

마이크로 가공에서 AE 신호를 이용한 z 축 절삭깊이 보정에 관한 연구

강익수*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김전하, 강명창(부산대 ERC/NSDM),
이기용(한국생산기술연구원), 김정석, 안중환(부산대 기계공학부)

A Study on the Calibration of Z-axis Depth of Cut using AE Signal in Micro-machining

I. S. Kang(Graduate School, PNU), J. H. Kim, M. C. Kang(ERC/NSDM, PNU),
K. Y. Lee(KITECH), J. S. Kim, J. H. Ahn(School of Mech. Eng., PNU),

ABSTRACT

There are technical requirements to manufacture large size functional parts with not only simple geometries like a flat or spherical surface but also sculptured geometries. In addition, the required machining accuracy for these parts is becoming more severe day-by-day. In general, the forms of machined parts are determined by relative position between the workpiece and the tool during cutting. To improve machining accuracy, the relative position error should be maintained within the required accuracy. This study deals with estimation and calibration of depth of cut using AE signal in micro-machining.

Key Words : Micro-machining (마이크로 가공), AE signal (음향방출 신호), Depth of cut (절삭깊이), Relative error (상대오차)

1. 서론

3차원적 미세형상을 자유롭게 가공할 수 있는 방법으로 종래부터 절삭가공 공정(Metal cutting process)이 광범위하게 이용되어 왔다. 그러나 절삭가공은 일반적으로 절삭력(Cutting force)이 커서 미세 구조물 가공에 적합하지 않다고 여겨져 1980년 이전에는 마이크로 구조물의 가공에 관한 연구가 많지 않았다. 이후 초정밀 절삭기술(Ultra-precision cutting technology)은 공작기계의 정밀운동제어, 초정밀가공 공구 및 계측 기술의 발전에 따라 서브미크론(Sub-micron) 치수의 가공이 용이한 수준에 도달했다. 따라서 최근에는 미세부품의 가공에 적용 가능한 기계적 절삭가공법의 개발 및 미세공구에 초점이 모아지고 있는 추세이다.¹⁻³

복잡한 자유곡면 형상의 미세부품 및 금형가공 수요가 점점 증가하고 미세해짐에 따라 이런 부품 및 금형은 상당한 가공정밀도를 요구하고 있다. 일반적으로 가공 부품의 형상은 절삭과정에서 공구(Tool)와 공작물(Workpiece)의 상대적인 위치에 의해

결정되어지기 때문에 정밀도를 향상시키기 위해서는 이런 상대오차를 줄여야 한다. 하지만 가공이 이루어지는 동안 공작기계(Machine tool), 공구, 공작물 등 가공시스템의 예상치 못한 변형(Deformation)이나 공작기계 구조물 정밀도의 불확실성(Uncertainties)으로 인해 원하는 정밀도를 내기가 어렵다. 그리고 이런 현상들의 온라인 감시(On-line monitoring) 또한 어렵다.⁴ 따라서 마이크로 가공(Micro-machining)에서 고정밀도를 얻기 위해서는 효과적인 방법이 필요할 것이다.

마이크로 엔드밀(Micro endmill) 가공에서 직접적인 방법으로 원점 세팅 시 공구와 공작물의 상대오차가 크기 때문에 정밀도에 상당한 영향을 미친다. 이런 상대오차를 줄이기 위해서는 절삭깊이를 보정하는 방법이 있다. 초기 원점 세팅 시 오차를 최소화할 수 있다면 마이크로 부품의 가공정밀도를 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 AE (Acoustic emission) 신호 및 이송속도로부터 절삭깊이를 예측하고, AE 측정시간(t_{AE})과 가공시간(t_c)를 이용하여 오차예측 및 z축의 절삭깊이 보정에 관한

연구를 수행하였다.

2. 이론적 배경

2.1 AE 신호 특성

일반적으로 AE는 고체의 내부구조가 외부하중의 영향에 의해 재배치를 이루면서 변형에너지가 급격히 풀림에 따라 방출되는 일종의 탄성응력과도 알려져 있다. 정적인 균열이나 파괴 등의 감지에 유효한 레이저, 초음파 등과 달리 AE는 동적인 상태에서 발생하는 균열이나 파괴 등의 감지에서 실효를 거두고 있다.

Fig. 1은 각종 센서별 적용 예를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 AE 센서는 높은 민감도를 가지고 있고, 진동이나 잡음 보다 높은 주파수 대역을 가지고 있기 때문에 마이크로 절삭 시 유효하다.

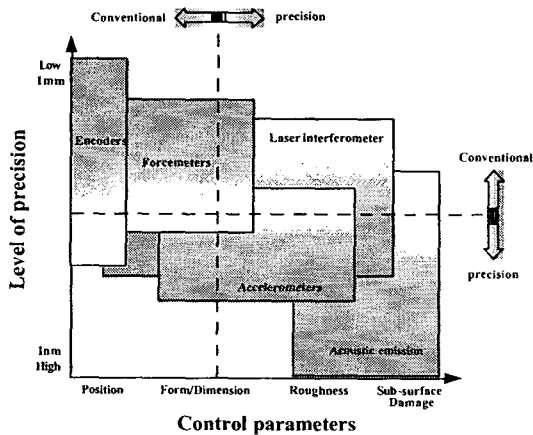


Fig. 1 Sensors application in accordance with level of precision

Fig. 2는 Liu와 Dornfeld⁵의 실험결과로서 초정밀 다이아몬드 선삭 가공(Ultra-precision diamond turning) 시 획득한 AErms 신호를 보여주고 있다. 수 μm 에서 수십 μm 의 절삭깊이에서도 AE신호 획득이 충분히 가능하다는 것을 알 수 있다.

2.2 AE 신호를 이용한 z 축 절입 보정 원리

Fig. 3은 AE 신호를 이용한 z축 절삭깊이 보정 원리의 개략도이다. 먼저 CCD 카메라를 통해 공구와 공작물 사이의 거리를 측정 후 원점 세팅을 한 후 일정한 이송으로 z축 방향 가공 시 발생하는 AE 신호를 획득한다. 이 AE 신호로부터 실제 가공된 절삭깊이 x 의 예측이 식 (1)로부터 계산 가능하다.

$$x = F \times t_{AE} \quad (1)$$

여기서 F 는 이송속도, t_{AE} 는 가공 시 AE 측정시간이다.

위 식 (1)로부터 예측된 절삭깊이의 오차가 발생했을 시에 그 오차를 보정해주는 연구를 수행하였다.

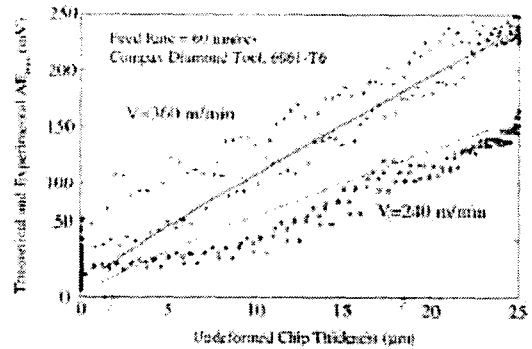


Fig. 2 Predicted and measured AErms in diamond turning⁵

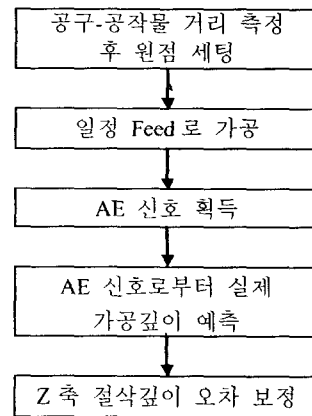


Fig. 3 Calibration principle of z-axis depth of cut using AE signal

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구는 최대 주축회전수 20,000rpm, 최대이송속도 50m/min의 고속 머시닝센터에서 직경 400 μm 의 2날 플랫 엔드밀(2-flute flat endmill)로 가공실험을 수행하였다. AE센서는 PAC사의 Pico 타입으로 주파수 범위는 200 - 750kHz이다. Fig. 4는 실험장치도이며, Table 1은 본 실험에 사용된 장치의 사양이다.

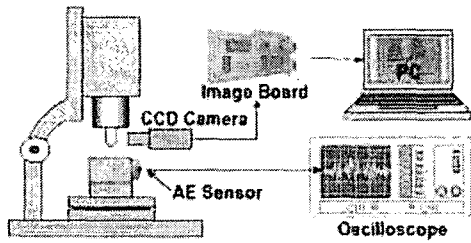


Fig. 4 Schematic diagram of experimental set-up

Table 1 Specification of instruments

Machining center	Makino V55
AE sensor	PAC, Pico(200-750 kHz)
Pre-amp.	PAC, 1220A (100-1220 kHz Bandpass filter)
CCD camera	Neocom (x 150)
Oscilloscope	Lecroy 9330A(200 Mhz)
Surface profiler	Tencor P-11

3.2 실험방법

초기 원점 세팅을 위해 CCD 카메라를 통해 공구와 공작물 사이의 거리를 측정하였다. 원점은 300 μ m의 거리를 두고 세팅하였고, z축 방향으로 10 μ m의 절삭깊이로 가공을 수행하였다. AE 신호 샘플링을 500kS/s로 100ms 동안 신호를 획득하였다.

가공시 획득한 AE 신호로부터 절삭깊이를 예측한 후 오차가 있을 경우 보정 후 가공 실험을 행하였다. 그리고 실험의 검증에 위해 가공면의 구배(Profile)를 측정하여 비교 분석하였다.

Table 2 Machining conditions

Spindle revolution	5,000rpm
Feedrate	100mm/min
Tool	Φ 0.4 2-flute flat endmill
Workpiece	Al7075
Depth of cut	10 μ m

4. 결과 및 고찰

4.1 기초실험 결과

마이크로 절삭시 AE 신호의 특징을 분석하기 위해 기초실험을 수행하였다. 실험결과 AE 신호는 실제 가공하는 시간동안 진폭이 피크(Peak)값까지 상승하다 하강하는 경향을 보였다. 실제 절삭하는 동안의 AE 신호는 진폭이 커지는 구간으로 사료된다. Fig. 5는 절삭깊이가 10 μ m일 때 AE 신호를 보여주고 있다. 절삭깊이 세팅값이 10 μ m이지만 신호로부터 예측된 절삭깊이는 각각 약 7 μ m(0.004s), 9 μ m

(0.0056s)로 나타났다. 이는 공구와 공작물 사이의 상대오차로 인한 것으로 볼 수 있을 것이다.

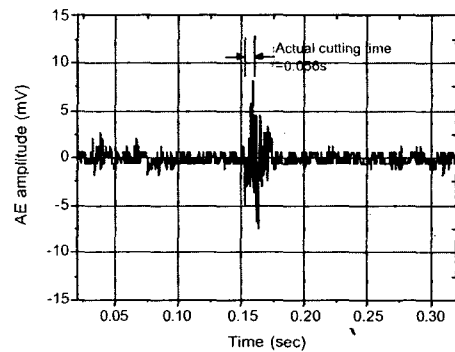
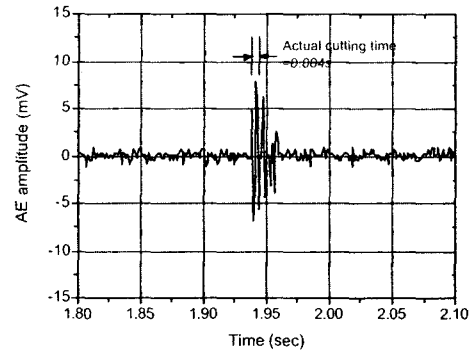


Fig. 5 AE signal measured in preliminary experiment

4.2 절삭깊이 보정 실험 결과

절삭깊이 10 μ m, 이송 100mm/min으로 실험한 결과 Fig. 6-7과 같은 AE 신호를 획득하였다.

Fig. 6에 나타난 AE 신호로 측정된 가공시간은 0.006s로 나타났다. 식 (1)에 대입하면 절삭깊이가 10 μ m로 예측된다. 따라서 보정값을 0 μ m로 하고 가공을 다시 수행하고, 가공깊이를 측정할 결과 Fig. 8과 같은 구배를 얻을 수 있었다. 보정하기 전의 절삭깊이는 9.3 μ m이고, 0 μ m 보정 후 재가공시 8.6 μ m로 측정되었다.

Fig. 7에서 AE 신호로부터 측정된 가공시간은 0.004s이며, 이 시간에 상응하는 절삭깊이는 6.7 μ m이다. 하지만 실험에 사용된 머시닝센터의 정밀도가 1 μ m이기 때문에 3 μ m의 절삭깊이를 보정하였다. 절삭깊이 측정결과 Fig. 9와 같았다. 보정하기 전의 절삭깊이는 7.4 μ m로 AE 신호로부터 예측된 값과 1 μ m이하의 오차를 보였으며, 보정한 후의 절삭깊이는 10.6 μ m로 보정값과 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

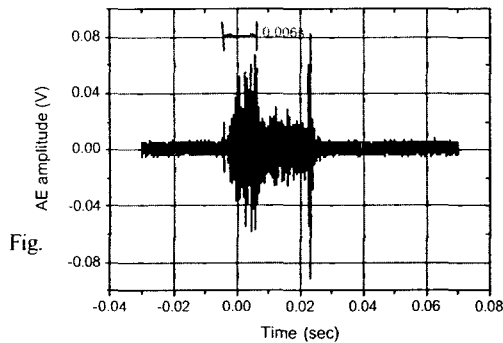


Fig. 6 AE signal in cutting time of 6ms

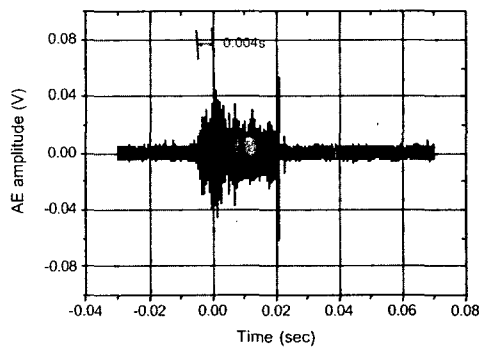


Fig. 7 AE signal in cutting time of 4ms

4. 결론

마이크로 가공에서 AE 신호를 이용한 절삭깊이 보정에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

마이크로 가공시 AE 신호로부터 절삭깊이의 예측이 가능하였으며, 오차를 보정함으로써 마이크로 가공에서 가공정밀도를 향상시킬 수 있다. 또한, 마이크로 가공에서 오차보정 뿐만 아니라 간접적인 원점 세팅 기법으로 적용될 수 있다.

그리고 향후 공작기계의 가감속 등을 고려한 실험을 통해 보다 정확한 절삭깊이의 예측 및 보정이 가능한 연구를 수행할 것이다.

후 기

본 연구는 2005년도 산업자원부의 핵심연구개발 사업의 일환으로 한국기계연구원 및 한국과학기술원의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

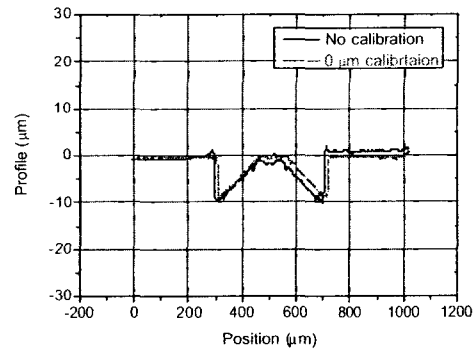


Fig. 8 Profile of machined workpiece in calibration of 0 μ m

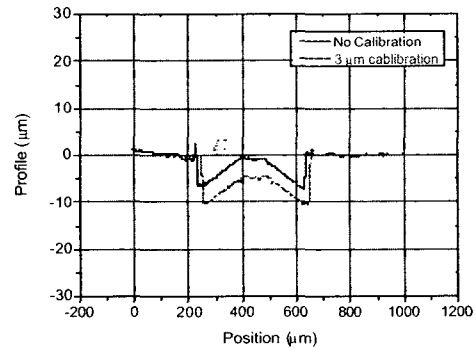


Fig. 9 Profile of machined workpiece in calibration of 3 μ m

참고문헌

1. Ikawa, N., Donaldson R. R., Komanduri, R., Konig, W., Aachen, T. H., McKeown, P. A., Moriwaki, T., and Stowers, I. F., "Ultraprecision Metal Cutting - The Past, the Present and the Future," Ann. CIRP, Vol. 40, pp. 587-594, 1991.
2. Bao, W. Y., Tansel, I. N., "Modeling Micro-end-milling Operation. Part 1: Analytical Cutting Force Model," Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 40, pp. 2155-2173, 2000.
3. Tansel, I. N., Arkan, T. T., Mahendrakar, N., Shisler, B., Smith, D., and McCool, M., "Tool Wear Estimation in Micro-machining. Part 1: Tool Usage-Cutting Force Relationship," Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 40, pp. 599-608, 2000.
4. Nakao, Y., Dornfeld, D. A., "Diamond Turning using Position and AE Dual Feedback Control System," Precision Engineering, Vol. 27, pp. 117-124, 2003.
5. Liu, J., Dornfeld, D. A., "Modeling and Analysis of Acoustic Emission in Diamond Turning," Trans. ASME J. Manuf. Sci. Eng., Vol. 118, pp. 199-207, 1996.