

공구마멸 감시에 음향방출 신호를 이용하기 위한 연구

윤종학*, 여만구**, 김상현***

A study on monitoring of milling tool wear for using the acoustic emission signals

Yoon Jong-Hak, Yeo Man-Ku, Kim Sang-Hern

Abstract

This study is focused on the prediction of appropriate tool life by clarifying the correlation between progressive tool wear and AE(Acoustic Emission) signals, while cutting stainless steel by end mill on the machining center.

The results of this study were that RMSAE tends to increase linearly along with the increase of the cutting speed, and it was more sensitive to depth of cut than to the variation of feed rate at the same cutting conditions, and RMSAE increases around 0.21mm flank wear hereby AE-HIT also increases.

AE signals depend upon tool wear and fracture from the above results. Therefore, the AE signals can be utilized in order to monitor the tool condition.

Keywords: AE-signals(음향방출신호), Cutting speed(절삭속도), Feed rate(이송속도), Flank wear(여유면마멸), RMSAE(실효치전압)

1. 서 론

생산 라인에서 절삭가공은 그 영역이 넓고 차지하는 비중이 또한 크며, 더욱이 제품의 정밀도에 크게 영향을 줌으로 절삭중 공구의 마멸이나 파손 검출이 절실히 요구되고 있다.

일반적으로 공구는 마멸이 시작되면서 절삭저항력이

증가하고, 어느 한계치를 넘으면 제품의 정밀도가 급격히 떨어지므로, 공구를 적기에 교체하는 것은 공작물의 불량율을 낮출 뿐만 아니라, 생산성을 높여주고, 예측할 수 없는 돌발적인 공구의 파손으로 인한 손실을 줄일수 있는 중요한 기술의 하나이다.^[1,2,3]

따라서 각개의 공구상태에 의존되는 절삭가공에서는, 공구마멸과 파손에 의한 공구손상을 절삭작업중에도 계

* 서울산업대 기계공학과 교수
** 서울산업대 기계공학과 강사
*** 서울산업대 대학원 기계공학과

속적인 감시가 필요하며, 이러한 감시기술은 응답속도가 빠르고 신뢰성 있는 온 라인(On-line)^(3,4) 시스템이 되어야 한다. 이러한 공구감시기술에는 절삭중 공구의 결합을 감지하는 AE를 이용한 검출방법의 공정 자동화 연구가 활발하게 전개되고 있으며, 특히 Iwata와 Moriwaki⁽⁵⁾는 가공중 공구마멸 상태의 추정으로 공구 교환시기와 절삭과정의 감시^(6,7)에 적용하려는 연구를 병행하였다.

이는 AE신호가 일반적으로 생기는 기계진동, 소음 등에 큰 영향을 받지 않고 절삭중 절삭조건과 직접 연관되는 범위에서 발생하여 온 라인으로 감시할수 있는 특성이 있기 때문이다.

그러나 아직도, 절삭과정중에 재료로부터 AE신호발생에 영향을 미치는 원인이 완전히 규명되지 않고, 소성변형에 포함되는 부피 또는 변형속도에 대한 AE의존성 등이 명확히 밝혀지지 않고 있으므로, 절삭중에 나타나는 물리적인 모델 확립이 중요하며, 정량적(定量的)인 평가가 이뤄져야 할 필요성이 있다.

이 실험에서는 밀링공구의 마멸과 파손감시에 대한 고속도강 공구 엔드밀(SKH59)로 스테인레스강(STS304)을 절삭할 때, 각종 절삭조건에 따른 AE신호의 변화를 조사하였고, 공구마멸을 AE신호크기로 검출하기 위해서 AE전용컴퓨터(8900 Locan AT)를 이용하였으며, 절삭공구, 공작물, 절삭조건 등 각 절삭파라미터와 AE신호의 상호 관계를 정립하여 공구마멸 및 파손감시에 의해 공구교환의 적정시기검출 가능성을 알아보았다.

2. 이론적 고찰

금속 절삭 가공의 원인으로 인해 금속 조직 탈락 및 변형으로 부터 재료의 내부 구조 재 배열(Re-arranging)시 결정 격자에서 진동파의 급격한 방출로 인해 AE신호는 연속형과 돌발형으로 각각 구분된다.

연속형 신호는 연성 재료가 소성 변형을 일으킬 때 발생되며, 돌발형 신호는 재료내에서 크랙(Crack)이 성장할 때 절삭중 칩의 충돌, 혹은 칩의 뒤엉킴(Tangling)현상 유발시 주로 관측된다고 알려져 있다.⁽²⁾

그러므로 금속 절삭중에 소성 변형 (연속성 AE 신호)과 재료 파괴(돌발형 AE 신호)는 AE 신호의 주요

발생원이 된다고 볼수 있다.

따라서 절삭 관련인자(Parameter)와 절삭 작업에서 발생하는 AE신호와의 관계를 함수로 표현하면 다음의 식과 같다.^(8,9)

$$RMSAE = F(\tau_s \cdot \dot{\epsilon} \cdot V \cdot Ac \cdot Ar) \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서, τ_s : 공작물의 전단응력
- $\dot{\epsilon}$: 전단 변형 속도
- V : 변형 부분의 체적
- Ac : 칩과 공구 경사면 사이의 접촉 면적
- Ar : 가공표면과 공구 여유면 사이의 접촉 면적

이 외에도 AE신호와 관계되는 인자가 여러 가지가 있으나, 주된 인자는 위 경우와 같다고 할수 있다.

미끄럼 과정 중에 두 고체사이의 접촉에 대한 일반적인 식의 마찰력은

$$F = \mu N \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서, F : 마찰력
- μ : 마찰계수
- N : 수직력

AE신호와 마찰 일의 관계로부터, AE 신호와 여유면 마멸의 관계는 다음과 같다.

$$F = \tau_s Ar \dots\dots\dots(3)$$

여기에서 미끄럼의 외부 조건이 일정하다고 하면, 외관상 실 접촉 면적

$$Ar = \eta Aa \dots\dots\dots(4)$$

- Aa : 외관상 접촉 면적
- η : 공작물의 표면 거칠기와 탄성에 관계되는 함수

식(3)과 식(4)로 부터

$$F = \eta \tau_s Aa \dots\dots\dots(5)$$

마찰 과정에서 에너지 소비율 \dot{W} 는 다음과 같다.

$$\dot{W} = F Vc \dots\dots\dots(6)$$

여기서 Vc 는 식(2) (5) (6)에서

$$\begin{aligned}
 W &= \mu N V c \\
 &= \eta \tau_s A a V c \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

로 나타낼수 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

밀링절삭가공에서 밀링공구마멸과 AE의 관계를 검토 분석하기 위한 실험으로 사용한 공작기계는 생산형의 머시닝 센터(TNV 40A) 이다.

AE계측 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 중앙처리장치(CPU : Central Processing Unit)는 1MB를 내장하여, AE 신호 해석을 동시에 8채널 사용이 가능하다.

AE감지기는 PAC사 제품인 R15이며 게인(gain)은 40dB이고 변환자 접촉면은 세라믹으로 되어 있다.

검출되는 AE신호, 문자와 그래프 판독시에 확대 관찰 할수 있고, 신호 검출의 정확성 및 레벨의 순간 확인을 위해서, 이 컴퓨터에 14" 칼라 모니터를 연결장착 사용하였다

절삭 상태를 검출하기 위한 각종 AE 파라미터 (Energy, HITS, CONTS, RMS, Frequency, Time 등)에 대한 관계치를 플로피 디스크에 저장하였으며, 실험시 순간적인 소요 자료와 그래프를 프린터로 인쇄

하였으며, 엔드밀의 마멸량을 측정하기 위해서 공구현미경을 사용하여 마멸상태를 관찰 및 측정을 하였다.

AE신호 측정시 사용된 측정 장치와 센서(Sensor) 부착 위치에 대한 관련 사진 및 구성도를 Photo 1 및 Fig. 1에 각각 나타내었다.

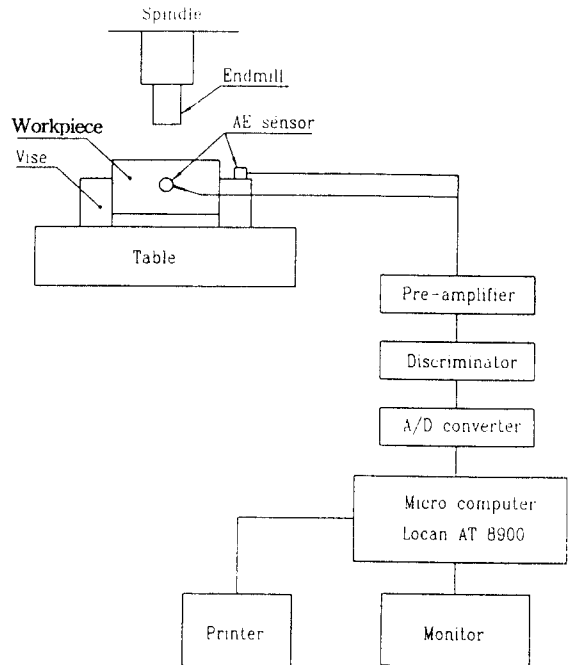


Fig. 1 The schematic diagram of the experimental apparatus.

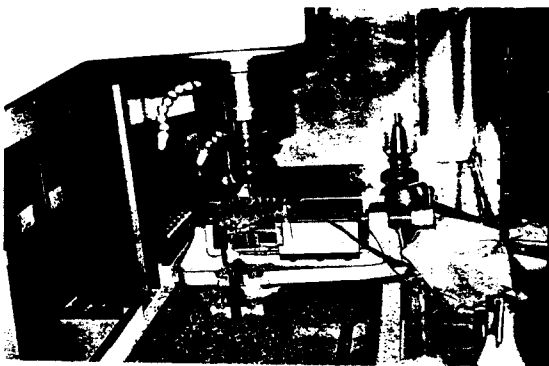


Photo 1 Location of the AE sensor

이 실험에 사용한 시편은 스텐레스강(STS304)으로, 절삭시 AE신호의 정확한 채취를 위해 육면의 표피를 절삭하여 균일화하였으며 시편의 크기는 40x100x100mm로 가공하였고, 엔드밀은 SKH59, ϕ 10, 비틀림 2날을 사용하였다.

AE감지기는 AE발생원에 근접할 수 있도록 Fig. 1 같이 양측부착하여 AE감지기로 검출한 신호는 예비증폭기(Pre-amplifier)에 의해 20dB로 증폭시켰으며, 내장된 밴드 패스 필터를 거치면서 100kHz 이상의 영역에 있는 신호만을 검출하고 외부로부터의 진동이나 소음 등에 기인하는 잡음을 제거하였다.

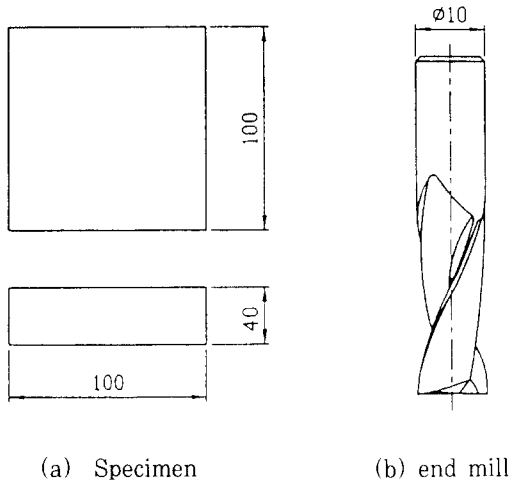


Fig. 2 Features of the specimen and tool.

절삭속도는 일반적으로 사용하는 범위 (20~25m/min)에서^[10] 22m/min, 25m/min를 선택하였고, 이 영역을 벗어나는 속도로는 3m/min차이를 둔 19m/min, 28m/min를 택하였으며, 엔드밀의 1날당 이송량은 0.05mm/tooth, 0.1mm/tooth, 0.15mm/tooth로 하였다.

또한 절삭깊이는 1mm, 3mm, 5mm까지의 각 항목을 단계별로 실험하였으며, AE신호를 가급적 억제하고, 절삭시간을 짧게 하였으며, 각 조건에 대한 자료를 얻기 위해, 절삭 도중에 공구날 끝에 나타나는 마멸량을 공구 현미경(×5배율)으로 측정하였다.

마멸량의 크기는 일반적으로 적용하는 여유면에서의 마멸량인 V_B 로 KSB0813에서 추천하는 0.2mm를 공구 수명 판정 기준으로 하였으나, 신호의 변화를 알기 위하여 0.3mm까지도 실험하였으며, 측정시기는 각각의 절삭조건에서 일정 시간을 절삭한 후 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

절삭속도에 따른 실효치전압의 변화를 알기위하여 공구 메이커가 추천하는 절삭깊이 1mm, 1날당 이송량은 0.1mm로 하였으며, 절삭속도는 공구 메이커가 제시한^[10] 20 - 25m/min에서 3m/min의 차를 둔 19, 22,

25, 28m/min를 3회씩 반복 실험 하였다.

Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 절삭속도가 증가하면서 실효치 전압도 비례적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 3회 반복한 실험결과, 실효치전압의 값은 매회 약간 차이는 있었으나 거의 유사한 값을 나타내고 있다.

실효치 전압의 값이 매회 틀린 것은 밀링 바이스에 공작물을 고정하는데 문제가 있거나, 엔드밀의 정확한 고정 여부, 단속절삭에 의한 충격에서 오는 차이가 있는 것으로 예측할 수 있다.

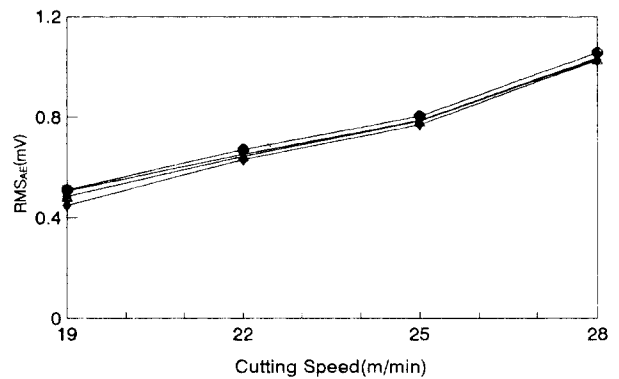


Fig. 3 RMSAE versus cutting speed at the same cutting conditions (depth of cut 1mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting time 10min)

Fig. 4는 실효치 전압의 변화를 알기 위하여 절삭깊이 1.0mm, 이송량을 0.05, 0.1, 0.15mm/tooth로 변화시켜 가며, 절삭속도는 추천된^[10] 20~25m/min외에 19, 28m/min를 추가하여 폭 넓게 실험했을 때의 결과이다.

그림에서 1날당 이송량이 0.05, 0.1mm에서의 절삭속도 실효치 전압은 비슷하게 변화하고 있으나 크기 19, 28m/min에서는 큰 차가 있음을 알 수 있고 0.15mm에서는 더욱 큰 폭으로 증가되고 있음을 알 수 있다. 따라서 실효치 전압과 이송량과의 관계에서 이송량이 커질수록 실효치 전압이 증가하는 상관관계가 있음을 알 수 있다.

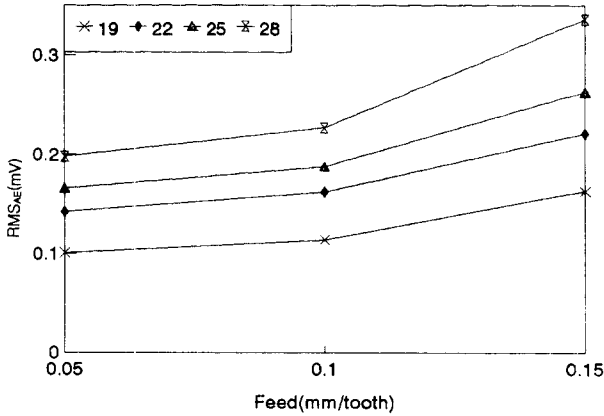


Fig. 4 RMSAE versus feed rate at the various cutting speeds (depth of cut 1.0mm, cutting length 200mm, cutting speed 19, 22, 25, 28m/min)

Fig. 5는 이송량을 0.1mm/tooth로 일정하게 하고, 절삭속도는 공구 메이커가 제시한^[10] 20 - 25m/min외에 3m/min의 차를 둔 19, 28m/min까지의 절삭범위로 하였을 때, 절삭깊이 변화에 대한 실효치 전압의

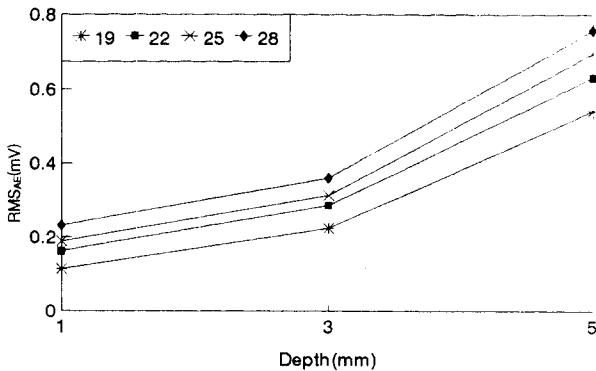


Fig. 5 RMSAE versus cutting depth at the same cutting conditions (cutting length 200mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting speed 19, 22, 25, 28m/min)

크기를 나타낸 것이다.

절삭깊이가 커지면서 실효치 전압은 급격히 상승하는데, 이는 절삭깊이의 증가에 따라 공구마멸 또한 크게 증가하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 6은 절삭깊이 1mm, 1날당 이송량을 0.1mm로 하여 실험했을 때 마모량 및 가공시간에 대한 AE-HIT수의 관계를 나타낸 것이다.

22m/min은 공구마멸이 0.215mm부근에서, AE-HIT수 1,585로 크게 상승하는 변화를 보이고 있다. 절삭속도 25m/min은 공구 마멸 0.163mm부근에서 AE-HIT수가 1,032로 크게 상승하였을 뿐만 아니라, 0.175mm 부근을 넘어서는 상승과 하강을 반복하며 공구 인선이 심하게 마멸되어 절삭 불능점이 되었음을 알 수 있다.

절삭속도 28m/min은 공구마멸 0.169mm부근에서 AE-HIT는 1,105으로 높아졌고, 공구마멸 0.263mm 부근에서는 무려 1,895까지 상승한 후 하강되며, 공구는 절삭불능 상태에 도달한 것으로 보인다.

전체적으로 절삭속도가 커질수록 AE신호는 비교적 크게 나타나고 있으며 공구 마멸량이 0.2mm부근에 도달하면 AE신호가 불안정해짐을 알 수 있다. 따라서 공구 마멸의 기준점으로 추천되는 $V_B = 0.2mm$ 를 전후하여 AE-HIT수가 불안정해지는 것은 이 시기가 공구 교환의 적절한 시기임을 보여주는 것으로 해석하였다.

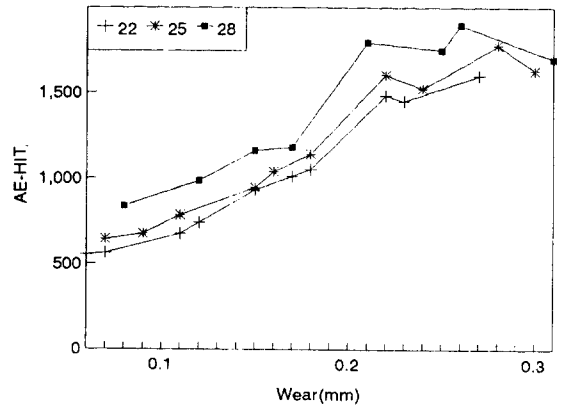


Fig. 6 AE-HIT versus wear at the various conditions (depth of cut 1.0mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting speed 22, 25, 28m/min)

Fig. 7은 절삭깊이 1mm, 1날당 이송량을 0.1mm로 일정하게 유지하고, 각 절삭속도의 공구 마멸에 따른 실효치 전압과 변화의 관계이다.

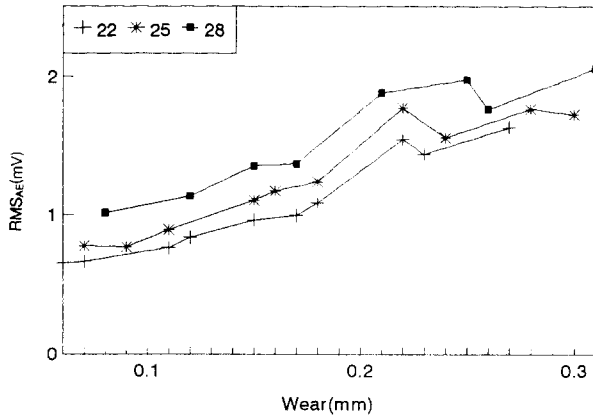


Fig. 7 RMSAE versus wear at the various conditions(depth of cut 1.0mm, feed rate 0.1mm/tooth, cutting speed 22, 25, 28m/min)

Fig. 7에서 알 수 있듯이 마멸이 진행됨에 따라 실효치 전압이 상승하는 경향을 보여주고 있으며, 여유면 마멸이 KSB0813에서 규정하고 있는 0.2mm부근에서 실효치 전압의 상승과 하락이 급격한 변화를 보이며, 불규칙적인 상승과 하강을 반복한다. 이는 공구 인선의 마멸이 증가하면서 마찰면의 접촉이 커지고, 다시 마찰압력의 증가로 날 끝은 파괴되어 실효치 전압의 상승과 하강이 반복되며, 그 진폭이 커지는 것으로 보인다.

즉 공구마멸은 0.2mm부근에 도달할 때까지는 점진적인 증가를 보여왔으나 이 영역을 벗어나면서 실효치 전압은 급상승과 급강하가 시작되어, 그 반복의 주기가 빨라지고, 커지므로, 이 시기를 공구 교환의 적기로 판단하였다.

5. 결 론

이 연구 논문은 무인자동화를 위한 생산라인에서 공구 마멸과 파손에 따른 공구교환시기 결정에 AE신호의 이용 가능성을 검토한 것으로서, 다음과 같은 결과를 얻었

다.

1. 실효치전압은 절삭속도 증가에 따라 증가하고, 같은 절삭조건에서는 이송 속도 보다 절삭깊이에 따라 변화가 크다.
2. 피삭재의 전단응력과 절삭공구 및 칩사이의 접촉면적이 일정하다고 할 때, 에너지 소비율은 절삭 속도에 비례한다.
3. 스텐레스강(STS304)에서 여유면 마멸량이 0.21mm 부근을 넘으면서 실효치 전압은 급격히 상승되었고, AE-HIT도 같은 경향을 나타내었다.

이와 같이 AE 신호는 난삭재에서도 공구마멸이 커지거나 파손이 생기면서 그 진폭과 카운터수는 큰 변화를 가져오고 있음을 볼수 있다. 따라서 작업중 공구의 이상 상태에 대한 AE감시의 가능성을 난삭재에서도 제시할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이병찬, "밀링 加工時 發生하는 工具 磨減과 AE 信號에 관한 研究", Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1987, pp. 4-50.
- [2] 方泰丰, "AE 信號에 대한 Kurtosis 와 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, pp. 1-50.
- [3] E. K. Asibu Jr., "Acoustic Emission Sensing of tool wear Metal Cutting", General Motors Institute, 1980, pp. 55-59.
- [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., 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 Acoustic 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, 青山 藤詞郎, 酒井 勝, 萩屋雄

- 一, "アコース テイシ クミ シシヨンによるトソル 析損のチンプロセス 検出", 日本 機械 學會 論文集(C 卷)51卷, 472號, 1984, pp. 3322-3328.
- [8] Elijah K. Asibu Jr., Dasvid A. Dornfeld, "Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting", Trans. ASME, Vol.103, 1981, pp. 330-340.
- [9] David A. Dornfeld and Elijah Kannatey-Asibu Jr., "Acoustic Emission During Orthogonal Metal Cutting", Int.J.Mech.Sci. Vol.22, 1986, pp. 285-296.
- [10] (주)양지원공구, 종합CATALOGUE, 1995, pp. 254-273.
- [11] 狩野勝吉, "難削材の切削加工技術," 日本 工業調査會, 1989, pp. 155-169.
- [12] 이성규 외 4인 편, 특수강, 한국특수강(주), 1978, pp. 175-282.