

AE 센서를 이용한 CNC 공작기계의 절삭공구 마모에 관한 연구

정재수, 김광태, 정수일

A Study on CNC Machine Tool Wear using AE Sensor

Jung Jae-su, Kim Kwang-tae, Jung Soo-il

ABSTRACT

Increased complexity of products and their manufacturing processing demands higher quality control and monitoring than ever before. Therefore, flexible automatization or flexible manufacturing systems (FMS) offer numerous advantages over alternative manufacturing methods. In this state, a in-process monitoring is one of the important flexible automatio system. And as use of NC and CNC machine tool has been increasing, cutting work has automating and it is necessary to develop the automatic production system combined a couple of machine tool. Thus, in this paper to search examination it can measure the tool wear and the tool life and can be more practical research subject.

정재수 : 인천기능대학

김광태 : 신성대학

정수일 : 인하대학교

1. 서 론

최근 NC(Numerical Control) 및 CNC(Computer Numerical Control) 공작기계의 사용 비중이 증가함에 따라 절삭가공이 자동화되어 가고 있으며 생산능률 향상, 생산원가 절감, 제품의 다양화 및 고성능화 등이 추구하고 있으며 여러 대의 공작기계를 결합하여 자동화생산시스템을 개발하는 것이 요구되고 있다.

전통적인 생산시스템에서는 숙련자에 의해 절삭공정이 감시되어지며, 만약 이상이 발생하였을 경우에는 그 상태에 따른 적절한 조치를 취할 수 있었으나, 숙련된 작업자의 부족과 고임금, IMF 등 사회적 여건의 변화에 따라 더욱 고도의 자동화와 함께 복잡화 되어 가고 있다. 따라서 각종 기계설비의 운전상황을 감시하여 생산능률 향상, 제품의 품질저하 방지 및 안전사고 예방을 위해 설비고장을 사전에 예측, 진단 하는 기술이 대두되고 있다.

특히, 고가의 CNC 공작기계의 경우 절삭가공중 이상현상, 예를 들면 절삭공구의 마모(wear), 크래킹(cracking), 칩핑(chipping) 및 파괴(fracture)와 채터(chatter)의 발생, 구성인선(built up edge)의 형성, 연속형 칩(chip) 같이 제어하기가 곤란하고 제품에 손상을 줄일 수 있는 칩의 발생 등을 가공 중에 검출(monitring)하고, 이상의 종류를 자동적으로 진단(diagnosis)할 수 있는 시스템의 도입이 필수적이다.

이러한 자동생산시스템에서는 1대의 공작기계의 이상이 시스템 전체에 미치는 영향은 매우 크므로 시스템을 원활히 동작시키기 위해서는 가공공정이 정상으로 진행되고 있는지를 감시하여 이상이 있으면 경고를 하여 정상적인 상태로 돌아오게 하는 기능이 필요하다.

이러한 기능과 필요성을 만족하기 위해서는 제품에 직접 영향을 미치는 공구의 손상상태를 무인 운전상태에서 감시하고 적당한 조치를 취하는 것이 필요하게 되었다. 공구의 마모손상에 대한 감시방법에는 on-line 방식으로 공업 TV에 의한 공구 인선의 직접계측에 의하여 마멸의 진행을 아는 방법, DDS를 이용한 방법, Acoustic Emission 방법 등을 이용한 공구 마모 감시방법들이 있다.

3가지 방법 중에서 절삭가공시 공구마모 감시에 AE신호의 진폭레벨로 감시하는 등의 다양한 파라메타가 검토 되고 있으며, 고주파의 AE신호를 적절하게 변환한 실효치 전압(AErms), 카운트(count), 히트(hit) 등의 파라메타를 이용하여 마모를 감시하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서, 본 연구는 절삭가공시 발생하는 공구마멸 및 파손을 가공중에 검출하기 위한 방법으로 AE센서를 사용하고, AE신호와 절삭조건, 공구마모와의 관계를 고찰하고, 더불어 공구마모와 표면조도와의 관계에 대해 고찰하였다.

2. Acoustic Emission 에 의한 방법 및 관련이론

2.1 AE의 개요

음향방출[Acoustic Emission]은 응력파방출[stress emission]이라고도 부르며 재료내 부구조의 동적운동에 의한 국부적인 방출에 의하여 발생하는 과도적인 탄성파로 정의되며, 매우 높은 주파수영역(100KHz-1MHz)을 갖는다. AE의 발생원인은 재료내의 국부적으로 과도한 불안정이라고 볼 수 있으며 물질계는 국부적으로 불안정한 조건하에 있으면 전체가 불안정한 상태로 되기 이전에 에너지가 가장 낮은 상태로 진행하려고 한다. 재료내에 포함되어 AE의 발생원으로서는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 소성 변형, 전위 운동, 쌍정
- ② 균열의 생성 및 전파
- ③ 개재물의 분리(cecohesion) 및 파괴
- ④ 상 변화(phase transformation)
- ⑤ 마찰

2.2 AE의 응용

공학에의 AE의 응용예로는 부품의 이상검출 등에 대한 음향진단, 압력용기나 교량 등에 대한 대형구조물의 진단, 용접의 실시간 처리, 금속의 상태, 결함 및 취성화에 대한 재료의 연구등에 응용되고 있다. 현재 AE측정법이 널리 응용되고있는 이유는 측정이 비교적 용이하고 신뢰성이 우수하기 때문이며 금속절삭 가공에 있어서 절삭조건에 적정여부, 절삭과정에서의 결함감지등 공정자동화를 위한 연구로 주목받고 있는 것은 다음과 같은 특징에 기인한다.

- ① AE신호는 공구, 피삭재 및 공작기계등의 동특성에 좌우되지 않고, 일반적으로 발생하는 진동, 소음에 의하여 큰영향을 받지 않는다.
- ② AE는 절삭 파라미터들이 직접관련되는 영역에서 발생한다.
- ③ AE신호는 On-line으로 감시할 수 있다.

2.3 AE의 관련 이론해석

Kannatey-Asibu는 절삭가공에 있어서 AE신호의 에너지량을 AE 발생원의 일량으로 해석하고 에너지 척도로써 AE 교류파의 AErms 값을 다음과 같이 정의 하였다.

$$AE_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt} \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

여기에서, V(t) : 신호함수, t : 시간, ΔT: 평균시간

AE신호의 에너지 변화율 dE/dt는 다음과 같이 성립된다.

$$dE/dt \propto [AE_{rms}]^2 \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

여기서 단위 체적당의 재료에 대하여 소성변형으로 인한 에너지 증분 dW₁은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} dW_1 &= \sigma_i \cdot d\epsilon \\ &= \sigma_1 \cdot d\epsilon_1 + \sigma_2 \cdot d\epsilon_2 + \sigma_3 \cdot d\epsilon_3 \quad \dots \dots \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

한편, σ_i 주편차응력, dε_i 주변형을 증분이다.
따라서, 에너지변화율은 다음과 같이 된다.

$$W = \sigma' \cdot \epsilon V^* \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

소성변형일 중에서 AE 발생에 소비되는 AE 신호의 변화율이 항상 일정하다고 가정하면 식 ①과 ④로부터 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$dE/dt \propto [AE_{rms}]^2 = C \cdot \sigma' \cdot \epsilon V^* \quad \dots \textcircled{5}$$

즉, AE 에너지변화율 dE/dt는 변형률 속도 ε, 편차응력 σ 및 변형된재료의 체적 V에 의존함을 알 수 있다.

3. 실험방법 및 장치

3.1 실험재료

본 실험에 사용한 가공물은 직경 90mm에 길이 70mm 환봉인 재료 STD11을 사용하였으며, 화학적 성분은 <Table1>과 같다.

<Table 1>Chemical compositons of STD11(wt.%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
1.48	0.32	0.45	12.6	0.63	0.39	0.026	0.022

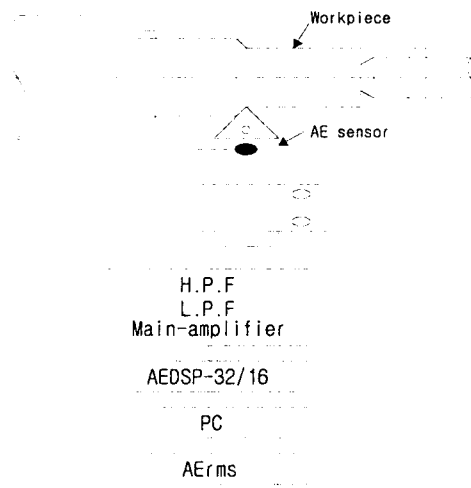
3.2 실험방법

본 실험은 CNC선반 (Hi-ECO10)을 사용하였으며 공구는 PSBNR2525형 홀더와 AErms는 PAC사의 광대역형 AE센서 AEDSP-32/16 및 PC를 이용하여 측정하였다. AE센서는 지그를 제작하여 공구홀더의 생크에 부착시켰다. 공구인선에서의 플랭크마모폭은 삼원과학산업사의 실재 현미경으로 관찰, 측정하였다. 표면조도는 접촉식 표면조도계를 사용하였다.

<Table 2> Cutting condition in turning

Workmaterial	ADI
CNC lathe	Hi-ECO 10
Workpiece	STD11 (D: 90mm, L: 60mm)
Tool holder	PSBNR2525
Insert tip	NC30P TNMG160404
Pre-amplifier	1220A (PAC)
AE main	AEDSP-32/16 (PAC)
Surface roughness	SV624 (Mitutoyo)
Cutting speed	120, 140, 160, 180 (m/min)
Depth of cut	0.2, 0.4, 0.6 (mm)
Feedreat	0.10, 0.15, 0.20, 0.25 (mm/rev)

(Fig. 1)은 본실험장치의 개요도와 <Table 2>와 같은 조건으로하여, CNC선반의 주축속도를 주축도 일정제어로 공작물의 외주를 가공하였다. 또한 절삭량(M)이 약5, 15, 30, 45, 60, 75, 85, 100($\times 10^3 \text{mm}^3$)일 때, AE근를 획득하였고, 동시에 공구마모를 실재현미경으로 관찰하였고, 접촉시 표면조도계로 피삭재의 표면조도를 측정하였다. AE신호는 고주파이므로 Sampling rate를 2MHz로 충분히 크게하여 측정하였다.

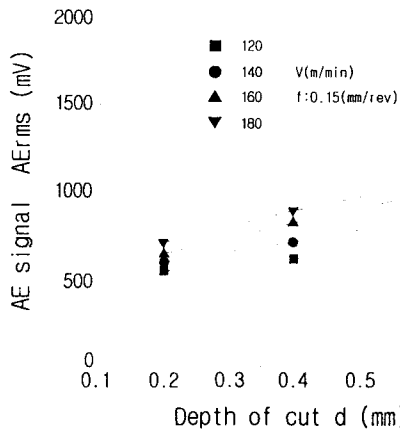


(Fig.1) Experimental setup

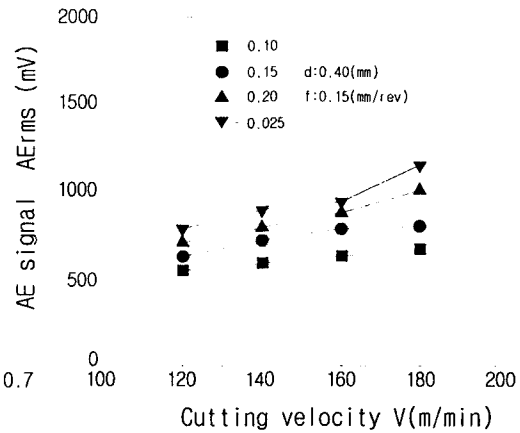
4. 실험결과 및 고찰

4.1 AErms와 절삭조건과의 관계

본절은 AErms와 절삭조건 즉, 절삭깊이, 절삭속도에 대해서 검토한다. (Fig. 2), (Fig. 3)은 각각 절삭깊이, 절삭속도를 변화시킬때의 AErms의 거동을 나타내는 그림이다. AErms는 절삭중 전단영역에서의 전단스트레인을 크게 할 것이라고 생각되는 절삭깊이 및 절삭속도의 변화에 대해 그변화 폭이 크게 나타냈다.



(Fig.2) Relation between depth of cut and AE signal

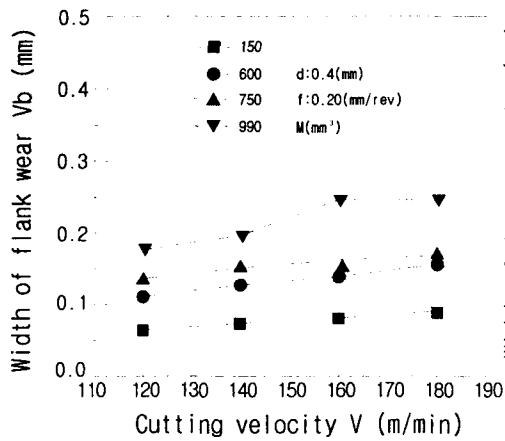


(Fig.3) Relation between cutting velocity and AE signal

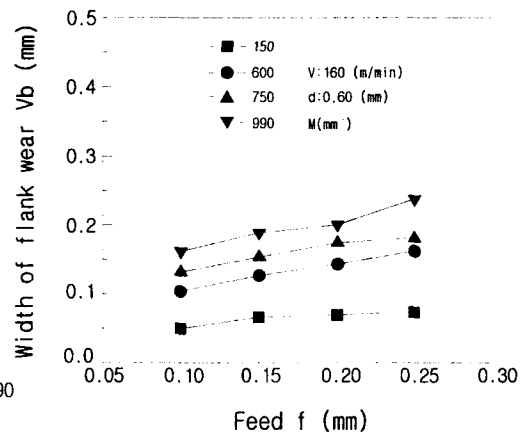
4.2 절삭조건과 플랭크마모폭과의 관계

플랭크마모폭은 절삭속도, 이송, 절삭깊이 및 절삭량에 의존할 것으로 생각되며, 본 절은 이러한 조건들과 플랭크마모폭과의 관계에 대해 고찰한다.

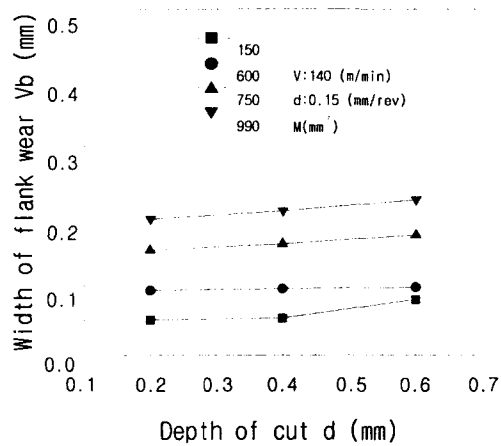
(Fig. 4), 및 (Fig. 5)은 절삭속도 및 이송의 변화에 따른 플랭크마모폭의 변화 형상을 여러 절삭량에 대하여 도시한 것이다. 이송 및 절삭속도가 증가할수록 플랭크마모폭도 증가하는 양상을 보이며, 예상하는 바와 같이, 절삭량이 많아 질수록 플랭크마모폭도 커지며, 그증가 추세는 절삭량의 증가에 따라 더욱더 현저해짐을 알 수 있다. 그러나 (Fig. 6)에서 보는바와 같이 절삭깊이의 변화는 플랭크마모폭에 아무런 영향을 주지 못한다. 이는 절삭깊이의 증가가 플랭크마모폭의 길이의 증가는 초래하지만 플랭크마모폭의 증가에는 영향을 주지 못하기 때문이다. 반면, 절삭속도의 증가는 공구인선과 공작물의 마찰력의 증가로 플랭크마모폭의 축진을 가져오며, 이송의 증가는 단위 절삭면적당의 절삭력의 증가를 가져와 플랭크마모폭이 축진된다고 사료된다.



(Fig.4) Relation between cutting velocity and width of flank wear



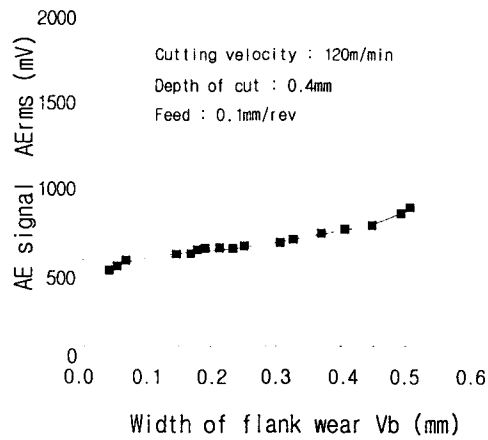
(Fig.5) Relation between feed and width of flank wear



(Fig.6) Relation between depth of cut and width of flank wear

4.3 플랭크마모폭과 AErms와의 관계

플랭크마모폭이 증가할수록 AErms도 증가하는 경향을 보여주는 그림이 (Fig. 7)이다. 플랭크마모폭이 증가할수록 AErms가 증가하는 것은 공구마모에 따른 공구인선 형태의 변화에 기인하여, 전단스트레인을 크게하여 AErms가 증가하는 것으로 사료된다. 이와같이 플랭크마모폭의 증가에 따라 AErms가 변화하므로 공구마모의 감시에 적절하게 사용될 수 있을 것이다. 하지만 AErms는 절삭속도, 절삭깊이의 변화에 대해서도 민감하게 변화하며, 절삭속도 및 절삭깊이가 커짐에 따라, 플랭크마모폭이 증가할때와 마찬가지로 커지는 경향을 나타내고 있으므로 플랭크마모폭에 민감하게 변화하고, 절삭속도 및 절삭깊이에 변화하지 않는 AE파라메타를 선정해야 할 것이다.



(Fig.7) Relation between width of flank wear and AE signal

5. 결 론

본 연구에서는 공구인선의 플랭크마모폭을 정량적으로 검토하기 위하여 AErms를 사용하여 플랭크마모폭과 절삭조건과의 관계를 고찰함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 절삭깊이, 절삭속도 및 이송을 변화시킬 때 절삭깊이 및 절삭속도의 AErms폭이 크지만, 상대적으로 이송의 변화에 대해서는 그 증가폭이 절삭깊이 및 절삭속도에는 큰영향을 미치지 아니하였다.
- (2) 절삭깊이의 증가가 플랭크마모폭의 길이의 증가는 초래하지만 플랭크마모폭의 증가에는 직접적으로 영향을 주지는 못하였다.
- (3) 플랭크마모폭이 증가할수록 AErms도 커짐을 알 수 있었다.
- (4) AE센서를 이용하여 플랭크마모폭을 가공중 감시할수 있음을 확인할수 있었다.

이상과 같은 결론을 얻었지만 차후 공구마모 및 안전사고 예방 제품 품질향상을 위하여 TV에 의한 공구인선 직접계측 방법, DDS를 이용한 방법등의 연구가 요청된다.

참 고 문 헌

- [1] 민현기, "절삭 시스템의 이상진단에 관한연구"서울대학교 대학원 공학석사 학위논문, 1989
- [2] 전태옥, 박홍식, 예규현, 서영백, "오스템퍼링처리한 구상흑연주철의 절삭시 공구마찰에 관한연구", 동아대 생산기술연구소 연구논문집, 2, pp.15-21, 1996.
- [3] Elijah Kannatey, Jr. and D.A.Dornfeld, "Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting", Trans., ASME. Ser. B.10. 3, 330, 1981.
- [4] E.N. Diei, D.A. Dorneld, "AE sensing of Tool wear in face Milling", Trans., ASEM. Vol.109, Aug. 1987
- [5] K. Iwate, T. Moriwaki, "An Application of AE Measurment to In-process sensing of Tool wear." Ann. CIRP, Vol25, Jan. 1987
- [6] K. Uehara, "Automatic Tool Wear Monitoring in NC Turning", J. of the CIRP, Vol. 28, NO. 1, 1979, pp. 39-42
- [7] S. M Wu, T.H.Tobin, Jr, and M.C.Chow, "Signature analysis for mechanical systems Via dynamic data system monitoring technique.", J. of Mechanical Design, Vol. 102, Apr. 1980, pp. 217-221

저 자 소 개

정재수 : 현재 인천기능대학 금형과 교수로 재직중이며, 한양대학교 산업공학과 석사, 인하대학교 산업공학과 박사과정을 수료했으며, 관심분야는 안전보건 경영, 품질경영 및 계측장비관리 등이다.

김광태 : 현재 신성대학 소방산업안전과 교수로 재직중이며, 인천대학교 기계공학과를 졸업하고, 한양대학교 산업공학과 석사, 인하대학교 산업공학과 박사과정을 수료했으며, 관심분야는 품질 경영 및 안전보건경영시스템 등이다.

정수일 : 현재 인하대학교 교수로 재직중이고, 한국공업경영학회 부회장을 역임하고 있으며, 서울대학교 화학공학과를 졸업, Univ of Minnesota에서 산업공학 석사, 홍익대학교에서 박사를 취득했으며, 주요 관심분야는 신뢰성 공학, 품질경영 및 계측장비관리 등이다.