

<論 文>

2次元 切削時 發生하는 AE 에 관한 研究

康 明 順* · 崔 聖 周** · 朴 炫**

(1986年 7月 29日 接受)

A Study on the Investigation of AE During Orthogonal Metal Cutting

Myung Soon Kang, Seong Joo Choi and Hyun Park

Key Words: Acoustic Emission(음향방출), Cutting Parameter(절삭변수), Root Mean Square Voltage(실효치 전압), Orthogonal Cutting(2차원 절삭)

Abstract

This study reviewed the theory of acoustic emission applying generation of acoustic emission in metal cutting and proposed a relationship between fundamental cutting parameters and the root mean square(RMS) voltage of the acoustic emission on the basis of the mechanics of the orthogonal cutting operation.

Experimental results are presented for 6063-T5 Aluminum and the validity of this relationship is evaluated by a series of tests varying cutting speed, feed rate and rake angle in orthogonal cutting. The original formula derived theoretically has been modified in order to utilize independent of fundamental cutting parameters.

RMS voltage of acoustic emission depends on cutting speed and strain rate, but it is not much affected by feed rate. Applying lubricant, the drop of RMS level has been observed.

기 호 설 명

b	: Buggers' vector 의 크기	\bar{S}	: 평균 전위속도
C, C_1, C_2, C_3, C_4	: 비례상수	T_1	: 절삭 깊이
d	: 절삭폭	T_2	: 칩두께
E	: 방출 신호의 에너지	t	: 시간
k	: 최대전단응력	U	: 변형영역
l	: 전위 사이의 평균거리	V_s	: 전단속도
RMS	: 실효치전압	V_w	: 절삭속도
r_c	: 절삭비	α	: 윗면 경사각
		β	: 마찰각
		γ	: 전단 변형율
		$\dot{\gamma}$: 변형율 속도
		$\dot{\gamma}_{av}$: 평균 변형율 속도

* 正會員, 漢陽大學校 工科學 精密機械工學科

** 正會員, 漢陽大學校 大學院

As	: 전단면 변형
ΔT	: 시간 간격
Δy	: 전단영역 두께
ρ	: 전위밀도
ϕ	: 전단각
τ_s	: 전단응력

1. 序 論

機械生産 시스템의 無人化 및 완전한 自動化를 위하여 작업을 最適化할 수 있는 적당한 制御技術의 必要性이 날로 증가되고 있다. 機械加工의 대부분을 차지하고 있는 각종 절삭가공은 가공의 機構가 복잡하고 불확정한 요인을 내재하고 있으며 또한 공구의 마멸이나 파손은 피할 수 없기 때문에 특히 인프로세스(in-process) 상태감시가 강력히 요구된다. 切削過程의 출력파라미터로는 절삭속도, 칩두께, 절삭력, 표면거칠기, 공구마멸 등이 포함되며 이들을 측정할 수 있는 방법은 直接的인 방법과 間接的인 방법으로 대별할 수 있다. 직접측정의 방법으로는 光學, 電氣抵抗, 放射能 및 공기압기술 등이 사용되는데 이 방법들은 정확성은 있으나 비용이 많이 들어 실용성이 없으며 간접측정의 방법으로는 切削力, chatter, 온도, 시스템에너지 등이 사용되는데 이 방법들은 信賴性和 迅速性에 있어서 충분하지 못한 상태이다. 이러한 기술들 중의 일부는 어떤 절삭작업에 대해서는 매우 성공적으로 사용되어져 왔으나 칩과 공구 그리고 공구열면등을 동시에 감시할 수는 없고 또 간편하게 사용할 수 없으므로 어떤 방법도 모든 작업에 보편적으로 사용할 수 없었다^{1,2}. AE (Acoustic Emission)의 測定은 AE가 공작기계나 공구, 피삭재 등의 動特性에 좌우되지 않고 통상의 振動 騒音의 영향을 받지 않으며 切削파라미터들이 직접 관계되는 영역에서 발생한다는 큰 특징을 가지고 있다. 따라서 AE가 金屬切削狀態의 관찰 및 공구의 마멸 또는 손상의 검출에 대한 대안으로서 제시되었으며 AE 測定에 의한 방법이 유효하다는 것이 여러 연구자들에 의하여 보고되고 있다. Moriawaki^{3,4} 등은 절삭중 공구 손상에 동반하여 발생하는 AE 신호의 定量的인 검토를 위한 공구의 3점굽힘시험과 切削시험에서 工具破壞시에 검출되는 AE 신호와 공구마멸에 의한 AE 신호에 대하여 검토한 결과를 보고하고 있다. 즉 공구의 破斷面積의 증가와 함께 AE 신호의 레벨(level)이 증가하며 공구마멸의 증가에 따라 AE 평균신호가 증가한다는 것을 밝혔다. Inasaki^{5,6} 등은 全波整流 후에

Low Pass Filter를 거친 AE 신호 진폭레벨에 주목하여 공구의 측면마멸 측정 및 파손의 검출을 한 결과 공구의 손상에 앞서서 발생하는 균열에 대해서도 충분히 인프로세스검출이 가능하다는 것을 보고하고 AE 신호를 이용하여 드릴손상의 예지를 위한 시험을 하여 이 방법이 매우 신뢰성이 높다는 것을 밝히고 있다. Dornfeld⁷는 全屬過程을 온라인(on-line)으로 감시하는데 AE법을 적용하기 위하여 작업중 기본변형기구, 가능한 AE 발생원, AE 기구에 관계되는 결합들에 대하여 광범위하게 조사하였으며, Dornfeld와 Asibu⁸는 저탄소강을 2차원 절삭하여 절삭속도, 변형률속도가 AE 신호의 RMS 값에 강한 의존성이 있는 것을 보고하고 절삭과정의 파라미터들의 변화는 AE 신호의 변화에 상관관계가 있음을 보였다. 지금까지의 연구들은 주로 공구의 마멸 또는 파손의 검출을 위한 실험적인 연구에 치우쳐 왔으나 본 연구는 에너지 법칙(energy principle)에 기초한 AE RMS 값과 절삭 파라미터들 사이의 해석적인 관계를 구하기 위하여 Lee와 Shaffer의 미끄럼선장 영역을 변형되는 부피로 가정하여 이론적인 식을 제시하였으며 AI의 2차원 절삭시험을 통하여 이 관계가 절삭과정의 감시에 유용하리라는 것을 확인하였다.

2. AE에 대한 理論的 考察

AE(Acoustic Emission)란 固體材料의 變形이나 破壞에 의한 彈性에너지의 급격한 방출의 결과로 나타나는 彈性應力波이며 信號의 周波數는 100 kHz~1 MHz의 超音波領域이다. 일반적인 AE의 發生原因은 材料內의 局部的인 過度한 不安定性이라고 볼 수 있으며 物質系는 극부적으로 불안정한 조건하에 있으면 全體가 불안정한 상태로 되기 전에 에너지가 가장 낮은 상태로 진행하려고 한다. 이러한 상태는 雙晶, 粒界의 미끄러짐, Lüders line, 龜裂의 傳播 또는 轉位運動과 같은 극부적인 動的運動을 초래하며 따라서 재료의 내부구조가 변화되어 塑性變形을 일으키게 된다⁹. 이 중에서도 轉位の 운동은 대부분의 결정재료에 있어서 塑性變形의 가장 중요한 機構이며 재료의 微視的 構造에 크게 의존한다. AE는 전파되는 經路에 구조상의 결합이 있으면 散亂되고 진행경로를 따라서 媒質의 변화에 의한 屈折과 경계면에서의 多重反射 등에 의하여 상당한 변형을 일으킨다. 이런 모든 요소들은 파의 振幅弱화, 相의 변화, 屈折 및 反射 등을 통하여 原波形을 상당히 변화시키므로 마지막 파형은 무질서하게 나타

나서 파의 發生原에 대한 확인은 어려운 과제이다. 발생된 AE 신호는 變換子(주로 Piezo Electric Ceramic Element)로써 검출되는데 應力波에 의하여 자극이 되면 변환자는 기계적인 勵起를 일으켜 전기적인 신호로 변환시킨다. 이 신호는 增幅되어 해석하려는 AE 特性 파라미터에 따라 여러가지 解釋裝置 또는 記錄裝置에 전달된다. AE는 크게 두가지의 類型으로 구분할 수 있는데 미끄럼선 形成 및 表面 微小龜裂 등과 관련이 있는 다소 산만한 高振幅 低周波 형태의 突發形과 轉位運動 등 내부 變形機構에 의한 持續的인 低振幅 高周波 형태의 連續形이 있다. 보통 금속절삭 중에 나타나는 AE 신호는 連續形 AE의 신호가 우세하므로 이때의 AE 신호는 連續形이라고 가정할 수 있으며 이는 AE 신호가 비슷한 振幅들의 방출신호들 사이의 平均時間이 방출된 AE 신호의 持續時間보다 작거나 같은 特性을 가짐을 의미한다. AE 신호는 非周期的이고 여러 周波數를 포함하므로 명백한 수학적인 관계들을 유도하기는 어렵다⁽¹⁰⁾. 이 AE 신호를 定量的으로 나타내는 기본적인 방법중의 하나는 AE 신호의 에너지를 측정하는 것이며 연속형 AE를 발생시키는 금속절삭에 관한 해석을 하기 위하여도 신호의 에너지양을 측정하는 것이 가장 적당한 방법이고 이 에너지 양의 편리한 측정은 신호의 RMS(Root Mean Square) 값이다. 數學的으로 RMS는 어떤 周期에 대하여 신호의 제곱평균의 제곱근이다. 즉,

$$RMS = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1a)$$

物理的으로 AC 신호의 RMS 값은 DC에서의 等價熱容量이다. 즉, AC 신호가 저항에서 열을 발생시킬 때 같은 열을 발생시키는 DC 전압은 AC 신호의 RMS 값과 같다. 측정된 신호로부터 쉽게 여과될 수 없는 상당한 양의 background noise를 가진계에 대하여 실제신호의 RMS 값은 다음 관계를 이용하여 계산된다.

$$RMS = [RMS_r^2 - RMS_n^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1b)$$

여기서, RMS_r : 측정된 신호의 RMS

RMS_n : background noise의 RMS

따라서 신호의 에너지율은

$$\frac{dE}{dt} \propto (RMS)^2 \quad (2)$$

이며, RMS 값의 정의로부터 방출된 신호의 에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta E \propto (RMS)^2 \Delta t \quad (3)$$

3. 金屬切削過程의 研究

3.1 2次元 切削

기본적인 2次元切削過程은 Fig. 1과 같이 圖式的으로 나타낼 수 있으며 平面이라고 가정한 工具의 윗면과 옆면과의 교차에 의하여 형성된 공구의 날끝이 工具의 이동방향에 垂直이면 그 切削過程은 2次元 切削이라고 부른다. 여기서는 剪斷變形에 의하여 BUE(Built-up edge)가 없는 연속칩이 형성된다고 가정하며 이 剪斷作用의 위치는 절삭되지 않는 표면과 칩의 교차점으로 부터 공구날끝 까지 이르는 Fig. 1의 직선으로 규정한다. 이 때 공구, 칩, 전단면 사이의 속도 관계는 Fig. 2와 같다.

칩의 폭이 두께에 비하여 매우 크면 공구의 날 끝에 수직인 칩을 통하여 얻은 어떠한 단면에서도 均일응력 분포라고 가정할 수 있고 그 과정은 平面變形으로 해석할 수 있다. 칩두께비 $r_c = T_1/T_2$ 일 때 剪斷角 ϕ 는 幾何學的 관계에서

$$\phi = \tan^{-1} \frac{r_c \cos \alpha}{1 - r_c \sin \alpha} \quad (4)$$

로 구해진다.

3.2 剪斷變形率과 變形率速度

전단변형에 의한 칩의 형성과 칩이 공구윗면을 따라서 위로 올라가는 모양은 바로 경사지게 쌓아 놓은 카

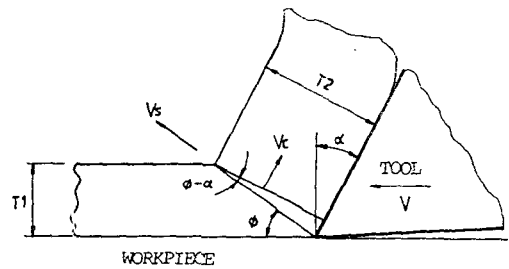


Fig. 1 Schematic of orthogonal cutting

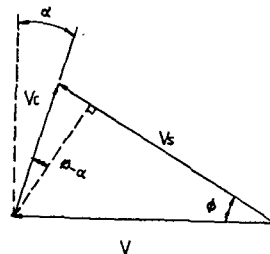
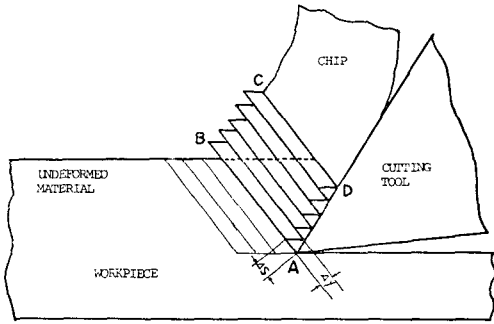
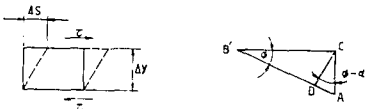


Fig. 2 Kinematics of cutting process



(a) The process of shearing of the undeformed material



(b) Shear strain in general

Fig. 3 Determination of shear strain in orthogonal cutting

아드름 Fig. 3(a)와 같이 밀 때 미끄러져 올라가는 것과 같다고 가정한다. 절삭시 전단면에서의 전단변형률 r 은 Fig. 3(b)를 참조하여 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$r = \frac{\Delta s}{\Delta y} = \frac{AD}{CD} + \frac{DB'}{CD} = \tan(\phi - \alpha) + \cot\phi \quad (5)$$

剪斷面을 따라서 거리 Δs 만큼 움직이는 시간을 Δt 로 간주하면 剪斷變形率 速度 $\dot{\gamma}$ 는

$$\dot{\gamma} = \frac{\Delta s}{\Delta y} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{V_s}{\Delta y} \quad (6)$$

여기서 전단면을 따르는 전단속도 V_s 는

$$V_s = \frac{\cos\alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \cdot V_w \quad (7)$$

이다. 식 (6)과 (7)로부터

$$\dot{\gamma} = \frac{\cos\alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \cdot \frac{V_w}{\Delta y} \quad (8)$$

또한

$$r_c = \frac{\sin\phi}{\cos(\phi - \alpha)} \text{일 때}$$

변형률 속도는

$$\dot{\gamma} = \frac{r_c \cos\alpha}{\sin\phi} \cdot \frac{V_w}{\Delta y} \quad (9)$$

와 같이 표시된다.

3.3 切削過程과 AE사이의 理論的 關係

AE의 에너지량과 消費되는 에너지율은 변형률속도, 가해진 應力, 절삭된 재료의 부피등에 크게 의존한다.

따라서 위의 파라미터들이 한개 또는 그 이상이 AE 신호에 직접적으로 관련되면 AE 신호의 변화는 절삭 과정의 파라미터들의 변화와 相關關係를 갖는다. 이 AE 신호는 절삭의 기본적인 파라미터들 즉, 윗면경사각, 절삭속도, 절삭깊이등의 函數이다. 식 (9)로부터 변형률속도는 절삭속도의 함수이며 또한 轉位發生率과 순간적인 전위밀도의 함수이다. 剪斷變形은 전위들 사이의 평균거리 l 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$\gamma = b\rho l \quad (10)$$

변형률속도 $\dot{\gamma}$ 는

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = bl \frac{d\rho}{dt} + b\rho \frac{dl}{dt} \quad (11)$$

이다. 전위밀도는 單位面積에 대하여 정의되므로 $\rho = 1/l^2$ 또는 $l = \rho^{-1/2}$ 을 이용하여

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{2} b\rho^{-1/2} \frac{d\rho}{dt} \quad (12)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

또 전위발생율 $\dot{\rho}$ 는

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{2\dot{\gamma}}{b} \rho^{3/2} \quad (13)$$

이다. 여기서 고정되어 있는 전위의 효과와 충돌에 의한 전위운동량의 상실은 고려되지 않았다. 그래서 식 (13)은 移動轉位の 均일한 排列에 대하여 전위발생율을 평가하며 이 발생율(즉, AE強度의 레벨)은 金屬切削시 의적으로 영향을 주는 변형률 속도에 비례한다. 金屬切削에서 평균변형률속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다. (15)

$$\dot{\gamma}_{av} = b\rho\bar{S} \quad (14)$$

전위발생에 기인한 단위부피당 에너지 발생율은

$$\dot{E} = \tau_s \dot{\gamma}_{av} \quad (15)$$

로 표시되므로 변형되는 재료의 전체 부피에 대한 신호의 에너지는 식 (3)과 식 (15)에 의하여 다음과 같이 변형특성과 관계를 이룰 수 있다.

$$\langle RMS \rangle^2_{oc} \frac{dE}{dt} = \int_v \tau_s \dot{\gamma}_{av} dU \quad (16)$$

전단강도 $\tau_s = k$, 변형률속도 $\dot{\gamma}$ 인 재료에 대하여 식 (16)은

$$\langle RMS \rangle^2 = C_1 k \dot{\gamma} U \quad (17)$$

과 같이 된다. 식 (17)에 식 (9)를 대입하면

$$\langle RMS \rangle^2 = C_1 k \frac{r_c \cos\alpha}{\sin\phi} \frac{V_w}{\Delta y} U$$

$$RMS = C_2 \left[k \frac{r_c \cos\alpha}{\sin\phi} \frac{V_w}{\Delta y} U \right]^{1/2} \quad (18)$$

본 연구에서는 변형되는 부피 U 의 적당한 假定領域으로 Lee와 Shaffer가 제안한 BUE가 없는 2次元切削에 대한 미끄럼선장의 부피를 채택하였다. 이것을

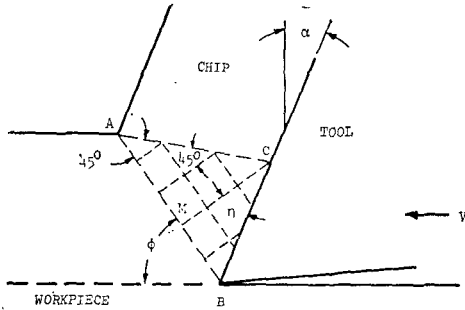


Fig. 4 The Lee and Shaffer slip line field configuration without a built-up edge

Fig. 4에 나타내었으며 변형영역 ABC의 부피는

$$U = \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{d T_1 T_2}{\sin \phi \cos \beta} \quad (19)$$

로 표시되며 여기서 마찰각 β 는 $\beta = \frac{\pi}{4} + \alpha - \phi$ 이다. 식(18)과 식(19)에 의하여

$$RMS = C_3 \frac{T_1}{\sin \phi} \left[k \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \frac{V_w}{dy} d T_2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

이 구하여 진다.

4. 實驗裝置 및 實驗方法

4.1 實驗裝置

본 실험에 사용된 被削材는 Al6063 T5이며 그 化學的 成分과 機械的 性質은 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

被削材는 2차원 절삭을 하기 위하여 크기(8cm 지름×3mm 두께×15cm 길이)인 튜우브를 사용하였다. 사용한 공구는 고속도강공구(15.78mm square)로 여유각은 10°이며 윗면경사각은 10°, 20°, 30°, 40°의 4종류로 가공하였다. 사용한 선반은 6척 보통선반(화천기공사)이며 AE를 측정하는데 사용된 계통도는 Fig.

Table 1 Chemical Composition of workmaterial (Al-6063 T5) (%)

S	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.2~0.6	0.35	0.10	0.10	0.45~0.9	0.10	0.10	0.10	Rem

Table 2 Mechanical property of specimen (Al-6063 T5)

Yield point(kgf/mm ²)	10.5
Tensile strength(kgf/mm ²)	13.5
Elongation(%)	18

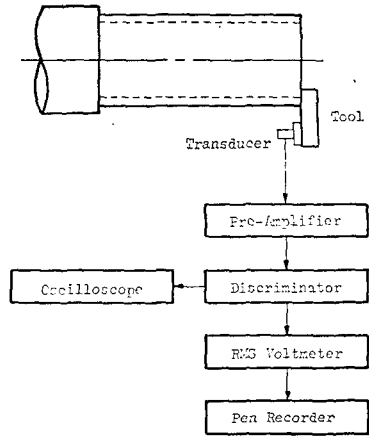


Fig. 5 The schematic diagram of experimental apparatus

5에 나타내었다.

4.2 實驗方法

절삭시 체터 및 진동을 방지하기 위하여 공구의 오버행 길이를 가능한 짧게 하고 시편의 길이는 최대 길이 일 때 15cm로 하였으며 칩에 물리는 쪽 튜우브의 안에 바깥지름이 튜우브의 안지름과 같은 높이 30mm의 원판형 실린더를 끼워맞춰 칩으로 튜우브를 고정시킬 때 튜우브에 변형이 일어나지 않도록 하였다. 공구를 통하여 전달되는 신호를 효율적으로 측정하기 위하여 공구와 변환자 사이에 couplant로서 머시닝오일을 사용하였으며 변환자(AE905 A NF Circuit Co.)의 부착 위치는 공구의 끝에서 부터 10cm 떨어진 공구의 측면에 마그네틱홀더(AE991 M)로 고정시켰다. 절삭조건은 이송속도 0.103(mm/rev), 절삭속도 53.88~178.14(m/min), 윗면경사각 10°, 20°, 30°, 40°로 하여 절삭실험을 하였다. 본 연구의 절삭조건 범위 내에서는 생성되는 칩이 연속형이므로 이들이 엉켜서 공작물과 공구에 부딪히면 측정되는 AE신호에 매우 큰 영향을 미치게 되는데 이를 방지하기 위하여 칩이 공구의 바깥쪽으로 안정되게 빠져나가도록 안내하였으며 윤활제의 사용 유무에 대하여도 조사하였다. 절삭중 발생될 수 있는 BUE에 의한 AE신호의 변화를 방지하기 위하여 각 절삭조건 마다 안정된 RMS신호가 얻어질 때까지 되도록 절삭시간을 짧게하였고 공구마멸에 의한 영향을 배제하기 위하여는 절삭조건이 바뀔 때 마다 공구날끝 부분을 확대경으로 조사하여 공구날끝이 날카롭게 유지되도록 하였다. 절삭후에는 칩을

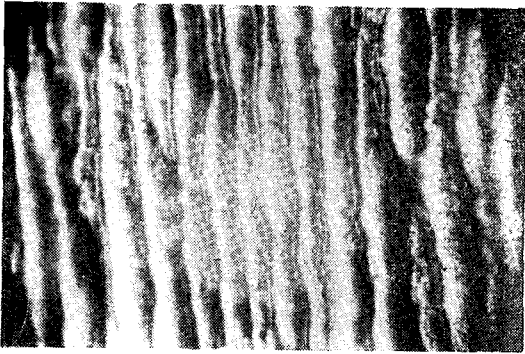


Fig. 6 Magnified shape of chip card ($\times 10$) rake angle 20° , feed rate 0.103 mm/rev , cutting speed 61.56 m/min

수거하여 공구현미경(SMZ-50 B, UNION)으로 전단영역 두께를 측정하였으며 10 배로 확대한 사진을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 전단영역 두께가 균일하지는 않기 때문에 측정치의 평균값을 구하여 전단영역 두께로 하였는데 이것은 실제로 공구면에 평행한 방향의 두께이므로 Δy 는 다음식에 의하여 계산된다.

$$\Delta y = \Delta y_n \cos(\phi - \alpha) \tag{21}$$

여기서, Δy_n 은 측정된 전단영역 두께이다.

변환자(주파수 범위 1 MHz의 광대역형)를 통하여 얻어지는 신호는 전치증폭기(AE-911)에서 20 dB 증폭되고 Discriminator(AE-921)에서 40 dB 증폭되며, 100 kHz~1 MHz의 band pass filter를 통하여 외부로 부

터의 진동 및 소음에 의한 잡음을 제거하였다. 시험중 AE 신호의 原波形을 감시하기 위하여 오실로스코프(Model No. 468 Tektronix Inc.)를 사용하였고 증폭된 신호는 RMS Voltmeter(M 170 NF Circuti Co.)를 통하여 기록계(RIKADENKI R-10 Series 9 Channel CO-GYO Co.)에 기록되었다.

5. 結果 및 考察

일정한 이송속도에 대하여 2次元切削에서의 입력파라미터들은 윗면경사각, 절삭속도 및 피삭재의 재질등이다. 식(9)와 식(18)에 의하여 계산된 변형률 속도와 측정된 AE RMS 값 사이의 관계가 Fig. 7에서 나타나는데 변형률 속도가 증가하면 RMS 값도 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 변형률속도는 절삭속도의 영향을 받으므로 절삭속도에 따라 RMS 값이 변할 것으로 예상되는데 서로 다른 윗면경사각에 따라 절삭속도에 대한 RMS 값을 圖示하면 절삭속도에 대한 비례관계가 Fig. 8과 같이 나타난다. 절삭속도가 증가함에 따라 RMS 값의 증가가 관찰되며 또한 윗면경사각이 커짐에 따라서도 RMS 값이 증가하는 것을 알 수 있는데 윗면경사각이 커짐에 따라 변형률속도가 증가하는데 기인한다. Fig. 9는 일정한 절삭속도에 대하여 이송속도만을 변화시켜 RMS 값과의 관계를 조사하였는데 이송속도의 증가에 따라 RMS 값이 거의 일정한 레벨을 유지하므로 RMS 값은 이송속도에는 큰

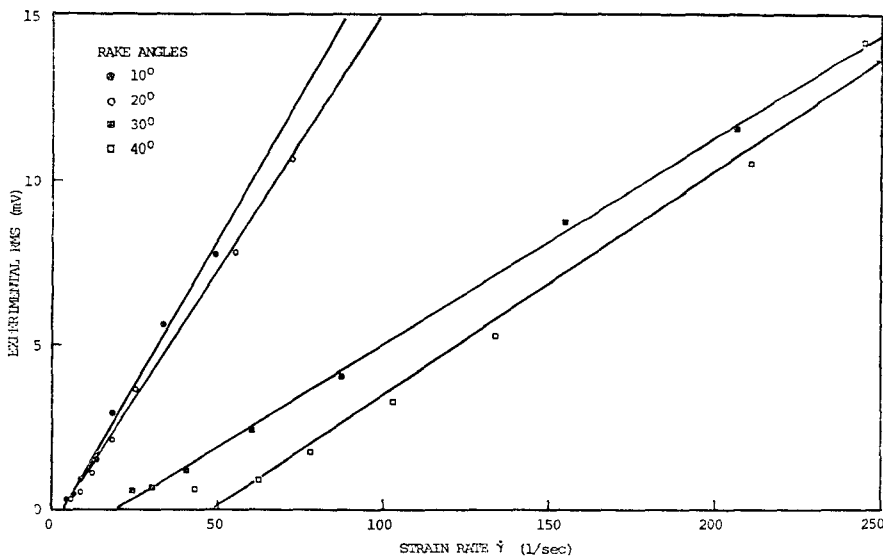


Fig. 7 Experimental RMS versus strain rate for rake angle 10, 20, 30, 40 deg.

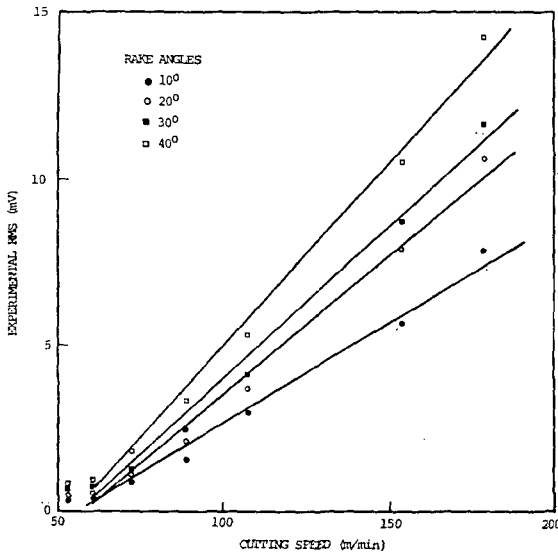


Fig. 8 Experimental RMS versus cutting speed for 6063 T 5 Aluminum

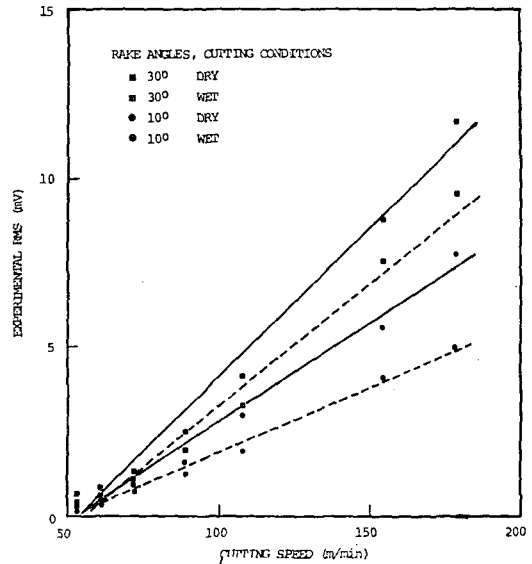


Fig. 10 Experimental RMS versus cutting speed for the comparison of cutting in dry state to cutting in lubricating state, 0.103 mm/rev feed

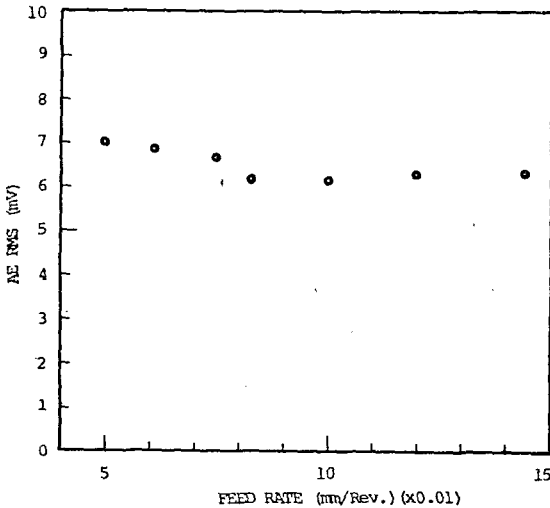


Fig. 9 AE RMS versus feed rate rake angle 20°, cutting speed 153.9 m/min

영향을 받지 않는다고 말할 수 있으며 이것은 Inasaki 등의 실험결과와도 일치하고 있다⁽⁵⁾.

潤滑의 效果는 칩과 공구의 接觸域의 親化를 감소시켜 BUE의 발생과 2차 변형을 감소시킨다고 알려져 있다. 이는 칩과 공구 사이의 접촉면에서 摩擦의 감소를 가져오고 칩을 형성하는데 필요한 힘을 감소시킨다. 이러한 효과는 AE 발생에도 영향을 미치는데 윤활

제를 사용하지 않았을 때와 비교하면 Fig. 10 과 같이 나타난다. 윤활제를 사용하면 RMS 값이 약 10~15% 정도 감소하는 것이 관찰되는데 이것은 칩과 공구 사이의 윤활에 의해 절삭저항이 감소하고 따라서 전단각이 커지므로 AE를 발생하는 영역의 크기가 작아지게 기인한다고 판단된다.

이론 RMS 값을 評價하기 위하여 높은 변형률속도에서 전단응력은 일정하다는 가정과 실험으로부터 얻어지는 절삭 파라미터들을 이용하여 식(18)에서 이론 RMS 값이 구해진다. Fig. 11에서 보여주는 이론 RMS 값은 비례상수 C_2 가 평가되지 않았으므로 그 식으로부터 얻어지는 값들은 절대적인 값은 아니다. 이 상수는 실험장치에 따라 변하기 때문에 이 상수의 평가가 꼭 필요한 것은 아니며 단지 이것은 이론 RMS 값의 擴大 또는 縮小시키는 역할을 한다. 결과적으로 상수의 평가없이 식(18)로 부터 얻어진 상대적인 이론 RMS 값들을 구하여 Fig. 11에 圖示하였으며 절삭속도와 윗면경사각에 이론 RMS 값이 의존하는 것을 알 수 있다.

Fig. 12와 Fig. 13(a)에서 보면 윗면경사각이 증가함에 따라 이론 RMS 값은 감소하는 반면에 실험 RMS 값은 증가하는 것을 알 수 있다. 이론 RMS 값과 실험 RMS 값 사이의 관계를 추정하기 위하여 실험 RMS 값에 대한 이론 RMS 값의 관계를 Fig. 14에 나타내

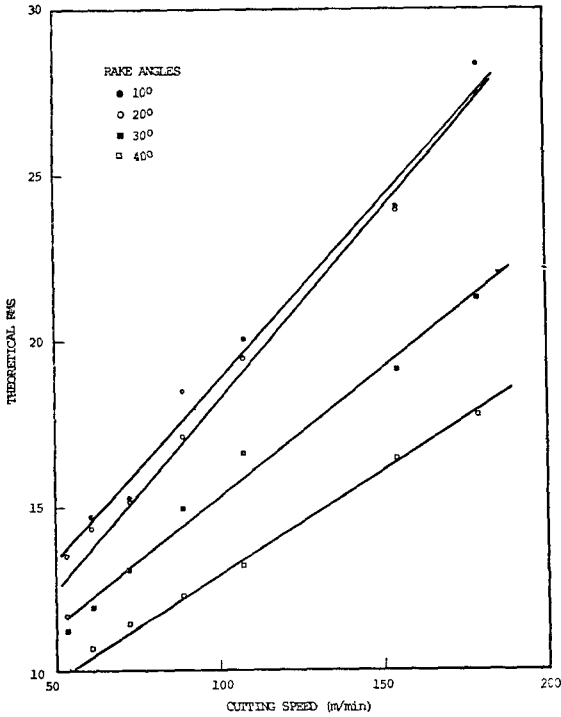


Fig. 11 Theoretical RMS versus cutting speed for rake angles 10, 20, 30, 40 deg.

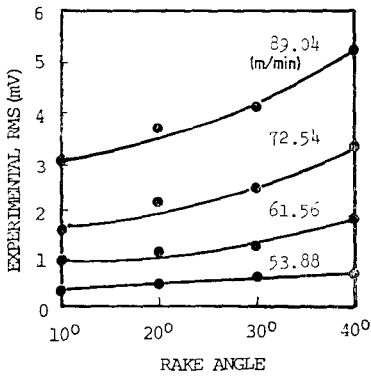
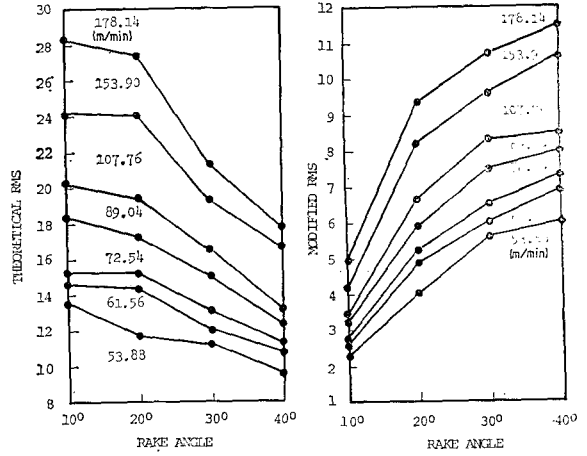


Fig. 12 Experimental RMS versus rake angle for four different cutting speed

었는데 그림에서 알 수 있듯이 윗면경사각에 대하여 의존성이 있으므로 이 관계가 일반적으로 적용될 수는 없으며 식 (18)의 비례상수 C_2 윗면경사각에 從屬되어 있다고 추측된다. 따라서 비례상수 C_2 에 포함되어 있는 윗면경사각 因子는 절삭속도에 대한 RMS 값의 일 변화에 의하여 결정된다.



(a) Theoretical RMS (b) Modified RMS
Fig. 13 RMS versus rake angle for seven different cutting speed

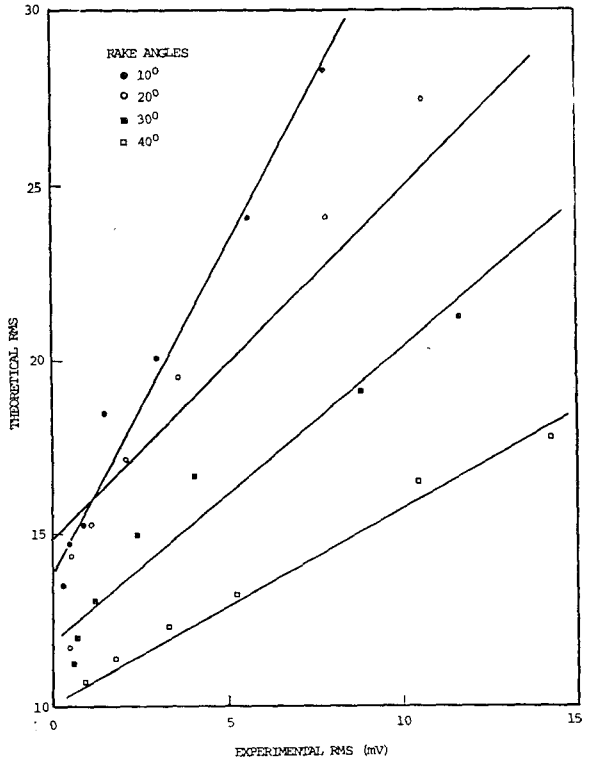


Fig. 14 Theoretical RMS versus experimental RMS for rake angles 10, 20, 30 and 40 deg.

이는 각각의 윗면경사각에 대하여 절삭속도에 대한 실험값의 그래프 기울기를 절삭속도에 대한 이론 RMS

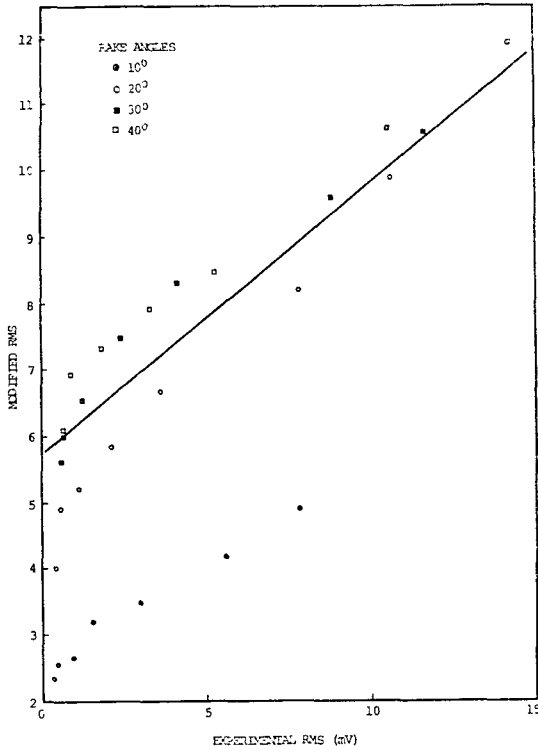


Fig. 15 Modified theoretical RMS versus experimental RMS

RMS 값의 그래프 기울기로 나눔으로써 얻어지며 윗면 경사각의 正弦函數로 구해진다. 처음 유도된 이론식의 비례상수 C_2 를 修訂함으로써 수정된 이론식이 다음과 같이 나타난다.

$$RMS = C \sin \alpha \left[k \frac{r_c \cos \alpha V_w}{\sin \phi \Delta y} U \right]^{\frac{1}{2}}$$

여기서 C 는 실험장치에 의존하는 상수이다.

윗면경사각에 대한 수정된 이론 RMS 값의 그림은 Fig. 13(b)에 나타내었다. Fig. 12와 Fig. 13에서 실험 RMS 값, 이론 RMS 값, 수정된 RMS 값을 비교해 보면 비록 曲率의 모양은 다소 차이가 있다 하더라도 수정된 RMS 값이 실험 RMS 값과 같이 경사각의 증가에 따라 커지는 경향을 보이고 있다. 따라서 수정된 RMS 값과 실험 RMS 값이 윗면경사각에 대하여 비슷한 경향을 만족하는 것을 알 수 있다. Fig. 15는 실험 RMS 값에 대한 수정된 RMS 값의 관계를 나타내며 윗면경사각에 대해 獨立의이고 線形的인 관계를 보여 주는데 낮은 RMS 값과 10°의 윗면경사각에 대해서는 직선에서 벗어나고 있다. 이것은 느린 절삭속도와 작은 윗면경사각으로 인한 BUE의 영향과 칩과 공구 사이의

의 마찰의 영향이라고 추측된다. 윗면경사각이 작으면 윗면경사각이 클 때보다 칩과 공구 사이의 접촉길이 커지며 이 때의 마찰에 의해서도 AE 발생에 영향을 미치게 되는데 윗면경사각에 무관하게 더욱 적합한 식을 얻기 위해서는 마찰의 영향을 고려할 필요성이 있다고 생각된다.

6. 結 論

切削過程의 감시와 切削狀態의 異狀등을 豫知할 수 있는 感知手段으로 AE 신호를 이용하기 위하여 절삭 파라미터들과 AE 신호 사이의 관계가 제시되었으며 實驗에 의하여 이 관계가 評價되었다. 이 관계는 앞으로 AE 신호의 정량적인 해석을 위한 기초를 제공할 것이며 절삭과정의 감시에 AE 신호를 이용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 이 實驗에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 切削速度가 增加함에 따라 RMS 값도 증가한다.
- (2) RMS 값은 變形率速度에 比例한다.
- (3) RMS 값은 이송속도에는 큰 영향을 받지 않는다.
- (4) 潤滑에 의하여 RMS 값이 10~15% 정도 감소한다.
- (5) 理論 RMS 값에 윗면경사각의 $\sin \alpha$ 를 곱하여 수정 하였을 때 실험 RMS 값과 이론 RMS 값의 관계가 윗면경사각에 무관한 상관관계로 얻어지며 수정된 이론식은 다음과 같다.

$$RMS = C \sin \alpha \left[k \frac{r_c \cos \alpha V_w}{\sin \phi \Delta y} U \right]^{\frac{1}{2}}$$

여기서 C 는 실험장치에 의존하는 상수이다.

參 考 文 獻

- (1) Micheletti G.F., Koenig W., and Victor H.R., "In Process Tool Wear Sensors for Cutting Operations," Annals of the CIRP, Vol. 25, pp. 483~496, 1976
- (2) Tlustý J., Andrews G.C., "A Critical Review of Sensors for Unmanned Machining," Annals of the CIRP, Vol. 32, pp. 563~572, 1983
- (3) Moriwaki T., "Application of Acoustic Emission Measurement to Sensing of Wear and Breakage of Cutting Tool, Bull. Japan Soc. of Prec. Eng., pp. 154~160, 1983
- (4) Iwata K. and Moriwaki T., "An Application of Acoustic Emission Measurements to In-Process Se-

- nsing of Tool Wear” Annals of the CIRP, Vol. 26, No. 1, pp. 21~26, 1977
- (5) 三輪祐司, 稻崎一郎, 米津 榮, “アコースティックエミッションによるの工具損傷インプロセス検出” 日本機械學會論文集, 第47巻, 第424號, pp. 1680~1689, 1982
- (6) 小島浩二, 稻崎一郎, 三宅亮一, “Prediction of Twist Drill Breakage with Acoustic Emission Signals” 日本機械學會論文集, 第51巻, 第467號, pp. 1838~1843, 1986
- (7) Dornfeld D., “Acoustic Emission and Metal Working-Survey of Potential and Examples of Application” 8th NAMRC Proceedings, pp. 270~274, 1980
- (8) Dornfeld D. and Kannatey-Asibu E., “Acoustic Emission during orthogonal metal cutting,” Int. J. Mech. Sci. Vol. 22, pp. 285~296, 1979
- (9) Liptai R.G., Harris D.O. and Tatro C.A., “An Introduction to Acoustic Emission,” ASTM505, pp. 3~8, 1972
- (10) Ono K. Stern R. and Long M., “Application of Correlation Analysis to Acoustic Emission,” ASTM 505, pp. 152~163, 1972
- (11) Desai P.V. and Ramalingam S., “On the Rowe-Spick Shear Angle Relations for Orthogonal Machining,” ASME J. of Eng. for Industry, Vol. 103, pp. 79~80, 1981
- (12) Sano K. and Fujimoto K., “Microscopic Aspects of Fracture and Acoustic Emission in Metals,” Fundamentals of Acoustic Emission, pp. 131~164, 1979
- (13) Gills P.P., “Dislocation Motions and Acoustic Emissions,” ASTM 505, pp. 20~29, 1972
- (14) Boothroyd G., “Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools” Chap. 2, McGraw-Hill, London, 1975
- (15) Barrett C.R., Nix W.D. and Tetelman A.S., “The Principles of Engineering Materials,” Prentice-Hall, 1973