

단속절삭에서 AE신호를 이용한 공구마멸의 감시

김정석*, 김남경**, 배준경**

Monitoring of Tool Wear using AE Signal in Interrupted Cutting

Jeong-Suk Kim*, Nam-Kyung Kim**, Jun-Kyung Bae**

Abstract

Characteristics of AE(Acoustic Emission) signal is related to cutting conditions, tool materials, and tool geometry in metal cutting. Relation between AE signal and tool wear was investigated experimentally. Experiment is carried out by interrupted cutting for SCM420 workpiece with TiN coating tool on HSS material. AE RMS voltage and count per event were increased according to tool wear. The major results are as follows : 1) AE RMS value is nearly constant as cutting speed changes, but is rapidly increase as feed rate increases. 2) AE RMS value and Count per Event increase as tool wear increases. 3) It is more effective to monitor tool wear by Incremental rate of AE RMS value than by Incremental rate of count per event.

Keywords : Interrupted cutting(단속절삭), Tool wear(공구마멸), AE RMS value(음향방출 실효치전압), Count per Event(이벤트당 카운트), 기준값(Threshold level)

1. 서 론

최근 공작기계의 자동화 추세에 따라서 공구마멸상태에 따른 공구수명을 자동적으로 감시할 수 있는 연구가 필요하게 되었고, 그에 따라 많은 연구가 행해지고 있는 실정이다. 그러나 실제 절삭과정은 여러가지 절삭기구 및 절삭변수의 조합으로 이루어지기 때문에 생산자동화 시스템에 적용하기 위해서는 많은 어려움이 따르고 있다. 특히

단속절삭의 경우에는 연속절삭과는 다른, 마멸기구를 형성하기 때문에 단속절삭에서의 공구수명의 예측 및 공구마멸, 파손의 감시에 관한 연구가 절대적으로 필요하다.^(1, 2)

기어가공과 같은 단속절삭에서는 칩핑에 의한 파손이 지배적이므로 주로 인성이 높은 고속도강(HSS)공구가 많이 쓰이고 있다. 그래서 공구와 공작물, 공구와 칩 사이에서의 마찰로 인한 높은 열로 굽힘, 응축 등에 의한 점진적인 마멸이 발생하며 이는 경도가 낮은 고속도강에 많은 영향을 주게 된다. 최근에는 인성이 높은 HSS공구에 고경도를 가지는 재질로 피복함으로써 공구의 내마멸성을 향상시키고 수명연장의 효과를 도모하는 추세이다.

* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

** 진주산업대학교 기계설계공학과/산업자동화공학과

EI-Bilay⁽³⁾ 등은 이러한 피복으로 인하여 절삭력이 감소하며, 구성인선의 크기도 줄어들어 공구수명이 연장되는 효과가 있음을 보였다.

한편, 재료의 평가나 비파괴 검사법에 이용되고 있는 AE 신호는 마멸, 파손 그리고 결함 등과 같은 변형과정의 직접적인 출력의 신호로서 공작기계나 공구, 공작물 등의 동특성에 거의 영향을 받지 않고 절삭공정의 기본 매카니즘에 직접 관계되는 영역에서 발생하는 신호이기 때문에 공구상태 감시에 그 응용범위가 증대되고 있다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 여유면이 TiN 코팅된 단인공구로 조절강인 SCM 420을 단속가공할 때의 공구마멸에 따른 AE 신호를 분석하여 공구마멸을 감시하기 위한 응용가능성을 제시하고자 한다.

2. 공구마멸과 AE 신호

재료가 외력 또는 내부의 힘에 의해 급속한 변형이나 파괴가 일어나게 되면 재료 내부에 축적되어 있던 변형에너지(Strain Energy)는 파면형성에너지, 열에너지, 격자변형에너지 그리고 탄성파와 같은 여러형태의 에너지로 변환된다. 이 중에서 외부에서 계측장치에 의해 가시적으로 검출된 탄성파를 AE 신호라고 한다. 탄성파는 본질적으로 물체의 구성입자들이 사방으로 진동하여 가는 현상이며, 이러한 진동이 압전센서에 의해서 전기적으로 변환될 때 비로소 AE 신호로 검출되게 된다. 절삭가공시에 검출되는 AE 신호의 주파수는 100(kHz)~1(MHz)의 영역이다.⁽⁵⁾

AE 신호의 계측에 있어서 측정되는 파라메타로는 AE RMS값, 카운트, AE 진폭, AE 에너지, AE 주파수, AE 이벤트 등이 있는데, 데이터 해석을 위해 어떤 파라메타를 이용할 것인가는 AE 응용의 성공여부를 결정하는 중요한 위치를 차지한다. 즉 잘못된 파라메타의 선정에 따라 좋지 못한 결과를 도출할 수 있고, 중요한 정보를 놓칠 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1에 표현한 것과 같이, 공구마멸에 대하여 좋은 신호특성을 보이는 AE RMS값과 이벤트당 카운트의 파라메타를 가지고 해석하였다. AE RMS값은 고주파인 AE 신호를 통계적 처리방법으로 고려하는데, 같은 주기동안에 같은 전기적 회로가 적용되면 AC 전압의 에너지는 DC 전압과 같은 에너지를 가지므로 DC 성분으로 보통 처리하여 얻는 방법이다. 시간축을 기

준으로 한 AE 파형을 $V(t)$ 로 가정하면 다음과 같다.

$$V_{RMS}(t) = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V(t)^2 dt}$$

여기서, $V_{RMS}(t)$: RMS 전압, $V(t)$: 신호함수,
 ΔT : 샘플링 시간

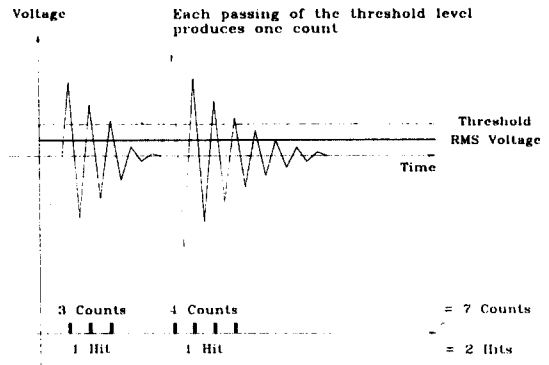


Fig. 1 Schematic representation of typical AE signal

카운트는 불필요한 노이즈를 제거하기 위해 설정한 소정의 설정값과 비교하여 설정값보다 큰 출력을 계수하여 얻는 값이고, 이벤트는 센서에 도달된 신호의 시작점과 끝이 설정치를 넘는 범위에서 1개의 AE신호로서 간주하는 것이다. 이벤트당 카운트는 하나의 이벤트(Event)당 발생하는 카운트의 갯수를 나타내는 것이다.

절삭과정에서 공구마멸에 관계되는 AE 신호의 발생영역을 Fig. 2에 나타내었다.

제 1 변형영역(Primary Deformation Zone)은 전단 응력에 의해 칩이 변형되는 영역이고, 제 2 변형영역(Secundary Deformation Zone)은 공구의 경사면과 공작물 사이의 접촉부분이며, 제 3 변형영역(Tertiary Deformation Zone)은 칩과 공구의 여유면과의 접촉으로 마찰과 미끄러짐 현상이 발생하는 영역이다.⁽⁶⁾

절삭에서 발생하는 세 영역의 소성변형영역 중에서 가장 큰 AE를 발생시키는 곳은 칩과 가공물 사이의 전단영역인 제 1 변형영역으로 공구의 절삭으로 인한 공작물 재료의 소성변형이 발생하여 AE신호의 근원지가 된다.⁽⁷⁾

칩이 공구의 경사면 위로 배출될 때 발생하는 제 2 변

형영역에서는 경사면 마멸이 발생하고 공구와 공작물 사이에 미끄럼 마찰이 발생하는 제 3 변형영역에서는 여유면 마멸이 발생한다.

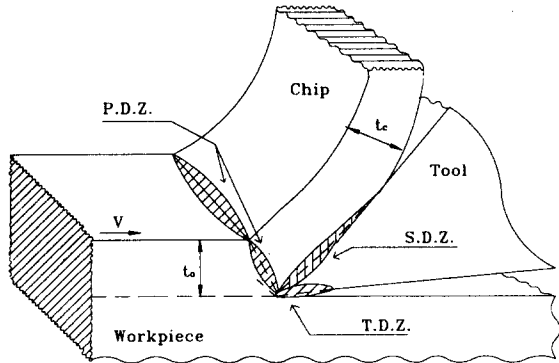


Fig. 2 AE source during cutting operation

3. 실험장치 및 방법

절삭실험은 주축회전수를 무단변속하여 일정한 절삭속도에 따른 회전수를 조절할 수 있는 범용선반을 사용하였고, 습식절삭(Yusilon Oil No.7)을 하였다. 실험장치도는 Fig. 3에 나타내었다.

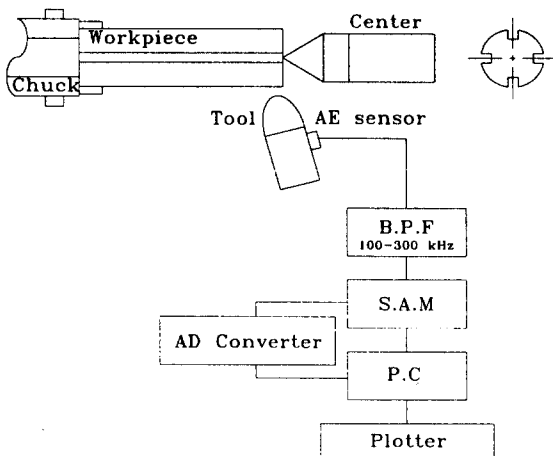


Fig. 3 Schematic diagram of experimental set up

본 실험에서 사용한 공작물은 단속절삭이 가능하도록 4홈 형태의 SCM 420 소재를 사용하였고, 그 성분과 경도값은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Compositions and Brinell Hardness of Workpiece

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	HB
SCM 420	0.18 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	0.03 ↓	0.03 ↓	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30	-	170 ~ 190

SCM 420소재는 일반적으로 가공경화성이 크고 열전도율은 일반 탄소강의 1/2 ~ 1/3정도로 낮아 열발산이 적고, 공구와의 친화성으로 마찰계수가 크므로 다른 소재에 비하여 절인 부근의 온도가 높게 나타난다. 이에 따라 공구재료의 경도저하가 심하며, 확산의 가능성도 크다. 실험에 사용한 공구는 여유면에 TiN 코팅된 HSS 공구(Nachi maker)이며, 그 형태는 Fig. 4와 같다.

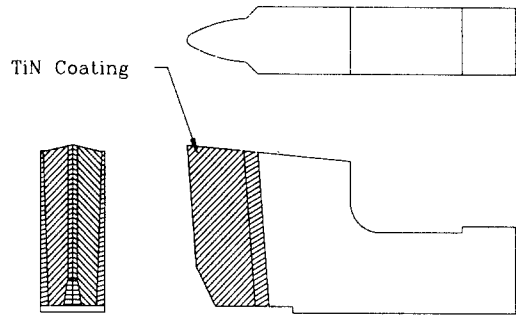


Fig. 4 Shape of cutting tool

절삭조건은 예비실험을 통해 채터진동이나 극심한 공구파손 등의 비정상적인 가공이 되지 않는 절삭속도와 이송량을 결정하여 행하였고, 그때의 절삭조건을 Table 2에 나타내었다.

AE 신호는 전치증폭기(Pre-amplifier) 내장형 AE센서인 I30I 센서를 공구의 홀더에 부착하고 이를 100~300(kHz)의 대역통과필터(Band Pass Filter)를 통하여 SAM 장비(PAC maker)에 연결하고 RS-232C 포트를 통해 PC로 SAM 장비를 제어하면서 입력받았다.

AE 센서는 감도를 높이기 위해 초음파용 실리콘 그리스를 발라 공구 홀더의 옆면에 부착하였다. SAM 장비에

Table 2 Cutting Conditions

Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/rev)	Depth of Cut (mm)
20	0.31	1.4
	0.43	
	0.60	
25	0.31	
	0.43	
	0.60	
30	0.31	
	0.43	
	0.60	

서는 카운트, 이벤트, 최대 RMS값 등을 계측할 수 있으며, 외부출력 단자를 통해 입력되는 RMS값을 A/D 변환기를 이용해서 디지털신호로 변환한 후 분석하였다.

설정값은 기계적인 노이즈를 제거하고 마멸시 발생하는 돌발형 신호를 받아들이기 쉽게 하기 위한 Floating Threshold를 설정하였다. 또한 TDT(Time Driven Test) 기능을 이용하여 일정 시간 간격 동안의 이들 신호를 받아들였다.

공구면의 마멸상태는 광학현미경을 이용하여 일정한 시간간격으로 관찰하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 공구마멸 형태

공구마멸은 일반적으로 공구와 공작물사이의 접촉압력이 커져서 이 접촉부분이 절삭열에 의해 고온이 되어서 이로 인한 마멸이 더욱 증대된다.⁽⁸⁾

본 실험에서 나타나는 마멸의 형태를 Fig. 5에 나타내었다. 경사면에서는 배출되는 칩에 의하여 마멸이 넓게 퍼지면서 중앙이 깊이 파이는 형태(Crater Wear)로 나타나고, 여유면에서는 공구의 정면부와 절인을 따라 가공이 진행되는 면에서 마멸(Flank Wear)이 생겼는데 특히 정면과 측면이 만나는 경계에서 최대 여유면 마멸(Max. flank wear)이 생겼다.

Fig. 6, 7은 가공시간에 대해 절삭속도 및 이송량의 변화에 따른 최대 여유면 마멸의 크기를 나타내었다. 절삭속도와 이송량의 증가에 따라 최대 여유면 마멸은 증가함을 알 수 있다.

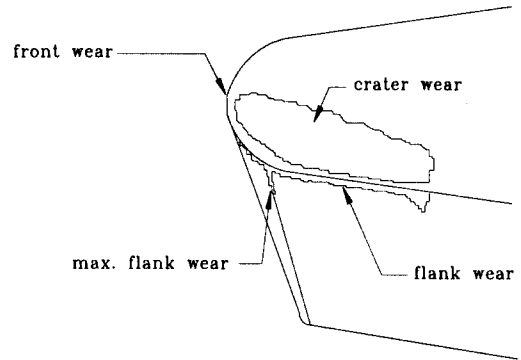


Fig. 5 Wear type of cutting tool

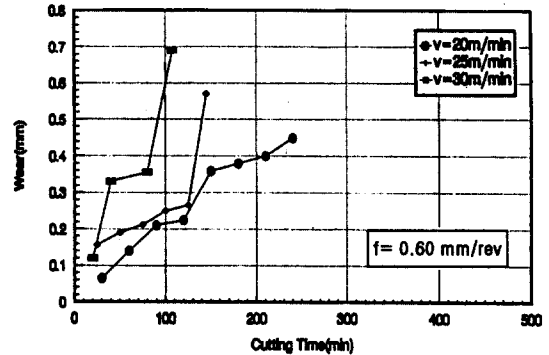


Fig. 6 Variation of max. flank wear and cutting time according to cutting speed

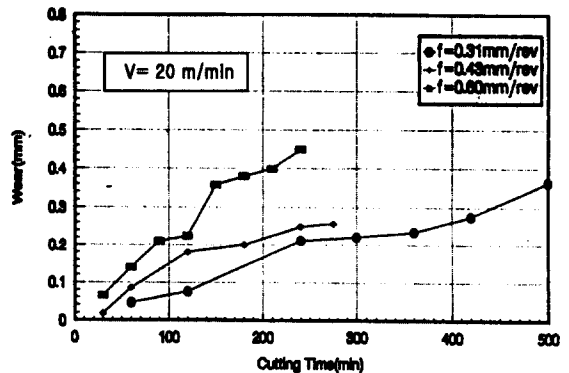


Fig. 7 Variation of max. flank wear and cutting time according to feed rate

4.2 공구마멸과 AE 파라미터의 관계

AE 신호와 공구마멸과의 관계를 알아보기 위하여, AE 파라미터의 값들을 분석해 본 결과는 다음과 같다. Fig. 8, 9는 가공시간에 대해 절삭속도 및 이송량의 증가에 따라 AE RMS값이 거의 규칙적으로 증가하는 경향을 보인다. 이는 공구와 공작물의 마찰이 크게 되어 제 3 변형영역에서의 소성변형일률이 커져 AE 신호가 크게 발생하기 때문이다. 또한 Fig. 6, 7에서의 공구마멸의 증가 경향과 거의 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

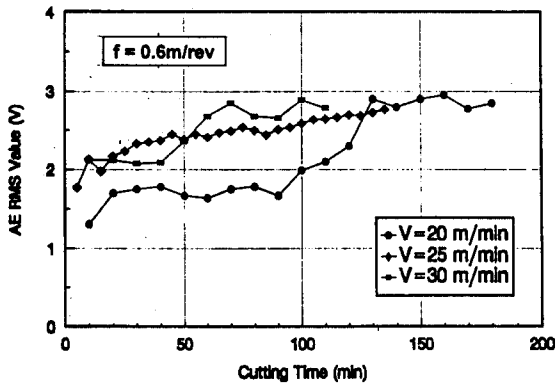


Fig. 8 Relation between AE RMS value and cutting time according to cutting speed

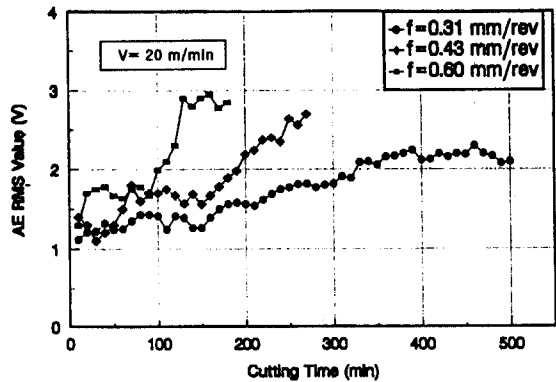


Fig. 9 Relation between AE RMS value and cutting time according to feed rate

또한, Fig. 10은 절삭속도 20(m/min)일 때 가공시간에 대해 이송량에 따른 이벤트당 카운트값의 증가를 나

타낸 그림인데 AE RMS값에 비해 다소 이송량의 증가 특성을 잘 반영하지 못하는 것을 알 수 있다.

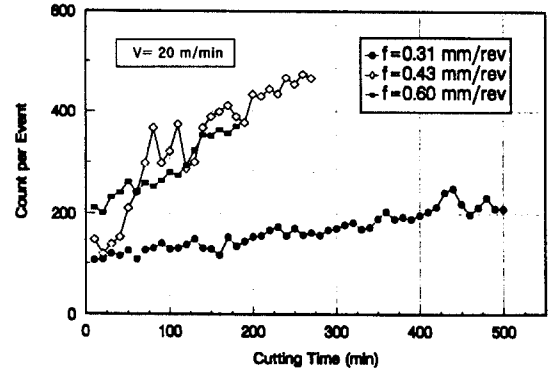


Fig. 10 Relation between Count per event and cutting time according to feed rate

이상의 결과에 대해 공구마멸과 AE 파라미터와의 관계를 조사하면 다음과 같다.

절삭속도 25(m/min)일 때 이송량의 증가에 따른 여유면 마멸과 AE RMS값의 관계는 Fig. 11에 나타내었고, Fig. 12는 절삭속도 30(m/min)일 때 이송량에 따른 여유면 마멸과 이벤트당 카운트값의 관계를 나타낸 그림이다. 여유면 마멸이 증가함에 따라, AE RMS값은 일정하게 증가하는 경향을 보이나, 이벤트당 카운트값은 이송량이 0.43(mm/rev)일 때 다소 불규칙한 경향이 보이는 것을 알 수 있다.

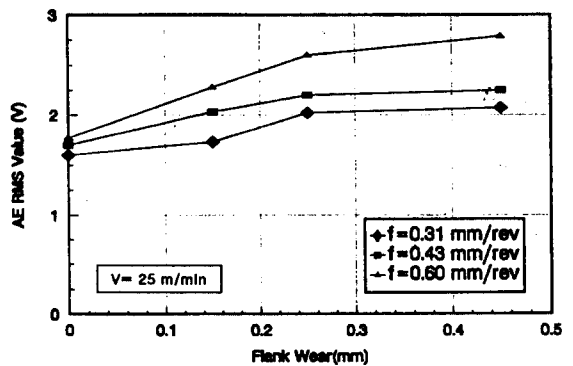


Fig. 11 Relation between AE RMS value and flank wear according to feed rate

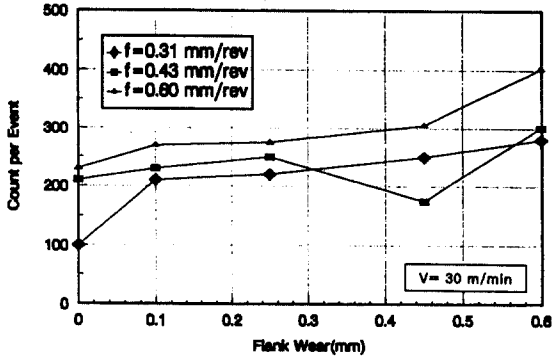


Fig. 12 Relation between count per event and flank wear according to feed rate

공구마멸과 AE RMS값에 따른 절삭속도와 이송량의 영향을 알아보기 위해 Fig. 13은 절삭속도 25 (m/min)의 경우 이송량에 따른 여유면 마멸과 AE RMS값의 관계를 3차원으로 나타내었고, Fig. 14는 이송량 0.60(mm/rev)에 대하여 절삭속도에 따른 여유면 마멸과 AE RMS값의 관계를 3차원으로 나타낸 그림이다. AE RMS값의 증가가 절삭속도보다는 이송량의 증가에 뚜렷하게 영향을 받을 수 있다. 이는 절삭속도가 큰 경우에는 경사면 마멸이 여유면 마멸에 비해 크게 발생하고, 경사면 마멸이 상당히 진행되고 난 후에는 절삭공시 제 1 변형영역에서의 소성 변형에 의해 발생하는 AE 신호의 크기는 줄어들게 되므로 AE RMS의 증가는 주어진 절삭속도보다는 이송량의 증가에 의한 여유면의 마멸에 큰 영향을 받는 것으로 사료된다.

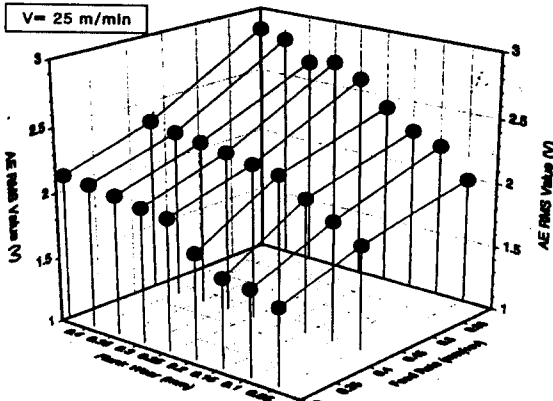


Fig. 13 Relation between AE RMS value, flank wear and feed rate

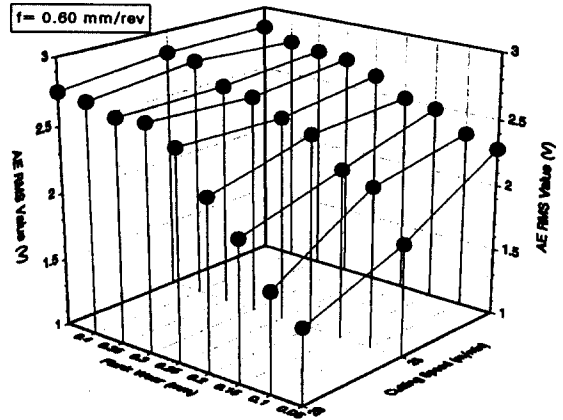


Fig. 14 Relation between AE RMS value, flank wear and cutting speed

이상의 실험결과로부터 단속절삭시 공구마멸에 대하여 좋은 신호특성을 보이는 것은 AE RMS값과 이벤트당 카운트값으로서 특정한 공구마멸값을 기준으로 하여 그때의 값들을 조사하면 공구마멸 감시에 유용한 기준값 (Threshold Level)을 선정할 수 있다. 여기서는 초기의 AE 파라미터값에서 기준으로 정한 공구마멸값에 해당하는 AE 파라미터값의 증가량 (Incremental Rate)을 조사하여 기준값으로 선정하였다.

여유면 마멸이 0.25(mm)일 때를 기준으로 하였을 때 각각의 절삭조건에 따른 AE RMS값과 이벤트당 카운트값의 증가량을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Incremental rate of AE parameter (Max. flank wear : 0.25 mm)

Cutting Speed (m/min) \ Feed Rate (mm/rev)	20		25		30	
	RMS	C/E	RMS	C/E	RMS	C/E
0.31	1.95	2.06	1.31	2.38	1.35	2.57
0.43	1.92	3.30	1.32	2.19	1.30	1.50
0.60	1.96	1.90	1.61	2.50	1.31	1.78

*RMS : The Incremental rate of AE RMS value
C/E : The Incremental rate of count per event

여기서 AE RMS값의 증가량과 이벤트당 카운트값의 증가량을 비교해 보면 이벤트당 카운트값의 경향은 AE RMS값에 비해 상당히 불규칙하다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 실험조건에서 여유면 마멸을 0.25(mm)로 공구수명을 감시한다면 그 기준값으로는 AE RMS값의 증가량이 적절하며, 또한 AE RMS값은 신호처리를 신속하게 할 수 있으나 이벤트당 카운트값의 경우는 신호처리 시 번거로움이 있어서 공구마멸 감시의 이용에는 AE RMS값이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

AE 신호를 이용하여 조질강의 단속절삭시 발생하는 공구마멸을 감시하기 위하여 TiN코팅된 단인공구로 SCM420의 가공실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) AE RMS값의 크기는 절삭속도의 변화에 따라 거의 일정하지만, 이송량의 증가에 따라서는 뚜렷한 증가경향을 보인다.
- 2) 공구마멸의 증가에 따라 AE RMS값과 이벤트당 카운트값은 대체적으로 서서히 증가하는 경향을 보인다.
- 3) 각 파라미터의 초기값과 공구마멸 기준점에서의 증가량을 조사한 결과, AE RMS값에 따른 증가량이 공구마멸의 증가를 잘 반영하는 중요한 파라미터임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수지원센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

- (1) Williamson, A.J., "Constriction-Resistance Concept Applied to Wear Measurement of Metal Cutting Tools", Proc. of the IEEE, Vol. 18, No. 2, 1971.
- (2) Pekelharing, A.J., "Cutting Tool Damage in Interrupted Cutting", Wear, Vol. 62, pp 37-48, 1980.
- (3) EL-Bialy, B.H. and Redford, A.H. and Mills, B., "Proposed Wear Mechanism for Titanium Nitride Coated High Speed Steel", Surface Engineering, Vol. 2, No. 1, 1986.
- (4) Teti, R., "Tool Wear Monitoring through Acoustic Emission", Annals of CIRP, Vol. 38, 1989.
- (5) Moriwaki, T., "Application of Acoustic Emission Measurement to Sensing of Wear and Breakage of Cutting Tool", JSPE, Vol. 17, No. 3, 1983
- (6) Teti, R. and Dornfeld, D., "Modeling and Experimental Analysis of AE from Metal Cutting", ASME, Vol. 111, 1989.
- (7) Boothroyd, G., "Fundamentals of Metal Maching and Machine Tools", McGraw-Hill, Washington, D. C., 1975.
- (8) Bonifacio, M.E.R. and Diniz, A.E., "Correlating Tool Wear, Tool Life, Surface Roughness and Tool Vibration in finish turning with Coated Carbide Tools", Wear, Vol. 173, pp137-144, 1994