

절삭중 밀링 공구의 磨滅과 音響放出의 관련성에 관한 研究

윤중학* 김동성**

A Study on the Wear of Milling Tool and Relativity of Acoustic Emission in Cutting Process

Yoon, Jong Hak*, Kim, Dong Sung**

Abstract

This study is focused on the prediction of appropriate tool life by clarifying the correlation between progressive tool wear and AE signal, when cutting SM45C by End mill in machining center.

First of all, end mill have a problem that position of sensor sticking because it is revolution tool, but I think that it can be gained specific character according to sticking Sensor in the vise.

Consequently, the following results have been obtained :

1. Each cutting speed of feed rate over 0.1mm had a tendency to increase linearly according to the RMSAE.
2. The level of AE signal at the same cutting area was more sensitive to depth of cut than the variation of feed rate.
3. In the range of cutting duringqr about 75minqr atqr cutting speed 27m/min flankqr wear turns up aboutqr 0.21mm, aboutqr 0.29mm in the caseqr of about 65minqr at 33m/min,qr hereby RMSAE increased rapidly at 0.2mm flank wear, also AE-HIT and CUM-CNTS.

Keywords : Cutting speed(절삭속도), Feed rate(이송속도), AE-signal(음향방출신호), Flank wear(여유면 마멸), CUM-CNTS(누적계수)

1. 서 론

일반적으로 공구가 마멸하게 되면 절삭력이 증가하고 마멸이 어느 한계치를 넘으면 가공 정밀도가 급격히 떨어

어지므로, 공구를 적기에 교체하는 것은 공작물의 불량률을 줄일 뿐 아니라, 생산성을 높여 주고 경제적 손실을 줄일 수 있는 방법 중의 하나이다.^[1,2,3]

그러므로 마멸과 칩핑에 의한 공구 손상은 절삭 작업

* 서울산업대학교 기계공학과 교수

** 대한상공회의소 직업교육훈련사업단 교사

중에도 계속적인 감시가 절대적으로 필요하여, 속도가 빠르고 신뢰성 있는 온 라인(On-line)^[3,4] 검출 시스템이 요구되고 있다.

공구 마멸에 있어서 AE 측정 방법에 대한 연구로는 Iwata와 Moriwaki^[5]등이 시도하였으며, 그후 가공 중 공구 마멸 상태를 추정, 공구의 칩핑 검출 또는 절삭 과정 감시^[6,7]등에 적용하려는 연구도 병행되어져 왔다

이는 AE 신호가 공작물, 공구 또는 기계의 동특성에 좌우되지 않으며, 일반적으로 생기는 기계 진동, 소음 등에 큰 영향을 받지 않고 절삭시 절삭 조건과 직접 연관되는 범위에서 발생하여 AE 신호를 온 라인으로 감시할 수 있는 특성에 의하기 때문이다

본 실험에서는 공구 칩핑과 마멸에 대하여 고속도강 앤드밀을 사용하여 각종 절삭 조건에 의한 AE 신호 변화를 조사하였고, 공구 마멸을 AE 신호 크기로서 감시하기 위한 자료를 얻기 위해 AE 전용 컴퓨터인 8900 LOCAN AT를 사용하였으며, 머시닝 센터에서 한정된 절삭 공구, 공작물, 각 절삭 조건 등에서 AE 신호와의 상호 관계를 확립하고, 적절한 시기에 공구 칩핑과 마멸로부터 공구 교환 시기를 제안할 수 있는 가공중 감지 기술의 가능성을 제시하고자 하는데 있다.

2. 이론적 고찰

금속 절삭 중에 소성 변형과 재료 파괴는 AE 신호의 주요 발생원이 된다고 볼 수 있다.

절삭 관련 인자(Parameter)와 절삭 작업에서 발생하는 AE 신호와의 관계를 함수로 표현하면^[8] 다음 식과 같다.

$$RMS_{AE} = F(\tau_k \cdot \dot{\epsilon} \cdot v \cdot A_1 \cdot A_2) \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기서, τ_k : 공작물의 전단 강도 (Shear Strength)

$\dot{\epsilon}$: 전단 변형률 속도 (Shear Strain Rate)

V : 변형 부분의 체적

A_1 : 칩과 공구 경사면 사이의 접촉 면적

A_2 : 가공 표면과 공구 여유면 사이의 접촉 면적

AE 신호와 마찰 일의 관계로부터 AE 신호와 여유면 마멸의 관계는

$$F = \tau_s A_s \quad \dots\dots\dots(2)$$

F : 마찰력

τ_s : 피삭재의 전단 응력

A_s : 피삭재와 공구 여유(Flank)면 실제 접촉 면적

미끄럼의 외부 조건이 일정하다고 하면, 외관상 실 접촉 면적

$$A_s = \eta A_o \quad \dots\dots\dots(3)$$

A_o : 외관상 접촉 면적

η : 재료의 표면 거칠기와 탄성에 관계되는 함수

식(2)와 식(3)으로부터

$$F = \eta \tau_s A_o \quad \dots\dots\dots(4)$$

마찰 과정에서 에너지 소비율 \dot{W} 는

$$\dot{W} = FV_f \quad \dots\dots\dots(5)$$

V : 미끄럼 속도

식(4)와 식(5)로부터

$$\begin{aligned} \dot{W} &= \mu NV_f \\ &= \eta \tau_s A_o V_f \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

이다. 측정이 가능한 AE를 발생하는 에너지 소비과정에서 AE에너지 발생율은 W의 함수(Power Function)로 표시 될수 있으므로

$$AE \text{ 에너지 율} = (KW)^m \quad \dots\dots\dots(7)$$

여기서 k와 m은 두 마찰 물질의 성질과 AE 측정 장치에 관계되는 상수이다.

그러므로 여유면 마멸과 AE 신호 관계를 나타내는 식은

$$\begin{aligned} RMS_{AE} &= (AE \text{ 에너지 율})^{1/2} \quad \dots\dots\dots(8) \\ &\text{으로} \end{aligned}$$

$$= (K \eta \tau_s A_o V_f)^{m/2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

으로 나타낼수 있다. 따라서 식(9)는 금속 절삭과정에서 AE를 이용하여 여유면 마멸을 측정할 수 있는 이론적 기초를 제공해준다.

3. 실험장치 및 실험방법

공구 마멸과 AE의 관계를 검토 분석하기 위한 실험으로, 공작 기계는 (취세일의 머시닝 센터(TNV 40A)이고, AE 계측 및 해석 장치는 미국의 PAC(Physical Acoustic Corporation)제품인 8900 LOCAN AT를 사용하여 예비 증폭기(Pre-Amplifier)에서 40/60dB 게인(gain)변환이 가능하고, 본체의 중앙 처리 장치(CPU: Central Processing Unit)는 1MB를 내장하였다.

AE 감지기는 PAC사 제품인 R 501 이며, 게인(Gain)은 40dB 이고 변환자 접촉면은 세라믹으로 되어 있다.

절삭 상태를 검출하기 위한 각종 AE 파라미터 (RMS,

Frequency, dB, Hits, Ring Down Count Rate, Energy, Amplitude, Time등)에 대한 관계치를 플로피 디스크에 저장하였으며, 실험시 순간적인 소요 자료와 그래프를 프린터로 인쇄하였다.

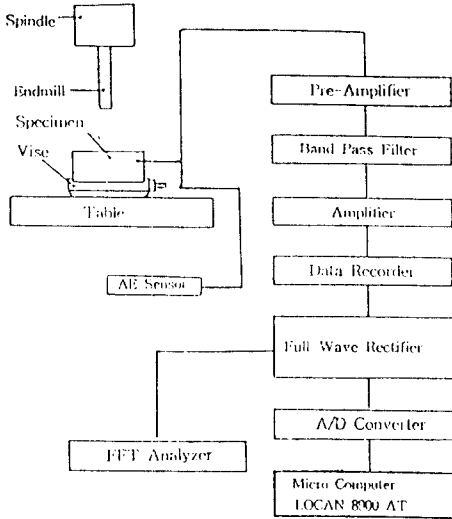


Fig. 1. The schematic diagram of experimental apparatus.

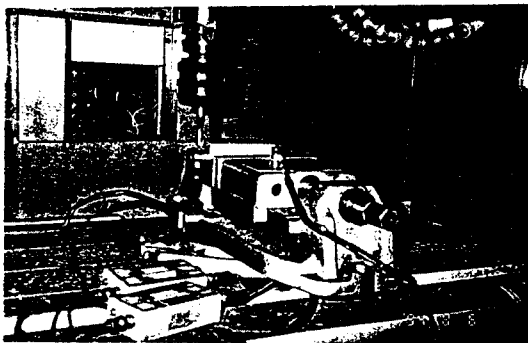


Photo 1. Location of AE sensor

시편은 SM45C로서 절삭시 AE 신호의 정확한 채취를 위해 사각면의 표피를 절삭하여 균일화하였으며 시편의 크기는 30x55x105mm로 가공하였으며, 엔드밀 재질은

SKH-51종인 16, 비틀림 2날을 사용하였다.

엔드밀은 공구가 회전하기 때문에 AE 감지기를 공구에 붙이는데는 많은 문제가 있다.

AE 신호 발생원에 될 수 있는 한 가깝고 피삭재와 직접 접촉하고 있는 바이스와 공작물이 AE 신호의 전달도 양호하다고 생각되어 양측에 감지기를 장착하고 공구 마멸에 대한 AE 신호 변화 실험을 하였다.

검출한 신호는 예비 증폭기(Pre-Amplifier)에 의해 20dB로 증폭시켰으며, 내장된 밴드 패스 필터를 거치면서 100kHz 이상의 영역에 있는 신호만을 검출하고 외부로부터의 진동이나 소음 등에 기인하는 잡음을 제거하였다.

절삭시 수용성 절삭유를 사용하였으며, 절삭 속도는 보편적으로 사용하는 탄소강(항장력 75kg/mm²)에 대한 것이고, 절삭 속도 범위(25~30m/min)보다 낮은 24m/min에서 한 단계 높은 33m/min 까지 하였으며, 이송량은 0.05mm/tooth에서 0.15mm/tooth 까지를 대상으로 하였다.

절삭 깊이는 1mm부터 3mm, 5mm까지 실험하였으며, AE 신호 변화를 가급적 억제하기 위해 가능한 절삭 시간을 짧게 하였고, 각 조건에 대한 자료를 얻기 위해, 절삭 도중에 공구날 끝에 나타나는 마멸량을 공구 현미경(배율5X, Mitutoyo)으로 측정하였다.

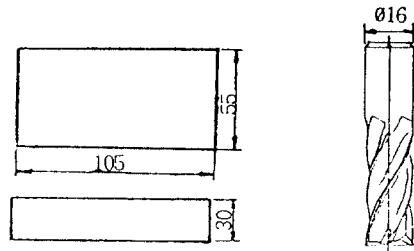


Fig. 2. Feature of specimen and end mill.

마멸량의 크기는 여유면에서의 마멸량인 V_B 로 KSB0813 경절삭에서 추천하는 0.2mm를 공구 수명 판정 기준으로 하였으며, 측정 시기는 각각의 절삭 조건에서 일정 시간 절삭한 후 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

밀링 가공은 단속 절삭으로 날 끝이 피삭재를 파고 들어 갈때 생기는 충돌음과 칩이 피삭재나 공구에 부딪치는 충돌음 등으로 분류되며, 이들은 대부분 필터링되어 잡음이 극소화되며, 가공시 임의의 구간에 대한 AE 신호의 진폭 파형은 Fig. 3과 같다.

여기서 단속 절삭으로 검출되는 AE 신호도 주기성을 가지며, 시간 경과에 무관하게 갑자기 높은 피크(Peak) AE 신호가 일정한 간격으로 되었음을 알 수 있다.

같은 조건 아래서 공구 수명이 다 될 때까지 절삭을 계속적으로 하면서 기록한 AE 신호를 에이디 변환기에서 디지털 신호로 변환시켜 500 μ sec의 간격으로 2.5sec동안 샘플링하여 총 자료의 수를 4000개로 제한하였다.

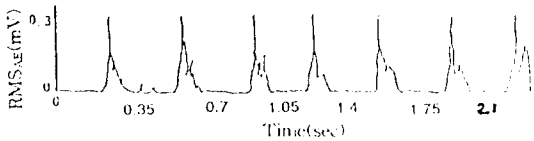


Fig. 3. RMS_{AE} signals on milling.

Fig. 4는 절삭 속도에 따라 실효치 전압이 변화하는 경향을 알기 위한 것으로 절삭 조건은 절삭 깊이를 3mm로 유지하고, 1날당 이송량을 0.1mm로 하였으며, 절삭 속도는 24, 27, 30, 33m/min으로 변화하면서 3회 반복 절삭 실험을 하였다.

절삭 속도가 변화하면 변형 영역의 크기가 변하지 않지만, 변형 속도가 변한다.

실효치 전압(RMS_{AE})은 절삭시 공작물이 칩으로 변할 때 받는 미끄럼 전단 변형 속도에 크게 좌우된다고 할 수 있고, 그림에서 절삭 속도가 상승함에 따라 실효치 전압은 정확한 비율은 아니지만 비례적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

또, 같은 절삭 속도의 반복 실험에서 실효치 전압의 값은 매회 약간 차이는 있지만 유사한 값을 나타내고 있다.

실효치 전압의 값이 매 회 틀린 것은 밀링 바이스에 공작물을 고정하는데 문제가 있거나, 엔드밀의 정확한 고정 여부, 단속 절삭 충격에 따라 차이가 있는 것으로 예측할 수 있다.

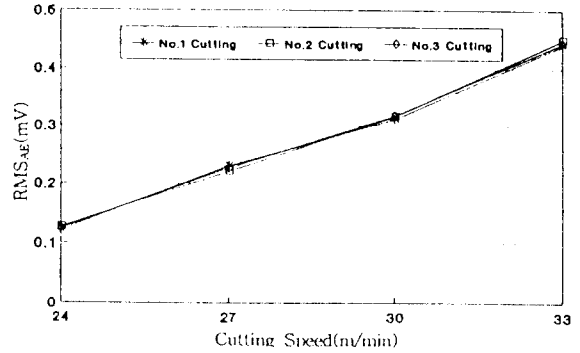


Fig. 4. Relation of RMS_{AE} versus cutting speed(depth of cut 3.0mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting time 20min)

Fig. 5는 절삭 깊이를 3.0mm로 유지하고 절삭 깊이를 105mm로 하였으며, 절삭 속도를 24m/min에서 33m/min까지 실험을 하였을 때의 실효치 전압과 1날당 이송량과의 관계이다.

그림에서 1날당 이송량이 0.05, 0.1mm에서 절삭 속도 27, 30m/min은 실효치 전압 크기 변화가 비슷하나 24, 33m/min에서는 큰 차이의 변화가 있음을 알 수 있고 0.15mm에서는 큰 폭으로 실효치 전압이 증가됨을 알 수 있다. 결과로부터 절삭 공구의 1날당 이송량이 0mm에서 0.1mm까지는 실효치 전압이 서서히 증가하나 0.1mm 이상이 되면 급격히 상승되고 절삭 속도와 이송량이 커질수록 실효치 전압도 커지므로 서로 상관 관계가 있음을 알 수 있었다.

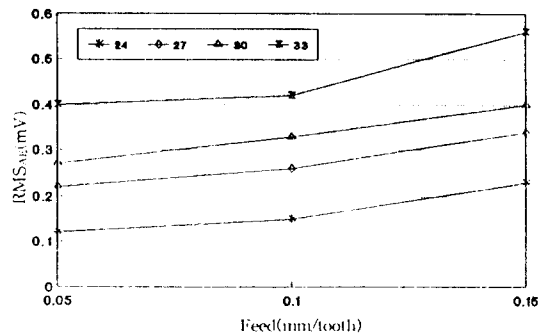


Fig. 5. Relation of RMS_{AE} versus feed rate(depth of cut 3.0mm, cutting length 105mm, cutting speed 24, 27, 30, 33m/min)

Fig. 6은 1날당 이송량을 0.1mm로 일정하게 하였으며, 절삭 길이를 105mm로 하고, 절삭 속도를 24, 27, 30, 33m/min으로 하였을 때의 실효치 전압과 절삭 깊이와의 관계이다.

실험에서 일정한 절삭 깊이에서 절삭 속도가 커짐에 따라 실효치 전압이 증가함을 알 수 있었다.

또한 절삭 깊이가 1-3mm까지는 비례적인 증가를 보이다가 3mm 이상이 되면서 실효치 전압이 급격히 커지는 것은 절삭 깊이 증가에 의한 공구 마멸 증가 현상으로 여겨진다.

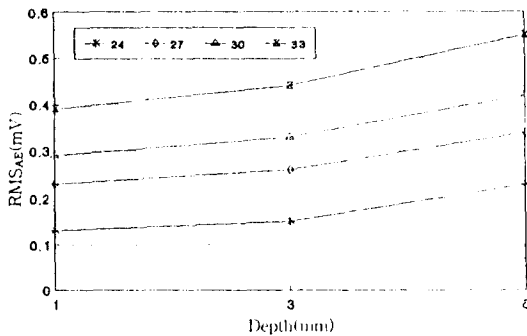


Fig. 6. Relation of RMS_{AE} versus cutting depth(cutting length 105mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting speed 24, 27, 30, 33m/min)

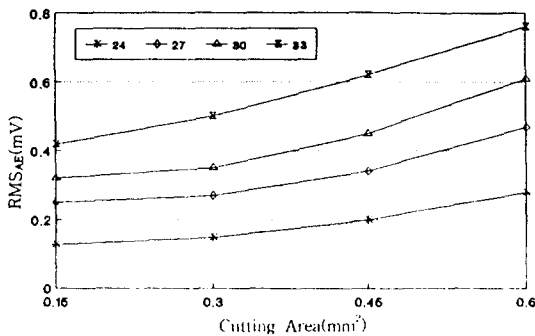


Fig. 7. Relation of RMS_{AE} versus cutting area(depth of cut 3.0mm, feed rate 0.05, 0.1 0.15, 0.2mm/tooth, cutting speed 24, 27, 30, 33m/min)

Fig. 7은 절삭 속도 24, 27, 30, 33m/min, 절삭 깊이 3.0mm, 1날당 이송량을 0.05, 0.1, 0.15, 0.2mm로 각각 변화 하면서, 절삭 단면적을 0.15, 0.3, 0.45, 0.6mm²로 증가시키며, 절삭 단면적 증가에 따른 실효치 전압의 변화를 살펴 본 것이다.

여기서 같은 절삭 단면적이라도 절삭 속도에 따라 실효치 전압이 증가하는 양상이 다르게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 8에서 절삭 속도 24m/min는 시간의 경과에 따라 공구 마멸이 균일하게 진행되나, 30분이 경과되면서 급격히 증가함을 볼 수 있는데 이는 공구의 미소 파괴, 치핑등이 원인으로 여겨진다.

50분 이후부터 증가세가 둔화된 것은 마멸된 절삭날 이외의 절삭 날에 의한 절삭으로 마멸이 급격히 진행되고 있음을 알 수 있고, 절삭 개시후 85분 이후에 평균 마멸량이 기준 이상으로 변화하는 것을 보여 주고 있다.

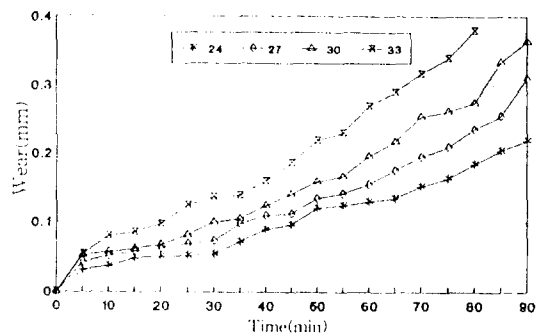


Fig. 8. Relation of wear versus cutting time(depth of cut 3.0mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting speed 24, 27, 30, 33m/min)

절삭 속도 27m/min에서 30분을 전,후하여 공구 마멸이 약 0.07mm로 비슷한 증가를 보이다가 그 이후 급격한 증가세로 나타난다.

이는 절삭 날의 미소파괴, 치핑에 의한 것으로 여겨지며, 85분 이후 급격히 변하는 것은 절삭날의 마멸과 치핑에 의한 공구 인선 손상에 의한 것으로 큰 폭의 변화를 보여주고 있다.

절삭 속도 33m/min에서 10분을 전,후하여 공구 마멸이 약 0.08mm로 크게 증가하고 그 이후 20분을 전,후하여 공구 마멸이 약 0.10mm로 증가세가 더디다가 다시 큰 폭으로 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 절삭 깊이를 3.0mm, 1날당 이송량을 0.1mm로 일정하게 유지하고, 각 절삭 속도의 공구 마멸에 따른 실효치 전압과 변화의 관계이다.

마멸이 진행됨에 따라 실효치 전압의 상승을 보여주고 있으며, 0.2mm부근에서 실효치 전압의 상승과 하락이 급격한 변화를 보이고 있으며, 그 후 공구 마멸이 증가되면서 불규칙적인 상승과 하강을 반복하는 변화를 보여주고 있다.

이는 공구 인선의 마멸에 따른 것이나, 또는 치핑에 의한 것으로 실효치 전압이 크게 상승된 후 급하게 내려가는 것은 순간적으로 공구 날 끝이 떨어져 나가 전압의 크기가 떨어지는 것으로 여겨진다.

공구 마멸이 0.21mm 부근까지는 속도 V_c 에 주로 관계되지만 그 이상이 되면 속도 V_c 보다 V_f 의 영향이 커져, 예측이 어려워지므로, 여기서 적절한 공구 교환 시기를 찾을 수 있는 가능성이 있다고 여겨진다.

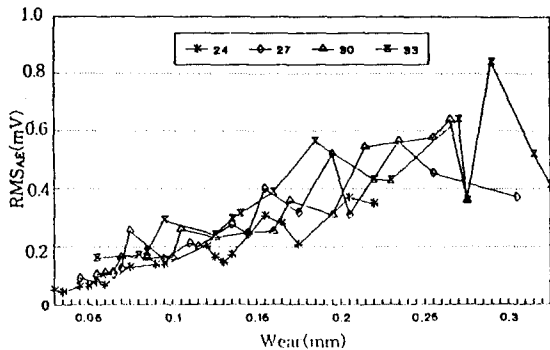


Fig. 9. Relation of RMS_{AE} versus wear (depth of cut 3.0mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting speed 24, 27, 30, 33m/min)

5. 결 론

본 논문은 엔드밀 마멸에 대한 AE신호 변화에 주목하고 적절한 교환 시기를 결정하기 위한 수단으로 이용 가능성을 검토한 것이다.

우선 엔드밀은 회전 공구이기 때문에 감지기를 부착하는 위치가 문제이지만 AE 신호 전달 특성을 고려한 결과 피삭재와 직접 접촉하고 있는 바이스에 감지기를 부착하는 것에 따라 양호한 전달 특성을 얻을 수 있다고 판단되며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 절삭 속도, 1날당 이송량이 0.1mm 이상이 되면 실효치 전압이 크게 상승되므로 서로 상관 관계가 있음을 알 수 있었다.
2. 절삭 단면적의 변화에 따른 AE 신호 크기는 이송 속도보다, 절삭 깊이 변화에 더 빠른 반응을 나타내고 있었다.
3. 절삭 속도 27m/min에서 약 75분 절삭한 경우 공구 마멸이 약 0.21mm를 나타내었고, 33m/min에서 약 65분 절삭하였을 때, 공구 마멸이 약 0.29mm에 이르면서 급격한 실효치 전압 상승이 됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] E.K.Asibu Jr., "Acoustic Emission Sensing of Tool Wear Metal Cutting" General Motors Institute, 1980, pp. 55-59.
- [2] 이병찬 "밀링 加工時 發生하는 工具 磨滅과 AE 信號에 관한 研究" Korea Advanced Institute of Science and Technology 1987.2, pp. 4-50.
- [3] 方泰圭 "AE 信號에 대한 Kurtosis와 Neural Network를 利用한 切削 工具의 異狀 診斷 시스템 開發에 관한 研究" 漢陽大學校 博士學位 論文 1990.6, pp. 1-50.
- [4] J.I.El, Gomayel K.D., Bregger, "On-line Tool Wear Sensing for turning operation" Transactions of the ASME, Vol. 108, 1986. pp. 44-47.
- [5] Iwata K., and Moriwaki T., "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-Process Sensing of Tool Wear." Annals of the CIRP. Vol. 25, No.1, 1977. pp. 21-26.
- [6] K.Kojima, I.Inasaki, R.Miyake, "Prediction of Twist drill Breakage with Acosotic Emission Signals" 日本機械學會論文集 C篇 51卷, 467號, 1984. pp. 1838-1843.
- [7] 大宮毅, 稻崎一郎, 清算, 藤詞郎, 酒井, 勝萩, 屋雄一, "アコース ティシ クエミ ッションによるツル

折損の インプロセス 検出” 日本機械學會論文集(C
편)51卷, 472號, 1984. pp. 3322-3328.
[8] Elijah Kannatey-Asibu, jr.D.A.Dornfeld, “Quantitative

Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal
Metal Cutting” Trans. ASME, Vol. 103, 1981. pp. 1
-40.