

선삭가공에 있어서 AE 신호와 표면 거칠기에 의한 공구손상에 대한 평가

한 용 교*, 이 범 성**, 박 준 서**, 김 순 기***

An Estimation of Tool Failure by Means of AE Signal and Surface Roughness in Turning Machining

E. K. Han*, B. S. Lee**, J. S. Park**, S. K. Kim***

ABSTRACT

In this study, using in-process tool failure detecting system by AE method in turning machining, we measured AE signal from the tool, and the surface roughness of workpiece and then compared it with tool wear. As a result, we found that tool failure can be predicted by means of surface roughness of the workpiece and it can be predicted more precisely by the arithmetical average roughness (Ra) than by the maximum height of irregularities (Rmax) of the workpiece. Also, we found that we could judge whether it was sudden failure or the wear by means of the shape of AE signal and the range distribution of power spectrum frequency when tool damage was happened.

1. 서 론

기계 가공시 절삭공구는 가공면과의 지속적인 마찰에 의하여 마모되거나 순간적인 절삭력의 변동에 의하여 파손됨으로 해서 공구수명이 다하게 되는데 기계 가공작업의 경제성과 생산성의 향상을 위해서는 공구의 수명을 효과적으로 관리할 수 있는 대책이 요구된다.¹⁾²⁾

이와 같은 대책의 일환으로서 공구손상 즉시 손상상태를 감지할 수 있는 가공중 감시시스템(inprocess measurement system)이 요구되는 동시에, 보다 효과적이면서 정확한 공구 수명관정을 위한 공구 손상측정법이 요구된다.³⁾⁴⁾⁵⁾

따라서 본 연구에서는 선삭 가공시 발생하는 AE 신

호를 실시간(real time) 관측할 수 있는 AE 측정장치를 구성하고, 공구손상시 발생하는 AE 신호와 공작물의 표면 거칠기에 미치는 영향과의 상관 관계를 조사하여 AE 신호와 표면 거칠기에 의하여 효과적으로 공구 파손 및 마모 여부를 관정할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다.

2. 이 론

2-1. 공구마모와 AE 신호의 관계

2-1-1. 공구마모

절삭공구는 경사면에서 칩과 접촉하고, 여유면에서는 공작물과 접촉하기 때문에 절삭공구의 파손요인은 주로

* 한양대학교 정밀기계공학과 (정회원)

** 한양대학교 정밀기계공학과 대학원(정회원)

*** ㈜삼성 데이터 시스템

여유면 마모(flank wear)와 경사면마모(crater wear)이다.⁶⁾⁷⁾ 즉, 여유면 마모는 공작물의 표면과 공구 여유면 사이의 마찰에 기인하며, 경사면 마모는 칩과 공구면 사이의 마찰에 의한 고온, 고압의 상태에서 일어나게 되는데 여유면측의 마찰 속도가 경사면측의 마찰 속도 보다 훨씬 크게 됨에 따라 여유면 마모는 경사면 마모보다 더욱 빠르게 진전하며 공작물의 표면 거칠기와 치수 정밀도, 절삭력 등에 큰 영향을 미치기 때문에 공구수명을 지배하는 주요한 인자로 취급되고 있다.⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 공구 마모중 여유면 마모만을 고려하여 AE신호와의 관계를 규명 하였다.

2-1-2. AE 신호 해석

AE는 재료가 소성변형이나 파괴할 때 축적된 에너지의 일부가 방출되면서 발생하는 탄성파이다. 절삭과정에서 발생하는 AE는 공구의 칩핑과 마모에 의한 에너지의 유출로 볼 수 있으며 AE신호의 에너지양을 AE 발생원의 일률과 연관된 에너지양의 척도로서 다음식과 같은 AE파의 실효치를 사용한다.¹¹⁾¹²⁾

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

여기서, $V(t)$: 신호함수, Δt : 평균시간
AE신호의 에너지 변화율은

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

의 관계를 만족한다.

또한 소성변형에 의한 단위체적당 에너지 증분 dW 은 다음식과 같이 주어진다.¹³⁾

$$dW = \sigma_1' d\epsilon_1 + \sigma_2' d\epsilon_2 + \sigma_3' d\epsilon_3 \text{ (3)}$$

여기서 $\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3'$ 는 주응력편차이고 $d\epsilon_1, d\epsilon_2, d\epsilon_3$ 는 변형을 증분을 나타낸다. 따라서 전체부피에 대한 일 W 는

$$W = \int_V \sigma_i' d\epsilon_i dV$$

가 되고 단위 시간당 에너지변화율 \dot{W} 는

$$\dot{W} = \sigma' \dot{\epsilon} v \text{----- (4)}$$

로 표시되며

소성 변형일 중 AE 발생에 필요한 부분의 비율이 일정하다고 하면

$$dE/dt \propto (RMS)^2 = C \sigma' \dot{\epsilon} V$$

(단, 여기서 C는 상수임)

의 관계가 성립한다.¹⁴⁾¹⁵⁾

이상과 같이 AE 신호의 에너지 변화율 dE/dt 는 소성 변형율 $\dot{\epsilon}$ 과 부하 응력 σ' 및 변형하는 재료의 체적 V 에 의존하는 것을 알 수 있다.

3. 실험 장치와 실험 방법

본 실험에 사용된 공작물의 재료는 SM45C와 SCM440으로, 공구에 단속적인 충격력을 주기위해 Fig. 3(a)와 같이 길이 방향으로 폭3mm 정도의 홈을 새긴 환봉을 사용하였으며, NC선반의 공구 홀더(tool holder)에 공구를 장착하고 Fig. 1과 같이 공구의 끝단으로부터 약 100mm 떨어진 풀구홀더 측면에 AE센서를 부착하였다.

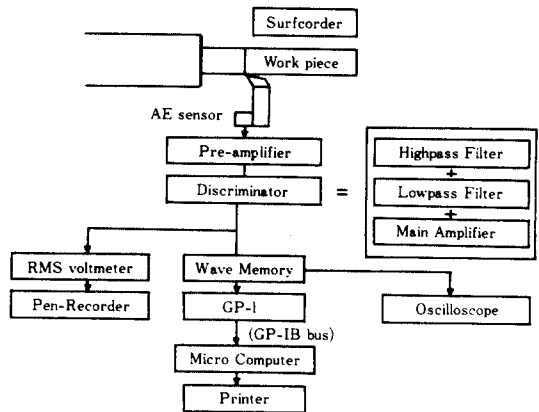


Fig.1 Block diagram of experimental apparatus

환봉의 선삭시 공작물의 직경이 감소하면서 절삭속도도 감소하게 되므로 주축 회전수를 조절하여 절삭속도가 일정하게 유지되도록 하였으며, 회전하는 공작물이 프로그램의 시작점에 복귀하면 잠시 정지하도록 설정하여 공작물의 회전이 정지되어 있는동안 인서트 팁(insert tip)을 공구홀더(tool holder)로 부터 탈착하여 공구현미경을 사용하여 공구인선의 마모량을 측정하고, 동시에 공구마모 정도에 따른 공작물의 표면 거칠기 상태를 조

사하기 위하여 표면 거칠기 측정기(surf-corder)를 사용하여 최대높이거칠기(Rmax)와 중심선 평균거칠기(Ra)를 측정하였다.

절삭 가공중에 AE센서로부터 검출된 AE신호는 Fig. 1의 블록다이어그램에서 보여주는 바와같이 전치증폭기(pre-amplifier)와 디스크리미네이터(discriminator)에 내장되어 있는 주 증폭기(amplifier)를 통하여 60dB 증폭되도록 하고, 100kHz~1MHz 대역의 주파수만 통과할 수 있도록 밴드 패스필터(band pass filter)를 설치하였다.

이와같은 디스크리미네이터를 통과한 AE신호는 각각 RMS 전압계(RMS voltmeter)와 파형 기억장치(Wave memory)로 보내어지는데, RMS 전압계에의해서 AE RMS값이 지시되고, 파형 기억장치를 통과한 AE 신호는 다시 오실로스코프와 GP-IB(general purpose interface bus)로 연결시킨 컴퓨터로 각각 보내지도록 되어 있어 오실로스코프에 나타난 파형을 관찰하면서 컴퓨터로 파형의 데이터를 처리할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 본 연구에 사용된 AE 측정 시스템이다.

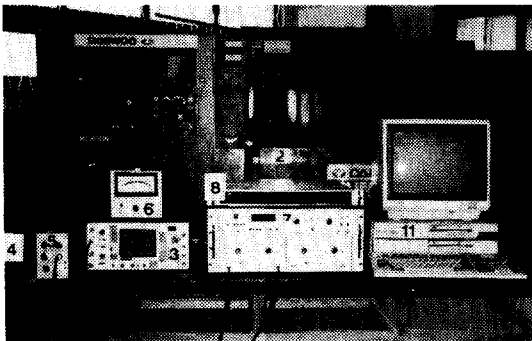


Fig. 2 Experimental apparatus for AE measurement

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3(a)는 환봉의 길이 방향으로 폭 3mm의 홈을 가진 공작물을 절삭하는 경우 공작물의 홈에 부딪히는 공구인선의 충격 회수와 절삭과정에서 발생하는 AE RMS 및 공작물의 표면 거칠기와의 관계를 나타내는 것으로 대체적으로 AE RMS와 표면 거칠기의 값이 충격 회수에 비례하여 증가하는 경향을 보이나 충격 회수 400회와 900회에서 AE RMS값이 갑자기 상승했다가

감소하는 현상이 생기며, 충격 횟수 1600회부터는 AE RMS값이 계속 증가되고 있는 것을 볼 수 있다. 충격 회수에 대한 공작물의 표면 거칠기와의 관계를 나타낸 Fig. 3(b)에서도 이와 같은 시점인 충격 회수 400회와 900회 근방에서 공작물 표면의 최대 높이 거칠기(Rmax)와 중심선 평균거칠기(Ra)가 거의 동시에 갑자기 상승했다가 서서히 감소해가는 현상이 생기며, 1600회 부터는 다시 표면 거칠기값이 계속 증가되어가는 것을 볼 수 있다.

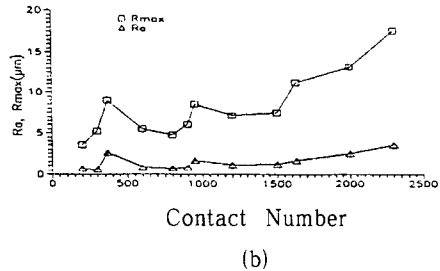
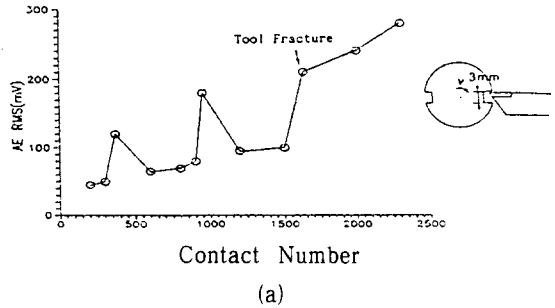


Fig. 3 AE RMS(a) and Surface roughness (b) to contact number (SCM 440, Feed=0.1mm/rev, Depth of cutting=0.5mm, V=200m/min)

이와 같이 공구의 충격 회수와 더불어 AE RMS 값과 공작물의 표면 거칠기의 값이 함께 증가하는 것은 공구의 충격회수에 비례하여 공구인선의 마모가 증가하고 있다는 것을 의미하여, 특히 충격 회수 400회와 900회에서 AE RMS값이 갑자기 증가하는 현상은 공구인선에 주기적으로 작용하는 충격력으로 누적된 피로하중에 의하여 이 시점에서 공구인선이 파손되고, 이와 같이 파손된 공구로 절삭가공한 공작물의 표면이 거칠어지는 것으로 볼 수 있으며 이 시점을 지나 표면 거칠기의 상태가 다시 양호해져 가는 것으로 보아 절삭이

진행됨에 따라 손상된 공구인선이 다듬질되어 공구인선의 상태가 다시 양호하여 지는 것으로 볼 수 있는데, 이와 같이 절삭시 발생하는 AE RMS값과 공작물의 표면 거칠기는 서로 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

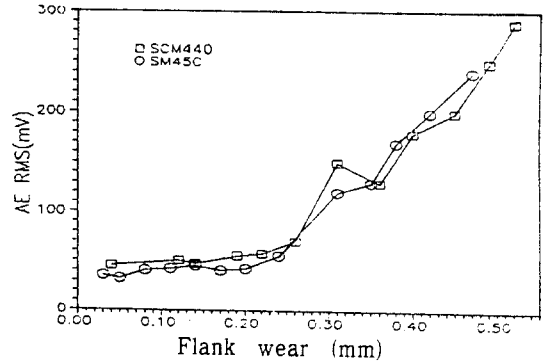
Fig. 4(a)는 공구 여유면의 마모가 진행됨에 따라 변화하는 AE RMS를 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 재질 SCM440인 공작물의 경우, 여유면 마모가 0.31mm에 이르면 AE RMS값이 급격한 변화를 나타내기 시작하는데, 재질 SM45C의 경우에도 이와 같은 지점에서 AE RMS값이 급격히 변화하는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 4(b)는 공구인선의 여유면 마모와 공작물 표면의 최대 높이거칠기(Rmax)와의 관계를 보여주는 것으로, 재질 SCM440의 공작물의 경우 공구의 마모량이 0.40mm일때 최대 높이 거칠기가 급격한 변화를 보이기 시작하고, 재질 SM45C의 경우에는 공구의 마모량이 0.25mm 일때 급격한 변화를 나타내는 것을 볼 수 있다.

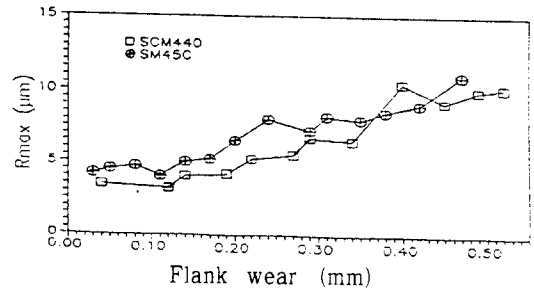
따라서 이와 같이 AE RMS값이 급격한 변화를 나타낼 때의 공구마모량(0.31mm)을 공구 수명한계로 할 경우와 공작물 표면의 최대높이거칠기(Rmax) 값이 급격한 변화를 보일때의 공구마모량(0.25~0.40mm)을 공구 수명한계로 할 경우 서로 약 80%정도 일치하고 있기 때문에 공작물 표면의 최대 높이 거칠기값으로 공구수명을 판정할 때 AE RMS에 의한 공구 수명 판정에 대해 약 80%정도로 추정할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4(c)는 공구의 여유면 마모가 진행됨에 따른 공작물 표면의 중심선 평균거칠기(Ra)의 변화를 나타내는 것으로 재질 SCM440의 공작물의 경우 공구가 마모됨에 따라 공작물의 중심선 평균 거칠기의 값도 서서히 증가하기 시작하는데, 공구의 여유면 마모량이 0.31mm가 되면 중심선 평균거칠기의 값이 급격히 증가되고 있음을 볼 수 있다. 또한 재질 SM45C의 공작물을 가공할 경우에도 이와 같이 공구의 여유면 마모량이 0.31mm에 이르면 중심선 평균거칠기의 값이 급격히 증가되어 앞서의 AE RMS 값이 급격한 변화를 보일때의 공구 마모량과 일치되고 있음을 알 수 있다. 따라서 이와같이 공작물의 중심선 평균거칠기의 값이 급격히 증가될 때의 공구의 여유면 마모량(0.31mm)을 공구의 수명으로 할 경우 앞서의 최대 높이거칠기(Rmax)로 공구수명을 평가할 경우 보다 더욱 정확하며, 표면 거칠기의 변화

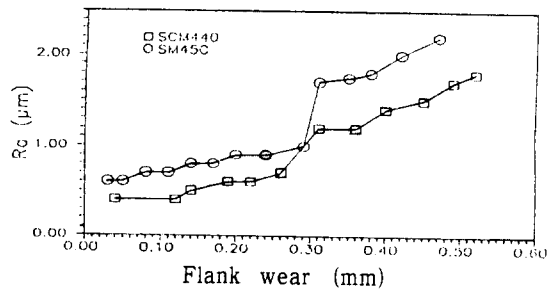
폭도 중심선 평균거칠기(Ra)의 쪽 최대 높이 거칠기(Rmax)쪽 보다 훨씬 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

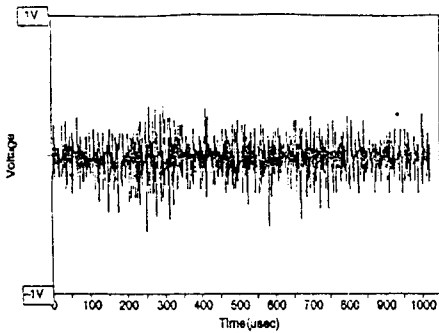
Fig. 4 AE RMS(a), surface roughness Rmax(b) and Ra(c) to Flank wear (Feed=0.1mm/rev, Depth of cutting=0.5mm, V=200m/min)

이와 같은 결과를 볼 때, 공작물 가공면의 표면 상태로 공구의 수명을 판정할 때, 최대 높이거칠기(Rmax)에 의해 판정하는 것 보다 중심선 평균거칠기(Ra)에 의한 것이 보다 정확함을 알 수 있다.

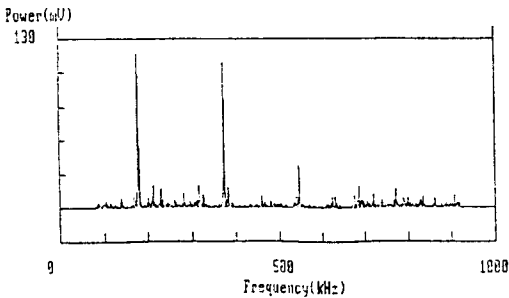
Fig.5와 6은 선삭시 공구가 마모될 때와 공구가 파손될 경우 각각에 발생하는 대표적인 AE신호와 이 AE신호를 컴퓨터에서 파형을 데이터 처리하여 얻은 파워스펙트럼(Power spectrum) 분포를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 공구마모에 의하여 발생하는 AE신호 진폭(AE signal displacement)은 낮으며, 파워 스펙트럼의 주파수 대역도 100~900 kHz대의 넓은 분포를 보이고 있으나, 공구 파손에 의하여 발생하는 AE 신호의 진폭은 높고, 주파수 대역도 300~600kHz 대의 좁은 분포를 보인다.

따라서 공구손상이 발생할 때, 그 공구손상의 원인이 마모에 의한 것인지 충격에 의한 파손인지를 AE신호 진폭의 크기와 주파수대역의 분포로 부터 판단할 수 있다.

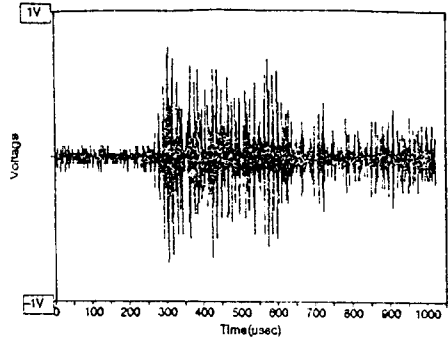


(a) AE signal displacement

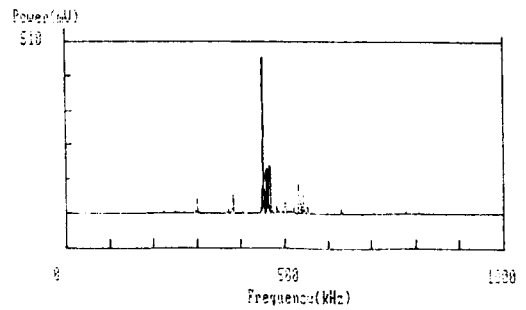


(b) AE signal Power spectrum

Fig. 5 AE signal and Power spectrum of Tool wear (Feed=0.1mm/rev, Depth of cutting=0.5mm, V=200m/min)



(a) AE signal displacement



(b) Power spectrum of AE signal

Fig.6 AE signal displacement and Power spectrum in tool fracture (V=200m/min, Feed =0.1mm/rev, Depth of cutting=0.5mm)

5. 결 론

효과적인 공구수명의 관정을 위하여 공구의 마모와 파손시 발생하는 AE신호와 공작물의 표면 거칠기에 미치는 영향과의 상관 관계에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선삭가공시 공구손상부위에서 발생하는 AE RMS값과 공작물의 표면 거칠기는 일정한 관계를 갖고 있다.
- 2) 공작물표면의 최대 높이 거칠기(Rmax) 값으로 공구수명을 판정하면 AE RMS값에 의한 공구 수명판정에 대해 약 80%의 근사치로 추정할 수 있다.
- 3) 공작물의 표면 거칠기에 의한 공구수명 판정시 중심선 평균거칠기(Ra) 값에 의한 판정이 최대 높이거칠기(Rmax) 값에 의한것 보다 정확하다.
- 4) 절삭공구의 마모시 나타나는 AE신호 진폭은 낮게,

파워스펙트럼의 주파수 대역은 넓게 분포되어 나타나는데, 공구 파손시에는 AE신호 진폭은 높게, 파워스펙트럼의 주파수 대역은 좁게 나타난다. 따라서 공구손상의 원인이 마모에 의한 것인지 충격에 의한 파손인지를 AE신호 진폭의 크기와 주파수 대역의 분포로부터 판정할 수 있다.

참고문헌

1. K.Iwata and T.Moriwaki "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear, Ann.CIRP, Vol.25, 1977. 1.
2. A.Kitano, S.Nakamura and A.Yamamoto "Detection of Initial Fracture of Tool Edge by AE Signal (1st Report) JSPE Vol.156, 1990. 10, pp.1167~1173.
3. J.Roget, P.Souquet and N.Gsib "Application of Acoustic Emission to the Automatic Monitoring of Tool condition during Machining" The American Society for Nondestructive Testing, Inc. Materials Evaluation, Vol.146, 1988. 2. pp.1900~1905.
9. M.Wada and M.Mizuno, "Observation of Friction and Wear Utilizing Acoustic Emission Technique-Prediction of Unusual Phenomenon-", JSME, 52, 1986. 10, pp.1719~1724.
10. Y.Kakino, L.D.Chuong and M.Kobayashi, "In Process Detection of Tool Breakage by Making Use of Acoustic Emission", JSPE, 46, 1980. 3, pp.66~71.
11. T.Kaneeda, H.Tsuwa, "Study on Separation Process at Tool Tip in Metal Cutting (2nd Report) -Detecting Fracture Phenomena at Tool Tip in Separation Process by Acoustic Emission Techniques-", JSPE, Vol.45, 1979, 4, pp.34~39.
12. R.J.Boness, S.L.Mcbride and M.Sobczyk, "Wear using Acoustic Emission Techniques." Tribology International, Vol.23, No.5, 1990, 10, pp.291~295.
13. K.Okushima, Y.Kakino, S.Fujita, "A Study on the Origin of Surface Roughness During the Finish Turning of o, 45% Carbon Steel with a Carbide Tool", JSPE, Vol.38, 1972, 2, pp.66~67.
14. H.Takeyama, K.Miyasaka "Effect of Tool Wear upon Surface Finish, JSPE, Vol.35, 1969, 10, pp.629~633.
15. Dornfeld, D. A. and Kannatey-Asibu, e., "Quantitative Relationship for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting", Tran. ASME, J. Eng, Ind. Vol. 103, 1981.