

音響 放出에 의한 드릴 磨滅의 監視에 관한 研究

윤종학*, 이호영**, 이종원***

A Study on In-Process Monitoring of Drill Wear by Acoustic Emission

Yoon, Jong Hak. Lee, Ho Young. Lee, Jong Won

Abstract

This study was focused on the prediction of the appropriate tool life by clarifying the correlation between progressive drill wear and AE signal, on drilling SM45C.

the following results have been obtained :

RMS_{AE} , AE CUM-HITS and CUM-CNTS had a tendency to increase slowly according to wear size, at 1000rpm, 150mm/min. However, these increased suddenly in the range of 0.20~0.22mm wear, about 102 holes and had a tendency to go up and down until the drilling was impossible.

The sudden increase of AE signals shows that something is wrong and it is closely connected with drill wear and chipping. It also makes the working surface bad.

From the above results, AE signals could be used to monitor the drill's condition and to determine the right time to change tools.

I. 서 론

최근 현장에서는 고기능화, 고능률화를 통한 생산성

다양한 소비자의 요구를 신속하게 충족시키기 위한 노력으로 기계 가공의 자동화, 물류 자동화, 검사의 자동화 등을 운영하는 유연 생산 시스템(Flexible Manuf-

* 서울 산업대학교 기계공학과
** 경기 기계공업고등학교 교사
*** 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

acturing System : FMS), 공장 자동화(Factory Automation : FA) 및 무인화를 추구하고 있다.

따라서 이들의 연속적인 감시와 진단에 의해 보장된 정상적인 가공 공정의 유지가 필수적이다. 그 중 절삭 가공의 신뢰성은 개개의 절삭 공구 상태에 의존하므로 절삭 공구의 마멸이나 破損은 生産성에 막대한 影響을 줌¹⁾으로, 이것을 가공 중에 감시할 수 있는 기술에 대한 연구가 요망되고 있다.

지금까지 공구 마멸 감시 기술에는 절삭할 때 발생하는 신호에 의해 공구의 마멸을 추적하는 간접적인 방법과 공구 마멸을 직접 관찰, 측정하는 직접적인 방법이 있다. 이 중에서 自動化에 적합한 것은 간접적인 방법으로 그 중에서 최근 활발히 연구되고 있는 音響 放出(Acoustic Emission : 이하 AE)²⁻⁵⁾은 비파괴 검사 기술의 하나인데, 이는 물체의 변형이나 미소 파괴에 의한 변형을 에너지의 급속한 방출로부터 발생하는 일종의 탄성파로서, 물체의 표면에 센서를 장착하여 이를 감지하여 분석함으로써 광범위하게 응용되어 오고 있다. Iwata³⁾와 Moriwaki⁴⁾는 AE를 이용하여 공구 마멸에 관한 연구를 하였고, Kojima⁵⁾ 등은 작은 지름의 드릴에 있어서 가공 구멍수에 따른 AE신호의 진폭차를 조사함으로써 파손에 대한 예지의 가능성을 검토하였다.

본 실험에서는 고속도강 드릴의 절삭 조건에 따른 AE신호의 변화를 해석함으로써 공구의 적절한 교환 시기를 豫測할 수 있음을 제시하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. AE신호의 특성

1-1. AE신호

AE는 일반적으로 재료의 내부 구조의 동적 거동 즉, 소성 변형이나 파괴가 일어날 때 탄성 에너지가 방출되면서 발생하는 탄성파이다. 이 신호는 보통 매우 높은 주파수(100kHz ~ 1MHz)의 영역을 갖는다.

AE의 발생 원인은 재료 내의 과도적인 불안정성에 기인하는 것으로 물질계는 전체가 불안정한 상태로 되기 전에 에너지는 항상 최저 상태로 이동하려는 경향이 있는데, 재료 내에는 다음과 같은 AE의 발생원들이 있다.

- (1) 소성 변형, 전위 운동, 쌍정
- (2) 균열의 생성 및 전파

(3) 개재물의 분리(decohesion) 및 파괴

(4) 상 변태(phase transformation)

(5) 마찰과정

AE신호는 발생 형태에 따라 고진폭 저주파 형태의 돌발형(burst type)과 저진폭 고주파 형태의 연속형(continuous type)으로 나누어진다.

돌발형은 재료 내부의 미시적 파괴에 기인하고, 파괴에 가까워지면 발생률이나 진폭이 함께 증가한다. 연속형은 소성 변형에 기인하는 것으로 변형의 증가와 함께 진폭과 발생률이 증가하고, 항복점 부근의 응력에서 높은 발생률을 나타낸다.

1-2. AE 측정 원리

AE 변환자로부터의 출력은 수 μV 로부터 수 mV 정도로 약하기 때문에 이 신호를 처리하려면 40~100 dB 정도의 증폭이 필요하다. 또 증폭기는 내외의 잡음이 작을수록 바람직하나 기계나 각종 실험 장비 등의 진동에 의한 잡음을 피할 수 없으므로 이들을 제거하기 위하여 변환자의 공진 주파수에 맞추어서 band pass filter를 설치할 필요가 있다. 고체 재료 중의 한 점에서 어떤 에너지를 가진 시간 함수인 한 개의 AE파가 발생하면 재료의 표면에 부착된 AE 변환자에는 그 AE파에 대응하는 1개의 AE신호가 관측된다. 이와 같은 AE신호는 AE event에 의해서 관측되고, 개개의 AE 사상 에너지와 지속 시간, 또는 개개의 AE 사상이 발생하는 시간적 빈도나 공간적 위치에 관한 정보를 나타내게 된다.

1-3. AE신호의 분석 방법

AE의 응용에 있어서 중요한 것은 검출되는 신호의 분석 방법이다. 그 이유는 측정 대상으로부터 의미 있는 정보를 얻을 수 있도록 하는 것은 적절한 신호 분석 방법에 달려 있기 때문이다. AE신호를 처리하여 얻어지는 정보의 종류는 여러 가지가 있지만, 본 연구에서 제측되는 것은 다음과 같다.

(1) 실효치 전압 (RMS_{AE})

AE 크기를 평가하는 가장 일반적인 방법으로, 이 값은 AE 신호의 에너지량을 표시한다.

RMS_{AE} 는 AE신호의 에너지량을 AE 발생원의 일량으로 해석하고 수학적으로는 식 (2-1)과 같다⁶⁾. 즉,

$$RMS_{AE} = \left[\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----(2-1)}$$

여기서, $V(t)$ 는 신호 함수이며, ΔT 는 시간이다. 식

(2-1)로부터 AE신호에 대한 에너지 변화율 dE/dt 는

$$\frac{dE}{dt} \propto [RMS_{AE}]^2 \quad (2-2)$$

로 나타난다.

또한, 재료가 단위 체적당 소성 변형으로 생기는 일

dW_i 는

$$dW_i = \sigma_i \cdot d\varepsilon_i = \sigma_1 \cdot d\varepsilon_1 + \sigma_2 \cdot d\varepsilon_2 + \sigma_3 \cdot d\varepsilon_3 \quad (2-3)$$

이다. 여기서, σ_i 는 주편차 응력이고, $d\varepsilon_i$ 는 주변형률 증분이다.

그런데, 일반적인 소성 변형률 증분 $d\varepsilon_{ij}$ 를 일으킬 수 있는 응력 σ_{ij} 를 받는 경우의 체적 요소 dV 에 대한 일의 증분 dW 는

$$dW = \sigma_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij} \cdot dV \quad (2-4)$$

로 나타낸다.¹¹⁾

따라서 전 체적에 대한 일량 W 는

$$W = \int_V \sigma_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij} \cdot dV \quad (2-5)$$

로 표시되며, 재료가 일정한 응력 σ 를 받고 대응하는 변형률 속도가 $\dot{\varepsilon}$ 이면 식 (2-5)는 다음과 같이 표시한다.

$$\dot{W} = \sigma \cdot \dot{\varepsilon} \cdot V \quad (2-6)$$

이 때, 소성 변형에 의해 발생하는 일률과 소비되는 에너지 변화율은 일정하므로, 식 (2-2)와 식 (2-6)으로부터

$$\frac{dE}{dt} \propto [RMS_{AE}]^2 = C \cdot \sigma \cdot \dot{\varepsilon} \cdot V \quad (2-7)$$

을 얻을 수 있다. 즉, 에너지의 변화율(dE/dt)은 편차 응력과 에너지의 변형률 속도 및 재료의 체적(V)에 의존함을 알 수 있다.

(2) AE Count

AE신호의 분석에 가장 보편적인 파라미터는 링다운 계수와 AE-HIT수이다. AE-HIT수는 그림 2-1과 같이 기준으로 설정된 실효치 전압을 넘는 신호 중에서 피크에 이르는 신호만을 계수하는 방법이며, 링다운 카운터는 AE신호 중 기준으로 설정된 실효치 전압을 넘는 펄스 수를 세어서 얻어지는 값으로 지속 시간과 에너지에 비례하여 나타난다.

본 실험에서는 각 이벤트의 링다운 카운터를 누적 계수하여 얻게 되는 CUM-CNTS(cumulative counts)와 AE-HITS 수를 절삭 조건의 변화에 따라 검토해 보았다.

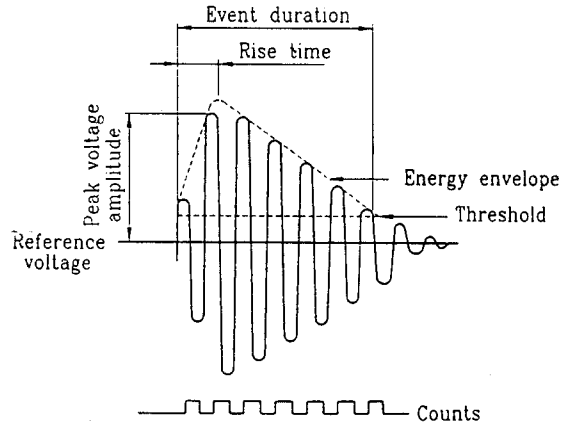


Fig 2-1. Parameter of acoustic emission signal

2. 드릴 마멸

절삭 가공 중의 공구 마멸에는 용착 마멸(adhesive wear), 마찰 마멸(abrasive wear), 확산 마멸(diffusion wear), 산화 마멸(oxidation wear) 등이 있다. 용착 마멸은 고속도강 공구에 의한 강 절삭에서 마멸과 파손의 주요 원인이 된다. 이것은 마멸의 어느 한계에 도달하면 온도가 상승하고, 공구의 경도가 급격히 저하되어 절삭 저항을 이기지 못하고 연화되면서 마멸 속도가 높아져 파손을 가속화시킨다.

드릴의 마멸은 드릴 중심에서 outer corner로 나가면서 커지고, 끝 부분인 outer corner에서 최대가 된다. 일반적으로 드릴의 마멸은 outer corner wear, flank wear, margin wear, crater wear, chisel wear, chipping의 6가지로 분류할 수 있다. 이 중에서 outer corner 마멸은 가공면 형상에 직접 영향을 미치며, flank 마멸은 드릴 중심에서 outer corner로 갈수록 커진다. 이것은 드릴 절삭날을 따라 outer corner로 갈수록 직경이 커지므로 절삭속도가 증가하여 절삭 온도가 또한 높아지기 때문이다. 그리고 flank 마멸과 chisel의 마멸이 증가함에 따라 추력이 증가하여 임계 마멸에

도달하면 chisel은 절삭날의 역할을 못하기 때문에 절삭 저항이 급격히 증가하여 파손에 이른다. 그리고 직경이 작은 드릴은 칩의 배출 불량으로 돌발적인 파손이 발생할 수 있다.

3. 드릴 절삭 과정과 AE신호 발생원

드릴 가공에서의 AE신호의 발생원은 다음과 같다.

- (1) 제 1 절삭날 즉, lip에 의한 칩 형성 영역
 - * 전단면에서의 전단 영역 (제1변형 영역)
 - * 공구 윗면과 칩의 접촉 영역 (제2변형 영역)
 - * 공구 측면과 공작물의 접촉 영역(제3변형 영역)
- (2) chisel 날에서의 칩 형성 영역과 중심의 압입 작용 영역
- (3) margin 부에 의한 마찰 영역
- (4) 칩의 파단 및 충돌, 드릴의 파손

Ⅲ. 실험 장치 및 실험 방법

1. 실험 장치

본 실험은 머시닝 센터(machining center)에서 드릴링을 할 때 발생하는工具的磨滅과 AE신호와의 관계를 검토 분석하기 위한 실험으로, 사용한 工作機械는 머시닝 센터(TNV 40A)로써, 테이블 크기는 560×410×510mm이고 생산형이다.

AE 측정 및 해석 장치는 미국의 PAC (Physical Acoustic Corporation) 제품인 8900 LOCAN AT로 예비 증폭기(pre-amplifier)는 40/60dB의 게인(gain) 변환이 가능하고, 본체의 중앙 처리 장치(CPU : Central Processing Unit)에는 1MB 메모리가 내장되어 있어, AE신호의 해석은 동시에 6 채널까지 가능한 실험 장치이다.

Table 3-1. Instrument and specification

Instrument	Specification
Machining center	TNV-40A . 560×410×510 (mm)
AE computer	8900 LOCAN AT (PAC)
Pre-amplifier	1220A (PAC, USA) Gain 40/60dB Bandwidth 20~1200kHz
AE sensor	PAC R15, Ceramic, Gain 40dB, 60kHz
Tool maker's microscope	Mitutoyo, Japan Measuring accuracy 0.001mm

AE 센서는 PAC사 제품인 R15 로써 게인은 40dB, 공진 주파수는 60kHz이며, 변환자 접촉면은 세라믹으로 되어 있다. 계측되는 신호를 감시 분석하기 위한 8900 LOCAN AT 컴퓨터에 검출의 정확성과 레벨의 순간 확인을 위해 14" 칼라 모니터를 장착 사용하였다. 절삭 상태를 검출하기 위한 각종 AE 파라미터에 대한 관계치를 플로피 디스크에 저장하였으며, 실험시 순간적인 소요 자료와 그래프를 프린터로 인쇄하였다.

그리고, 드릴의 마멸량을 측정하기 위하여 공구 현미경을 사용하였으며, 마멸 상태를 관찰하기 위한 공구 현미경에 카메라를 부착하여 사진 촬영을 하였다. 표 3-1은 실험 장치와 사용 기기에 대한 사양이다

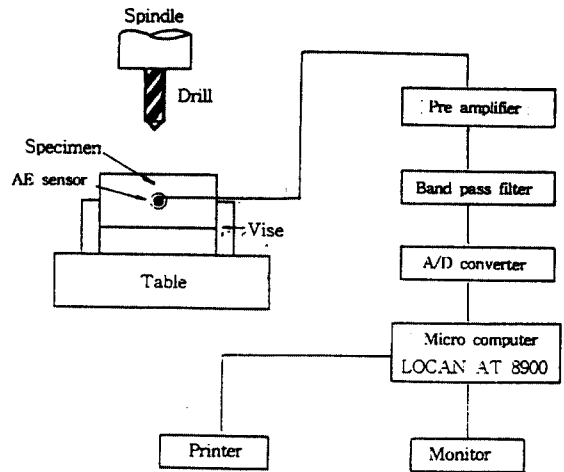


Fig 3-1. The schematic diagram of experimental apparatus

2. 실험 방법

2-1 AE신호의 측정

그림 3-1과 같이 AE 센서는 공작물의 측면에 부착하였으며, AE 신호는 잡음을 없애기 위하여 band pass filter를 통과시킨 다음 A/D converter를 거쳐 실효치 전압 (RMS_{AE}), AE CUM-HIT 수, CUM-CNTS의 데이터를 디스켓에 저장하고, 14" 칼라 모니터로 관찰하였다. 그림 3-1은 실험 장치의 구조를 나타낸 것이다.

2-2. 드릴링 방법

드릴링은 수동 조작에 의한 외적 영향을 없애기 위하여 단일형 복합 고정 사이클(G81)과 자동 공구 교환 프로

그램을 사용하여, 드릴 가공을 실시하였다.
 표 3-2는 드릴링 프로그램을 나타낸 것이다.

Table 3-2. Drilling program

Main - program	Sub - program
O1000 :	O2000 : (Sub - program 1)
G40 G49 G80 :	G91 X15. L5 :
G91 G28 X0 Y0 Z0 :	Y15. :
G92 X100. Y100. Z100. :	X-15. L5 :
G91 G30 Z0 T02 M06 :	Y15. :
G90 G00 X12.5 Y12.5 :	X15. L5 :
G43 Z10. S2500 H01 M03 :	Y15. :
G90 G81 G99 Z-2. R3. F125. M08 :	X-15. L5 :
M98 P2000 :	Y15. :
G91 G30 Z0 T03 M06 :	X15. L5 :
G90 G00 X12.5 Y12.5 :	Y15. :
M98 P3000 :	X-15. L5 :
G90 G00 X12.5 Y42.5 :	G49 G80 G90 G00 Z200. M09 :
M98 P3000 :	M99 :
G90 G00 X12.5 Y72.5 :	
M98 P3000 :	O3000 : (Sub - program 2)
G91 G30 Z0 T01 M06 :	G43 G90 G01 Z10. H03 S1500 M03:
G90 G00 Z200. :	G81 G99 Z-30. R3. F150 :
M05 :	G91 X15. L5. :
M02 :	Y15. :
	X-15. L5 :
	G90 G80 G00 Z200. M05 :
	M00 :
	M99 :

2-3. 절삭 조건

절삭 조건 변화에 따른 AE신호에 미치는 영향을 감지하기 위하여 절삭 조건을 표 3-3과 같이 하였다. 드릴의 overhang 길이는 홈 길이인 90mm로 하였고, 절삭유의 영향을 없애기 위하여 절삭유를 사용하지 않았으며, 매 실험 마다 새로운 드릴을 사용하였다.

Table 3-3. Cutting condition in experiments

Cutting condition	Variation
Spindle speed (rpm)	500, 1000
Feed rate (mm/min)	150

3. 시편

본 실험에 사용한 시편은 SM45C 로써 AE신호의

정확한 채취를 위하여 머시닝 센터를 사용하여 100×100×30 크기로 일정하게 가공하였다. 시편의 화학적 성분과 기계적 성질은 표 3-4와 표 3-5와 같다.

Table 3-4. Chemical composition of specimen(wt, %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
0.46	0.25	0.76	0.02	0.04	0.09	0.02	98.36

Table 3-5. Mechanical properties of specimen

Hardness (H _{RC})	193
Tensile strength (kg/mm ²)	69
Yield strength (kg/mm ²)	41
Elogation (%)	18

4. 공구

공구는 straight shank twist 드릴로 SKH51 고속도 공구강을 사용하였다. 그림 3-3은 드릴의 모양을 나타낸 것이며, 표 3-6은 드릴의 치수를, 표 3-7은 드릴의 화학적 성분을 나타낸 것이다.

Table 3-6. Dimension of drill

Item	Dimension
Diameter (mm)	10
Length (mm)	130
Flute length (mm)	90
Margin width (mm)	1
Point angle (°)	118
Relief angle (°)	31
Helix angle (°)	31

Table 3-7. Chemical composition of SKH51 drill(wt, %)

C	Cr	Mo	W	V	Fe
0.85	4.00	5.00	6.00	2.00	82.15

IV. 실험 결과 및 고찰

1. 실효치 전압(RMS_{AE})과 드릴 마멸과의 관계

RMS_{AE} 는 가공 초기에 날카로운 절삭날의 칩핑으로 급격한 상승을 보이고 난 후 마멸의 진행과 더불어 선형적으로 증가함을 보였다. 그러나 그림 4-1, 그림 4-2 에서 보여주는 바와 같이 가공 구멍수가 약 102개 정도, outer coner의 마멸폭이 약 0.22mm를 넘어서면서 실효치 전압은 급격한 상승을 보였고, 마멸의 증가에 따라 민감한 반응을 나타냈으며, 불규칙하고 돌발적인 변화와 함께 그 증가율이 매우 큰 경향을 보였다. 또한 이 시점을 지나면서 가공된 표면이 매우 거칠게 나타났고, 칩의 색깔은 균청색으로 변화하였으며, 칩의 길이도 짧게 배출 되었다. 더불어 마찰음이 점차적으로 크게 나타나기 시작하였으며, 가공된 구멍수가 180개 정도에서는 더 이상 절삭이 불가능한 상태로 되었다.

그림 4-3은 500rpm의 회전수에서 실험한 결과이다. 실효치 전압은 초기부터 급상승하였으며, 불규칙적인 상승과 하락을 거듭하면서 마멸폭 0.35mm 부근에서 급상승함을 나타내었다. 초기의 급상승은 공구가 피삭재에 접촉하면서 과도한 회전당 이송에 의해 칩핑과 파손이 발생한 것으로 생각되며, 이 때의 가공면은 매우 불량하게 나타났다.

RMS_{AE}의 급격한 상승은 칩핑과 마멸에 의한 절삭날의 둔화로 절삭저항의 증가^[6]와 마찰 면적의 증가 및 높은 응력 상태에서 집중적인 전단에 의한 불연속 칩을 배출함^[10]으로써 기인하는 것으로 생각된다.

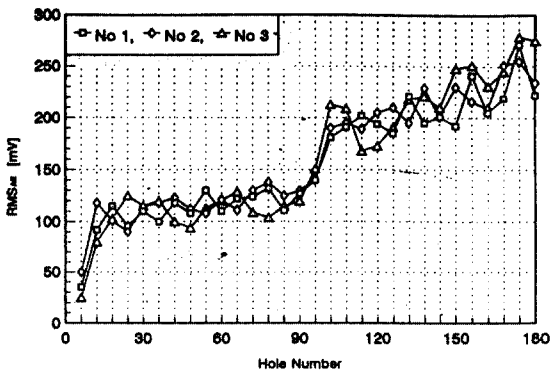


Fig 4-1. RMS_{AE} versus hole number at 1000rpm, 150mm/min

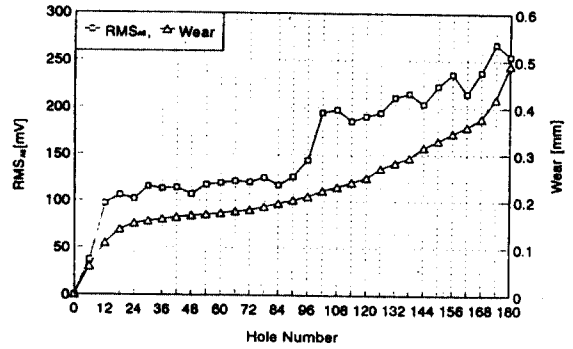


Fig 4-2. RMS_{AE} wear versus hole number at 1000rpm, 150mm/min

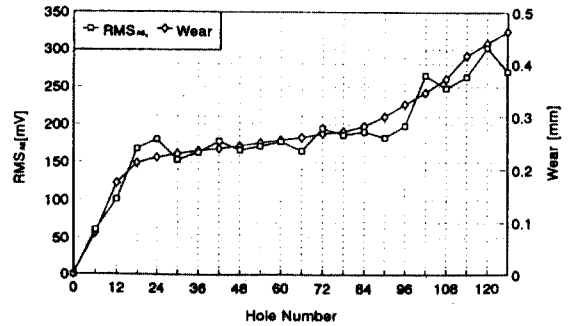


Fig 4-3. RMS_{AE} wear versus hole number at 500rpm, 150mm/min

2. AE CUM-HITS 수와 드릴 마멸과의 관계

그림 4-4와 4-5는 각각 이송속도 150mm/min에서 주축회전수를 1000rpm, 500rpm로 했을 때의 구멍수에 따른 AE CUM-HITS 수와의 관계를 나타낸 것이다.

그림 4-4는 주축회전수가 1000rpm에서의 실험으로 마멸량이 약 0.20mm에 이를 때까지는 큰 변동 없이 증가하는 경향을 보였으나, 0.22mm에서는 AE CUM-HITS 수가 급격히 상승하였다. 이 때까지 가공된 구멍수는 약 102개 정도였다. 그 후 드릴과 피삭재의 접촉에 의한 마찰음은 점점 커졌으며, 칩의 색깔과 길이가 점차적으로 변화하면서 AE CUM-HITS 수는 급격한 상승과 하강이 반복되며 돌발적이고 불규칙적으로 나타났다.

그림 4-5는 주축회전수 500rpm일 때의 실험 결과이다. 초기의 예리한 절삭날은 미소 파괴와 회전수에 대한

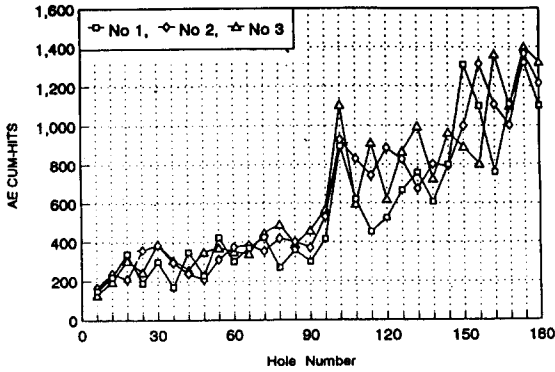


Fig 4-4. AE CUM-HITS versus hole number at 1000rpm, 150mm/min

과다 이송으로 초기에 AE CUM-HITS 수가 급격히 상승하였으며, 그 후 큰 변동 없이 완만한 증가를 보인 다음, 드릴 마멸폭이 0.35mm 부근에서 다시 급격한 상승을 보였다. 그 이후는 그림 4-4와 같이 불규칙적이고 돌발적인 상승과 하강을 반복하면서 절삭날은 마멸에 의해 절삭이 불가능한 상태에 이르렀다.

3. CUM-CNTS와 드릴 마멸과의 관계

그림 4-6과 4-7은 이송속도 150mm/min에서 각각의 주축회전수를 1000rpm, 500rpm으로 절삭할 때 드릴의 마멸에 따른 CUM-CNTS의 관계를 실험한 것이다.

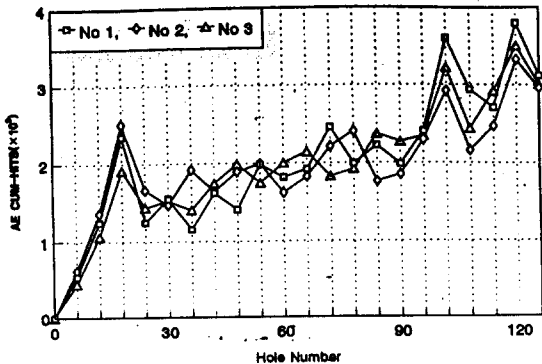


Fig. 4-5. AE CUM-HITS versus hole number at 500rpm, 150mm/min

모든 실험에서 절삭 초기에는 순간적인 미소 칩핑으로 마멸량이 증대하고 CUM-CNTS 도 비교적 높은 값을

나타내고 있었고, 그 후 완만한 증가를 나타내는 경향도 비슷하였으며, 다시 돌발적인 상승과 하강으로 공구는 사용 불능 상태로 되었다.

즉, 가공한 구멍수가 약 102개 정도에서 드릴 마멸폭은 약 0.22mm 였으며 CUM-CNTS는 급격한 상승이 나타났고, 다시 CUM-CNTS의 증가율은 크게 증가하는 경향을 나타냈다.

그림 4-7은 주축회전수 500rpm, 이송속도 150mm/min에서의 실험으로 비교적 낮은 절삭속도에서 실험을 하였다. 이것은 적합하지 못한 절삭 조건으로 조기에 공구 마멸을 초래함으로써 가공 표면의 거칠기가 지극히 불량했으며, 가공시 심한 괴음과 불꽃 현상, 그리고 이상 형상의 칩을 배출하였다. 따라서 절삭 가공시 CUM-CNTS의 급상승 시점은 공구의 이상 상태를 예지할 수 있는 가능성이 충분히 있다고 생각된다.

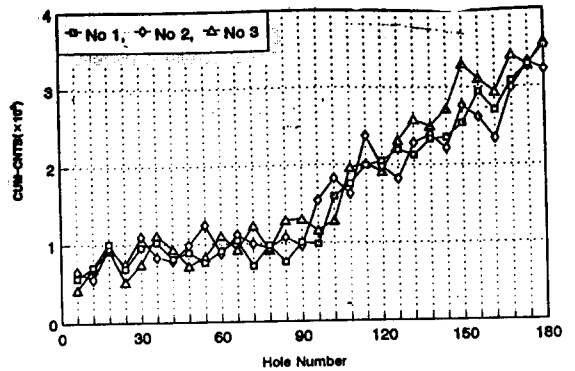


Fig 4-6. CUM-CNTS versus hole number at 1000rpm, 150mm/min

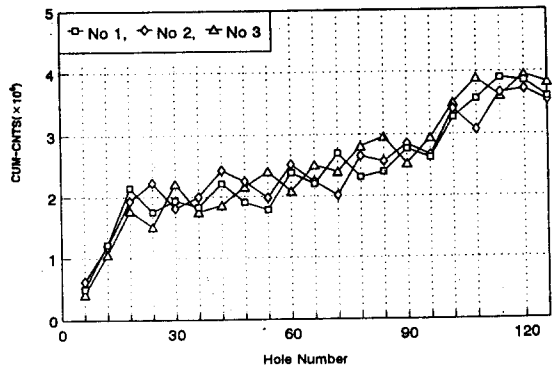


Fig 4-7. CUM-CNTS versus hole number at 500rpm, 150mm/min

V. 결론

본 연구는 드릴의 마멸 상태를 AE신호에 의한 In-process 검출로 적절한 공구의 교환 시기를 결정하기 위한 실험이었다. 이 실험에서 공구 마멸의 검출을 위한 종합적인 AE신호의 이용 가능성을 확인하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

주축회전수 1000rpm, 이송속도 150mm/min로 실험한 결과 RMS_{AE} 와 AE CUM-HITS수 및 CUM-CNTS는 마멸의 증가와 더불어 완만하게 증가하였다.

그러나 마멸폭이 0.20~0.22mm, 가공한 구멍수 102개 정도를 지나면서 그 값은 급격히 상승하였으며, 그 후 절삭이 불가능할 때까지 불규칙적이고 돌발적인 상승과 하강을 반복하였다.

즉, AE신호의 급격한 상승은 공구가 이상 상태에 있음을 나타내는 것으로서 공구의 마멸과 칩핑에 밀접한 관계가 있으며, 이와같이 AE신호가 불안정할 때의 가공면은 매우 불량하였다.

이러한 결과로부터 AE신호는 절삭상태의 In-process 검출과 공구의 이상을 감시할 수 있고, 적절한 공구 교환 시기를 결정할 수 있는 가능성을 보여주고 있다고 판단한다.

[참고 문헌]

- [1] 尹鍾學 "加工中 밀링 工具의 磨滅과 破損 檢出을 위한 音響放出의 應用에 관한 研究" 漢陽 大學校 博士學位 論文 1991, pp. 1-90.
- [2] Kim K.J., Kim K.H., and Hwang H.Y., "Progressive Tool Wear Sensing in Turning operations via Acoustic Emission Signal Processing Symposium of Integrated Intelligent Manufacturing" Analysis and Synthesis, ASME, 1986. pp. 1-30.
- [3] 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.
- [4] Moriwaki T., "Application of Acoustic Emission Measurement to Sensing of Wear and Breakage of Cutting Tool" Bull. Japan soc. of Prec. Eng, Vol.17, No3, 1983. pp. 154-160.
- [5] 이명상, "超音波 測定에 의한 절삭 작업 중의 工具 磨滅 感知에 대한 연구" 韓國 科學 技術院 生産工學 碩士學位論文, 1985. pp. 1~65.
- [6] 이용구, "AE를 이용한 Drill Wear와 파손의 예측에 관한 연구" 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문, 1987. pp. 1-17.
- [7] 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.
- (2-1)로부터 AE신호에 대한 에너지 변화율 dE/dt 는
- [8] D.A.Dornfeld, T.Masaki, "Acoustic Emission Feedback for Deburring Automation." ASME, winter Annual Meeting, 1987. pp. 1-8.
- [9] 이병찬, "밀링 가공시 발생하는 공구 마멸과 AE신호에 관한 연구", 한국 과학 기술원 논문집 (MPE85284) pp.1-41, 1987.
- [10] 이정근, "Acoustic Emission에 의한 드릴 상태 및 마멸 감지에 관한 연구", 한양 대학교 석사학위 논문, pp 27-31, 1987.