 가능하였고, 온머신 측정 오차를 감소시키기 위하여 측정에 사용한 센서의 반경에 따른 오차를 분석하였다.
- 3) 온머신 측정의 결과를 CMM 측정 결과와 비교하여 최대 $4\mu\text{m}$ 의 상대오차를 가지고 있다는 것을 보임으로써 본 연구에서 개발한 온머신 측정시스템의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(1999-1-304-008-4)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 이상준, 김선호, 김옥현, "기계 체적오차가 고려된 가공형상-거칠기 측정 OMM 시스템", 한국정밀공학회, 춘계학술대회논문집, pp681-686, 2000
2. Kim S.H., Kim I.H., "The development and evaluation of OMM(On-the-Machine Measuring) system using scanning probe", J. of KSPE, Vol. 13, No.10, pp.71-77, 1996
3. S.H. Suh, E.S. Lee, J.W. Sohn, "Enhancement of Geometric Accuracy via an Intermediate Geometrical Feedback Scheme", Journal of Manufacturing System, Vol. 18/No. 1, 1999.
4. Eman, K.F., "A Generalized Geometric Error Model For Multi-Axis Machines", Annals of the CIRP Vol. 36/1, 1987