

공구마모에 따른 음향방출신호 특성 연구

A Study on the Characteristics of AE Signals by Tool wear

조종래(창원대 대학원), 원종식(창원대 대학원), 정윤교(창원대)

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

Y.G. Jung(Changwon Univ)

ABSTRACT

Automatic monitoring of cutting process is one of the most important technology for increasing the stability and the reliability of unmanned manufacturing system. In this study, basic methods which use the acoustic emission (AE) signals and cutting forces proposed to monitor tool wear (flank wear) quantitatively. First, in order to detect flank wear, it was investigated influence of cutting conditions, that is, cutting velocity, feed and depth of cut, on AE signals (AErms) and cutting forces. Furthermore, the relationship flank wear between AErms and cutting forces were discussed.

Key Words : Acoustic emission(음향방출신호), Cutting Force(절삭저항), flank wear(플랭크마모), Cutting velocity(절삭속도), Feed(이송), depth of cut(절입깊이), AErms

1. 서론

생산시스템의 고능율화를 피하기 위해서는 생산요소에 직접 관여하지 않은 요소를 가능한 배제해야 하지만, 절삭가공을 수행함에 있어 공구마모의 진행은 불가피하기 때문에 공구의 교환은 피할 수 없다. 따라서, 공구교환의 횟수를 최소한 억제하는 것이 중요하며 효과적인 수단이라 할 수 있다.

공구교환을 억제하기 위해서는, 요구되어지는 표면의 품질로서 가공의 계속이 불가능하다고 판단되어질 때까지 공구를 사용할 필요가 있다. 실제의 가공현장에서는 가공면의 증대와 칩수저하등으로 판단하지 않으면 안될 공구수명을 맞이하기 전에 신뢰성의 면에서 안전율을 계산하여 조기에 공구를 교환하여 버리는 경우가 많다. 이러한 문제점을 타파하기 위하여 절삭동력계⁽¹⁻³⁾와 AE 센서⁽⁴⁻⁸⁾를 이용하여 공

구마모 및 공구결손의 감시를 위한 시스템의 개발을 위한 연구가 왕성하지만, 실용화단계에는 아직 접어들지 못하고 있는 실정이다. 그 이유로서는 공구의 마모에 미치는 절삭조건에 대한 정량적 파악의 미비함과, 적절한 공구마모량의 측정기법이 확립되지 않은 것에서 기인되어지는 현상이라 본다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 기초적인 단계로서 AE 센서를 이용하여 선삭가공에 있어서 절삭조건 즉, 절삭속도, 이송 및 절입깊이가 공구마모에 미치는 영향을 검토하여, 공구마모와 AE 신호중에서 AErms의 정량적인 값과의 관계를 규명하려고 노력하였다. 또한, 공구마모와 절삭저항과의 관계를 검토하여 AErms의 거동과 비교함으로써, 양자가 공구마모에 미치는 민감도를 조사하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 주축모터의 소비동력이 7.5kW인 CNC 선반을 사용하였다. AErms는 PAC.사의 광대역형 센서인 WD를 이용하였고, 적절한 치구를 제작하여 공구홀더의 생크에 부착시켜 AEDSP-32/16과 PC를 사용하여 측정하였다. 절삭력(주분력:Fc, 배분력:Ft, 이송분력:Ff)은 Kistler사의 9257B의 압전소자형 공구동력계를 이용하였고, 치구를 제작하여 선반에 부착시켜 A/D Converter와 PC를 사용하여 측정하였다. 공구인선의 마모는 삼원과학산업사의 실체 현미경으로 관찰하였으며, 공작물의 표면 거칠기는 접촉식 표면 거칠기로 측정하였다. 실험에 사용한 공작물은 직경 100mm, 돌출길이 50mm인 STD11를 사용하였다. Fig. 1은 실험장치의 계략도를 보여주고 있다.

본 실험의 실험장치는 Table 1과 같다. 실험방법은 Table 2와 같은 조건으로 CNC 선반의 주축속도를 일정하게 하여 공작물의 외주를 가공하였으며, 절삭량(M)이 약 5, 15, 30, 45, 60, 75, 85, 100 (10³ mm³) 일 때 AErms와 절삭력의 3분력을 획득하였고, 공구인선의 마모를 실체현미경으로 측정하였으며, 동시에 공작물의 표면 거칠기를 측정하였다. 절삭유

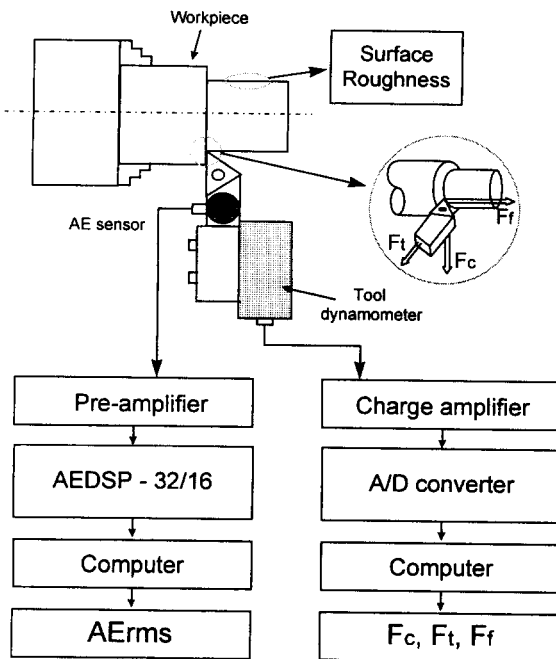


Fig. 1 Experimental setup

는 사용하지 않았다. AE 신호는 고주파 신호이므로 Sampling rate를 2MHz로 충분히 크게 하였고, 절삭력은 Sampling rate를 200Hz로 하여 측정하였다.

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	I220A (PAC.)
AE Main	AEDSP-32/16 (PAC.)
Tool-Dynamometer	Piezo Type 9257B (Kistler Co.)
Charge Amplifier	5019A (Kistler Co.)
A/D Converter	PCL-812 (Advantech Co. Ltd.)
Surface Roughness Tester	SV-624 (Mitutoyo)
Object Microscope	KSZ-1A (Samwon Scientific Ind, Co.)

Table 2. Experimental condition

Item	Condition
Cutting Velocity (m/min)	120, 140, 160, 180
Feed (mm/rev)	0.10, 0.15, 0.20, 0.25
Depth of Cut (mm)	0.2, 0.4, 0.6
Coolant	Dry
Sampling Rate	AE : 2MHz Cutting Force : 200Hz

3. AErms의 측정방법

절삭중에서 발생된 AE 신호 파형으로부터 AErms 값은 다음의 식에 의해 구하여진다.

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

where $V(t)$: 신호함수

ΔT : 신호발생주기

본 연구에서는 각 절삭조건마다 신호획득 시간은

약 5초로 하고 이 시간내에서 $0.25 \mu s$ 정도의 AE 신호파형(Hit)을 30개 추출하여 각 Hit별로 AErms를 구한 다음, 이들의 평균값을 AErms로 정의 하였다. Fig. 2는 절삭조건을 절입깊이 $d : 0.2mm$, 이송 $f : 0.1mm/rev$, 절삭속도 $V : 120 m/min$ 과 $d : 0.4mm$, $f : 0.2 mm/rev$, $V : 160 m/min$ 로 하여 절삭을 수행하였을 때의 AE 파형의 일부를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 것과 같이 경절삭의 경우(A)가 중절삭인 경우(B)에 비해 AE 레벨이 저하되어 있음을 알 수 있다.

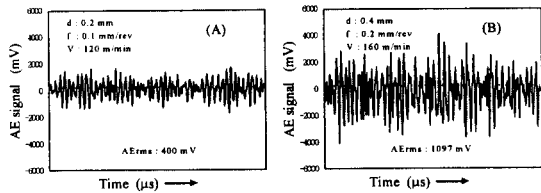


Fig. 2 Schematic of typical AE signal

4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭조건이 AErms 및 절삭저항에 미치는 영향

본 절은 절삭조건 즉, 절삭속도, 절입깊이 및 이송이 AErms 및 절삭저항에 미치는 영향을 검토한다.

Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5는 각각 절입깊이 이송 및 절삭속도를 변화시킬 때의 AErms의 거동을 나타내는 그림이다. AErms는 절삭중 전단영역에서의 전단 스트레인을 크게 할 것이라고 생각되는 절삭속도 및 절입깊이의 변화에 대하여 그 변화 폭이 크고, 상대적으로 이송의 변화에 대하여서는 그 증가폭이 절삭속도 및 절입깊이에 미치지 아니한다. 여기에서, 이들3가지 조건의 영향을 종합적으로 검토한 그림이 Fig. 6이다. Fig. 6은 절삭율 Zw (절입깊이×이송×절삭속도)의 변화에 대한 AErms의 변화를 나타내고 있다. AE 센서의 특성상 Zw 의 변화에 대하여 비교적 큰 산포를 가지고 있으나 양자 사이에는 일의적인 관계가 있음을 알 수 있다.

이러한 절삭조건이 절삭저항에 미치는 영향을 나타낸 그림이 Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이, 절삭저항의 경우에는 절입깊이와 이송의 증가에 대하여서는 절삭저항의 선형적

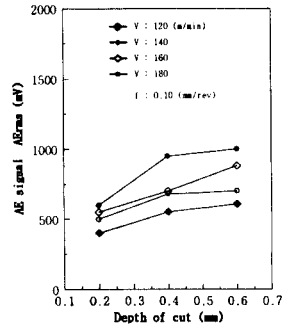


Fig. 3 Relationship between Depth of cut and AE signals

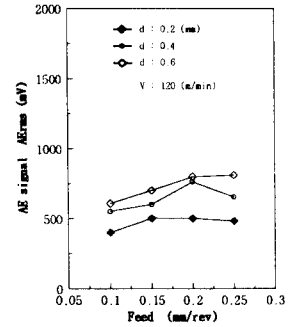


Fig. 4 Relationship between Feed and AE signals

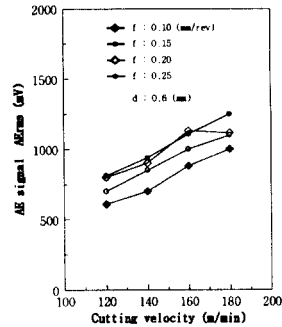


Fig. 5 Relationship between Cutting velocity and AE signals

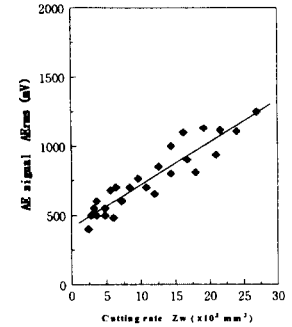


Fig. 6 Relationship between Cutting rate and AE signals

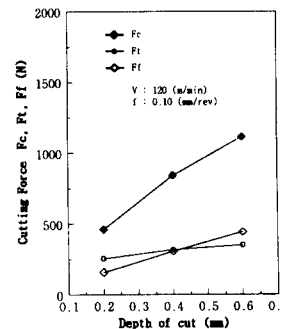


Fig. 7 Relationship between Depth of cut and Cutting Force

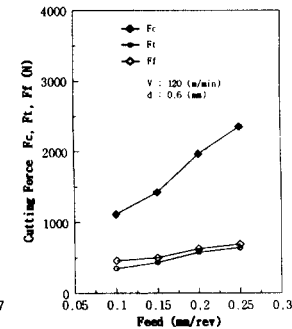


Fig. 8 Relationship between Feed and Cutting Force

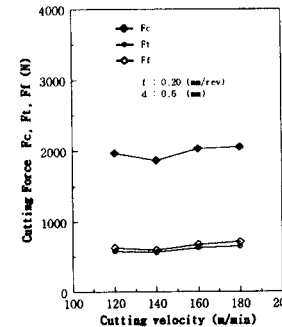


Fig. 9 Relationship between Cutting velocity and Cutting Force

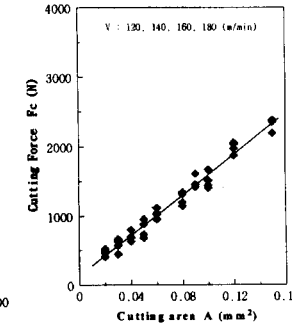


Fig. 10 Relationship between Cutting rate and Cutting Force

인 증가를 가져오지만 절삭속도의 증가에 따라서는 아무런 변화가 없다. 즉, 절삭저항은 단지 공구와 공작물의 간섭면적에만 의존한다고 사료되며, 공구와 공작물의 간섭면적을 나타내는 인자인 절삭면적 A (절입깊이×이송)의 변화에 대한 절삭저항의 변화를 도시한 것이 Fig. 10이다. 절삭면적의 증가에 따라 절삭저항은 절삭속도의 변화에 관계없이 산포가 적은 일의적인 관계임을 확인 할 수 있으며, 이러한 결과는 주분력, 배분력 및 이송분력 어느 것이나 같은 경향을 보였다.

4.2 절삭조건이 공구마모에 미치는 영향

공구마모(플랭크마모)에는 절삭속도, 절입깊이, 이송 및 절삭량 M(절삭시간)에 의존할 것으로 생각되며 본 절은 이러한 조건들이 플랭크마모에 미치는 영향에 대하여 고찰한다. 플랭크마모의 측정은 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 공구의 플랭크마모사진 (B)을 (A)와 같이 계략적으로 도시하였고, (A)에서 플랭크마모 경계선으로부터 예지까지의 폭을 공구의 플랭크마모폭이라 정의 하였다.

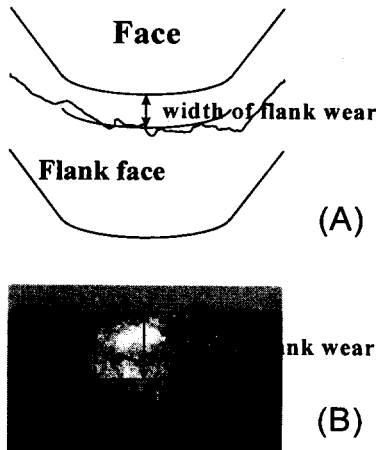


Fig. 10 Schematic & Potograph of Tool wear

Fig. 11 및 Fig. 12은 이송 및 절삭속도의 변화에 따른 플랭크마모폭의 변화양상을 여러 절삭량에 대하여 도시한 그림이다. 이송 및 절삭속도가 증가할수록 플랭크마모폭도 증가하는 양상을 보이며, 예상하는바와 같이 절삭량이 많아질수록 플랭크마모폭도 커지며, 그 증가 추세는 더욱더 현저해 짐을 알 수

있다. 그러나 절입깊이의 변화에 대하여서는 플랭크마모폭에 아무런 영향을 주지 못한다 (Fig. 13). 이는 절입깊이의 증가는 플랭크마모의 길이의 증가는 초래할 지라도 플랭크마모폭의 증가에는 영향을 주지 못하기 때문이다.

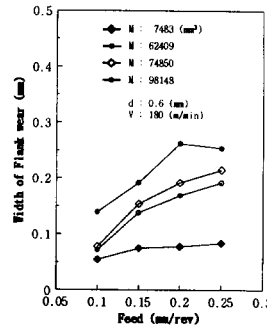


Fig. 4.11 Relationship between Feed and Width of Flank wear

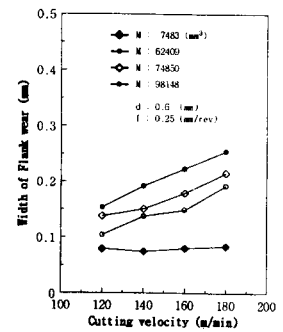


Fig. 4.12 Relationship between Cutting velocity and Width of Flank wear

반면, 이송의 증가는 단위절삭면적당의 절삭력의 증가로 플랭크마모폭의 축진을 가져오며, 절삭속도의 증가는 공구인선과 공작물의 마찰거리의 증가를 가져와 플랭크마모폭은 축진된다고 사료된다.

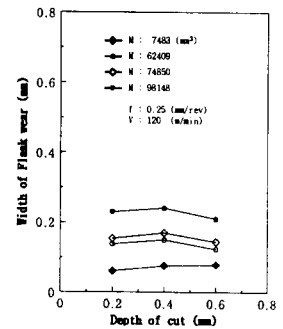


Fig. 4.13 Relationship between Depth of cut and Width of Flank wear

4.3 플랭크마모폭과 절삭저항 및 AErms 와의 관계

Fig. 14는 $d : 0.6 \text{ mm}$, $f : 0.1 \text{ mm/rev}$, $V : 120 \text{ m/min}$ 의 조건에서

플랭크마모폭을 증가시켰을 때의 절삭저항의 3분력 F_c , F_t 및 F_f 의 변화를 보여주는 그림이다. 3분력 모두가 플랭크마모폭의 증가에 따라 증가하는 양상을 보이며, 그중 주분력 F_c 의 증가추세가 현저하다. 따라서 본 실험에서는 플랭크마모폭과

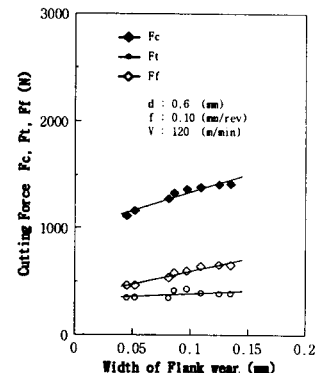


Fig. 14 Relationship between Width of Flank wear and Cutting Force

절삭력의 관계를 규명하기 위해서 주분력 F_c 를 사용하였다.

4.1 절에서 언급한 바와 같이, 절삭저항의 크기는 절삭면적 A 에 의존하며, AErms 는 산포를 가지고 있으나 절삭율 Z_w 의 변화에 따라 일의적으로 변화함을 알았다. 따라서, 측정되어진 절삭저항 혹은 AErms 의 값으로부터 플랭크마모폭을 추정하기 위해서는 이 두 가지의 요소를 사용하여 절삭조건이 플랭크마모폭에 미치는 영향을 배제하는 것이 바람직하다.

Fig. 15는 절삭면적을 0.02 mm^2 , 0.04 mm^2 , 0.08 mm^2 으로 일정하게 유지하였을 때, 절삭량의 변화에 따른 절삭력의 변화와 플랭크마모폭의 변화를 비교한 그림이다. 플랭크마모폭과 절삭력사이에는 어떤 상관을 가지며 절삭량의 증가에 따라 증가하는

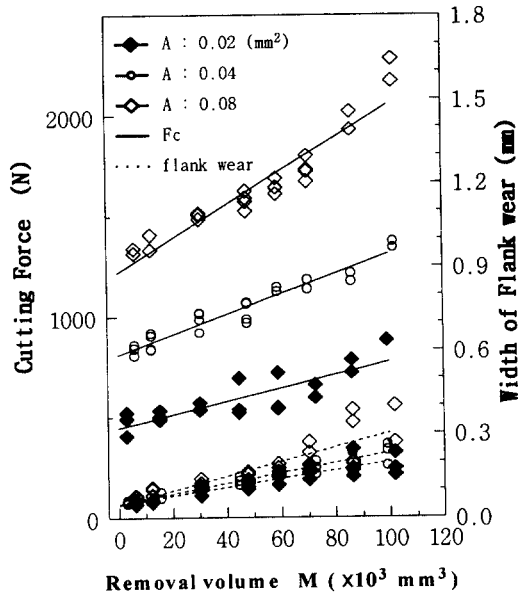


Fig. 15 Relationship between Removal volume and Cutting Force & Width of Flank wear

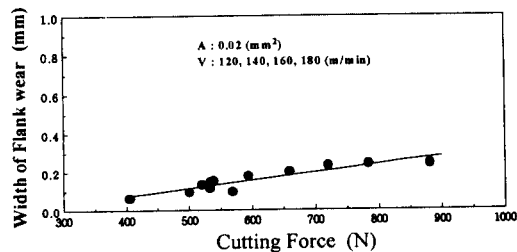


Fig. 16 Relationship between Cutting Force and Width of Flank wear

양상을 보인다. 이러한 관계를 절삭면적 0.02 mm^2 로 일정하게 하였을 때 양자간의 관계를 재정리 한 것이 Fig. 16이다. 이 그림의 의미는 어떠한 절삭조건이 설정되어 공구마모가 발생하였다면 그때의 절삭력을 알면 절삭속도에 무관하게 절삭면적에 의해 플랭크마모폭을 추정할 수 있음을 뜻한다.

절삭율을 $2400(\text{mm}^3/\text{min})$, $4800(\text{mm}^3/\text{min})$, $7200(\text{mm}^3/\text{min})$, $14400(\text{mm}^3/\text{min})$ 로 일정하게 하였을 때 절삭시간의 변화에 대한 AErms 및 플랭크마모폭의 변화를 나타낸 것이 Fig. 17이다. 역시 양자간에는 상관관계가 있으며 절삭시간의 증가에 따라 증가하는 양상을 보이고 있다. Fig. 18에서는 $Z_w 7200(\text{mm}^3/\text{min})$ 일 경우 플랭크마모폭과 AErms 와의 관계를 도시하고 있다. 선삭가공에서의 절삭율을 알고 그때의 AErms의 값을 측정할 수 있으면

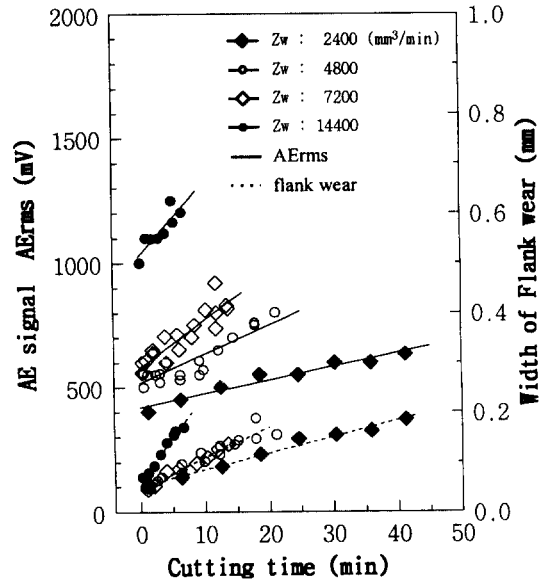


Fig. 17 Relationship between Cutting Time and AE signal & Width of Flank wear

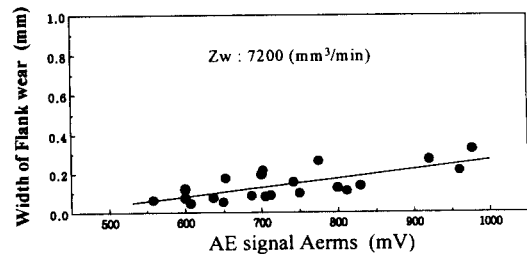


Fig. 18 Relationship between Cutting Force and Width of Flank wear

플랭크마모폭을 추정할 수 있고, 한계 플랭크마모폭을 설정하여두면 절절한 시기에 공구를 교환할 수 있으리라 판단된다.

AErms 혹은 절삭력 어느 쪽을 측정해도 플랭크마모폭을 추정할 수 있지만 양자는 일장일단이 있다. AE 센서를 사용하는 경우는 신호전달경로에 영향을 받기 쉬워 측정값에 산포가 크지만(Fig. 18) 사용이 간편하고 경제성이 있는 것이 큰 장점이다. 반면 공구동력계를 사용하는 경우는 강성이 크고 측정장치에 안정성이 있어 비교적 정확한 Data를 얻을 수 있지만(Fig. 16), 현재로서는 경제성이 결여되어 있는 것이 실용화의 장애로 되어 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 공구인선의 플랭크마모폭을 정량적으로 검토하기 위하여 AErms와 절삭저항의 값을 사용하여 공구마모와 절삭조건과의 관계를 검토함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 절삭조건중 절입깊이 및 절삭속도의 변화는 AErms 에 민감하나 이송은 그 정도가 크지 아니하다. 또한 절삭속도는 절삭저항에 아무런 영향을 주지 아니한다.
- (2) 절입깊이의 변화는 플랭크마모 길이에만 영향을 줄뿐 플랭크마모폭에는 직접적으로 영향을 주지 않는다.
- (3) 플랭크마모폭과 AErms 및 절삭저항과의 사이에는 일의적인 관계가 있으나, AErms 의 경우 신호전달경로에 영향을 받기 쉬워 그 정량적인 값에 산포가 크다.

6. 참고문헌

- (1) 伊藤・他1名, 切削抵抗の動的成分による工具磨耗の検出, 精密機械, 50-7, 49 (1983)
- (2) R. Ecoforth・他1名, 切削力比解析によるイ・ソプロセス工具壽命評價, ASME PED 9 (1983)
- (3) 櫻村辛辰, 切削力比率による工具 flank面磨耗の豫測に関する研究(第1報), 精密機械, 51-11, (1985)
- (4) 高津戸光雄・高田昇・他1名, AEセンサを用いたドリルの壽命判定に實する研究, 日本機械學會論文集(C編) 57~542 (1991)
- (5) 小口京吾, AE センサを利用した工具磨耗・損傷のセンシソグ, 機械と工具, (1988)
- (6) K. Iwata, T. Moriwaki, An Application of AE Measurement to In-process sensing of Tool wear. Ann. CIRP, Vol. 25, Jan. 1987
- (7) E.N. Diei, D.A. Dornfeld, AE sensing of Tool wear in face Milling., Trans. ASEM. Vol. 109, Aug. 1987
- (8) 稻崎一郎, AEにする切削プロセスの監視, 日本機械學會論文集(C編), 51-466, (1989)