

CNC 공작기계의 열변형 오차보정 (II) - 알고리즘 및 시스템 인터페이스 중심 -

이재종*, 최대봉*, 박현구*(KIMM), 류길상**(충남대학교 대학원)

Algorithm of Thermal Error Compensation for the Line Center - System Interface -

JaeJong Lee*, DaeBong Choi*, HyunKoo Park*(KIMM), and GilSangRyu**(ChungNam Nat'l Univ.)

ABSTRACT

One of the major limitations of productivity and quality in metal cutting is the machining accuracy of machine tools. The machining accuracy is affected by geometric errors, thermally-induced errors, and the deterioration of the machine tools. Geometric and thermal errors of machine tools should be measured and compensated to manufacture high quality products. In metal cutting, the machining accuracy is more affected by thermal errors than by geometric errors. In this study, the compensation device and temperature-based algorithm have been implemented on the machining center in order to compensate thermal error of machine tools under the real-time. The thermal errors are predicted using the neural network and multi-regression modeling methods. In order to compensate thermal characteristics under several operating conditions, experiments performed with five gap sensors and manufactured compensation device on the horizontal machining center.

Key Words : 열변형 오차(thermal error), 오차보정 (error compensation), 오차보정 장치(error compensation device), 보정알고리즘(compensation algorithm), PC-NC 라인센터(line center)

1. 서론

머시닝센터와 라인센터와 같이 고정밀도 및 고부가가치 공작기계의 경우 작업 중에 발생하는 열변형오차에 의한 영향은 상대적으로 매우 크다. 이러한 공작기계에서 발생하는 열변형 오차를 최소화하기 위하여 공작기계의 설계관점에서 열원냉각방식을 도입하거나 최적설계를 통하여 열원을 상쇄하여 최소화방법과 직접적으로 열변형오차를 보정하는 방법이 연구되고 있다[2,5]. 외국의 공작기계사의 경우 별도의 오차보정장치를 자사 공작기계에 부착하여 열변형 오차 보정을 하고 있으며, 다수의 공작기계 업체들이 일차적으로 냉각시스템을 이용하거나 Z축 방향의 열변형 오차를 최소화

하고 있다. 최근, 국내의 공작기계 업체에서도 발생하는 열변형오차에 의한 영향을 최소화하기 위해서 설계관점에서 별도의 오차보정장치를 부착하지 않고 열변형오차에 대해서 안정화 될 수 있도록 이송제와 구조계 열적 안정화기술을 개발하여 적용하고 있다. 그러나, 이러한 방법은 구조적인 측면에서 접근하기 때문에 작업조건과 가공특성에 따라서 발생하는 열원에 의해서 다양한 형태로 변화하는 열변형 오차에 대해서 대응하기가 어렵다. 따라서, 열변형 오차에 대한 별도의 오차보정기술이 적용되지 않은 기존 CNC공작기계 및 PC-NC를 채용하고 있는 공작기계의 열변형 오차를 최소화하기 위한 기술이 필요하다.

본 논문에서는 라인센터와 유사한 구조를 가

지고 있는 CNC머시닝센터를 대상으로 개발된 열변형 오차보정 알고리즘 및 열변형 오차보정장치를 CNC머시닝센터에 부착하여 공간상의 열변형오차 오차보정 실험을 수행했다.

2. 열변형 오차특성 및 보정방법

2.1 공간상의 열변형 오차 특성

스핀들 유니트 및 이송계 등에 의해서 발생하는 열원은 공작기계의 구조계, 이송계, 주축계에 직접적인 영향을 미침에 따라 열변형 오차는 Fig.1과 같이 공작기계의 공간상에서 비대칭형태로 발생한다. Fig.1과 같이 열변형 오차는 공간상의 위치에 따라 다르며, 이러한 특성으로 인해서 임의의 한 점에서 측정된 오차를 이용하여 공작기계의 열변형 오차를 보정할 경우 단순한 원점보정과 유사하며, 공간상에서 정확한 오차보정이 곤란하다.

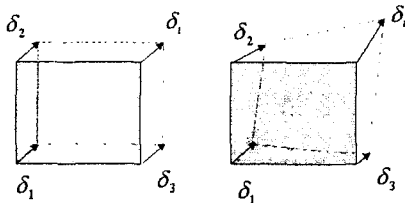


Fig.1 Thermal deformation patterns in machine tools

따라서, 공작기계의 공간상의 열변형 오차보정을 위해서는 정확한 공간상의 열변형 오차지도 (volumetric thermal error map)가 필요하다. 이러한 오차지도는 구 측정시스템이나 DBB를 이용할 수 있으며, 다양한 온도변화와 그 때의 열변형 오차를 이용하여 정확한 오차지도의 생성이 가능하다.

2.2 공간상의 열변형 오차 보정방법

열변형 오차지도의 생성시점은 시간변화량을 기준으로 하는 방법과 온도변화량을 기준으로 하는 방법이 있다. 시간변화량을 이용할 경우 온도변화가 없는 경우에도 연속적인 오차지도를 생성해야 하지만 온도변화량을 기준으로 할 경우 온도변화가 있을 때에만 오차지도를 생성하기 때문에 급속한 온도변화가 발생하더라도 오차보정의 신뢰

도를 높일 수 있다. 본 논문에서는 온도변화량을 기준으로 오차지도를 생성하는 방법을 이용했으며 Fig.2와 같이 오차지도를 생성한 후 생성된 오차지도를 기반으로 공작기계의 현재위치에 따른 오차보정량을 공작기계에 전송함으로써 온도보정을 수행할 수 있다. PC-NC 제어기의 경우 사전에 분석되는 공구경로를 기반으로 공구의 이동경로를 사전에 예측함으로써 실시간적인 오차보정이 가능하다.

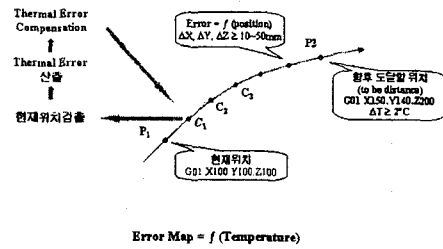


Fig.2 Concept of the thermal error compensation

오차보정은 생성된 오차지도를 이용하여 공간상의 위치에 따른 공작기계의 전영역에 대한 열변형 오차보정값을 결정하고, 현재 위치를 검출한 후 현재 위치를 기준으로 임의의 간격으로 오차보정량을 결정한 다음 신속한 오차보정을 실행하며, 새로운 오차지도가 생성될 때까지 정해진 공간상의 오차보정량을 이용하여 연속적인 오차보정을 수행한다. 따라서, 공간상에서 연속적인 오차보정을 하기 위해서는 공작기계의 X, Y, Z축의 이송 위치를 검출해야 한다. Fig.3은 오차보정장치와 PC-NC의 인터페이스 개념도를 나타낸 것이다.

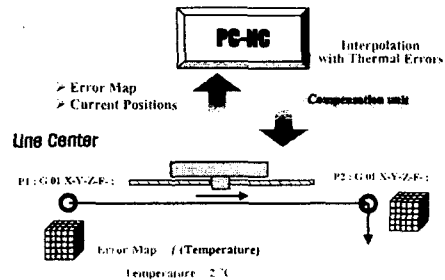


Fig.3 Interfacing concept of compensation device and PC-NC

Fig.3과 같이 공작기계가 P1->P2->P3로 이동할 때 오차보정을 위해서 기존 CNC공작기계의 경우 NC코드의 EOB(end of block)에서 오프셋값을 조정하기 때문에 중간에서 오차보정을 하기 위해서는 별도의 I/O보드를 사용하거나 현재위치 검출장치가 필요하다.

Fig.4는 PC-NC와 오차보정장치 간의 정보전송개념도를 나타낸 것이다. Fig.4에 나타낸 바와 같이 오차보정장치는 PC-NC로부터 공구의 이동경로정보를 받고, 작업에 따라 변화하는 라인센터의 현재위치와 온도변화량을 검출하여 오차보정량을 PC-NC에 전송한다. 이 때, 전송되는 오차보정량은 생성된 오차지도와 현재위치정보를 이용하여 결정된다.

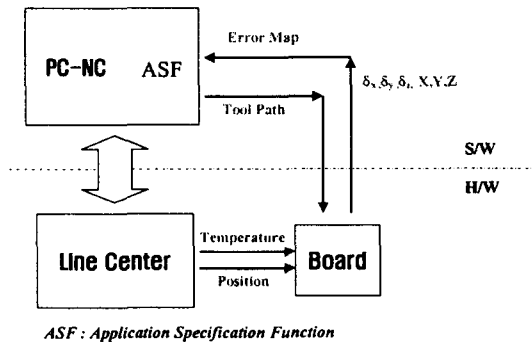


Fig.4 Data communication between the PC-NC and the compensation device

2.3 CNC 공작기계의 열변형 오차보정 장치

열변형 오차보정 장치는 오차해석 시스템과 직렬통신 방법으로 인터페이스 되어 있고, 대상 공작기계와는 DI/DO방법으로 인터페이스(Interfacing) 되어 있다. 따라서, 오차해석 시스템에서 결정되는 X,Y,Z축 방향의 오차 보정량은 직렬통신방법으로 오차 보정장치에 전송되고, 전송된 오차보정량은 DI/DO를 통하여 공작기계의 Macro변수로 전송됨으로써 오차보정이 가능하다. 다음 Fig.5는 오차보정실험을 위해서 수평형 머시닝센터에 설치된 열변형 오차보정 장치이다.

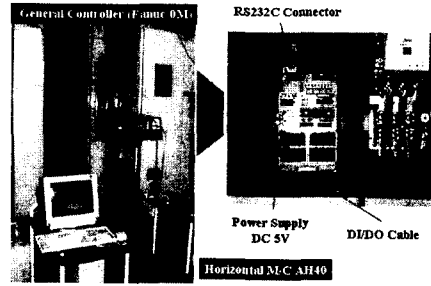


Fig.5 Compensation device on the machining center

3. 열변형 오차보정 실험 및 분석

3.1 열변형 오차보정 장치의 특성실험

열변형 오차보정 장치의 특성과 대상 공작기계의 이송량 보정특성을 분석하기 위해서 공작기계의 X, Y, Z 축 방향으로 1 μ m, 5 μ m, 10 μ m 값을 단계적으로 지령한 후 -1 μ m, -5 μ m, -10 μ m 값을 단계적으로 지령하여 대상 공작기계의 실제 이송량을 레이저간섭계를 이용하여 측정했다. 다음 Fig.5 는 X, Y, Z 축 방향의 이송계 특성 실험 결과이다.

Fig.5 와 같이 X 축의 경우는 1 μ m 과 5 μ m 로 지령했을 때 공작기계의 이송정도와 Resolution 에 의해서 정확한 이송특성을 얻지 못했고, 방향이 바뀌는 시점에서 이송계의 백래쉬오차에 의해서 지시된 오차보정값과 공작기계의 실제이송값이 다르게 나타났으며, 측정된 백래쉬 오차는 약 4 μ m 정도이다. 이에 비해서 Y, Z 축의 경우 정확한 이송이 이루어졌음을 알 수 있다.

3.2 열변형 오차보정 실험 및 결과

본 논문에서는 머시닝센터의 열변형 오차가 주축회전에 의해서 지배적인 영향을 받기 때문에 주축회전과 이송조건에 따른 수평형 머시닝센터 열변형 오차 특성을 평가하기 위하여 스피들회전수를 기준으로 한 다양한 실험조건을 사용했다.

실험조건은 Fig.6 과 같은 복합적인 작업조건을 사용하여 스피들 유닛을 9 시간 동안 회전시켜 열원을 발생시켰고, 매 10 분 간격으로 측정된 스

핀들 유니트의 열변형 오차를 측정했다. Fig.7은 실험조건 1 과 2 에 의해서 측정된 수평형 머시닝센터의 열변형 오차이다.

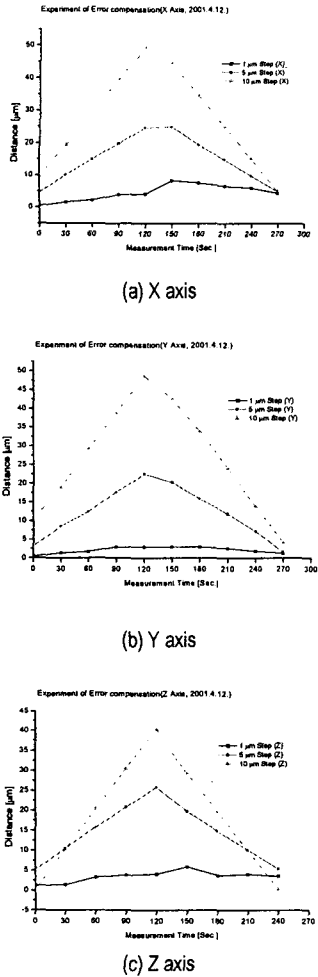


Fig.5 Experiment of step movement in X and Z axes using compensation device

다음 Fig.8은 신경회로망 예측모델을 이용하여 예측된 결과를 나타낸 것으로, 비교적 오차예측의 신뢰도가 높음을 알 수 있다. 이러한 오차예측모델을 이용하는 것은 작업 중에 발생하는 열변형오

차를 측정하는데 따른 작업지연 및 간섭을 최소화하기 위한 방법이다. 따라서, 접촉식프로브와 구 측정구를 이용하여 작업조건과 온도변화에 따라 측정된 공간상의 16점의 열변형오차를 이용하여 오차예측 모델을 구축함으로써 오차예측결과를 이용하여 공간상의 오차지도를 생성할 수 있다. 다음 Fig.9는 각각 2시간과 5시간 후에 접촉식프로브에 의해서 측정된 열변형 오차를 이용하여 구성된 공간상의 오차지도를 나타낸 것이다.

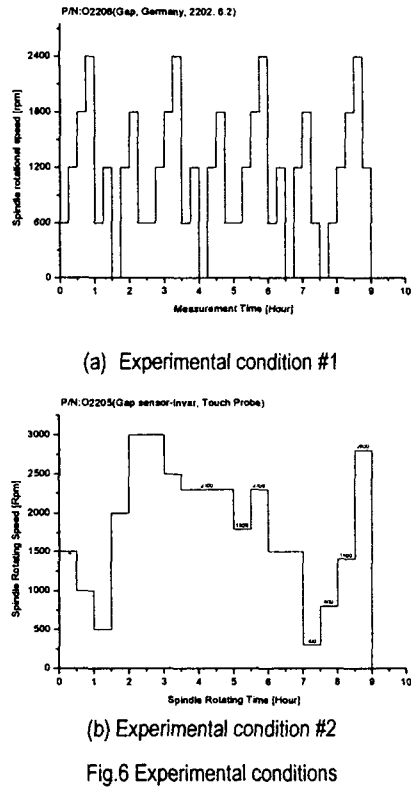
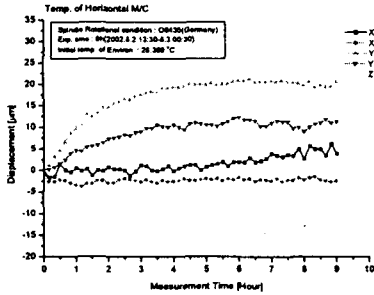


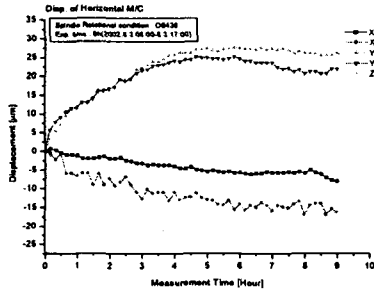
Fig.6 Experimental conditions

열변형 오차보정 실험은 측정된 열변형 오차를 해석하여 매 시간 간격으로 해석된 오차를 Mirror image개념으로 오차보정량을 결정하여 오차보정 장치로 전송한 다음 레이저 간섭계를 이용하여 오차보정 정도를 측정했다. 다음 Fig.10은 측정된 열변형 오차를 이용하여 결정된 오차보정값과 레이저간섭계로 측정된 공작기계의 실제 이송값을 나타낸 것이다. Fig.5의 실험결과에서 기술한 바와

같이 백래쉬와 이송오차에 의해서 약 5 μm 정도 까지 오차보정이 가능했고, Y축의 경우 약 2 μm 까지 오차보정이 실현되었다.



(a) Experimental condition #1



(b) Experimental condition #2

Fig.7 Trends of thermal deformation error under experimental conditions #1 and #2

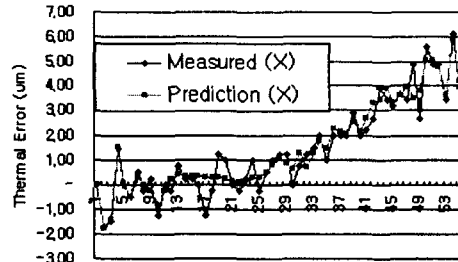
향후 실시간으로 온도변화에 따른 열변형오차를 보정하기 위해서 개발된 오차보정장치를 PC-NC 라인센터에 탑재할 계획이다.

5. 결론

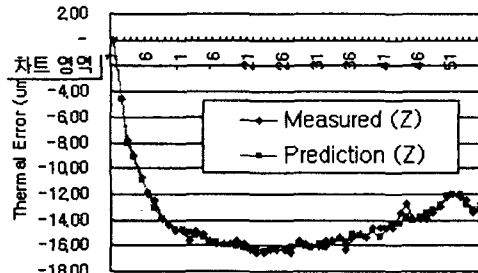
본 논문에서는 상용 CNC머시닝센터 및 PC-NC를 채용하고 있는 라인센터를 대상으로 실시간으로 열변형 오차를 보정하기 위한 방법을 개발하기 위해서 공간상의 열변형 오차 보정 알고리즘에 대해서 기술했다. 또, 기존 CNC공작기계에 적용할 수 있는 열변형 오차보정 장치를 제작하여 오차보정 장치의 특성분석 및 다양한 실험조건에서 측정

된 열변형 오차보정 실험을 수행했다. 이러한 실험결과로부터 본 논문에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) CNC 및 PC-NC채용 공작기계의 열변형 오차를 실시간으로 보정할 수 있는 오차보정 방법론 및 오차보정의 문제점을 분석했다.
- 2) 접촉식프로브를 이용하여 신속하고, 고정도로 열변형 오차를 측정했고, 오차보정 장치를 이용하여 오차보정의 가능성을 검토했다.
- 3) 보차보정 실험결과 각 축방향에 대해서 이송계를 1 μm , 5 μm , 10 μm 씩 미소지령을 했을 때 구조적으로 백래쉬가 큰 X축을 제외하고는 정확한 오차보정이 이루어졌다.
- 4) 다양한 실험조건에서 측정된 열변형 오차를 X, Y, Z축 방향으로 보정했을 때 오차보정 정도는 각 축에 대해서 약 4 μm 까지 오차보정이 수행되었다. 따라서, 향후 공간상의 오차보정이 가능할 것으로 판단된다.



(a) X axis

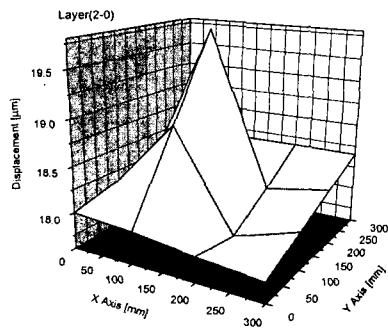


(b) Y axis

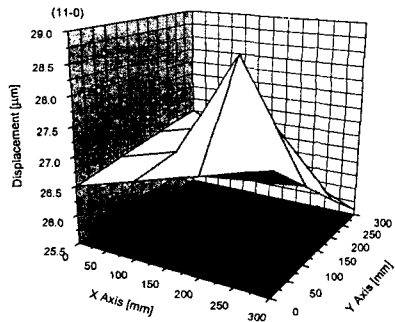
Fig.8 Prediction results using neural network model

참고문헌

1. S.Yang, et al, "Accuracy Enhancement of a Horizontal Machining Center by Real-Time Error Compensation", J. of Manufacturing Systems, Vol.15, No.2, 1996
2. J.S. Chen, et al, "Thermal Error Modeling for Volumetric Error Compensation," Sensors and Signal Processing for Manufacturing, PED-Vol.55, ASME, 1992.
3. M.Yang, J. Lee, "Measurement and Prediction of thermal Error of a CNC Machining Center using Two Spherical Balls", J. of Materials Processing Technology, Vol.75, No.1-3. , 1998
4. Bryan, J.B., "International Status of Thermal Error Research (1990)", Annals of the CIRP, Vol.39, No.1 1990
5. JaeJong Lee, MinYang Yang, "Modeling and Measurement of Volumetric Thermal Errors for CNC Machining Center using On-the-Machine Measurement System", X Workshop on Supervision and Diagnostics of Machining system, 1999
6. JaeJong Lee, MinYang Yang, "Measurement of the Volumetric Thermal Errors for CNC Machining Center using the Star-type-styluses Touch Probe", Int. J. of KSPE, Vol.1, No.1, June, 2000
7. 이재중 외 3, "열적 환경변화에 의한 공작기계의 구조적 특성", 한국정밀공학회 2000년 춘계학술대회논문집



(a) After 2 hours



(b) After 5 hours

Fig.9 Constructed volumetric error maps

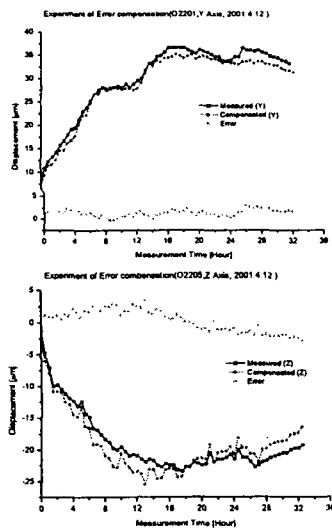


Fig.10 Compensation results using mirror image method