

<論 文>

밀링가공시 발생하는 공구마멸과 AE신호에 관한 연구

황 흥 연* · 이 병 찬** · 김 광 준*

(1988년 1월 18일 접수)

A Study on the Progressive Tool Wear and Acoustic Emission Signals in Milling Process

H.Y. Hwang, B.C. Lee and K.J. Kim

Key Words : Acoustic Emission Signal(음향방출 신호), Intermittent Cutting(단속절삭), Time Domain Averaging(시간영역평균법)

Abstract

The acoustic emission(AE) signal is monitored in milling operation in order to investigate the relationship between the progressive tool wear and the AE signals. A signal processing technique so called time domain averaging(TDA) is presented for the elimination of the influences of the noise imbedded in the periodic signals. The relationship between the progressive tool wear and the AE signals is investigated by varying the cutting speed, feed, depth of cut and the number of insert. From the measured data, it is observed that the averaged level of the AE signal increases at first with the increase of flank wear to a certain critical value, and then stays almost constant or fluctuates with further increase of the flank wear.

1. 서 론

공작기계에서의 절삭작업중 공구의 마멸, 파손을 자동적으로 감지하기 위한 연구는 절삭과정의 자동화 및 최적화, 제품의 질, 공작기계의 보호등의 관점에서 볼 때 대단히 중요하다.

절삭작업 도중에 자동적으로 공구의 마멸을 감지하는 직접적, 간접적인 방법들이 제안되어 왔으나 아직까지 실용화 단계에는 도달하지 못하고 있다. 직접적인 방법은 광학센서, 전기저항센서, 방사성 원소를 이용한 센서, 공기압센서등을 이용하여 마멸면을 직접 관찰하거나 마멸량을 직접 측정하고, 간접적인 방법은 공구마멸의 진전에 따른 절삭과정의 특성변화를 추적하여 간접적으로 마멸의 크기를

추정하는 방법으로 그 측정대상으로는 절삭력, 진동, 절삭면의 거칠기, 혹은 음향방출(acoustic emission : AE)등이 있다. 이 중에서 직접적인 방법은 마멸의 크기 측정에 정확성을 기할 수는 있지만 장치가 복잡하고 비용이 많이 들기 때문에 아직까지 실용화되기에는 어려움이 적지 않으며, 간접적인 방법은 직접적인 방법보다 장치가 간단하고 신호의 측정이 쉬우나 공구마멸과 관련성 및 반복성, 신뢰성등이 문제가 된다.

최근 간접적인 방법중의 하나로서 AE(acoustic emission)신호의 응용이 활발해지고 있는데, 그 이유로는 AE신호의 발생이 칩의 형성과정과 직접적으로 관련되어 있고 다른 간접적인 방법에 비해 공작기계의 진동등에 의해 발생하는 외란신호등에 비교적 둔감하다(Insensitive)는 사실이 지적되고 있다^(1~3). 이러한 AE의 응용에 대한 연구는 주로 선삭작업에서의 공구마멸감지를 목표로 이루어져 왔

*정회원, 한국과학기술원 생산공학과

** (주)금성사 가전연구소

다. 밀링작업에서는 회전축에 걸리는 축방향힘과 토오크신호를 이용하려는 시도가 있었고 AE신호를 이용한 연구는 별로 없으며 밀링가공공구를 기계적으로 해석한 정도이다^(4,5).

밀링가공은 선삭과는 달리 단속절삭이기 때문에 선삭에서와 똑같은 AE신호처리 방법을 적용하기에는 어려움이 있다. Diei⁽³⁾는 밀링가공시에 발생하는 AE신호의 간단한 처리방법등을 제시하였으나, 이를 이용하여 많은 절삭실험결과를 근거로 하는 공구마멸과 AE신호특성과의 관련성은 밝히지 못하고 있다.

본 연구에서는 단속절삭의 특성과 관련된 신호처리 방법을 검토하고, 선삭의 경우와 달리 제기되는 문제점중의 하나인 센서의 부착위치를 예비실험을 통하여 결정하며, 공구마멸의 진전에 따른 AE신호의 특성변화를 조사하여 공구마멸 자동감지의 기초가 되는 공구마멸의 점진적 증가에 따른 AE신호의 특성변화를 관찰하고자 한다. 특히 절삭조건 즉 이송량, 절삭깊이, 절삭속도, 그리고 정착된 인서트의 수가 AE신호의 특성에 미치는 영향을 각각 조사하여 절삭조건의 변화에 따른 AE신호의 변화경향을 살펴보고자 한다.

2. AE신호 발생 및 측정의 이론적 고찰

AE는 고체의 내부구조가 외부하중의 영향에 의해 재배치를 이루면서 변형에너지가 급격히 풀림에 따라 방출되는 일종의 탄성응력파로 알려져 있다⁽⁶⁾. 이러한 AE신호가 절삭작업시 발생하는 주요 원인은 다음과 같이 알려져 있다.

- 공작물의 전단변형영역(shear zone)에서의 소성 변형
- 칩과 공구 경사면사이의 미끄럼마찰과 소성변형
- 공작물과 공구 플랭크면 사이의 미끄럼마찰
- 칩의 충돌, 얽힘, 파괴, 공구가 공작물에 부딪힐 때의 충격

이들사이의 관계는 매우 복잡적이며 미시적인 관점에서 정량적으로 정립한 연구결과는 아직 없는 상태이다.

절삭과정에서 발생하는 AE의 변화는 다음과 같은 함수로 표현할 수 있다⁽³⁾.

$$AE_{rms} = f(\tau_s, \dot{\epsilon}, V, A_1, A_2) \quad (1)$$

여기서 τ_s : 공작물의 전단강도(shear strength)

$\dot{\epsilon}$: 전단 변형속도(shear strain rate)

V : 변형부분의 체적

A_1 : 칩과 공구면사이의 접촉면적

A_2 : 가공표면과 공구 플랭크면사이의 접촉면적

AE신호와 마찰일의 관계로부터 AE신호와 플랭크 마멸의 관계는 다음과 같이 유도된다⁽³⁾.

$$F = \tau_s \cdot A_r \quad (2)$$

여기서 F : 마찰력

τ_s : 마찰면사이의 물질의 전단강도

A_r : 실제 접촉면적

에너지 발생률 \dot{W} 는 미끄럼속도를 V 라고 하면

$$\dot{W} = F \cdot V \quad (3)$$

로 표현되고, AE에너지 발생율은 \dot{W} 의 멱함수로 표현될 수 있으므로

$$AE_{energy\ rate} = (K \cdot \dot{W})^n \quad (4)$$

로 되고, 식 (1)에서 식 (4)로부터 플랭크 마멸과 AE신호사이의 관계식은 다음과 같이 유도된다.

$$AE_{rms} = (AE_{energy\ rate})^{1/2} = (K \cdot \tau_s \cdot A_r \cdot V)^{n/2} \quad (1)$$

여기서 K 와 n 은 두마찰 물질의 성질과 AE 측정 장치에 간계되는 상수이다. 이러한 AE신호의 분석 방법으로는

- 미리 설정된 기준치 이상의 진폭을 갖는 펄스 혹은 펄스율(count or count rate).
- RMS값 (혹은 average 값)
- 진폭의 분포 혹은 절대값
- 스펙트럼

등 여러가지가 있다.

절삭시험과 관련하여, AE신호의 여러 특성중 어느것을 사용하는것이 보다 효과적인지에 대한 객관적인 정보는 아직 충분치 않은 상태로서, 본 연구에서는 averaged AE신호를 사용하고자 한다. Averaged AE신호는 Raw AE신호가 지닌 주파수 특성은 잃어버리게 되지만 에너지에 대한 정보는 보존하게 된다는 장점과 일단 averaging이 되면 주파수범위가 매우 낮게 변환되므로 일반 기계신호 측정용 계측장비를 큰 어려움없이 사용할 수 있다는 점을 들 수 있다. 본 실험에서 사용되는 raw AE신호와 averaged AE신호사이의 변환은 다음 식으로 이루어진다.

$$f_1(t) = \frac{1}{B-A} \int_{t-A}^{t+B} |f(t-\tau)| d\tau \quad (6)$$

여기서 $f(t)$: Raw AE신호

$f_1(t)$: Averaged AE신호

$B-A$: Averaging interval (= 500ms + 10%)

3. 실험장치 및 실험조건

3.1 실험장치 및 절삭조건

본 실험에 사용된 실험장치가 Fgi. 1에 보여진다. 실험에 사용된 AE센서의 공진주파수는 1MHz 이고, 센서를 통해 나온 신호는 100kHz의 하이패스필터와 20dB의 증폭도를 가진 예비증폭기를 통과한 후, 진폭변별기(discriminator)에서 100~300kHz로 고정된 밴드패스필터를 통과한 후 20 dB이 증폭되고 동시에 내장회로에 의해 averaged AE신호로 파형이 바뀐다.

절삭실험에 사용된 밀링머시인은 수직형이며 (wells-index, 2Hp), 무단변속이 가능하다. 공작물의 재질은 SM45C(KS)이고, 공구는 삽입식으로서 6개의 인서트까지 삽입 가능하며 인서트의 재질은 P25(ISO)이고 형상은 SNKN 1204EN(대한중석제품)이다. 플랭크 마멸의 크기는 테이블의 이송이 매번 끝난 후 공구현미경으로 측정하였고, 공구수명은 ISO에서 추천하는 방법 즉 노우즈 부분과 최대 피크를 제외한 평균 마멸길이가 0.3mm에 도달

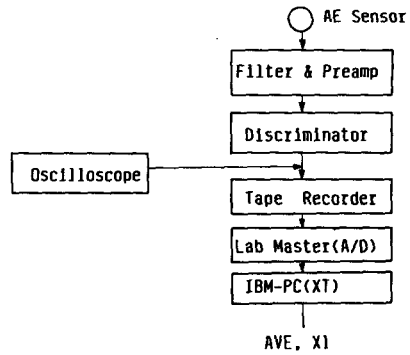


Fig. 1 Data acquisition procedure of the AE sensing

했을 때로 판단하였다.

Table 1에 구체적인 절삭조건이 나타나 있으며, 절삭조건은 연강, 경강인 절삭재를 초경공구로 절삭할 경우의 표준절삭조건을 기준으로 선정하였다.

3.2 센서의 부착위치

밀링작업에서는 공구가 회전하고 있기 때문에 센서를 공구호울더의 절삭날 가까운 지점에 부착하기가 곤란하다. 센서부착의 적합한 위치로서 Fig. 2에 보인 바와 같이 켈, 바이스, 공작물등을 생각할 수 있다. 절삭중 측정된 크기는 Fig. 3에 보인 바

Table 1 Cutting conditions of tool wear experiment in milling operations(workpiece : SM45C)

No. of experiment	No. of insert	Cutting speed [m/min]	Fee [mm/tooth]	Depth of cut [mm]
1-1	1	50	0.1	1.0
1-2	1	80	0.1	1.0
1-3	1	80	0.2	1.0
1-4	1	80	0.3	1.0
1-5	1	80	0.2	1.5
1-6	1	80	0.2	2.0
2-1	1	120	0.1	1.0
2-2	1	120	0.2	2.0
2-3	1	180	0.1	1.0
2-4	1	180	0.1	1.0
2-5	1	180	0.1	1.0
2-6	1	250	0.1	1.0
3-1	2	80	0.1	1.0
3-2	2	120	0.1	1.0
4-1	3	80	0.1	1.0
4-2	3	120	0.1	1.0

와 같이 센서부착위치에 따라 10배이상의 큰 차이를 보여주고 있다. 이는 AE신호의 근원지인 절삭 지점으로부터 측정위치가 멀어짐에 따라, 또한 클

램핑 베어링과 같은 연결부를 지남에 따라 AE신호의 에너지가 크게 감소되어 버리기 때문이다. 또한 바이스에 센서를 부착한 경우 순수 절삭의 다른 원인에 의해 신호가 영향받고 있음을 볼 때, 공작물에 센서를 부착하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단하였다.

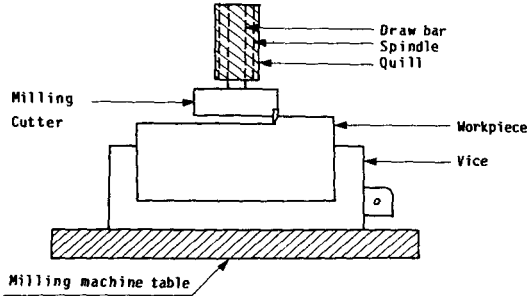


Fig. 2 AE sensor locations

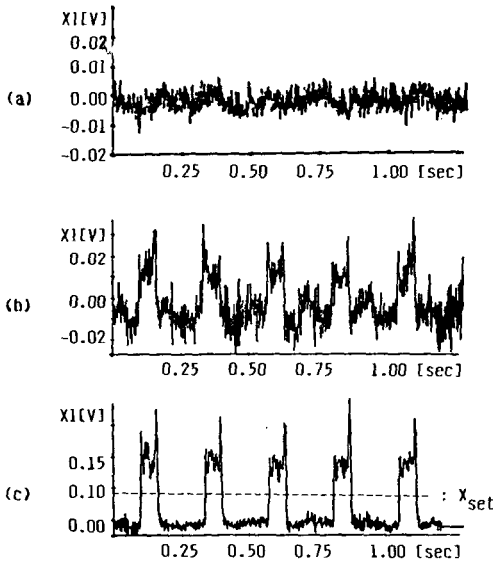


Fig. 3 Averaged AE signals at three different locations (a) Quill (b) Vice (c) Workpiece

3.3 테이블 이송이 AE신호에 미치는 영향

전절에서 기술된 바에 따라 센서를 공작물에 부착시킬 경우, 센서의 위치와 AE신호 발생위치 사이의 거리가 테이블의 이송에 따라 변하는 문제가 발생한다. 이 문제를 규명하기 위해 다음과 같은 실험을 하였다.

Fig. 4에 보인 바와 같이, 절삭시험에 사용되는 것과 똑같은 공작물을 사용하여, 1, 2, 3점에 강구를 같은 높이에서 각각 10번씩 떨어뜨리면서 고정된 위치에 부착되어 있는 센서를 이용하여 averaged AE신호의 크기를 측정하였다. 그 결과가 Table 2에 보여지는데, 본 실험에 사용된 공작물 크기에서는 부착위치의 변화에 따른 averaged AE신호크기의 변화는 무시할만함을 알 수 있다.

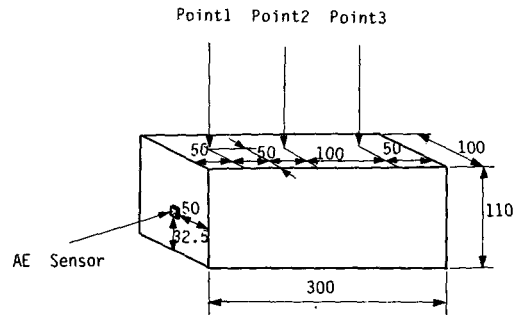


Fig. 4 AE measurement points on the workpiece

Table 2 AE level at three different points of a workpiece due to a ball dropping

Location	Point 1		Point 2		Point 3	
AVE (mV)	174.15	186.93	157.97	175.69	146.16	178.15
	164.15	177.67	138.31	204.40	159.64	159.61
	135.18	153.80	163.56	167.37	174.14	179.31
	145.42	216.43	172.18	171.10	153.12	122.47
	166.14	167.97	160.14	175.89	148.94	154.12
Mean	166.40		167.99		159.11	

MEAN=164.5mV, Standard Deviation : SD=3.8661787,

Standard error : $SE = \frac{SD}{MEAN} \times 100 = 2.35(\%)$

4. 시간영역 평균법에 의한 AE신호처리

밀링가공은 선삭과는 달리 단속적인 특성을 지니고 있으며 검출되는 신호도 Fig. 3(c)와 같이 주기적인 모습을 보인다. Fig. 3(c)에서 AE신호의 크기가 작은 구간은 비절삭시를 나타낸다는 것을 쉽게 알 수 있다. 비절삭시에는 AE신호는 어느정도 발생하고 있으며, 절삭시에 측정된 AE신호에는 절삭, 비절삭시의 신호가 중첩되어 나타나기 때문에 순수한 절삭에 기인된 신호의 구분이 요구된다. 여기서는 특정 기준을 선정하여 기준크기보다 더 큰 신호만을 실제 절삭시에 발생하는 AE신호로 판단하였다. 즉 AE신호 X 는 다음과 같이 구분될 수 있다[Fig. 3(c)].

$$X(t) = \begin{cases} X_c(t) & \text{if } X(t) \geq X_{set} \\ X_{nc}(t) & \text{if } X(t) < X_{set} \end{cases} \quad (7)$$

여기서

$X(t)$: 측정된 총신호

$X_c(t)$: 절삭시의 AE신호(공구날이 공작물에 물려있는 동안의 신호)

$X_{nc}(t)$: 비절삭시의 AE신호(공구날이 공작물에서 빠져나와 다시 물리기까지의 AE신호)

X_{set} : 기준 AE신호 (Fig. 3(c) 참조 : 예비실험 결과에 의해 결정)

이 장에서는 시간영역평균법을 도입하여 AE신호에서 추출되는 여러특성치를 유도하고 공구마멸과의 관련성을 조사하였다. 절삭시 측정된 신호 $X_c(t)$ 로부터 500μ sec로 샘플한 신호를 $X_c(i)$ 로 나타내면, $X_c(i)$ 는 주기적인 성분 $X_p(i)$ 와 공회전시 발생하는 $X_R(i)$ 이 중첩된 것으로 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$X_c(i) = X_p(i) + X_R(i), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (8)$$

여기서 N 은 한 벌의 이산자료 크기를 나타내며, 한 주기 즉 인서트에 공작물에 물려있는 시간을 M 이라고 하고, 한 벌의 자료에 P 개의 주기신호가 포함되어 있다면 $N = M \times P$ 로 주어진다.

한 벌의 AE신호를 얻은 시간(2.5sec정도)동안에 얻어진 P 개의 주기적인 신호 $X_p(i)$ 는 몇번째 주기에 해당하는가와 상관없이 같은 모습으로 나타날 것으로 기대된다. 따라서 한 주기안에서 변화하는 $X_p(j), j=1, 2, \dots, M$ 은 시간영역 평균을 계산하는 다음식에 의해 얻을 수 있다.

$$X_p(j) = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^P X_c(j+kM), \quad (9)$$

$$k=1, 2, \dots, P$$

또한 한 주기내에서의 잡음은 식 (8)과 식 (9)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$X_R(i) = X_c(i) - \frac{1}{P} \sum_{k=1}^P X_c(i+kM) \quad (10)$$

따라서 이 식을 이용하면 잡음의 분산, $Var[X_R(j)]$ 을 다음식에 의해 구할 수 있게 된다.

$$Var[X_R(j)] = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^P X_R^2(j+kM) \quad (11)$$

한편 이 잡음의 영향을 줄이기 위해서 다음과 같이 $X'_P(j)$ 에서 잡음의 표준편차를 뺀 신호를 특성해석의 기준으로 삼았다.

$$X'_P(j) = X_P(j) - \{Var[X_R(j)]\}^{1/2} \quad (12)$$

이 값을 이용하여 AE신호 한 벌 전체의 평균은 다음식으로 계산하였으며, 공구마멸과 비교하기 위한 최종특성치로 이용하였다.

$$X1 = \frac{\sum_{j=1}^M X'_P(j)}{\sum_{j=1}^M 1(j)} \quad (13)$$

$X'_P(j) \geq 0$

여기서 $X'_P(j) < 0, j=1, 2, \dots, M$ 인 구간을 전체평균계산에서 제외시킨 것은 절삭시 발생된 칩일 절삭날로부터 떨어져나가지 않고 있다가 공작물에 충돌함으로써 발생하는, 바람직하지 않은, AE신호의 영향을 줄이기 위한 것이다. 또 하나의 특성으로서 다음식을 계산되는 평균편차도 공구마멸 진전과 관련시켜 조사하였다.

$$SE = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{\{Var[X_R(j)]\}^{1/2}}{X_p(j)} \quad (14)$$

$X'_P(j) \geq 0$

Fig. 5에는 Table 1의 실험조건 1-2에서 측정된 AE신호를 다음 식과 같이 처리한 AVE값과,

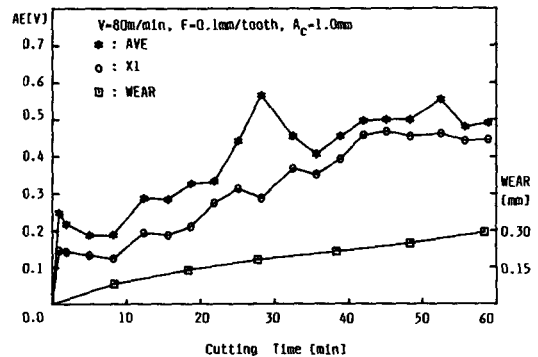


Fig. 5 Comparison of X1 with AVE in Exp. #1-2

$$AVE = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M X_P(j) \quad (15)$$

식 (13)에 의한 X1이 절삭시간에 따라 변화하는 모습이 보여진다. 잡음의 영향을 배제하지 않은 AVE값이 잡음의 영향을 배제한 X1값에 비해 상대적으로 불안정한 모습을 나타냄을 알 수 있다.

5. 실험결과 및 분석

Fig. 6에는 동일한 절삭조건 즉 절삭속도 180m/min, 이송 0.1mm/tooth, 절삭깊이 1.0mm에서 세 번 반복실험하여 구간 X1과 플랭크마멸량이 경과된 절삭시간에 대해 각각 도시되어 있다. 절삭실험 중 수반되는 공구인서트의 장, 탈착과 절삭과정자체가 랜덤한 특성을 지니고 있다는 점을 고려하면 위의 결과는 매우 반복성이 좋은 것을 알 수 있는데, 이는 X1을 산출하는 과정에서 외부잡음의 영향이 크게 줄어든 때문이라고 판단된다.

Fig. 7 및 Fig. 8에는 이송량 및 절삭깊이에 대한

의존특성이 보여진다. 각 그림으로부터 이송량이나 절삭깊이의 증가에 따라 X1값이 일반적으로 약간 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나 두 변수값들의 증가율에 대한 X1의 크기변화율은 매우 미세한 편이며 따라서 관련특성이 뚜렷하다고 보기는 어려운 상태이다.

Fig. 9에는 플랭크 마멸길이의 변화에 대한 X1의 변화모습을 절삭속도를 매개변수로 하여 나타내었다. 고속일 때가 저속일 때보다 같은 양의 플랭크 마멸길이에서 일반적으로 높은 X1값이 나타남을 볼 수 있다. 또한 아주 저속일 때는 마멸길이의 증가에 따라 X1값의 변화가 별로 없음에 비해, 고속일 경우에는 X1값 자체도 매우 커질뿐 아니라 공구 마멸길이가 0.25mm, 0.3mm를 넘어서면서 매우 불안정해짐을 볼 수 있다. 이로부터 AE신호의 뚜렷한 특성은 절삭깊이나 이송량에 의한 것보다는 절삭속도에 의해 지배적으로 나타남을 알 수 있으며, 이것은 공구마멸자체가 절삭속도에 의해

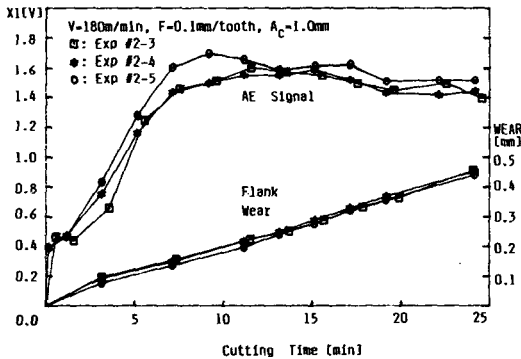


Fig. 6 Relation between amplitude of the AE signal and wear length and cutting time for the same cutting condition

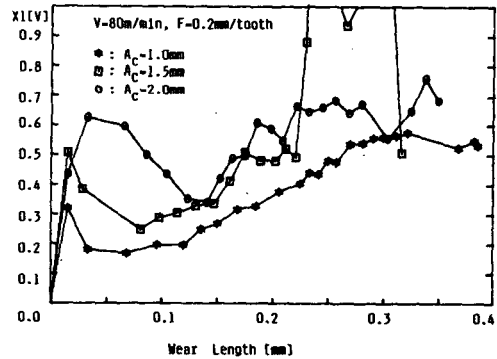


Fig. 8 Variation of X1 with flank wear length at various depths of cut.

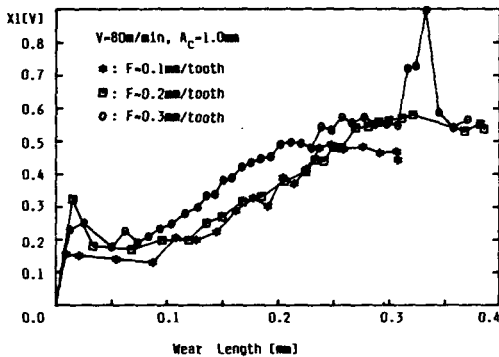


Fig. 7 Variation of X1 with flank wear length at various feeds

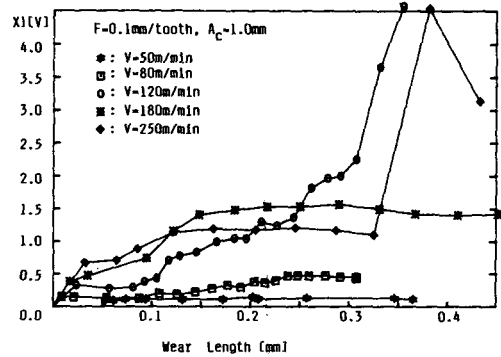


Fig. 9 Variation of X1 with flank wear length at various cutting speeds.

지배적으로 결정되며 또한 측정된 AE신호가 공구 마멸과 직접 관련되어 있다는 것을 나타내고 있다.

Fig. 10~12에는 절삭속도, 이송량, 절삭깊이를 각각 매개변수로 하여 표준편차를 평균값으로 나눈 SE값의 변화가 보인다. 각 그림에서 각 매개변수에의 의존경향은 크지 않은 반면, 전체적으로 마멸의 초기단계에서는 매우 크다가 안정단계에 접어들면 마멸길이가 0.3mm정도를 넘어서게 되면 다소 커지는 모습을 보인다. 절삭초기에 불안정하게 커지는 것은 예리한 절삭날이 미세하게 파손되면서 발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 13에는 밀링공구의 인서트를 2개, 3개로 증가시켰을 경우의 X1값의 변화를 나타내었다. 이 조건에서는 공작물에 동시에 물려 있는 날의 수는 하나로서 변함이 없고 절삭날 하나가 깎는 이송량도 0.1mm로서 일정한데 비해 절삭날 수가 증가할수록 X1이 감소하는 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉 각 인서트에서 발생하는 AE신호는 서

로 다른 특성을 갖게 되겠지만, X1의 계산은 전체 평균을 기준으로 전체 표준편차를 빼게되어 있는데, 여기서 서로 다른 특성으로 말미암아 표준편차가 커지기 때문이다.

이상의 실험결과를 종합해보면 AE신호의 X1값은 공구마멸이 0.25mm~0.30mm로 될 때까지는 서서히 증가하다가, 0.3mm이상이 되면 X1크기의 변화가 심해지는 것과 일정한 수준을 유지하는 것이 있는데, 이송과 절삭깊이가 클수록 공구마멸 후기에는 변화가 심하고 특히 이러한 경향은 절삭속도가 높을수록 더욱 뚜렷이 나타난다.

6. 결 론

밀링작업중에 공구마멸의 진행과 함께 AE신호를 측정하여 마멸의 진전에 따른 AE신호의 특성변화와 그 경향을 조사하였다. AE신호의 특성을 나타낼 수 있는 인자로서, 단속절삭의 특성에 기인한

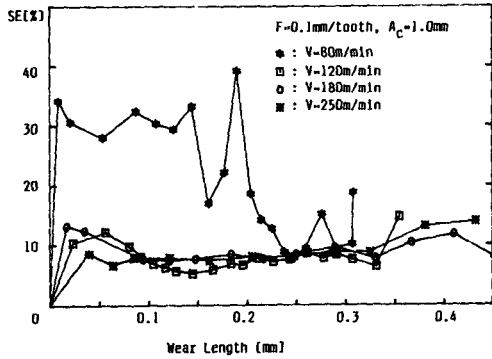


Fig. 10 Variation of SE with flank wear length at various cutting speeds.

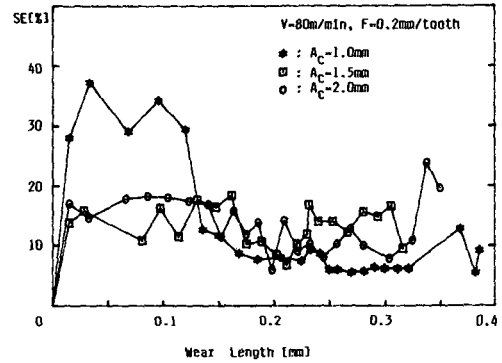


Fig. 12 Variation of SE with flank wear length at various depth of cut.

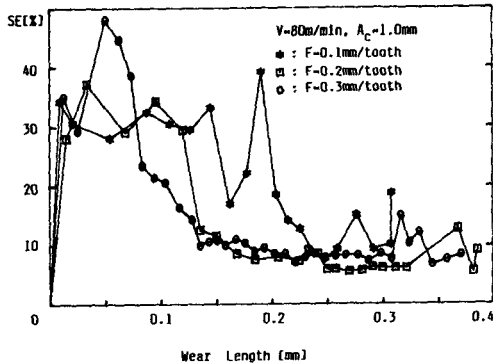


Fig. 11 Variation of SE with flank wear length at various feeds

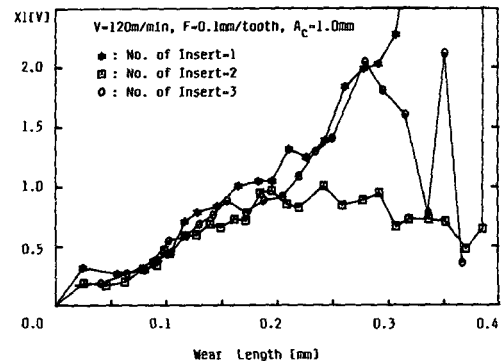


Fig. 13 Variation of X1 with flank wear length at different number of insert.

영향을 줄이고 마멸과 관련성이 깊은 신호를 추출하기 위해 평균값에서 표준편차를 뺀 신호로 정의되는, X1을 AE신호의 특성인자로 정하였다.

공구마멸의 증가에 따른 AE신호의 일반적인 변화경향은 플랭크 마멸량이 0.2mm~0.3mm에 도달할 때까지는 점진적으로 증가하다가 마멸량이 그 이상이 되면 갑자기 신호크기의 변화가 심해지거나, 일정한 수준을 유지하는 크게 두 가지의 유형을 보여주고 있다.

절삭조건 변화에 대한 AE신호의 특성변화를 종합해보면

첫째, 절삭속도가 증가함에 따라 AE신호의 크기도 증가하고 위에서 나타난 일반적인 경향도 더욱 더 뚜렷해지나, 반면에 속도가 매우 낮을 때에는 AE신호의 특성변화가 미세해진다.

둘째, 절삭깊이와 이송량의 변화에 의한 영향은 플랭크 마멸량이 0.25mm~0.30mm에 도달할 때까지는 거의 나타나지 않고, 그 이후에는 절삭깊이와 이송량이 커질수록 AE신호의 변동이 커진다. 그러나 절삭속도에 의존하는 정도의 수준은 아니다.

셋째, 인서트의 수가 1개일때의 X1값은 인서트의 수가 2개, 3개일때보다 크게 나타나며, 이것은 인서트의 수가 증가할수록 AE신호의 표준편차가 커지기 때문이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(1985~1987)의 연구비 지원으로 진행되었으며, 이에 상기 재단에 대단히 감사하게 생각하는 바입니다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, K.J., Kim, K.H. and Hwang, H.Y., 1986, "Progressive Tool Wear Sensing in Turning Operations via Acoustic Emission Signal Analysis", Symposium of Integrated Intelligent Manufacturing; Analysis and Synthesis, ASME, Vol. 21, pp. 297~307.
- (2) Iwata, K. and Moriwaki, T., 1977, "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-Process Sensing of Tool Wear", Annals of the CIRP, Vol. 25, pp. 21~25.
- (3) Diei, E.N., 1985 "Investigation of Milling Process Using Acoustic Emission Signal Analysis", Ph.D. Thesis, University of California-Berkeley 1985.
- (4) Elso, K., 1974, "An Investigation of Wear in Single-Tooth and Multi-Tooth Milling", Int. J. of MTDR, Vol. 14, pp. 95~109.
- (5) Pekelharing, A. J., 1984, "The Exit Failure of Cemented Carbide Face Milling Cutters", Annals of the CIRP, Vol. 33, pp. 47~54.
- (6) Pollard, H. F., 1977, "Sound Waves in Solids," Pion Limited, London.