

생산설비 상태보정용 Diagnosis Device 개발 Diagnosis Device for Status compensation of Production Equipments

*#송준엽¹, 김동훈¹, 김한규², 차석근³, 권순기⁴

*, #J. Y. Song(sjy658@kimm.re.kr)¹, D. H. Kim¹, H. K. Kim², S. K. Cha³, S. K. Kwon⁴

¹ 한국기계연구원 초정밀기계시스템연구실, ²(주)신명정보통신 기술연구소, ³(주)에이시에스, ⁴호서대 산학협력단

Key words : Diagnosis Device, Thermal deformation, Automatic compensation, Prediction model

1. 서론

생산설비를 대표하는 가공기계에서 가공 정밀도를 저하시키는 요인은 가공기계의 기하학적 오차, 가공공정, 구동 메커니즘 그리고 환경적인 요인을 들 수 있다. 기하학적인 오차는 구조물의 부정확한 가공, 부정확한 조립, 이송 유닛의 부정확성, 서보 시스템 등에서 발생한다. 가공 공정에서 오차는 공구 상태 및 가공 시편의 상태가 원인이 된다. 구동 메커니즘에서 오차는 주축 베어링, 이송체와 안내부, 이송 나사 및 각종 모터류에 의한 것이다. 위와 같은 원인은 정적 혹은 동적 변형, 열변형, 직선 혹은 회전 운동의 오차, 응답 특성의 변화 및 공구 손상의 현상으로 나타나게 된다. 주요 파라미터로는 Fig. 1에 제시된 것처럼 열변형, 채터 그리고 공구마모 등이며, 열변형이 전체 오차원인의 70% 이상을 차지하고 있다.

따라서 본 연구에서는 열변형 데이터를 수집하여, 이를 근거로 예측되어지는 오차정도를 분석, 진단하여 동작기계가 스스로 보정값을 가공작업에 반영시키는 기술, 즉 NC컨트롤러와 링크되어 상태를 진단, 예측, 보정기능이 Embedded화된 M2M(Machine to Machine) 디바이스를 개발코자 한다.

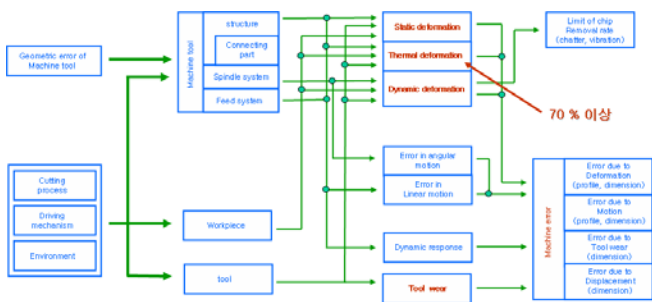


Fig. 1 Influence parameter and trouble errors of machine tools

2. 동작기계 열변형 보정시스템

본 연구에서는 Fig. 2처럼 다중 신호융합기술 객체화에 의한 동작기계 열변형 감시 및 보정시스템을 기본구성으로 한다. 구성 시스템은 각 축의 온도센서(ADAM3011)에서 취득한 Raw Data와 가공시 사용되는 공구 하단부의 변위량(와전류 변위센서)을 획득하여 보정 예측모델의 입력 데이터로 사용하고, 보상 지령값을 실시간으로 생성, 보정하는 체계를 지원하는 중간매체로 Diagnosis Device(DD)가 장착된다. 고안, 탑재될 예측모델에 대한 설명은 다음과 같다.

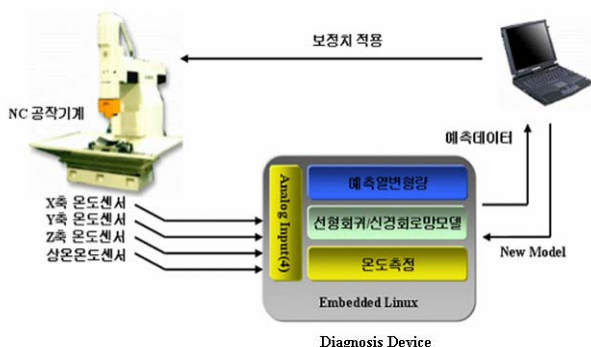


Fig. 2 System for automatic compensation of thermal deformation

2.1 열변형 보정 예측모델 개발

본 연구에서는 다중선형회귀 모델을 사용하여 열변형 예측값을 규칙화하기 위해 열변형이 발생하는 3축(x, y, z축) 방향의 열변형량을 종속변수로 삼고, 종속변수의 변동을 설명하기 위해 4개의 독립변수, 즉 3축과 대기온도를 지정하였다. 측정점을 (x, y, z, f(x, y, z, e))라고 하면 각 측정점 (x₁, y₁, z₁, p(x₁, y₁, z₁, e₁)) (x₂, y₂, z₂, p(x₂, y₂, z₂, e₂)) ----- (x_n, y_n, z_n, p(x_n, y_n, z_n, e_n))에 대한 예측식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(x, y, z, e) = a + b_{xi} + c_{yi} + d_{zi} + e_{ei} \text{ ----- 식(1)}$$

특히 각 측정점들과 예측식으로 제시된 p(x_i, y_i, z_i, e_i)와의 차이를 최소로 만드는 a, b, c, d, e 계수를 구하기 위해 최소제곱법을 사용하였다. Fig. 3이 열변형 예측모델을 구성하기 위한 추정식과 방법을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 & Y_1: X\text{축열변형}, Y_2: Y\text{축열변형}, Y_3: Z\text{축열변형} \\ Y_2 &= \beta_5 + \beta_6 X_1 + \beta_7 X_2 + \beta_8 X_3 + \beta_9 X_4 & X_1: X\text{축 온도}, X_2: Y\text{축 온도}, X_3: Z\text{축 온도}, \\ Y_3 &= \beta_{10} + \beta_{11} X_1 + \beta_{12} X_2 + \beta_{13} X_3 + \beta_{14} X_4 & X_4: \text{외부의 대기온도} \end{aligned}$$



Fig. 3 Prediction model and estimation of thermal deformation

상기 식을 바탕으로 각 축에 대한 예측모델을 구성하고, 회귀모델의 재현성, 신뢰성 확보를 위한 기초 절삭실험을 실시하였다. 실험은 무부하 상태에서 4시간 단위의 4,000, 5,000, 6,000 rpm 회전운전과 4시간 냉각과정을 2회 반복시키면서 총 48시간 동안 실시하였으며, Sampling rate 0.1초 단위로 수집한 열변화량, 열변형량 데이터를 10분 단위로 분석하여 모델식을 구성하였다. 최종적으로 구축된 열변형량 예측 회귀모델식이 식(2)-(4)이다.

$$X = 48.4219 - 1.9485T_x + 0.9837T_y + 0.0857T_z - 1.0687T \text{ ----- 식(2)}$$

$$Y = 159.2867 - 4.6858T_x + 7.7245T_y - 8.6694T_z + 0.5468T \text{ ----- 식(3)}$$

$$Z = 175.4714 - 7.4281T_x - 5.4342T_y + 8.7649T_z - 0.9827T \text{ ----- 식(4)}$$

상기 회귀모델에 의한 열변형량과 실제 변형량에 대해 적합도를 분석, 평가한 결과 Fig. 4에 제시된 것처럼 매우 유사함을 확인할 수 있었다.

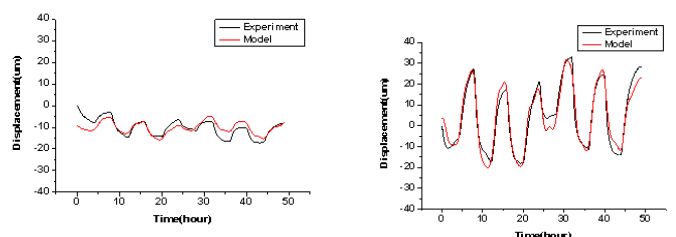


Fig. 4 Suitability analysis of prediction model

2.2 User Programmable Diagnosis Device 개발

Fig. 2에 제시한 동작기계 열변형 보정시스템 구성 상 가동(가공)상태에서 각축의 온도변화를 감지, 모니터링하고, 예측 변형

량, 즉 보정량을 산출하여 실시간으로 시스템에 반영시킬 수 있는 M2M용 Diagnosis Device(DD)를 설계하였다. 설계한 DD는 기계 등 주변환경과 온라인 인터페이스를 기본기능으로 구성할 수 있도록 Serial 4 port, Analog input(4채널), Digital input(6채널), Digital output(4채널)을 구성시키고, Wired/Wireless Ethernet, Real time clock을 탑재시켜 실시간 프로세스가 이루어질 수 있도록 고안하였다. 또한 32MB Flash memory와 DRAM 메인 프로세서를 채용시켜 Desktop Linux시스템을 이용하여 사용자가 원하는 응용프로그램(예를 들면 dfcus형 예측모델)을 작성할 수 있게 고안하였으며, 별도의 배터리도 구성시켜 프로세서 내에 저장되어 있는 Time 관련 값이 시스템의 Real time clock을 보장토록 하였다. 개발된 DD의 System block diagram이 Fig. 5이다.

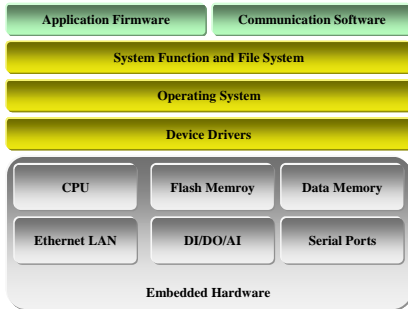


Fig. 5 System block diagram of diagnosis device

특히 본 연구에서 개발한 열변형 예측모델을 Application firmware로 개발하여 탑재시켰으며, 새로운 설비모델에 대해서도 쉽게 대응할 수 있게 시스템 Setup, Communication, Monitoring기능이 있는 Embedded프로그램도 개발, 활용토록 하였다.

이상 개발한 예측모델의 추천 보정치를 온라인으로 공작기계의 상태보정에 반영시키는 메커니즘으로 3가지 방법을 고려하고 있다. 첫째, 시스템의 NC Kernel영역과 연계시키는 방법, 둘째, PC의 NC파일과 NC 라이브러리mf 연계하는 방법, 셋째, PC의 NC파일을 이용하는 방법이다. 본 연구에서는 시스템의 인터럽트 없이 실시간으로 자동 보정을 수행할 수 있는 방법으로 첫 번째 방법을 이용하였다. 즉, 가공을 총괄하는 프로세서인 공작기계 제어기 영역의 보정액션 기능과 연계시키는 것으로 예측모델에 의하여 보상치가 추출되면, CNC로 전달되어 공작기계 제어기 커널인 NC Kernel 변수 [예: \$P_UIFR(...)] 및 Link 변수 [예: /Channel/UserFrame/LinShift(...)]를 접근할 수 있도록 사용자 코드(VC++)작성 및 HMI(Human Man Interface, CNC 화면영역)에 OEM서브모듈로 기능을 임베디드함으로써 작업자 개입없이 실시간 보상이 이루어지도록 하였다. 이러한 보상메커니즘과정을 도식한 것이 Fig. 6이다.

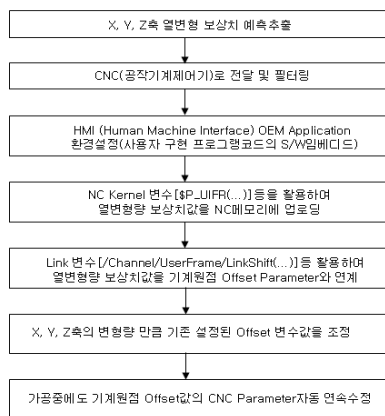


Fig. 6 Realtime compensation Mechanism of thermal deformation

3. 절삭실험 및 특성평가

이상 개발한 예측모델과 실시간 보정메커니즘의 실효성을 검증하기 위해 2.1절의 기초 절삭실험(밀링가공) 시 사용하였던

가공조건 하에서 일정한 절삭깊이를 유지시키며 장시간(13.5시간) 작업에 따른 열변형 및 보상실험을 실시하였다. 그 결과 공작기계의 열변형 전후 가공 시 발생하는 평균 가공오차가 16.5 μ m로 분석되었다. 이러한 일련의 실험과정에 대해 열변형 수동보상과 본 연구에서 채용한 자동보상 메커니즘을 적용 시 가공오차를 분석한 결과, Fig. 7, 8에 제시한 것처럼 수동보상 시 평균 5.8 μ m, 자동보상 시 3.9 μ m 수준인 것으로 평가되었다. 이 결과는 열변형 보상이 적용되지 않은 경우보다 76.4% 오차가 최소화되어 효율성을 입증할 수 있었다.

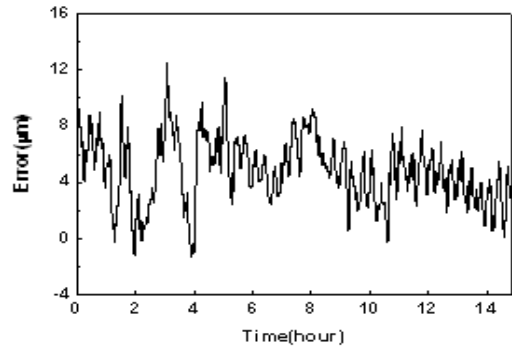


Fig. 7 Machining error afterward manual compensation

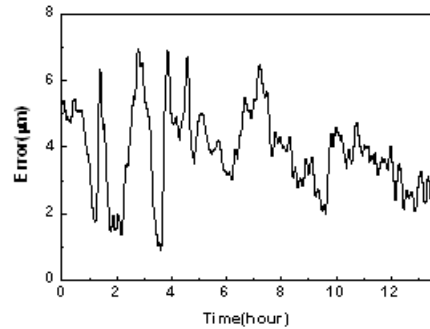


Fig. 8 Machining error afterward automatic compensation

4. 결론

이상 본 연구에서는 생산설비를 대표하는 공작기계를 대상으로 성능이나 트러블 발생 영향인자를 규정하고, 주요 인자(열변형)에 대한 데이터 수집과 이를 근거로 예측되어지는 오차에 대해 자동으로 진단하고, 보정하는 시스템에 대해 연구하였다. 특히 다중선형회귀 모델을 이용한 예측알고리즘을 개발하고, 이를 고안한 User Programmable Diagnosis Device에 탑재시킨 Embedded M2M장비를 개발, 활용함으로써 학습효과에 따른 가공 정밀도 실시간 보정제어, 그에 의한 70% 이상의 품질 및 생산성 향상에 크게 기여할 수 있는 솔루션 제공을 기대할 수 있다.

한편 공작기계라는 생산설비에 인텔리전트한 기능을 부가하여 자가적으로 스스로 진단, 학습과정을 수용하는 차세대 생산설비 모델의 기술적 신기원과 지금까지 전문가의 노하우에 의존하던 진단 및 보정기술을 상품화할 수 있는 기반을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 송준엽, 김동훈 외, "지식진화 기반 지능 제조설비 및 인터넷 기반 통합관리기술," NRL연구보고서, KIMM, 2008. 12.
2. 송준엽, 김동훈, 김한규 외, "공작기계 상태보정용 Diagnosis Device 개발," 기술보고서, 중기청, 2008. 7.
3. 송준엽, 김동훈 외, "공작기계 열변형 보사용 임베디드 디바이스 및 보정시스템," 특허출원 10-2007-0137066호, 2007.12.26
4. D.H. Kim, J.Y. Song, S.K. Cha, "Knowledge-evaluation based intelligent machine tools based on M2M," Int. Conf. on Smart Manufacturing Application, 214~218, 2008. 4.