

공구마멸조건에서 AE 신호의 특성

(Characteristics of AE Signal in Tool Wear Condition)

임진규*, 강명창 (부산대 정밀기계공학과 대학원)

김정석 (부산대 정밀기계과, 정밀정형 및 금형가공 연구센터)

ABSTRACT

The characteristics of AE(Acoustic Emission) signal is related to cutting conditions, tool materials and tool geometry in metal cutting. The tool geometry change which is derived from tool wear affects the source of AE signal in machining process. The relationship between AE signal and tool wear was experimentally investigated. The value of RMS(Root Mean Square) and Amplitude of AE signal were increased in tool wear condition. Also the high value of Count per Hit and Count vs. Frequency was observed in this condition. As a result, tool wear can be effectively detected by AE signal during cutting operation.

1. 서 론

최근 기계가공의 정밀도와 생산성을 향상시키기 위한 자동화기술이 급진적으로 발전을 이루고 있다. 이러한 자동화·무인화를 실현하기 위한 기본적인 요소기술로서 기계가공시스템에 발생하는 공작기계의 상태 진단 및 공구의 이상상태 감시가 매우 중요한 비중을 차지하고 있다.

공구에 발생하는 이상상태는 정상적인 마멸, 과도한 마멸 뿐만 아니라 결손 및 파손, 체터, 칩치리 등이 존재하고 특히 절삭가공에서 이상상태는 공작물의 정도를 나쁘게 만들고 재료의 낭비 뿐만 아니라 공구와 공작기계의 손실을 가져와서 전체 공정의 저생산성과 고생산비를 초래하고 있다.

공구손상의 대부분인 공구마멸을 감지하는 방법에 대해서는 지금까지 여러 방법이 연구되고 있으며, 절삭력과 AE(Acoustic Emission)의 특징을 이용한 방법이 주로 많이 이용되고 있다.^[1,2] 특히 AE는 마멸, 파손 그리고 결함 등과 같은 변형과정의 직접적인 출력의 신호로서 공작기계나 공구, 공작물 등의 동특성에 기의 영향을 받지 않으며 절삭공정의 기본 메카니즘에 직접 관계되는 영역에서 발생하는 신호이기 때문에 공구상태 감지에 그 응용범위가 증대되고 있다.^[3,4]

절삭공구의 마멸에 관한 연구는 많이 이루어져 왔으며, 그 중에서도 Inasaki와 Moriwaki는 절삭공정 중에 발생하는 AE 신호로서는 절삭공정에 의한 AE 신호, 공구마멸에

의한 공구와 공작물의 마찰신호, 공구의 파손신호, 기계적인 소음, 전기적인 잡음 등을 식별할 필요가 있어서 AE 신호의 주파수 해석에 의한 신호처리 방법에 대하여 검토하였다. AE 신호는 접촉관계의 감쇠특성때문에 부분적으로 감지되고 RMS 전압, 카운트로 검출가능하고 가속도 신호와 AE 신호를 비교하여 AE 신호의 유효성도 주장하였다.^[5,6]

Dornfeld는 공구마멸의 감지에 RMS 전압의 장점과 크레이터마멸과 플랭크마멸발생에서 AE 신호의 RMS 전압 관계에서 공구경사면의 크레이터마멸발생이 절삭력의 감소와 관련있다고 하였다.^[7,8]

본 연구에서는 절삭공정에서 발생하는 공구마멸의 조건에서 다양한 AE 신호의 특성을 분석하고 이를 통한 공구마멸 감지방법을 제시하고자 한다.

2. 공구마멸과 AE 신호

2.1 공구마멸

절삭에서 공구수명 판단 기준 중의 하나인 공구마멸은 여러 가지 마멸기구를 가지며 이것들이 부분적 또는 동시에 발생하여 마멸을 가속시키거나 직접 만들고 있다. 일반적으로 공구마멸을 형태별로 구분하고 있고 그 형태와 마멸기준을 Fig. 1에 나타내었다.

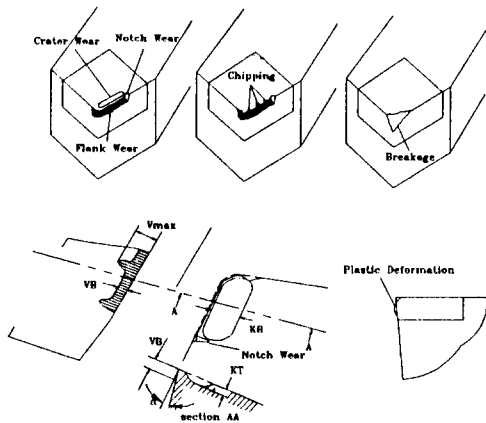


Fig. 1 Type and standard of tool wear

(1) 크레이터마멸(Crater Wear)

칩과 공구사이에서 가공경화된 칩이 공구경사면을 깎는 현상을 크레이터마멸이라 한다. 즉 접촉압력에 의한 절삭열과 고압의 칩은 공구를 용착하고 공구의 표면층이 칩과 함께 떨어지는 마멸로 공구 및 공작물의 절삭온도에 있어서 경도, 전단강도 그리고 용착의 정도에 따라 달라진다. 유동형 칩에서는 크레이터마멸이 상당히 크게 나타나지만, 균열형과 전단형 칩이 발생할 때의 크레이터마멸은 미소하게 발생하고 있다.

(2) 플랭크마멸(Flank Wear)

균열형 칩에서는 크레이터마멸이 잘 발생하지 않지만, 공작물과 공구날의 마찰에 의해 절삭날의 여유면에 발생하는 마멸을 플랭크마멸이라 한다. 그 형태는 절삭날선에 균일하지 않고 마멸폭의 대소의 변화를 가지고 있다. 전면 여유각이 존재할 때는 여유면의 접촉이 적지만, 변형에 의해 인선의 라운드가 되어 고온고압하에서 마찰이 크게 발생한다.

노치마멸(Notch Wear)은 공작물 표면과 접촉하는 공구의 경계부가 깊이 파인 마멸을 말한다. 이 노치마멸은 다른 마멸들이 진전되었을 때 주로 발생하고 공작물의 재질과 표면상태에 지배되며, 주조와 같은 열간가공제의 후퍼부 및 가공경화때문에 발생하고 있다. 이러한 마멸중에서 플랭크마멸은 공작물과 공구의 마찰로써 공작물의 표면조도에 영향을 주고 있다.

(3) 결손 및 소성변형(Chipping & Plastic Deformation)

결손은 충격력이나 재질적 결합에 의해 공구의 앞부분이 떨어져 나가는 현상으로 용착된 구성인선이 공구에 미소크랙을 발생시키 이것이 발달하여 공구계의 일부와 함께 떨어져 나가게 된다. 너무 공구가 예리하거나 경사각이 아주 큰 공구에 생기기 쉽고 열의 집중이 발생할 때도 생길 수 있다. 또한 절삭속도가 커지고 절삭력이 증가되는 경우 고온고압 상태가 되어 공구의 절삭력이 한계용력을

넘게 되어서 소성변형이 발생된다.

본 실험에서는 플랭크마멸이 커지면 다른 마멸도 크게 증가하고 있어 가공중의 공구마멸로 플랭크마멸을 기준으로 하였다.

2.2 AE 신호

AE(Acoustic Emission)는 금속재료의 파단, 마찰 그리고 전단변형에 의한 진위현상, 팽창 등에 의하여 고체내에 저장된 탄성변형 에너지가 방출될 때 발생하는 탄성용력파를 말하며, 이 탄성용력파가 센서로 검출될 때의 신호를 AE 신호라고 한다.

경계면이 존재할 때, 진파되는 표면파는 매질의 표면에서 한 파장 깊이 정도밖에 침투하지 않은 타원형으로 움직이고 있다. 이 파는 종·횡파보다 감쇄가 적기때문에 먼 거리까지 에너지 손실이 적고 횡파속도보다 조금 느리지만, 그 파위가 종·횡파보다 아주 큰 특징이 있다. 따라서 공구표면에서 발생하는 표면파가 AE 센서에 크게 영향을 주고 있다.

AE 신호는 용력의 크기와 진파 소요시간에 의존하고 그 종류는 크게 두 가지로 구분하고 있다. 미끄럼면 변형, 재료표면의 미소한 균열, 재료의 인장시 파단되는 신호에서 주로 나타나는 고에너지와 저주파수를 가지는 돌발형 신호와 일반적 금속절삭, 마멸 그리고 마찰에 발생하는 저에너지와 고주파수인 연속형 신호가 있다. Fig. 2와 같이 실제 AE는 마멸이 발생하는 가공에서 부분적인 돌발형의 신호를 가지는 연속형의 신호를 가지고 있다.

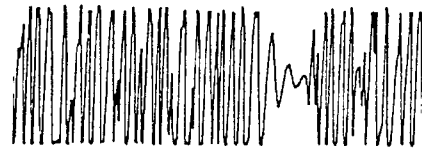


Fig. 2 AE waveform measured by oscilloscope

AE 신호의 계측에 있어서 측정되는 파라미터는 RMS 전압(RMS Voltage), 카운트(Count), 카운트율(Count Rate), AE 진폭(AE Amplitude), AE 에너지(AE Energy), AE 주파수(AE Frequency), 지속시간(Duration Time), 상승시간(Risetime), AE 히트(AE Hit) 등이 있으며, Fig. 3에 나타내었다. 이들 중에 공구마멸에 민감하게 반응하는 파라미터를 살펴볼 수 있다.

절삭가공에서 발생하는 변형영역을 Fig. 4에 나타내었다. AE 발생은 전단면영역의 제 1변형영역(Primary Deformation Zone), 공구-공작물영역의 제 2변형영역(Secondary Deformation Zone), 공구-공작물영역의 제 3변형영역(Tertiary Deformation Zone)에서 주로 발생하고

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

센서는 백색잡음 제거에 효과가 있는 차동형의 최대값도를 갖는 광대역형을 사용하였다. 이 센서는 이득(40/60dB)을 선택할 수 있는 진치증폭기(Preamplifier)에 연결하고 센서에서 나오는 신호를 밴드폭이 100 kHz - 300 kHz의 밴드패스필터(Band Pass Filter)를 통하여 외부로부터의 진동, 소음에 동반하는 잡음 등을 제거한 후에 AE장비(LOCAN AT)에 연결하였다.

본 연구에서는 진치증폭을 40dB로 사용하였고 공회전의 신호나 기계적인 신호가 입력되지 않는 설정값(Threshold Level)을 충분한 예비실험을 통하여 최적의 값인 56dB, 이득(Gain)을 32dB로 정하였다. 공구마멸조건에서 AE 신호 특성을 규명하기 위한 실험 장치도는 Fig. 5와 같다.

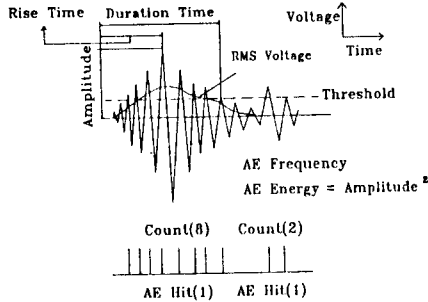
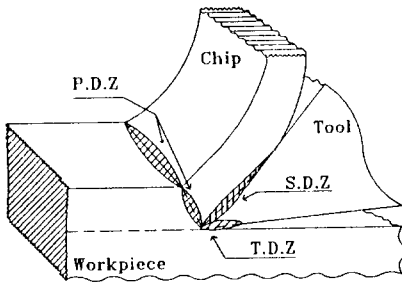


Fig. 3 Parameter of AE signal

칩의 영향은 절삭면적으로부터 떨어져 나가면서 형성된 칩을 적절하게 처리함으로써 최소화시킬 수 있다.



P.D.Z.: Primary Deformation Zone
S.D.Z.: Secondary Deformation Zone
T.D.Z.: Tertiary Deformation Zone

Fig. 4 Deformation zone during cutting

재료에서의 AE 발생은 소성변형의 결과로 나타나는 에너지의 영역에 비례하는 특성을 가지고 있으며, 그 때의 소성변형일률은 용력과 변형률속도, 변형하에서의 재료의 체적의 함수로 나타낼 수 있고 또한 이 소성변형일률은 AE 신호의 RMS값의 제곱에 비례하고 있다.^[9]

이 세영역의 소성변형일률에서 마멸에 관련되는 영역은 2변형영역의 칩과 공구, 3변형영역의 공구와 공작물사이의 접촉이다. 즉 칩이 공구의 경사면위로 배출될 때, 완전한 접촉을 하는 고착영역과 이 영역을 지나서 절삭날에 약간 떨어진 경사면에 낮은 수직하중이 작용하는 미끄럼영역이 크레이터마멸을 발생시키고 있다. 또한 공구와 공작물사이의 미끄럼마찰에 의하여 플랭크마멸과 결손 등이 발생하여 공구의 형상이 변하게 된다.

따라서 가공의 진행에 따라 두 영역의 마멸증가에 기인하여 소성변형일률이 커지고, AE 신호의 RMS값도 증가하게 된다.

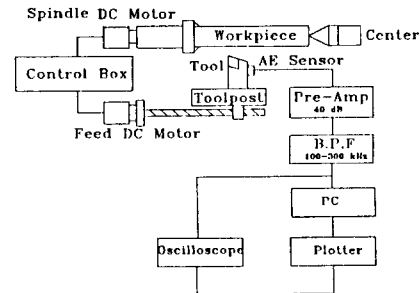


Fig. 5 Experimental set-up

3.2 실험 방법

칩과 같은 노이즈의 영향을 줄이기 위하여 Fig. 6과 같이 공구의 옆부분을 가공하여 AE 센서를 내장시켰으며, 또한 실리콘 그리스(Grease)를 발라 양호한 신호를 검출하도록 적절하게 부착하였다.

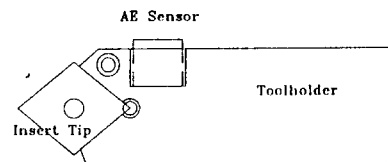


Fig. 6 Toolholder of the built-in AE sensor

실험에 사용되는 선반은 각각 주축과 이송축을 무단변속할 수 있으며, 심압대 축의 공작물 치구를 베어링센터로 지지하여 회전을 원활하게 하였다. 또한 체터나 진동을

방지하기 위해 공작물의 오버행의 짧게하고 공구의 오버행도 일정하게 유지한 채로 공구마멸을 잘 발생하는 연속, 건식절삭을 행하였다.

공구에 일정한 마멸을 주기위해 수치량을 줄 수 있는 고속연삭기를 사용하여 인위적인 마멸을 주었다. 또한 공구현미경을 이용하여 공구의 플랭크마멸과 동시에 표면조도계를 이용한 공작물의 표면조도를 측정하였다.

본 연구에 사용된 장비와 그 제원은 Table 1에 나타나 있다.

Table 1. Specifications experimental apparatus

품명	제원
Lathe	Round top(Taiwan), Type 2640
DC motor	Spindle : 5.5 kW, Feed : 1.5 kW
Workpiece	SM45C (ϕ 100 × 100 mm)
Tool	Insert tip : P20, carbide tool (SNMA) KT300, coated tool (SNMG) Tool holder : PSDNN 2525 M12 (-7, 0, 7, 0, 45, 45, 0.8)
Oscilloscope	Type 9400A, LeCroy
AE sensor	WD(광대형), PAC
Preamplifier	Type 1220A 40, 60 dB gain 100kHz~300kHz Band pass filter, PAC
AE software	Lacga, PAC
AE equipment	LOCAN AT, PAC
Plotter	Type 7140A, Hewlett packard
Tool microscope	Mag. X 100, No. 90054, PIKA SEICO
Surface roughness analyzer	Surftest-501, Mitutoyo

4. 실험 결과 및 고찰

절삭에 있어서 AE를 이용한 측정은 실험장비의 설치, 장비 내부의 변화, 신호전달 경로, 실험에 사용되어지는 미소 재질 변화, AE 센서 부착 등으로 인하여 다소 제한을 받는다. 본 실험에서는 공구의 노우즈 반경과 재질, 공구마멸상태에서의 AE 신호 특성을 살펴보았다.

초경공구와 피복 초경공구에 따른 AE 신호를 Fig. 7에 나타내었다.

초경공구는 피복되지 않은 초경공구보다 RMS 전압이 약간 크게 나타나고 있다. 피복 공구는 노우즈 반경의 증가에 따라 RMS 전압이 증가하고 있지만, 피복되지 않은 초경공구는 일정하게 증가하는 경향을 가지지 않고 있다. 이것은 작은 노우즈 반경 0.1 mm에서 마멸이 열집중력에 기인하여 상대적으로 크기 때문으로 사료된다.

공구마멸에 따른 AE 특성을 살펴보기 위하여 공구에 일정한 수치량을 줄 수 있는 고속연삭기를 사용하여 플랭

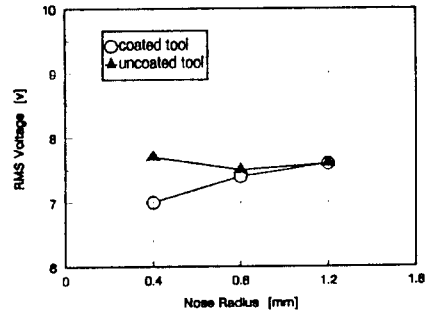


Fig. 7 The relation between RMS voltage and nose radius according to tool material ($V=150$ m/min, $f=0.15$ mm/rev, $d=1.0$ mm, P20, KT300)

크마멸만, 플랭크마멸(VB)에 크레이터마멸(KT)을 인위적으로 가했을 때의 마멸특성에 따른 AE 신호를 Fig. 8, 9에 나타내었다.

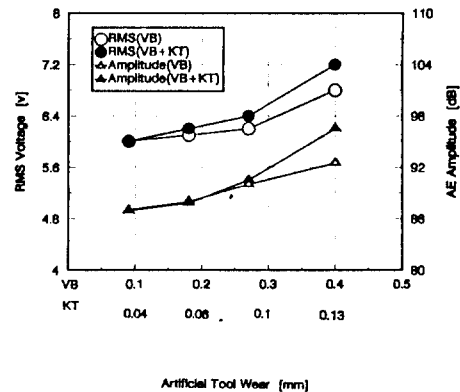


Fig. 8 The relation of RMS Voltage, AE Amplitude versus artificial tool wear ($V=100$ m/min, $f=0.10$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $r=0.8$ mm)

Fig. 8에서는 공구마멸의 증가에 따라 RMS 전압과 AE 진폭이 증가하고 특히 공구마멸이 큰 경우에서의 RMS 전압과 AE 진폭이 급격하게 증가하고 있다. 또한 플랭크마멸과 크레이터마멸이 동시에 존재하는 공구에서의 AE 신호가 플랭크마멸만 존재하는 AE 신호보다 더 크게 나타나고 있다.

플랭크마멸만 존재하는 Fig. 9의 카운트와 에너지는 플랭크마멸 0.18 mm에서 약간 감소하다가 다시 진전된 플랭크마멸에서 증가하는 경향을 가지고 있다.

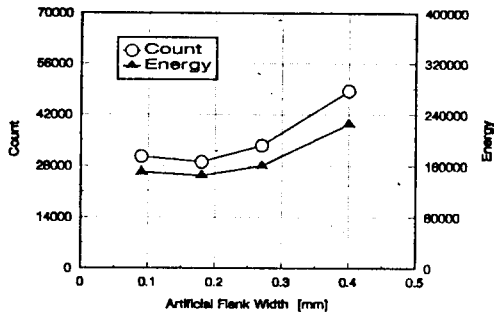


Fig. 9 The relation of Count, Energy versus artificial flank width ($V=100$ m/min, $f=0.10$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $r=0.8$ mm)

절삭속도 120 m/min, 이송량 0.15 mm/rev 일 때, 새 공구를 가지고 절삭시의 공구마멸에 따른 표면조도, RMS 전압을 Fig. 10에 나타내었다. 가공시간의 증가에 따라 표면조도와 플랭크마멸이 증가하고 있다. 또한 플랭크마멸의 증가에 따라 RMS 전압이 증가하고 있음을 알 수 있다.

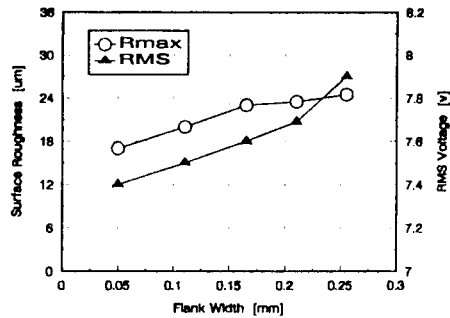


Fig. 10 The relation of surface roughness, RMS Voltage versus flank width ($V=120$ m/min, $f=0.15$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $r=0.8$ mm)

절삭속도 80 m/min, 이송량 0.20 mm/rev, 노우즈 반경 0.4 mm에서 공구마멸에 따른 AE 신호를 Fig. 11에 나타내었다. 플랭크마멸의 증가에 따라 RMS 전압이 증가하고, 또한 전체 카운트를 히트로 나눈 히트 당 카운트(Count per Hit)도 증가하고 있다.

그리고 Fig. 10, 11에서 절삭속도가 큰 Fig. 10의 절삭조건에서 RMS 전압이 크게 나타나고 있다. 이것은 절삭속도가 AE 신호에 민감하게 반응함을 알 수 있다.

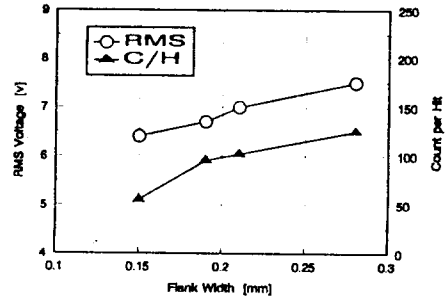
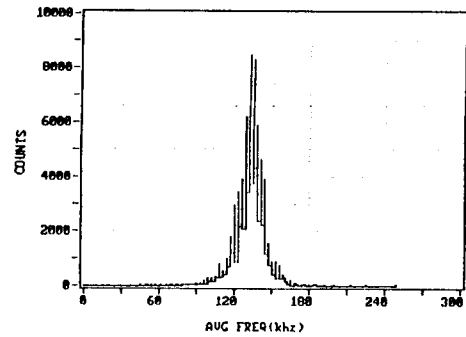
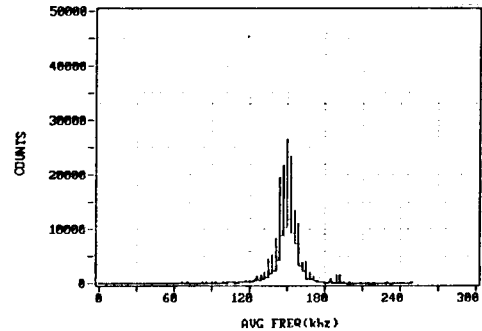


Fig. 11 The relation of RMS Voltage, Count per Hit versus flank width ($V=80$ m/min, $f=0.20$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $r=0.4$ mm)

Fig. 12, 13은 AE 신호의 주파수 분석을 통하여 공구마멸의 진전에 따른 주파수 대 카운트와 에너지를 나타내었다.



(a) new tool ($VB=0.08$ mm)

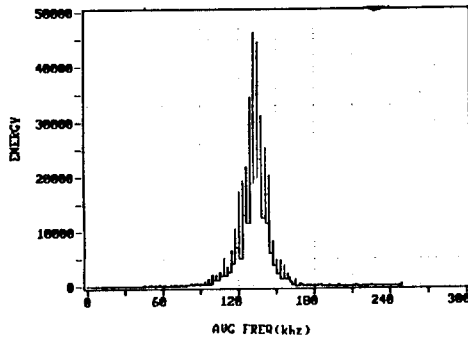


(b) worn tool ($VB=0.26$ mm)

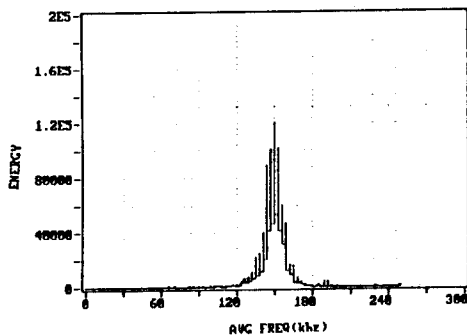
Fig. 12 The relation between Count and Frequency according to tool wear ($V=80$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $r=0.4$ mm)

Fig. 12는 초기의 마멸공구와 마멸이 진전된 공구에서의 주파수 대 카운트를 나타내고 있는데, Fig. 12(a)의 초기마멸에서 카운트의 최대 피크값의 주파수 대역은 125 ~ 135 kHz이고 그때의 카운트값은 8,500정도를 나타내고 있다. 그러나 Fig. 12(b)의 마멸이 진전된 공구에서 카운트의 최대 피크값의 주파수 대역은 140 ~ 155 kHz로 초기 마멸보다 약간 증가하고 그때의 카운트값도 크게 나타고 있다.

마찬가지로 주파수 대 에너지는 Fig. 13(a)의 초기마멸에서 에너지의 최대 피크값의 주파수 대역은 125 ~ 135 kHz이고 그때의 에너지값은 47,000정도를 나타내고 있다. 반면에 Fig. 13(b)에서 공구마멸이 상당히 진전되었을 때의 에너지의 최대 피크값의 주파수 대역은 140 ~ 155 kHz로 약간 증가하고 피크값도 크게 증가하고 있음을 알 수 있다.



(a) new tool (VB=0.08 mm)



(b) worn tool (VB=0.26 mm)

Fig. 13 The relation between Energy and Frequency according to tool wear ($V=80$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $r=0.4$ mm)

따라서 절삭가공중에 이 주파수 대역에서의 카운트와

에너지 레벨의 변화량을 검출함으로써 공구마멸의 진행을 인프로세스 감시 할 수 있다.

6. 결 론

공구마멸의 조건에서 AE 신호의 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

AE 신호의 RMS 전압, 진폭 그리고 히트 당 카운트는 공구마멸의 증가에 따라 증가하며, 또한 이들 신호는 플랭크마멸만 존재할 때보다 플랭크마멸과 크레이터마멸이 동시에 존재하는 공구에서 크게 나타남을 알 수 있었다.

공구마멸의 증가에 따라 AE 신호의 카운트와 에너지값은 증가하고 이들의 최대값이 나타나는 주파수도 증가하는 경향을 보였다.

이상과 같은 결과를 통하여 AE 신호의 특성변화를 이용한 공구마멸 감시에 효과적으로 이용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Micheletti, G.F., "In Process Tool Wear Sensor for Cutting Operations", Annals of CIRP, Vol.25, 1976
- [2] Uehara, K., "Sensors for Cutting Process", 日本機械學會誌, 第89卷, 814號, pp.1084~1089, 1986
- [3] 김정석, 강명창, 김덕환, "동적 절삭과정에서 AE 신호의 특성에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제 11 권, 제4호, pp.69~76, 1994
- [4] Roberto Teti, "Tool Wear Monitoring through Acoustic Emission", Annals of CRIP, Vol.38, 1989
- [5] Inasaki, I., "Monitoring of Turning Process with Acoustic Emission Signals", 日本機械學會誌, 第52卷, 474號, pp.799~805, 1986
- [6] Moriwaki, T., "Detection for Cutting Tool Fracture by Acoustic Emission Measurement", Annals of CRIP, Vol.29, 1980
- [7] Dornfeld, D.A., et al., "Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting", Trans. ASME, Vol.103, pp.330~340, 1981
- [8] Teti, R. and Dornfeld, D., "Modeling and Experimental Analysis of AE from Metal Cutting", ASME, Vol.111, 1989
- [9] Gillis, P.P., "Dislocation Motion and Acoustic Emission", Acoustic Emission, ASTM STM 505, American Society for Testing and Materials, pp.20~29, 1972