

절삭조건에 따른 AE 신호의 거동 A Behavior of AE Signal on the Cutting Conditons

원종식(창원대 대학원), 조종래(창원대 대학원), 정운교(창원대)

J.S. Won(Graduate School, Changwon Univ.), J.R. Cho(Graduate School, Changwon Univ.),

Y.G. Jung(Changwon Univ.)

ABSTRACT

This paper investigates the relationship between cutting conditions and Acoustic Emission(AE) signals; AEavg, AErms, AEmode, as the base working to monitor the tool wear with in-process. For this purpose, cutting tests were conducted on a CNC lathe with comprehensive cutting conditions.. It is known that AEavg and AErms are proportionally increased as the increasing of cutting velocity and depth of cut respectively. It is also known that AEmode among three kinds of AE signals may be applied for in-process monitoring to make the self diagnosis system because of its stability to the variation of cutting condition.

Keyword : Acoustic emission signal(음향방출신호), AEavg(AE 평균진폭레벨), AErms(AE 실효치전압), AEmode(AE 최빈치), Tool wear(공구마모), Cutting velocity(절삭속도), Feed(이송)
Depth of cut(절입깊이)

1. 서 론

자동화, 무인화 생산시스템에서는 그 시스템을 구성하고 있는 어떤 1대의 기계에 발생한 trouble 이 후속공정에 미치는 영향이 지대하므로, 시스템을 원활히 동작시키기 위해서는 제반 공정을 감시하여 항상 최적의 상태를 유지해 줄 필요가 있다. 1960년대 후반 NC공작기계가 생산현장에 도입된 이래로 생산시스템에 컴퓨터를 이용하고자 하는 소위 CIM System에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며^{1~2)}, 최근에는 생산시스템의 제반 상태 변화를 각종 Sensor를 통하여 감시 진단할 수 있는 시스템(Monitoring & Diagnosis System)에 관한 연구를 시작하고 있다³⁾.

절삭가공이 주가 되는 생산시스템에서는 기계 자체에서 발생할 수 있는 고장이나 절삭과정에서 발생할 수 있는 중요한 현상^{4~5)}, 즉 공구의 마모, 칩핑, 파손, 채터, 구성인선 등을 자동적으로 진단할 수 있는 시스템의 도입이 필수적이다. 이들

중 특히 공구마모의 감시는, 공구교환의 최적 시점을 찾아냄으로써, 생산시스템의 고능률화를 실현할 수 있는 중요한 요소라 할 수 있으며, 근래에는 AE Signal을 적절하게 변환한 AE 실효치전압(AErms), 카운트(Count), 히트(Hit), AE 평균진폭레벨(AEavg), AE 최빈치(AEmode)등의 parameter를 이용한 공구마모감시에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^{6~10)}. 그러나 종래의 연구들은 마모에 따른 AE parameter들의 거동을 단편적으로 규명하였으며, 아직 AE 신호와 절삭조건들 사이의 관계에 대한 종합적인 거동 규명에 대한 연구는 희박한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 AE 신호가 공구마모의 영향을 받을뿐 아니라 절삭조건의 종류에 따라서도 영향을 받는다는 데 주목하고, 절삭속도, 절입깊이, 이송등의 절삭조건과 AEavg, AErms, AEmode등의 AE parameter와의 관계를 고찰하여 절삭조건의 변동에는 영향을 받지 않으면서, 공구마모에만 영향을 받는 AE 신호의 parameter

를 찾아, 공구마모 In-process감시에 AE의 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 주축모터의 소비동력이 7.5kW 인 CNC 선반을 사용하였다. 공작물은 직경 100mm, 돌출길이 50mm인 STD11을 사용하였다. AE 센서는 PAC.(Physical Acoustic Corporation)사의 광대역형 센서인 WD를 이용하였고, 적절한 치구를 제작하여 공구홀더의 생크에 부착시켰다. Table 1은 실험장치의 사양을, Fig. 1은 실험장치의 계략도를 보여주고 있다.

본 실험의 실험조건 Table 2와 같다.

AE 신호의 처리 과정은, 센서로부터 감지된 AE 신호를 Pre-amplifier(40dB)에서 증폭, Band pass filter(100~1200kHz)에서 filtering, AEDSP-32/16에서 Digital 신호로 변환되어 PC에 입력되게 하였다. 입력된 Digital 신호는 AE 전용 software인 Mistras 프로그램을 사용하여 처리하였다.

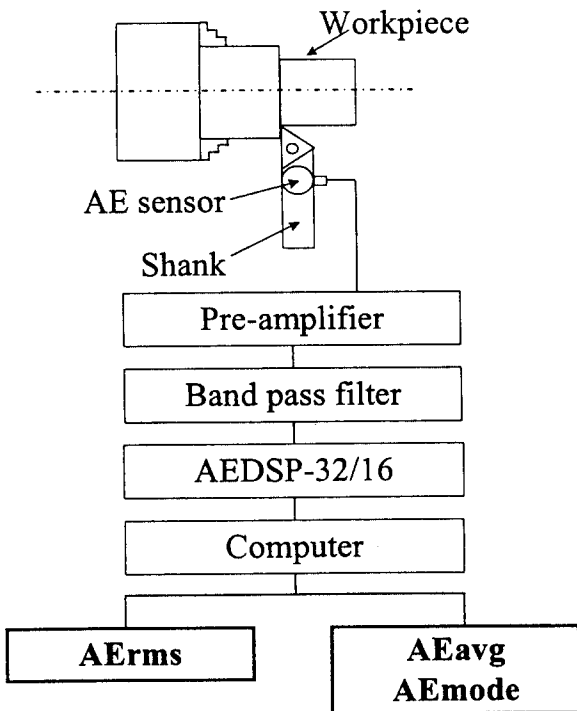


Fig. 1 Experimental setup

Table 1. Experimental equipments

Instrument	Specification
CNC Lathe	Hi-ECO 10 (Hwacheon Co.)
Workpiece	STD11 (D:100mm, L:50mm)
Tool Holder	PTGNL2525-M16 (Korloy Inc.)
Insert Tip	NC30P TNMG160404 (Korloy Inc.)
AE Sensor	WD (PAC.)
Pre-amplifier	1220A (PAC.)
AE Main	AEDSP-32/16 (PAC.)

Table 2. Experimental conditions

Item	Condition
Cutting Velocity (m/min)	100, 120, 140, 160, 180, 200, 220
Feed (mm/rev)	0.10, 0.15, 0.20, 0.25
Depth of Cut (mm)	0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5
Coolant	Dry
Sampling Rate	2MHz

3. AE 신호의 측정 방법

절삭 중에서 발생된 AE신호 파형으로부터 AErms(Root Mean Square)값은 다음의 식(1)에 의해서 구해진다.

$$AE_{rms} = \left[(1/\Delta T) \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

where, $V(t)$: 신호함수

ΔT : 신호발생주기

AE 평균신호진폭레벨(AEavg)는 식(2)에 의해서 구해진다.

$$AE_{avg} = \frac{1}{n} \left| \sum_{i=1}^n f(x) \right| \quad (2)$$

where, $f(x)$: AE waveform Rectified.

AEmode는 Fig. 2의 맨 아래에 나타낸 것과 같이 전과정류시킨 AE신호에서 각 파형의 진폭중

에서 출현빈도가 가장 높은 진폭의 신호값을 AEmode라 정의하고, 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$AEmode = Mo [AEamp] \quad (3)$$

where, AEamp: AE waveform Amplitude

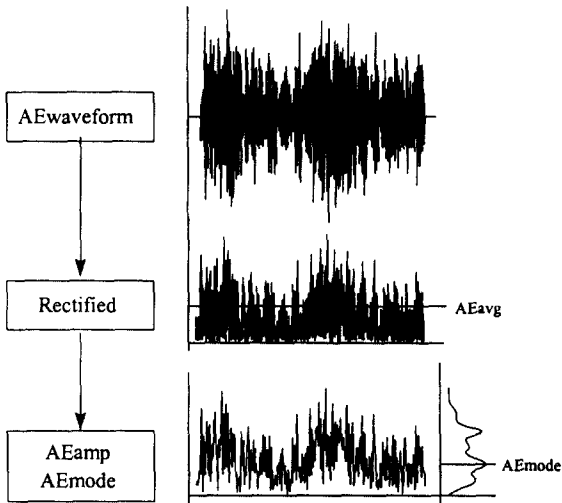


Fig. 2 Definition of AEavg and AEmode

본 연구에서는 각 절삭조건마다 신호획득 시간은 약 5초로 하고, 이 시간 내에서 0.256ms의 AE 신호 파형(Hit)을 30개 추출하여 각 Hit별로 AErms를 구한 다음 이들의 평균값을 AErms로 정의하였으며, AE파형을 전파정류하여 샘플링한 데이터의 평균치를 구한 AE 평균신호진폭레벨을 AEavg로 정의하고, AE신호에서 각 파형의 진폭 중 최대빈도를 나타내는 모드값을 AEmode라 정의하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 AEavg와 절삭조건과의 관계

Fig. 3은 이송(f)=0.15(mm/rev), 절입깊이(d)=0.1, 0.2, 0.3(mm)일 때, 절삭속도의 변화에 따른 AEavg값의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 AEavg는 절삭속도가 커짐에 따라 증가하는 경향이 있음을 알 수 있고, 이러한 경향은 이송이 다른 경우 즉, (f)=0.1, 0.2, 0.25(mm/rev)의 조건에서도 동일하게 나타난다.

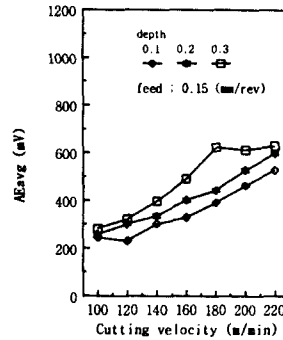


Fig. 3 Relationship between AEavg and Cutting velocity

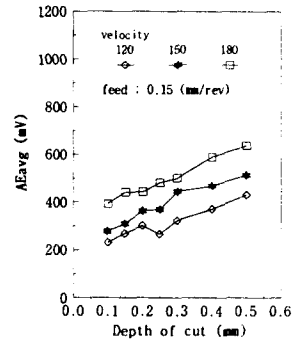


Fig. 4 Relationship between AEavg and Depth of cut

Fig. 4는 이송(f)=0.15(mm/rev), 절삭속도(V) = 120, 150, 180 (m/min)일 때, 절입깊이의 변화에 따른 AEavg값의 변화를 나타내고 있다. 여기에서도 AEavg는 절입깊이가 증가함에 따라 비례적으로 증가함을 알 수 있으며, 이러한 경향은 이송이 다른 경우 즉, (f)=0.1, 0.2, 0.25(mm/rev)의 조건에서도 동일하였다.

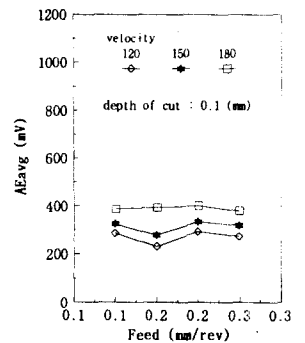


Fig. 5 Relationship between AEavg and Feed

여기에서도 AEavg는 절입깊이가 증가함에 따라 비례적으로 증가함을 알 수 있으며, 이러한 경향은 이송이 다른 경우 즉, (f)=0.1, 0.2, 0.25(mm/rev)의 조건에서도 동일하였다.

Fig. 5는 절입깊이(d)=0.1mm, 절삭속도(V)=120, 150, 180(m/min)일 때, 이송의 변화에 따른 AEavg값의 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 이송이 증가하여도 AEavg값은 크게 변하지 않음을 알 수 있고, 이러한 경향은 절입깊이(d)=0.15~0.5(mm)의 경우에도 유사한 양상을 나타내었다.

4.2 AErms와 절삭조건과의 관계

Fig. 6은 이송(f)=0.15(mm/rev), 절입깊이(d)=0.1, 0.2, 0.3(mm)로 하고, 절삭속도를 110~220(m/min)(step=20m/min)로 변화시키며 실험한 경우의 절입깊이에 대한 AErms를 보여주고 있다. 이 그림에서 AErms는 절삭속도가 증가함에 따라 비례적으로 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 이송(f)=0.15(mm/rev), 절삭속도(V)=120, 150, 180(m/min)로 하고 절입깊이를 0.1~0.5(mm)로 변화시키며 실험한 경우의 절입깊

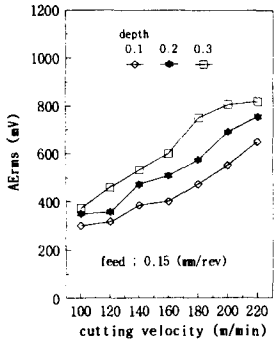


Fig. 6 Relationship between AErms and Cutting velocity

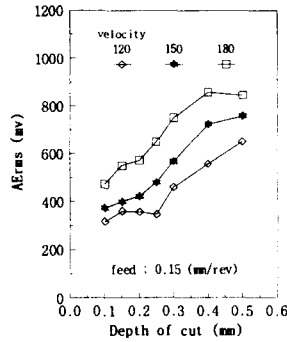


Fig. 7 Relationship between AErms and Depth of cut

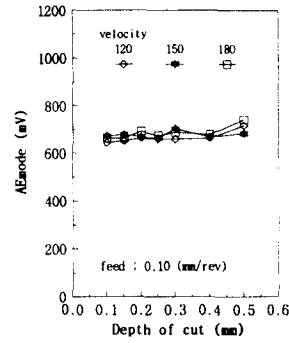


Fig. 9 Relationship between AEmode and Depth of cut

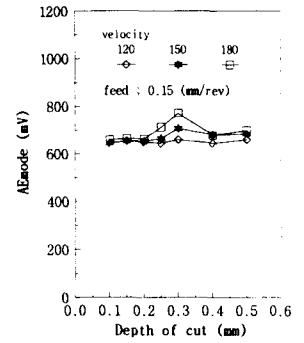


Fig. 10 Relationship between AEmode and Depth of cut

이에 대한 AErms를 보여주고 있다. 이 그림에서도 AErms는 절입깊이의 증가에 따라 커짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 절입깊이 (d)=0.1(mm), 절삭속도(V)=120, 150, 180(m/min)로 하고

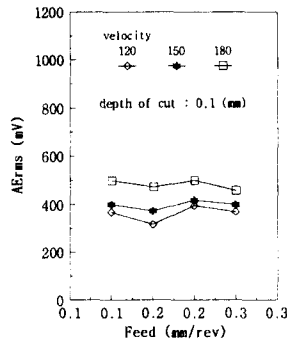


Fig. 8 Relationship between AErms and Feed

이송을 0.1~0.25(mm/rev)(step=0.05mm/rev)로 변화시키며 실험한 경우의 이송에 대한 AErms를 보여주고 있다. 여기서 AErms는 이송의 변화에 대하여 그다지 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

4.3 AEmode와 절삭조건과의 관계

Fig. 9는 각각 이송(f)=0.1, 0.15, 0.2, 0.25(mm/rev)이고, 절삭속도(V)=120, 150, 180 (m/min)일 때, 절입깊이에 따른 AEmode를 나타내고 있다. 이 그림에서 특징적인 것은 AEmode는 이송, 절삭속도, 절입깊이 등의 절삭조건에 변화에 무관하게 거의 일정한 값을 가짐을 보여주고 있으며, 이는 4.1절과 4.2절에서 설명한 AEmode와 AErms가 절삭속도 및 절입깊이의 증가에 따라 비례적으로 증가하는 것과는 대조적인 현상이었다.

4.4 종합적 고찰

4.1절에서 4.3절까지 절삭조건에 대한 AE

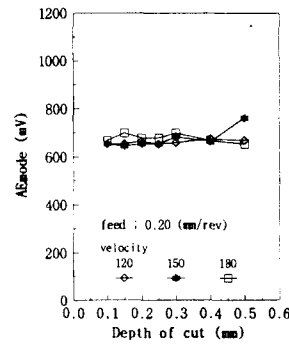


Fig. 11 Relationship between AEmode and Depth of cut

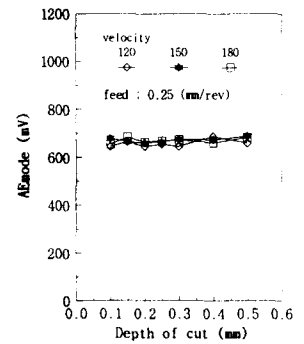


Fig. 12 Relationship between AEmode and Depth of cut

parameter의 관계를 고찰하였다. 본 절에서는 이들의 종합적인 관계를 고찰하고자 한다. 앞절에서 설명한 바와 같이 AEmode와 AErms는 절삭속도 및 절입깊이에 따라 변화한다. 따라서 공구수명의 판단기준이 되는 공구마모의 감시에 있어서 측정되는 AEmode나 AErms가 공구마모에 기인한 것인지 혹은 절삭속도 및 절입깊이의 변화에 기인하는 것인지를 분명하게 할 필요가 있다. 이를 위하여 절삭조건에 영향을 받지 않는 임의의 특정 parameter를 선정할 필요가 있다.

Fig. 13과 Fig. 15는 절입깊이에 대한 AEmode/Zw와 AErms/Zw를 각각 나타낸다. Fig. 13은 가로축에 절입깊이, 세로축에는 AEmode를 절삭물(Zw ; 절입깊이×이송×절삭속도)로 나눈 값을 각각 나타낸다. 이 그림에서 보듯이 AEmode/Zw는 절삭속도에는 영향을 받지 않지만 아직 이송에 따라 그 값이 각각 다르게 나타냄을 알 수 있다. 따라서 이송의 영향을 제거하기 위하여, 먼저 각 이송별 절입깊이에 대한 AEmode/Zw의 관계를 나타내는 곡선의 방정식을 구하고, 그 각각의 방정식을 대표할수 있는 하나의 곡선으로 피팅하기 위해 Y=(곡선의 방정식)

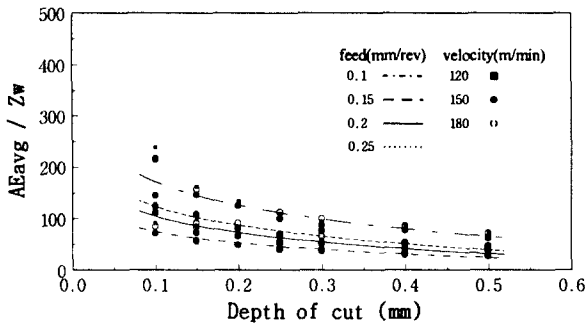


Fig. 13 Relationship between AEavg/Zw and Depth of cut

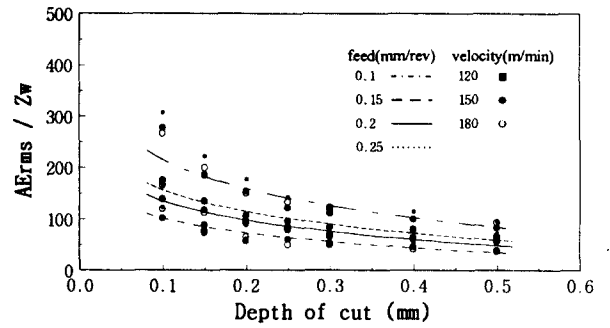


Fig. 15 Relationship between AErms/Zw and Depth of cut

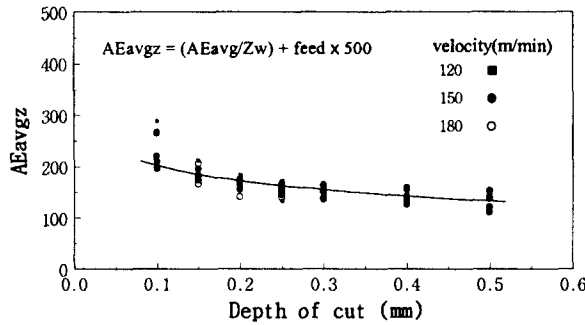


Fig. 14 Relationship between AEavgz and Depth of cut

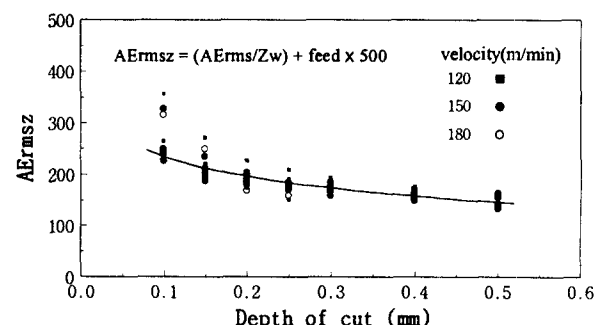


Fig. 16 Relationship between AErmsz and Depth of cut

+ feed $\times \alpha$ 를 구하였다. α 값이 변화함에 따라, 절입깊이 0.1mm일때의 각각의 Y의 값의 차, 즉 $(Y_{1(0.1)} - Y_{2(0.1)})$, $(Y_{2(0.1)} - Y_{3(0.1)})$, $(Y_{3(0.1)} - Y_{4(0.1)})$ 와 절입깊이 0.5mm일때의 Y값의 차를 구한 후, 절입깊이가 0.1mm, 0.5mm일 때의 각각의 곡선의 차의 합을 가장 작게 하는 α 를 선정하면 $\alpha = 500$ 이 된다.

Fig. 14는 절입깊이와 AEavgz(전술한 방법으로 구한 $\alpha = 500$ 을 대입하여 구한 값)의 관계를 나타낸다. 그림에서 보듯이 AEavgz가 절삭속도 및 이송에 대하여 영향을 받지 않으므로 이 곡선의 방정식을 이용하면, 주어진 절입깊이의 조건에서의 AEavgz를 수학적으로 구할 수 있으며, 실제 절삭시 이 값을 초과하는 증가값들은 순수하게 공구마모에서 기인하는 것으로 볼 수 있으므로, Fig. 14의 곡선의 방정식은 공구마모를 In-process감시 할 수 있는 자료로 사용 가능하다고 사료된다.

Fig. 15 및 Fig. 16은 동일한 방법으로 AErms를 처리하여 얻은 그림이며, Fig. 16의 곡선의 방정식 역시 공구마모의 In-process감시에 적용 가능한 자료라고 사료된다.

한편, Fig. 17는 각 절삭조건과 AEmode의 관

계를 종합하여 표현한 그림이다. 그림에서와 같이 AEmode는 절삭조건에 상관없이 일정한 값을 나타내므로, AEmode 역시 공구마모의 In-process감시에 적용가능한 parameter임을 알 수 있고, AEmode는 AEavgz, AErmsz보다 더 실제적이면서 간단하게 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

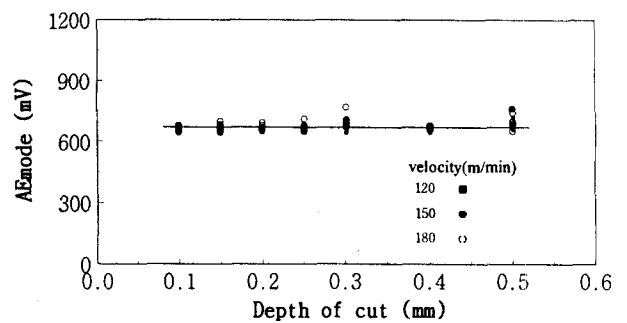


Fig. 17 Relationship between AEmode and Depth of cut

5. 결론

AE신호를 이용하여 선삭과정에서 절삭조건, 즉 절삭속도, 절입깊이, 이송 등에 따른 AEavg,

AErms, AEmode 등의 거동을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) AE 신호중 AEavg와 AErms는 절삭속도 및 절입깊이의 증가에 따라 급격하게 증가하는 양상을 보이지만, 이송의 증가에 대해서는 민감하게 거동하지 아니한다.

2) AEavgz와 AErmsz는 절삭속도, 이송의 값에 무관한 일의적인 곡선의 방정식으로 표현할 수 있다.

3) 공구마모의 In-process 감시를 위해서는 절삭 조건에 관계없이 일정한 값을 나타내는 AEmode를 사용하는 것이 시스템의 구축상 유리함을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1) L. Dan. J. Mathew, "Tool wear and failure monitoring techniques for turning-A review," Int. J. Mach, Tools and Manufact. Vol. 30, No. 4, pp. 579-598, (1990).

2) J. Tlusty, "A critical review of sensors for unmaned machining," Annals of the CIRP, Vol. 32, pp. 563-572, (1983).

3) S. Takata, T. Sata, "Model referenced monitoring and diagnosis-Application to the manufacturing system," Computers in Industry, Vol. 7, pp. 31-43, (1986).

4) Y. Koren, T. Ko, A. G. Ulsoy, K. Danai, "Flank wear estimation under varying cutting conditions," ASME Journal of Dynamic Systems. Measurement and Control, Vol. 113, pp. 300-307, (1991).

5) E. Emel. E. Kannatey-Asibu, Jr., "Tool Failure Monitoring in Turning by Pattern Recognition Analysis of AE Signals," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 110, pp. 137-145, (1988).

6) Ichiro INASAKI, "아코스틱·에미션·에 의한·절삭·프로세스·의·모니터링," 日本機械學會論文集(C編), Vol. 51-466, pp. 1163-1169, (1984).

7) S. Y. Liang, "Tool Wear Detection Using Time Series Analysis of Acoustic Emission," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 111, pp. 199-205, Aug, (1989).

8) 小鳥治二外 2人, "아코스틱·에미션·에·이용·시·에·의·로·결손·의·예측," 日本機械學會論文集(C編), Vol. 51-467, pp. 1838-1843, (1984).

9) Dornfeld, D., and Cai, H. G., "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission," Trans. of ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 106, pp. 28-33, Feb. (1984).

10) T. Blum and I. Inasaki, "A Study on Acoustic Emission from the Orthogonal Cutting Process," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 112, pp. 203-211, Aug. (1990).