전류센서를 적용한 고속 주축의 상태제어 알고리즘 설계

Design of the State Control Algorithm on High Speed Spindle with Current Sensor

*#최현진[1], 박철우[1], 강익수[1], 이승용[1], 이태호[2], 최성대[3]
*#H.J. Choi[1](knut21c@dmi.re.kr), C.W. Park[1], I.S. Kang[1], S.Y. Lee[1], T.H. Lee[2], S.D. Choi[3]
[1] 대구기계부품연구원, [2](주)티에스티, [3]금오공과대학교 기계공학부

Key words : State Control, Control Algorithm, Current, High Speed Spindle, Machining Tool

1. 서론

현재까지 절삭가공기의 상태를 감시하기 위한 연구로는 절삭공구의 상태를 관찰하는 직접적인 방법과 여러 센서의 신호 특성을 이용해 가공장비의 상태를 예측하는 간접적인 방법 또한 연구가 있어 왔다. 하지만 최근 자동화되고 무인화를 지향하는 시스템의 경우는 직접적인 방법의 적용은 많은 한계를 가지고 있어 간접적인 방법에 대하여 절삭부하, 진동 등을 측정하는 방법 등이 연구되고 있다. 그러나 대부분의 경우 감시시스템이 현장에 적용되기 위한 조건인 저가, 고신뢰성, 내구성, 유연성 등이 결여되어 있어 현장적용에 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 전류센서를 통한 모터의 소비전류를 측정하여 절삭가공기의 상태를 모니터링하고 절삭조건을 제어 할 수 있는 알고리즘을 설계 하였다. 이는 절삭부하와 상관관계를 갖는 주축 구동모터 전류신호의 성분을 측정하여 절삭조건의 제어 알고리즘에 적용함으로써 절삭가공기의 상태를 효과적으로 모니터링 할 수 있다. 이러한 모터 전류를 이용한 절삭상태의 모니터링 및 제어 시스템은 가장 경제적이 있는 방법으로 실용화 가능성이 매우 높다고 사료된다.

2. 구동 모터 전류 측정

모터 전류 측정 테스트는 전류센서 (EIT사, MC05C - CIKB15)를 모터 출력부에 설치하여 NVH 측정장비로 측정할 수 있도록 Fig. 1과 같이 구성하였다. 전류값은 전류센서에서 신호를 받은 후 저항(100Ω)을 연결하여 최종적으로 NVH 장비에서 전압값으로 전류를 측정하였다. 전류 센서의 주요 특징은 1μS의 응답특성을 보이며, 100kHz의 주파수대역, 0.5%의 정밀도를 가지고 있다.

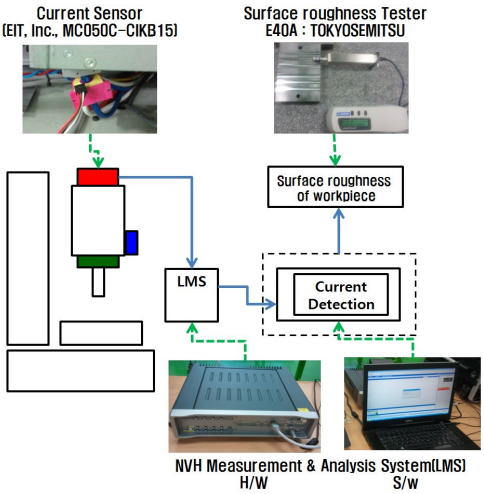

Fig. 1 Composition of test equipment to measure current

3. 전류측정 결과

측정 결과 시간영역에서는 절삭조건을 달리하더라도 단순히 Sin 파형으로 나타난다. 이때 파형의 진폭 크기로 전류값의 증감형태를 판단을 하기가 쉽지 않아 데이터를 RMS값으로 변환하여 전류값을 분석하였다. 가공물은 Al, Brass, S45C 3가지 소재를 선정하였으며 가공직후 가공표면을 표면조도기로 절삭조건별고 측정하여 절삭속도와 이송속도에 따른 표면조도의 상관관계를 도출하였다. 전류측정 데이터를 RMS 변환하여 분석한 결과 모두 이송속도가 증가함에 따라 가공대역에서는 전류값이 선형적으로 증가하는 경향이 있었다. Fig. 2는 Al 소재의 15,000rpm의 주축 회전속도에서 이송속도의 변화에 따른 전류값를 나타내고 있다. 실험결과 구동모터의 전류값은 이송속도에 따라 많은 영향을 받고 있다고 판단되어 그에 따라 가공물의 표면조도와의 상관관계를 도출할 수 있었다.

또한 표면조도와 전류값의 가장 중요한 파라미터를 주축 회전속도와 이송속도로 설정할 수 있었다.

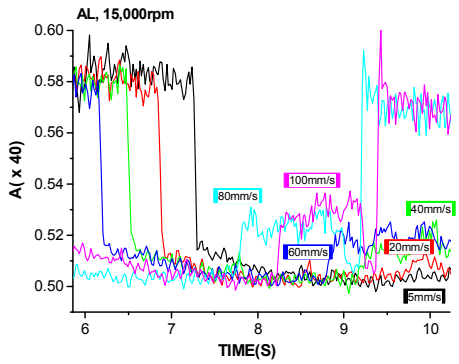

Fig. 2 Current of Al (15,000rpm, 5-100mm/s)

4. 구동전류에 의한 제어알고리즘

Al 소재에 대한 절삭실험을 통하여 주축 회전속도와 이송속도에 따른 전류값 및 표면조도값 데이터를 바탕으로 주축 회전속도와 이송속도의 변화에 따라 전류값 증감량의 최종적인 관계식을 도출하였다.

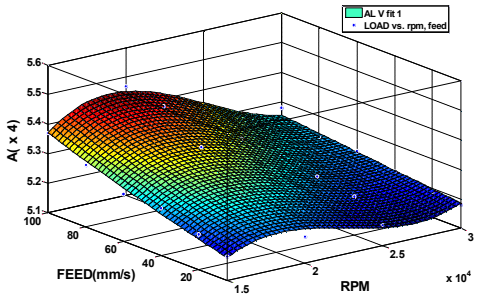

Fig .3 Fitting multi-dimensional plane function of current data of Al cutting

전류값과 주축회전속도, 이송속도 관계를 1차 함수로 피팅하여 얻어진 방정식의 RMSE 오차가 0.04695로 아주 낮지만 상대적으로 판단할 때 오차가 크기 때문에 RMSE 오차가 최소가 되도록 Fig. 4와 같이 이송속도는 3차 함수로 주축 회전속도는 2차 함수로 피팅한 결과 RMSE 오차가 50%이상 감소하였다. 식(1)과 식(2)는 1차 함수와 다차원함수로 피팅하여 얻어진 회전속도와 이송속도에 따른 전류값 계산 관계식이다.

$$f(x_c, y_c) = a_{Al} + b_{Al}x + c_{Al}y \qquad (1)$$

(a=5.27, b=-4.267e-006, c=0.00182, RMSE : 0.04695)

$$f(x_c, y_c) = a_{Al} + b_{Al}x + c_{Al}y + d_{Al}x^2 + e_{Al}xy + f_{Al}y^2 + g_{Al}x^3 + h_{Al}x^2y + i_{Al}xy^2 \qquad (2)$$

(a=2.801, b=0.0003404, c=-0.005443, d=-1.563e-008, e=7.368e-007 f=8.025e-006, g= 2.311e-013, h=-1.769e-011, i= -2.751e-010, RMSE : 0.02913)

Fig. 4는 Al 소재의 절삭가공 실험을 바탕으로 도출한 관계식을 적용한 전류 모니터링 및 제어시스템의 최종 제어 알고리즘으로 전류값에 따른 주축 회전속도와 이송속도의 상하 임계치는 가공부품에 따라 요구되는 표면조도값에 따라 설정하면 된다.

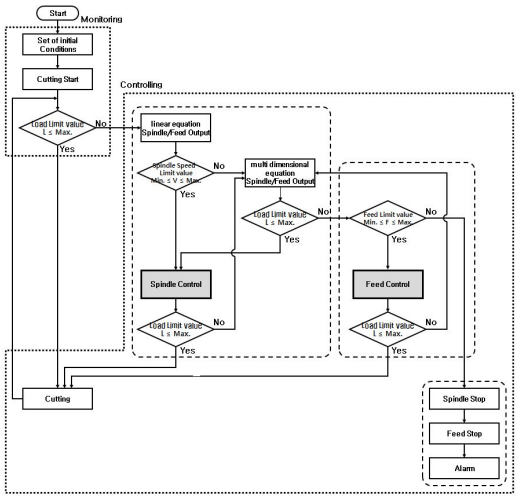

Fig. 4 Flow-chart control algorithm obtained through current analysis

5. 결론

본 연구에서는 전류센서를 통한 모터의 소비전류를 측정하여 절삭가공기의 주축 상태를 모니터링하고 절삭조건을 제어 할 수 있는 알고리즘을 실험데이터를 바탕으로 설계 하였다. 이는 절삭부하와 상관관계를 갖는 주축 구동모터 전류신호의 성분을 측정하여 절삭조건의 제어 알고리즘에 적용함으로써 절삭가공기의 상태를 효과적으로 모니터링 할 수 있다. 향후 제어시스템을 적용한 가공 테스트베드를 구축하여 그 실효성을 검증하여 제어 알고리즘에 대한 신뢰성을 확보할 예정이다.

참고문헌(생략)