

주축 변위 센서를 이용한 머시닝센터의 공구 선단 오차 보정 Compensation of Tool Center Position Error using Spindle Displacement Sensor

*박성욱¹, #김종혁¹, 백경수¹

*S. W. Park¹, #J. H. Kim(kim.jonghyuk@hyundai-wia.com)¹, K. S. Bak¹

¹ 현대위아 (주)

Key words : Spindle Displacement Sensor, Thermal Error, Tool Shift, Capacitive Sensor

1. 서론

머시닝센터의 생산성 및 가공 능력을 향상시키기 위하여 주축의 고속화가 이루어져 왔으며, 이에 따른 열적-동력학적 오차 보정을 위해 주축 모니터링 기술이 발전 되어 왔다. 주축의 고속화와 내장형 모터 적용에 따른 열변위의 발생은 필연적이며 머시닝센터의 가공 오차 중 약 40~70%를 차지하는 것으로 알려져 있다.¹ 열변위를 보정 하기 위하여 온도센서를 이용한 간접 보정 방식에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나 경계 조건이 급격히 변화하는 실제 가공 상태에서는 보정률이 저하되고 주축 운전속도 변화에 의한 회전체의 돌출량은 보정 할 수 없는 단점이 있다. 이에 대한 보완으로 주축에 변위센서를 장착하고 실시간으로 열변위를 측정 및 보정 하는 연구의 필요성이 증가하고 있다.^{2,3}

2. 주축 변위 센서를 이용한 공구 선단 오차의 보정

온도 센서를 이용한 간접 보정 방식에서는 머시닝센터의 구조물과 주축회전체의 열변위를 온도 변화와 열변위의 상관 관계 분석을 통해 예측하여 보정 한다. 반면에 혼합 방식에서는 구조물의 간접 보정 방식을 사용하고 주축 회전체의 열변위와 속도 변화에 따른 돌출량은 주축 내부에 설치 된 변위 센서로 실시간 감지하여 보정하게 된다. 주축 내장형의 변위센서는 기존의 주축 부품을 대체할 수 있고 회전체의 형상의 설계 변경이 최소한으로 이루어져야 하며 주축이 구동함으로써 주축

조립체 내에서 발생하는 응력의 영향을 최소화하는 형상의 센서 설계가 필요하다.

3. 주축 변위 센서의 설계

주축 회전체의 축 방향 변위를 측정하기 위하여 Fig.1 과 같이 회전체의 선단에 음각 형태의 홈을 만들고 원통형의 센서 전극을 축 방향으로 복렬로 배치 하였다. 식(1) 에 의해 회전체의 변위가 발생하게 되면 두 전극에 투영되는 면적이 변화가 발생하고 정전용량의 차이 값이 발생하게 된다. 센서 전극과 회전체 사이의 반경 방향 틈새(g)는 절삭력에 의한 회전체 선단부의 반경 방향 변위와 간섭이 발생 하지 않고 또한 민감도의 변화가 없도록 결정되어야 한다. 한계 절삭 가공에서의 변형량을 고려하여 0.2mm 의 반경 방향 틈새를 선정하였다.

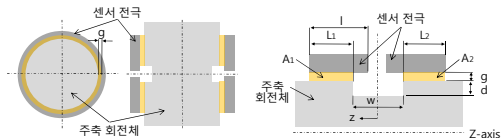


Fig. 1 Principle of Measurement

$A_1 = \pi D(L_1 - z)$, $A_2 = \pi D(L_2 + z)$ (식 1)
여기서 A_1 , A_2 : 투영면적, L_1 , L_2 : 전극의 폭,
 D : 전극의 내경, Z : 축 방향 변위량

센서 전극과 측정 홈의 형상 변수는 틈새(g) 선정 시 기존 부품 형상에 의한 치수 제한 조건을 고려한 치수를 기준으로 이 때의 기준 민감도가 유지 되도록 선정하였다. Fig.3 에서 센서 전극의 폭(1)은 2mm 이상, 측정 홈의 폭(w)과 깊이(d)는 각각 2mm, 1mm

이상일 때 기준 민감도 이상을 유지하는 것을 알 수 있다.

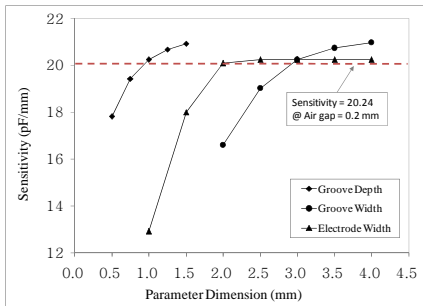


Fig. 2 Design Parameters

센서의 하우징은 센서 전극과 전기적인 분리를 위해 에폭시를 사용하여 제작되었고, 주축 내부의 응력에 의한 센서 전극의 자체 변형을 최소화 할 수 있도록 지지부에 빈공간을 형성하여 전달되는 힘이 우회 할 수 있도록 설계 하였다.

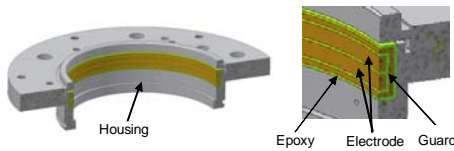


Fig. 3 Cylindrical Capacitive Displacement Sensor

4. 축 방향 변위 보정 시험

구조물과 주축 하우징의 열변위는 선형 다중 변수 회귀 분석과 온도센서를 이용하고 회전체는 개발 된 변위센서를 이용하여 보정 할 수 있도록 혼합형 보정시스템을 구성하였다.

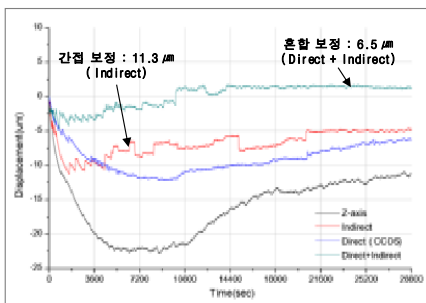


Fig. 4 Comparison of Thermal Error Compensation Results

Fig4.는 8 시간 동안 약 4℃의 주위 온도

변화 조건에서 주축 최대 운전 속도로 회전 시 열변위 보정 결과를 나타낸다. 간접 보정 방식은 전체 열변위의 약 50%의 보정이 가능하였고 혼합 방식은 약 72%의 보정 효과를 얻을 수 있었다. 또한 혼합 방식의 보정에서는 회전체의 돌출량도 50% 이상 보정 할 수 있었다.

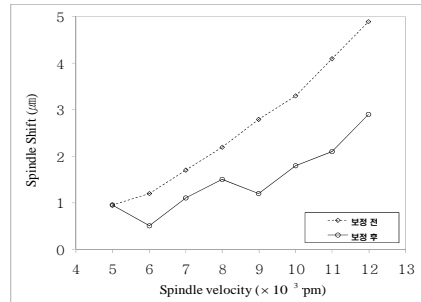


Fig. 5 Compensation of Spindle Shift

5. 결론

머시닝센터의 축 방향 가공 정밀도 향상을 위해 주축 내장형의 변위센서 설계 및 해석과 혼합보정 방식을 이용하여 공구 선단 보정 시험을 수행하였다. 구조물에 비해 빠르게 변화하는 주축 회전체의 열변위와 돌출량을 변위센서를 통해 보정함으로써 간접 보정 방식 대비 약 20%의 보정 성능의 향상을 확보 할 수 있었다. 돌출량 보정에서는 BT40 의 공구 인터페이스로 인해 잔여 오차가 존재하였으나 BBT 또는 HSK 형식의 이면 구속 방식을 사용하게 되면 보정 정밀도를 더욱 향상 시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Abele, E., Altintas, Y., Brecher, C., "Machine tool spindle units", CIRP Annals Manufacturing Technology, Vol. 59, pp. 781-802, 2010
2. Jong-Ha Choi, "A study on compensation of thermal error in high-speed spindle using a cylindrical capacitive displacement sensor", master's thesis, 2010
3. <http://www.roeders.de>