

## AE신호를 이용한 micro-grooving의 상태감시

이희석\*, 손성민, 김성렬(부산대 대학원), 안중환(부산대 기계공학과)

### State Monitoring of Micro-Grooving using AE Signal

H. S. Lee\*, S. M. Son, S. R. Kim(Graduate School., PNU), J. H. Ahn(Mech. Eng. Dept., PNU)

#### ABSTRACT

With the advance of precision technique, the optical system is more precise and complex and the machining method of optical element which is composed of micro-grooves is developed. Especially, the method of micro-grooving using diamond tool is used widely owing to many merit, but has problems of damage of surface roughness due to tool wear and tool fracture. This paper deals with state monitoring using AE RMS in the micro-grooving. The change of AE RMS is very small with increment of cutting velocity and depth of cut. In spite of constance magnitude of principal force in machining using diamond tool of tool wear and tool fracture, AE RMS is highly fluctuated. Because changing of cutting state has relevance to surface roughness profile, surface toughness profile is expected using AE RMS.

**Key Words** : Micro-Grooving(미세홈가공), AE Signal(음향방출신호), State Monitoring(상태감시)

#### 1. 서론

정밀기술의 진보와 함께 각종 광학소자, 전자소자의 소형화 고집적화의 요구가 높아지고 있다. 특히 광학소자분야에서 광학소자를 이용한 광학계가 더 정밀해지고 복잡해짐에 따라 광학소자를 구성하는 미세홈의 가공기술도 비약적으로 발전하였다. 미세홈의 가공법중에서 다이아몬드공구를 이용한 미세홈가공방법은 우수한 면조도, 짧은 가공시간과 가공의 용이성 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 공구의 마모 또는 파손에 따른 가공물의 정밀도 및 품질의 저하를 초래하기도 한다. 따라서 양호한 표면상태를 얻기 위해서 공구마모 및 공구파손과 같은 공구의 이상상태 감시가 필요하다.[1,2]

공구동력계를 이용하여 절삭력의 신호를 통해 가공상태나 공구의 상태를 감시하는 많은 연구가 있었으나 실용성의 문제가 존재한다. 최근 절삭 및 연마 공정에서는 현실적이면서 미세한 가공상태감시를 위해 AE센서를 이용한 감시에 관한 연구가 진행중이다. 그러나 미세홈가공에서 AE센서를 이용한 상태감시연구는 극히 저조하다. 따라서 미세홈가공 중에 발생하는 AE신호를 이용하여 가공상태를 감시하는

것은 필요하다.[4]

본 연구에서는 다이아몬드공구를 이용한 미세홈가공의 AE신호특성을 파악하고 실시간으로 AE신호를 검출하여 신호처리를 통해 공구마모와 공구파손 등과 같은 공구의 이상상태를 감시하고 절삭력과 표면거칠기와 비교·분석하였다.

#### 2. AE 신호

##### 2.1 이론적 내용

Fig. 1은 미세홈가공에 있어 칩과 피삭재 사이의 절삭메커니즘을 보이고 있다. 칩모서리와 피삭재 사이에서 마찰현상, 전단현상 및 분리현상이 발생하게 된다. 이 때 AE신호가 방출되고 실시간으로 가공상태를 감시하기 위하여 에너지양의 값인 AE RMS를 사용한다.[2,5]

##### 2.2 미세홈가공에서의 AE신호

미세홈가공에 있어 AE신호를 이용한 상태감시를 하기 위해 먼저 가공시에 발생하는 AE신호의 특성을 분석하였다. 노이즈의 영향을 제거하기 위해 필터대역을 조정하면서 7-3활동을 가공실험(절삭깊이

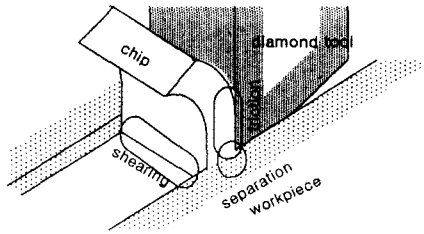


Fig. 1 Mechanism of micro-grooving

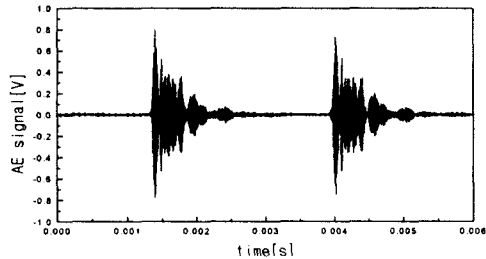


Fig. 2 AE raw signal in micro-grooving of brass

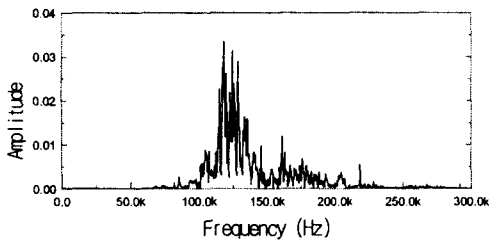


Fig. 3 FFT of AE signal

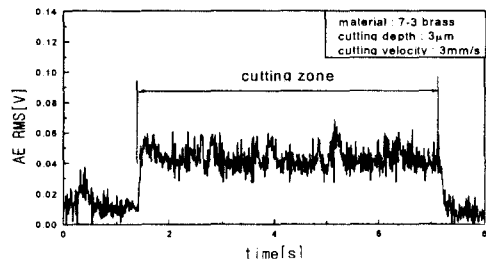


Fig. 4 AE RMS of micro-grooving

3 $\mu$ m, 절삭속도 3mm/s)하여 Fig. 2, 3과 같은 결과를 얻었다. FFT 분석결과 약 100~150kHz의 주파수대역을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

가공 중에 실시간으로 이상상태를 AE RMS로 감시하기 위하여 샘플링시간을 약 10ms로 하였다. Fig 4는 동일한 가공조건에서 검출된 AE RMS이고 가공 중에 일정한 크기로 증가하여 변화하는 것을 확인할

수 있었다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

미세홈가공의 상태감시를 위해 본 실험에서 사용한 가공기와 상태감시시스템의 구성을 Fig. 5에서 나타낸다. 절삭방향의 X축은 마찰이 없는 공기정압 안내면을 따라 구동하고 Z축은 미세절삭을 위하여 감속비가 큰 감속기를 사용하였다. 공구홀더에 AE 센서를 부착하여 AE신호를 검출함과 동시에 공구 동력계(KISTLER 9117A)로 절삭력도 측정하였다. 절삭력 및 AE신호는 오실로스코프를 통하여 관찰함과 동시에 A/D보드를 거쳐 PC로 전송되어 처리된다.

공구홀더에 부착된 AE sensor는 NANO30(PAC)을 사용하였고 검출된 AE신호는 Fig. 6에 보이는 장치를 통해 신호처리하여 출력된다. AE신호처리장치는 센서신호를 받아들이는 입력부, 증폭, 필터 및 AE RMS를 구하는 신호처리부와 출력부로 구성된다. [4]

#### 3.2 실험방법

먼저 다이아몬드공구를 이용한 미세홈가공에서 가공조건에 따른 AE RMS의 특성을 파악하기 위하여 여러 조건에서의 가공실험에서 발생하는 AE RMS신호를 비교하였다. 가공조건을 Table. 1로 정리하였다.

상태감시를 위해 마모와 파손과 같은 다이아몬드공구의 이상상태에서와 버의 발생시의 AE RMS를 분석하였다. 실시간으로 검출된 AE RMS를 주분력 및 표면거칠기윤곽과 비교·분석하였다.

Table 1 Cutting condition of experiment

material	brass(7-3), aluminum	
cutting condition	depth of cut (cutting velocity:3mm/s)	1, 2, 3, 5, 10[ $\mu$ m]
	cutting velocity (cutting depth:3 $\mu$ m)	1, 2, 3, 5, 10[mm/s]

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 가공조건에 따른 AE RMS

Table. 1의 가공조건의 변화에 따른 AE RMS의 변화를 Fig. 7에서 보인다. 황동과 알루미늄 피삭재를 이용한 미세홈가공에 있어서 절삭속도와 절삭깊이의 증가에 따라 RMS의 크기도 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 정상적인 가공에서의 RMS는 공구

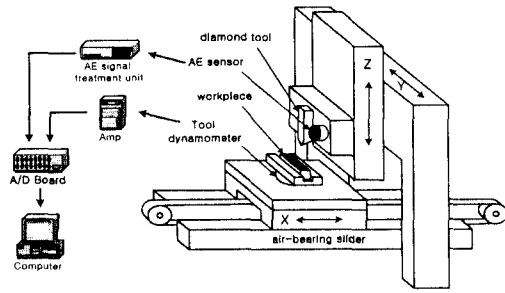


Fig. 5 Schematic diagram of experimental setup

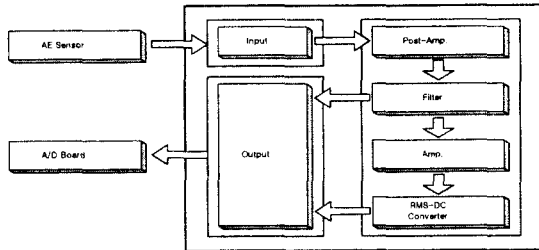
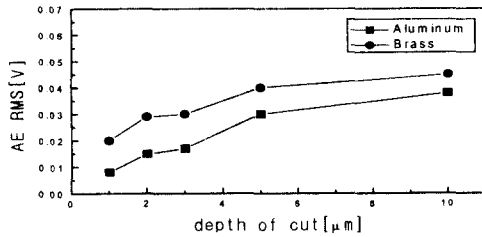
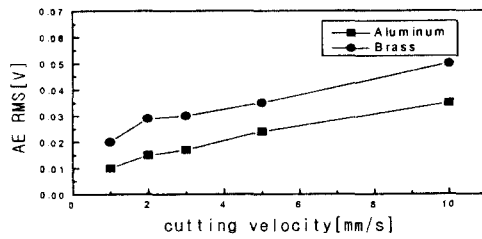


Fig. 6 Block diagram of AE signal treatment unit



(a)



(b)

Fig. 7 AE RMS (a) depth of cut ( $v=3 \text{ mm/s}$ )

(b) cutting velocity ( $t=3 \mu\text{m}$ )

의 마모 혹은 파손에 의해 발생하는 신호와 확연히 구분될 수 있을 정도로 작기 때문에 AE RMS를 이용하여 공구의 상태를 감시하기에 적절하다.

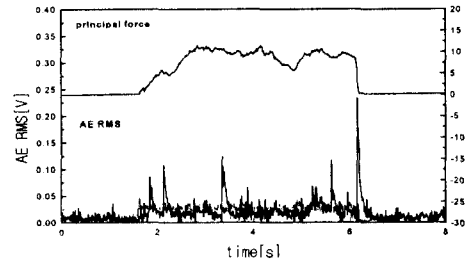
#### 4.2 이상상태의 감시

Fig. 8은 모서리가 마모된 공구 및 절삭날이 파손된 공구의 각각 정면과 측면의 현미경 사진이다. Fig. 9는 동일한 미세홈 가공조건(절삭깊이  $3 \mu\text{m}$ , 절삭속도  $3 \text{ mm/s}$ )에 의한 Fig. 8의 공구 이상상태에서의 가

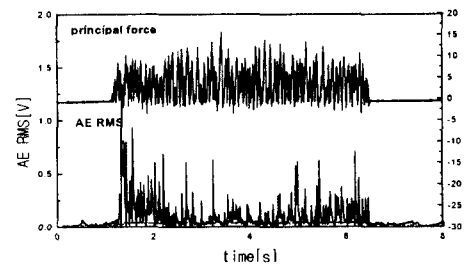


(a) tool wear (b) tool fracture

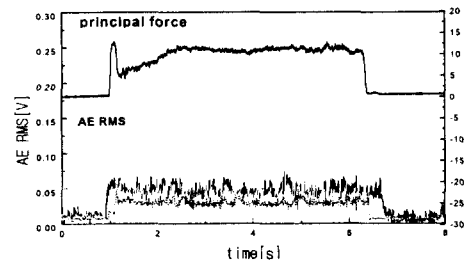
Fig. 8 Photograph of diamond tool tip



(a) tool wear



(b) tool fracture



(c) burr appearance

Fig. 9 Principal force and AE RMS

공시와 버가 발생한 가공시의 주분력과 AE RMS를 보이고 Fig. 4의 RMS와 비교하기 위하여 연한 점선으로 나타내었다.

Fig. 9에서 가공상태의 변화에 따라 주분력은 약  $10 \text{ N}$ 으로 일정하였으나 AE RMS는 큰 변화를 보였다. 마모되지 않은 공구를 사용한 미세홈가공에서의 AE RMS level은 약  $0.005 \sim 0.04 \text{ V}$  정도이다. Fig. 8(a)와 같이 마모가 진행된 상태의 공구로 가공했을 때의 AE RMS level은 약  $0.03 \sim 0.2 \text{ V}$  정도로



(a) tool wear (b) tool fracture (c) burr

Fig. 10 Photograph of micro-grooves

정상 가공상태에 비해 5배정도 증가하였다. 또한 RMS는 칩의 탈락 등으로 인해 크게 변화하는 부분이 보였다. 마모가 더욱 진전되어 파손되어버린 Fig. 8(b)와 같은 상태의 공구에 의한 가공에서는 AE RMS level은 약 0.03~1.2V 정도로 정상상태에 비해 30배정도 더욱 AE RMS값이 증가하였다. 주분력과 동일하게 RMS는 가공면을 따라 연속적으로 피삭재의 분리와 전단이 되지 않아 RMS보다 아주 크고 변동이 심했다. 버가 발생한 경우의 가공에서는 버와 공구의 마찰등의 영향으로 AE RMS가 0.06V로 정상상태보다 약 2배정도로 크게 나타난 것을 Fig. 9(c)에서 알 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 8의 공구로 가공하였을 때의 가공된 표면의 현미경 사진이다. Fig. 10(a), (b)에서는 가공된 면과 측면이 거칠고, Fig. 10(c)에서는 홈의 측면에 버가 발생된 것을 확인할 수 있다.

#### 4.2 표면거칠기윤곽과의 비교

공구상태 및 가공상태의 변화가 가공물에 전사되어 표면거칠기윤곽에 영향을 끼친다. 이러한 상태의 변화는 AE RMS에서도 마찬가지로이다. AE RMS와 표면거칠기윤곽(Mitutoyo, SJ-301)의 유사성을 Fig. 11에서 보인다. 표면거칠기윤곽이 크게 변화하는 부분에서 AE RMS가 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 AE RMS값으로 표면거칠기윤곽을 추측할 수 있다.

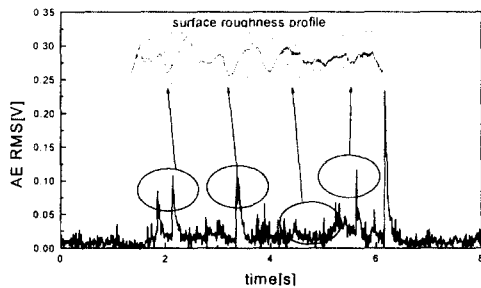


Fig. 11 AE RMS and surface roughness profile

## 5. 결론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 다이아몬드공구를 이용한 미세홈가공에서 100~150kHz의 주파수성분을 가진 AE신호가 발생하였고 AE RMS는 절삭깊이와 절삭속도의 증가에 따라 증가하였다.
- (2) 마모 및 파손된 공구를 사용한 가공에서는 AE RMS가 정상상태의 가공에 비해 약 5배, 30배정도로 크다. 또한 칩의 탈락 등으로 인해 AE RMS는 불규칙하게 변화하였다.
- (3) 버가 발생한 가공에서는 버와 공구의 마찰로 인해 약 2배정도 크게 AE RMS가 검출되었다.
- (4) 가공상태의 변화가 가공물에 전사되어 영향을 끼쳤으며 그것을 AE RMS값으로 표면거칠기윤곽을 추측할 수 있다.

다이아몬드공구를 이용한 미세홈가공에서 실시간으로 검출한 AE RMS를 이용하여 공구마모 및 파손에 의한 가공의 상태를 감시할 수 있고, 표면거칠기윤곽을 추측할 수 있다.

## 참고문헌

1. Shinji MAEDA, Yoshimi TAKEUCHI, Kiyoshi SAWADA, Tomohiko KAWAI and Toshino SATA, "非回傳工具を用いた超精密マイクロ溝の創成", 日本精密工學會誌, Vol. 66, No. 9, pp. 1456-1460, 2000.
2. 원종식, 조종래, 정윤교, "절삭조건과 AE신호들과의 관계에 관한 실험적 연구", 한국공작기계학회지, 제7권, 제6호, pp. 64-71, 1998.
3. 김재열, 심재기, 박환규, 오환교, "2차원 절삭시의 각종 파라미터와 음향방출신호와의 상호관계에 관한 연구", 한국정밀공학학회지, 제8권, 제1호, pp. 74-83, 1991.
4. H.Y.Kim, S.R.Kim, J.H.Ahn, S.H.Kim, "Process monitoring of centerless grinding using acoustic emission", J. of Materials Processing Technology, 111, pp. 273-278
5. 吉本馨, "超精密加工技術", 東京:工業調査會, 昭和 59, pp. 297-310