

연마가공감시를 위한 AE 와 연마파라미터의 관계

김성렬#, 김화영*, 김정욱**, 윤항목***, 안중환****

Relation of AE and Polishing Parameters for Polishing Process Monitoring

Sung Ryul Kim#, Hwa Young Kim*, Jeong Uk Kim**, Hang Mook Yoon*** and Jung Hwan Ahn****

ABSTRACT

A monitoring system is necessary to make the polishing process more reliable in order to ensure the high quality and performance of the final products. Generally, AE (Acoustic Emission) is known to be closely related to the material removal rate (MRR). As the surface becomes rougher, the MRR and AE increase. Therefore, the surface roughness can be indirectly estimated using the AE signal measured during the polishing. In this study, an AE sensor-based monitoring system was fabricated to detect the very small AE signal resulting from the friction between a tool and a workpiece during polishing. The performance of this monitoring system was estimated according to polishing conditions, the relation between the level of the AE RMS and the surface roughness during the polishing was investigated.

Key Words : Polishing (연마), Acoustic emission (AE), Monitoring (감시), Surface roughness (표면거칠기)
Effective removal rate(유효제거비)

1. 서론

연마공정은 절삭, 연삭 등 전가공에서 얻은 형상정도를 유지하면서 가공면의 평활 경면화를 목적으로 행하는 공정으로 제품이나 부품의 면품위를 결정하는 주요공정이다. 일반적으로 미세 지립을 갖는 스톨을 이용하여 미소 절입상태에서의 마찰작용에 의해 가공을 진행하므로 다른 가공에 비해 작업시간이 길고 가공상태변화 검출이 힘들고 경험적 요소가 많이 작용한다. 이런 이유로 인하여 최근에는 고속가공기술을 이용하여 연마가공

없이 전가공단계에서 요구되는 표면거칠기, 형상정밀도와 경면을 얻는 쪽으로 가공기술이 발전되고 있으나 아직도 사출금형이나 광학렌즈와 같이 높은 형상정밀도를 요구하는 정밀부품의 경우에는 CNC 공작기계에 의한 정밀가공으로 형상정밀도를 얻은 후, 연마가공에 의해 요구되는 표면거칠기를 얻고 있다. 절삭가공과 달리 연마가공은 아직도 상당부분 숙련된 작업자의 수작업에 의존하고 있으며, 숙련된 작업자의 부족과 고품위 가공에 대한 요구증가로 연마가공 자동화의 필요성이 급속히 증가하고 있다.^{1,2}

.. 접수일: 2004 년 11 월 18 일; 게재승인일: 2005 년 8 월 9 일
교신저자, 부산대학교 지능기계공학과
Email : neomecha@pusan.ac.kr, Tel. (051) 510-3087
* 부산대학교 산학협력단
** (재)부산테크노파크 기계부품소재 기술지원센터
*** 동의대학교 도시공학과
**** 부산대학교 기계공학부

미세입자 연마숫돌에 의한 연마가공은 연마숫돌과 연마면 사이의 가압력과 상대운동에 의한 국소 마찰력을 이용하여 가공하는 버니싱 메커니즘(burnishing mechanism) 위주로 되어 있어 상대적으로 가공시 발생하는 에너지변화가 미약하고 가공상태 변화를 검출하기가 어렵다. 따라서 연마가공 상태감시에 적합한 센서는 연마가공 특성상 미약하게 생기는 연마면 상태변화를 신뢰성 있게 검출할 수 있는 감도와 주파수 특성을 갖고 있어야 하며 주변환경(잡음, 온도, 습도)와 가공조건(가압력, 연마속도) 변화에 강인한 특성을 갖추고 있어야 한다.

연마가공은 연마입자와 가공물의 돌기부분이 서로 마찰, 마멸시 소성변형 및 파괴가 일어나고 이때 AE 가 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 최근에는 연마가공의 감시에 AE 신호를 이용하려는 연구가 시도되고 있다.^{3,5}

AE 을 이용한 연마가공 상태감시에 대한 선행 연구로는 Osada 가 압전형 가속도센서를 래핑(Lapping) 공정 상태감시에 적용한 사례가 있다.^{3,4} Osada 는 래핑 지그(Jig) 구조물위에 부착된 가속도센서로부터 0 ~ 20kHz 주파수 대역의 음향신호를 검출한 뒤 파워레벨변화를 이용하여 표면거칠기 변화를 감시하는 방법을 제안하였다.

Ahn 은 AE 센서를 이용하여 자동 폴리싱(Polishing) 공정 중 연마면의 상태변화를 감시하여 연마공구의 실시간 교체시점을 결정하는 AE 센서 신호 피드백 연마가공 전문가 시스템을 개발하였다.⁵ 그러나 연마가공의 경우 AE 신호를 감시에 활용한 연구는 그다지 많지 않다. 이것은 연마가공의 경우 발생하는 AE 신호가 너무 미약하여 AE 센서의 주파수특성 및 사용된 증폭기의 성능에 따라 큰 영향을 받기 때문에 연마공정 감시에 적합한 사양을 갖춘 센서 및 증폭기의 준비가 어렵고, 또한 연마면 변화에 의해 발생하는 AE 신호가 연마입자 탈락시 발생하는 음향과 혼합되어 있어 연마상태를 판단하기 어렵기 때문에 연마가공 상태감시에 대한 연구가 아직 많이 진행되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 상황에서 AE 신호의 검출에 의한 연마가공의 상태감시 가능성에 대하여 검토하였다. 이를 위해 연마가공에서의 연마파라미터와 AE 관계에 대한 모델링으로부터 연마상태에 영향을 미치는 인자와 AE 와의 관계

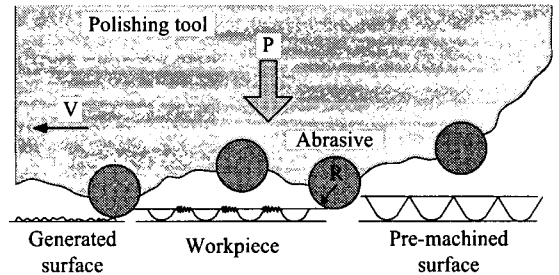


Fig. 1 Contact model of abrasives with workpiece

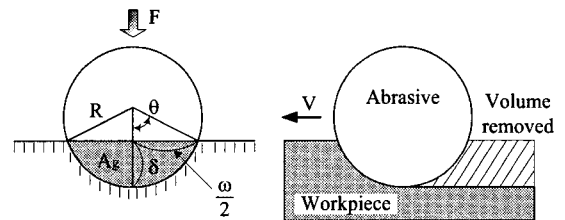


Fig. 2 Schematic of the interaction between a single abrasive and a workpiece

를 검토하였으며, 또한 연마가공 상태감시에 적합한 AE 검출장치를 개발하여 실제 연마가공에 적용하였다. 특히 연마상태 감시를 위한 특징신호로 AE 의 RMS(Root Mean Square) 값을 취하였고, 이를 이용하여 AE RMS 와 표면거칠기와의 관계 및 연마파라미터에 따른 AE RMS 변화 등으로부터 AE 를 이용한 연마가공 상태감시 가능성에 대해 실험을 통해 평가 확인하였다.

2. 연마가공에서의 AE

2.1 연마가공 모델링

Fig. 1 은 연마입자가 가공물에 접촉하여 연마가 일어나는 과정을 나타내고 있다.

연마가공이란 연마공구와 가공물을 접촉시키고 적당한 가압력을 주면서 가공을 수행함으로써 연마공구의 입자가 가공물의 표면으로부터 극히 미량의 칩을 깎아내어 표면을 점차 평활하게 만드는 가공법이다.⁶

Fig. 2 에서 한 개의 입자가 재료의 가공에 참여할 때 발생하는 제거 단면적 A_g 는

$$A_g = R^2 \cdot \theta - \frac{1}{2} (R - \delta) \cdot \omega \quad (1)$$

된다. 여기서 ω 는 실제 연마입자가 가공면에 압입된 단면적을 의미하며 한 개의 연마입자에 가해지는 수직연마력과 연마입자의 크기에 관계한다.

한 개의 입자에 작용되는 수직연마력을 F , 가공물의 경도를 H_w 라 할 때 수직연마력은

$$F = \frac{1}{4} \pi \omega^2 \cdot H_w \quad (2)$$

된다. 따라서 식(1)과 식(2)에 Fig. 2로부터 구한 $\delta = \omega^2 / 8R$, $\omega = 2R \cdot \theta = D \cdot \theta$ 을 대입하면 한 개의 연마입자로 인한 제거 단면적 A_g 는 다음 식으로 표현된다.

$$A_g = \frac{F}{2\pi \cdot H_w} \cdot \frac{\omega}{D} \quad (3)$$

연마속도 V 는 주축의 회전속도 V_s 와 이송속도 V_f 와의 벡터로 나타낼 수 있으므로 다음과 같은 식이 된다.

$$V = \sqrt{V_s^2 + V_f^2} \quad (4)$$

단위시간당 한 개의 입자에 의해 제거되는 연마량(MRR_a : Metal Removal Rate)은 아래의 식으로 표현 가능하다.

$$MRR_a \approx A_g \cdot V \quad (5)$$

따라서 식(5)에 식(3)과 식(4)을 대입하면 단위시간당 한 개의 입자에 의해 제거되는 량 MRR_a 는

$$MRR_a = \frac{F}{2\pi \cdot H_w} \cdot \frac{\omega}{D} \cdot V \quad (6)$$

된다.

그리고, 연마공구와 가공면 사이에서 연마에 기여하는 입자의 수를 N 이라 하면 단위시간당 총 연마제거량 MRR_{total} 은

$$MRR_{total} = K \cdot (MRR_a) \cdot N \quad (7)$$

된다. 이때 K 는 연마공구와 가공접촉면에 관계된 비례상수이다. 따라서 식(7)에 식(6)을 대입하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$MRR_{total} = k \cdot N \cdot \frac{F \cdot V}{H_w} \cdot \frac{\omega}{D} \quad (8)$$

즉, MRR_{total} 는 수직연마력 F , 연마속도 V , 입자의 개수 N 에 비례하고, 가공물의 경도 H_w 에 반비례함을 알 수 있다.

연마입자의 영향은 입자의 직경 D 와 입자에 의해 가공물에 압입된 폭 ω 의 비에 의해 결정된다. 즉, ω/D 는 한 개의 입자에 의해 제거되는 유효 제거비(Effective removal rate)를 나타내며, D 가 일정할 경우 ω 가 클수록 유효 제거폭이 커져 결국 MRR_a 이 커짐을 알 수 있다. 또한 ω 는 수직연마력 F 와도 관계한다. 따라서 초기 연마면의 상태에 따라 연마입자에 의해 실제 압입된 폭이 연마제거량에 영향을 미친다는 것을 보여주는 것이다.

또한 유효 제거비 ω/D 는 연마깊이 δ 에 영향을 미치는 중요한 인자로서 가공물의 표면거칠기에도 영향을 미친다. 즉, 연마깊이가 큰 경우 표면거칠기는 나빠지고, 작은 경우 표면거칠기는 상대적으로 좋아질 것으로 예상된다.

2.2 연마제거량과 AE의 관계

연마가공에 있어서 AE 신호의 에너지량은 AE 발생원의 일량(Work)으로 해석할 수 있고, 에너지의 척도로서 AE RMS 값을 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁷

$$AE_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt} \quad (9)$$

여기서, $V(t)$ 는 AE 원신호이며, ΔT 는 AE RMS 값을 취하는 평균시간을 의미한다.

또한, AE 신호의 에너지 변화율 dE/dt 은 다음과 같은 관계가 있다.

$$\frac{dE}{dt} \propto [AE_{rms}]^2 \quad (10)$$

이때 연마숫돌과 가공물 사이에 발생하는 소성변형에 의한 일률 \dot{W} 는 다음과 같다.

$$\dot{W} = \int_V \sigma \cdot \dot{\epsilon} dv \quad (11)$$

여기서, v 는 체적이고, 응력 σ 와 변형률 $\dot{\epsilon}$ 이 일정하다고 가정하면 일률 \dot{W} 는

$$\dot{W} = \sigma \cdot \dot{\epsilon} \cdot V^* \quad (12)$$

로 표시가능하며, 소성변형일 중에서 AE 발생에

소비되는 AE 신호의 에너지비율이 항상 일정하다고 가정하면 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$\frac{dE}{dt} \propto [AE_{rms}]^2 = c \cdot \sigma \cdot \dot{\epsilon} \cdot V^* \quad (13)$$

여기서, c 는 비례상수, V^* 는 소성변형된 재료의 체적이다.

식(13)에서 소성변형된 체적은 연마가공에서의 제거량 MRR_{total} 과 관계가 있으므로 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$[AE_{rms}]^2 = c \cdot \sigma \cdot \dot{\epsilon} \cdot N \cdot \frac{F \cdot V}{H_w} \cdot \frac{\phi}{D} \quad (14)$$

이상의 관계식으로부터 연마가공에 있어서 AE RMS 는 수직연마력, 연마속도, 연마입자 및 가공물의 경도와도 관계가 있음을 알 수 있다.

2.3 AE 검출장치 제작

Fig. 3 은 본 연구에서 연마가공 상태감시를 위해 개발된 AE 센서와 검출장치를 보여주고 있다.

AE 센서는 공진형 센서타입으로 직경 10mm, 두께 2mm 의 PZT 압전소자와 직경 12mm, 두께 1mm 의 손상방지판(Wear plate, Al_2O_3)를 이용하여 제작 하였다.⁸⁻¹⁰ AE 검출장치는 전하증폭기(Charge amplifier), 전압증폭기(Voltage amplifier), 밴드패스 필터(Band Pass Filter), RMS-DC 변환기(RMS-DC Converter)로 구성되어 있다. Fig. 4 는 개발된 AE 검출기의 블록도를 나타낸다. 전하증폭기는 연마가공과 같은 미세가공에서 발생하는 미소한 전하를 수십 배에서 수백 배로 증폭하기 위해 사용되었다. 전하증폭기에서 입력된 신호를 수천 배로 증폭하면 고주파신호인 경우 주파수이득이 나빠지기 때

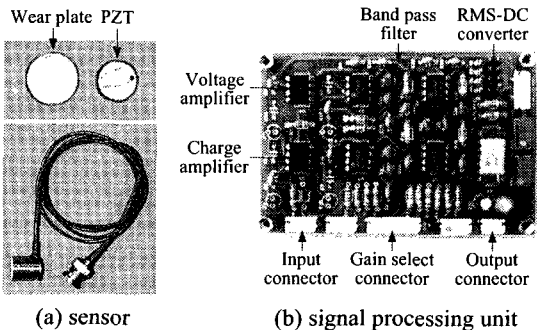


Fig. 3 Developed AE detecting system

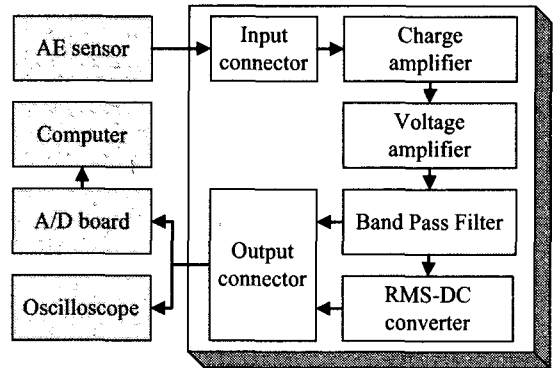


Fig. 4 Block diagram of developed AE detecting system

문에 고주파의 특성을 고려해 수백 배로 제한했다. 전압증폭기는 전하증폭기에서 출력된 신호를 전압신호로 변환하여 A/D 변환기(Analog to Digital converter)와 같은 주변장치에서 신호처리하기 쉽도록 수십 배에서 수백 배 증폭할 수 있도록 하였다. 밴드패스필터는 전압증폭기에서 증폭된 AE 신호중에서 기계의 진동이나 전원 잡음신호 등의 저주파신호와 주변기기에서 들어오는 고주파신호의 제거 및 원신호에 실려있는 DC 성분을 제거하기 위해 사용되었다. 필터의 통과대역(Pass width)은 원신호에 대한 고속푸리에변환(Fast Fourier Transform)에 의한 주파수분석 결과 50 ~ 500kHz 로 설정하였다. RMS-DC 변환기의 평균시간은 검출신호의 주파수특성을 고려해 설정해야 한다. 일반적으로 고주파일수록 평균시간을 짧게 설정해야 가공중에 발생하는 미세 AE 신호의 변화검출이 가능하다. 이를 위해 본 연구에서는 10msec 와 50msec 로 선택하여 신호처리 할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 4 에서 보듯이 AE 검출장치에서 출력된 신호는 오실로스코프로 직접 관찰 가능하거나 A/D 변환기를 통해 컴퓨터에서 감시 가능하도록 하였다. 또한 검출장치의 내부는 주위의 잡음에 강인하도록 동판으로 완전히 차폐되어 있다.

3. 실험장치와 조건

3.1 실험장치

Fig. 5 는 연마가공 상태감시를 위한 신호처리의 개략도로서 제작한 AE 검출장치의 성능비교 평가용으로 기계가공 감시에 많이 사용되는 상용

AE 센서(NANO 30, Operating frequency: 125 ~ 750kHz, PAC)와 검출기(Pre-amplifier: 1220A, Post-amplifier - filter and RMS converter -: AE1A, PAC)를 사용하여 실험하였다. 지그에 부착된 센서들로부터 획득된 각각의 신호는 상용 AE 검출기와 개발한 AE 검출기를 통해 AE 원신호 또는 AE RMS 신호로 변환되며 오실로스코프와 컴퓨터에 의해 연마상태를 감시하였다.

3.2 실험방법 및 조건

연마가공 실험에서는 연마숫돌 입자의 직경, 연마압력, 연마공구의 회전속도 등을 변화시켜 가면서 AE RMS 변화와 표면거칠기와의 관계를 구하였다. 가공물은 일반적으로 금형재료로 많이 이용되는 금형강(SKD-11)을 사용하였고, 공구는 #100, #600, #1000, #2000의 연마패드(3M)를 사용하였다. 또한 연마압력은 본 연구에 사용된 연마기가 허용하는 최대압력(7kgf/cm²)과 최소압력(2kgf/cm²)을 제외한 3, 4, 6 (kgf/cm²)를 사용하였으며 각각의 mesh 에 대한 최적조건들을 실험을 통해 구한 다음 이 조건들에 대한 연마감시를 수행하였다.

Fig. 5 에서 보듯이 연마공구는 250mm 의 가공물을 동일한 가공면에 따라 8 회 혹은 12 회 연마를 수행했으며, 이때 지그에 부착된 AE 센서들에 의해 음향신호를 검출하여 연마가공상태를 감시하였다. 표면거칠기는 연마가공하기 전 초기가공면(0 회)에서부터 연마횟수가 2, 4, 6, 8, 10, 12 회 일때마다 연마면의 중심부를 휴대형 측정식 표면거칠기(Mitutoyo SJ-301)로 측정하였다. Table 1 은 실험에 적용된 연마조건이다.

식(14)에 의해 AE RMS 는 수직연마력, 연마속도, 연마입자, 가공물의 경도 등과 관계함을 알 수

Table 1 Polishing conditions

Polishing Machine	Polyem-II
Spindle Speed (rpm)	500, 700
Grain Size (mesh)	100, 600, 1000, 2000
Feedrate (mm/min)	200, 300, 400
Pressure (kgf/cm ²)	3, 4, 6
Number of Polishing	8, 12
Workpiece (mm)	SKD-11 (250 x 250 x 20)

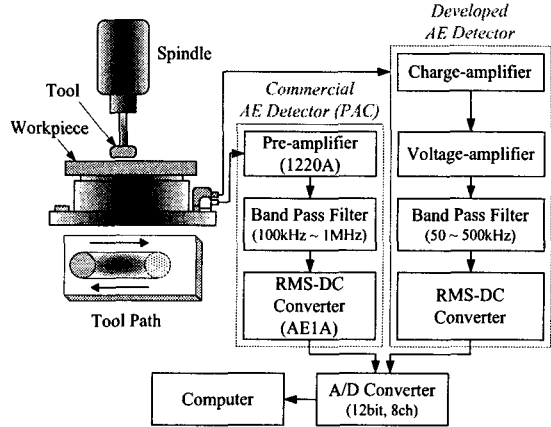


Fig. 5 Schematic diagram for processing AE signals

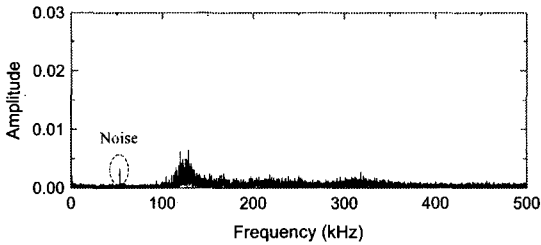
있다. 본 연구에서는 AE RMS 신호를 이용한 연마가공 상태감시가 목적이기 때문에 이들 파라미터에서 연마가공중 변하는 파라미터인 연마시간경과에 따른 접촉면적, 연마입자의 크기, 연마속도 등의 변화와 이때의 AE RMS 신호를 검출하였다.

4. 연마가공실험

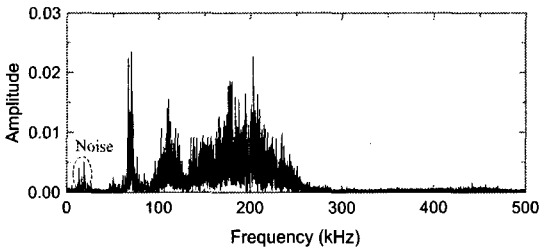
4.1 AE 검출장치의 성능 특성

본 연구에서 개발한 AE 검출기의 성능평가를 위해 상용 AE 검출기와 비교하였다. 실험에 사용된 상용 AE 검출기는 최대 게인이 60dB, 밴드패스필터가 100kHz ~ 1.2MHz 이며, 개발한 AE 검출기는 80dB, 50 ~ 500kHz 이다. 그림 6 은 주축속도 500rpm, 연마압력 4kgf/cm², 이송속도 400mm/min, 연마입자 #100 의 연마조건에서 연마가공중 1MHz 로 샘플링해서 획득한 AE 원신호를 주파수 분석한 결과이다. 그림 6(a)는 상용 AE 검출기로 획득된 AE 원신호의 주파수분석이고, 그림 6(b)는 개발한 AE 검출기로 획득된 신호의 주파수분석이다.

상용 AE 검출기의 밴드패스필터는 100kHz ~ 1MHz 로 고정되어 있어서 그림에서 보듯이 100kHz 이상에서만 신호가 나타남을 알 수 있다. 그러나 개발한 AE 검출기의 경우 금속재료의 연마특성을 확인하기 위해 밴드패스필터를 50 ~ 500kHz 로 설정했기 때문에 50kHz 이상에서 신호가 나타난다. 이것은 일반적으로 기계가공의 경우 50 ~ 500kHz 내에서 유효한 AE 신호가 발생되는



(a) FFT signal obtained by a commercial system



(b) FFT signal obtained by a developed system

Fig. 6 AE signals obtained at 100 mesh in polishing

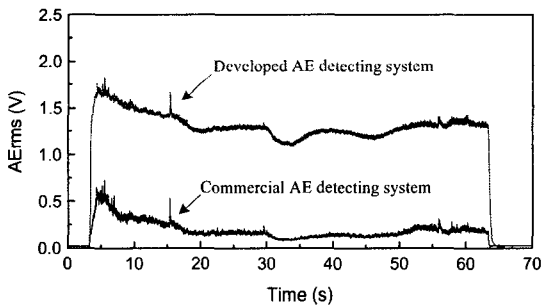


Fig. 7 AE RMS signals in polishing process

것으로 알려져 있는데, 본 연구에 의한 연마가공에서는 약 50 ~ 300kHz 내에서 발생된다는 것을 알 수 있다. Fig. 6(b) 에서 25kHz 부근의 주파수 성분은 잡음성분으로 연마기의 기구적 진동 및 전기적 잡음이 완전히 차폐되지 않았고, 또한 밴드패스 필터가 2 차 버터워스(Butterworth) 필터로 제작되어 50kHz 이하의 신호를 완전히 차단하지 못했기 때문이다. 따라서 이 성분은 필터의 차수를 높이고 신호케이블 및 검출기의 실딩(Shielding)을 통해 제거가 가능하리라 본다.

그림 7은 그림 6과 동일한 연마조건에서 획득된 AE RMS 신호를 보여준다. 개발한 AE 검출기와 상용 AE 검출기에서 획득된 AE RMS 의 파형변화

는 거의 비슷하고 개발한 검출기가 약 4배 정도 이득특성이 우수함을 알 수 있다. 연마가공시 연마입자의 크기는 AE 의 주파수변화에는 크게 미치지 못하며, AE 진폭에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이것은 가공물의 재질에 따라 AE 의 주파수가 달라지며¹¹, AE 진폭은 연마제거량에 따라 변화가 일어나는 것으로 판단된다.

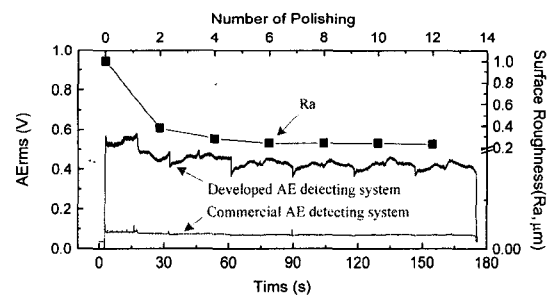
따라서 연마에 있어서 연마입자와 공작물과의 접촉에 의한 제거가공시 발생하는 미소한 AE 신호를 검출함으로써 연마제거량의 변화로부터 연마숫들의 교체시기, 연마가공 상태변화 및 연마후의 표면거칠기 등의 정보를 얻을 수 있다.

4.2 연마실험 결과

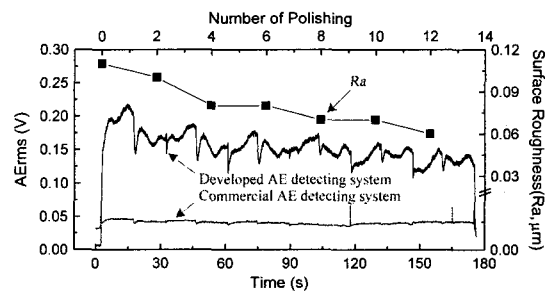
4.2.1 연마시간경과에 따른 AE RMS 변화

연마가 진행되면 연마숫들의 입자와 소재의 돌기부분과의 마찰에 의해 미세파괴가 순차적으로 일어나면서 가공이 이루어진다. 이때 전술한 바와 같이 AE 신호는 연마제거량에 비례하여 발생한다.

그림 8 은 연마패드 #100, #1000 에 대해 주축



(a) #100 mesh



(b) #1000 mesh

Fig. 8 Relation between AE RMS and surface roughness according to polishing time

속도 500rpm, 연마압력 4kgf/cm², 이송속도 400mm/min 로 180 초 동안 연마를 수행하면서 얻은 AE RMS 의 변화와 그때의 표면거칠기(Ra)를 나타낸다. 그림 8(a)는 #100 로 가공했을 때의 AE RMS 변화로 초기 연마시간 30 초, 연마횟수 2 회 일 때의 AE RMS 변화가 다른 구간의 신호보다 높고 변화폭이 큰 것은 연마전 초기가공면이 거친 상태에 있기 때문이다. 연마횟수가 6 회때부터 AE RMS 의 신호는 거의 유사한 신호패턴을 형성하게 되는데, 이때의 표면거칠기도 거의 동일하게 나타남을 알 수 있다. 이것은 연마숫돌 입자의 직경과 입자에 의해 소재의 압입된 폭의 비, 즉 유효제거비(ω/D)가 너무 작아 연마입자에 의한 제거가 활발히 일어나지 않기 때문이다. 어느 시점 이후 부터는 입자와 소재의 마찰 및 마멸만이 가공에 참여하게 되고 연마제거량은 줄어들면서 일정하게 유지된다. 따라서 AE RMS 의 변화는 거의 일어나지 않고 소재의 표면거칠기도 일정하게 유지되는 것으로 판단된다.

그림 8(b)는 #1000 로 가공했을 때의 신호로 그림 8(a)와 마찬가지로 AE RMS 변화가 표면거칠기의 변화와 관계가 있음을 보여준다. 따라서 연마 가공중 AE RMS 의 실시간 변화를 통해 표면거칠기를 간접적으로 추정할 수 있다, 이를 바탕으로 연마 공구의 교체시점을 결정할 수 있다.

4.2.2 연마입자의 크기와 AE RMS 의 관계

연마조건으로 주축속도 500rpm, 연마압력 4kgf/cm², 이송속도 400mm/min 에서 연마입자를 #100, #600, #1000, #2000 으로 변화시켜 가면서 연마가공을 수행할 때 획득된 AE RMS 변화를 그림 9 에 나타내었다. 이때 연마입자 크기를 제외한 나머지 연마조건(연마속도, 연마압력)은 동일하게 두었다. 그림에서 연마입자에 따라서 AE RMS 변화가 있는 것은 mesh 에 따라 연마제거량이 서로 다르기 때문이다. 즉, 식(6)에서 입자의 직경(D)이 클수록 연마입자당 가해지는 수직연마력(F)과 연마입자당 연마제거폭(ω)이 증가하게 되어 연마제거량이 많아진다. 또한 연마입자가 크면 소재와의 마찰에 의한 소성변형보다는 소재의 돌기부분 과의 충격에 의한 파괴가 활발하게 일어나게 된다. 따라서 AE 에너지방출이 상대적으로 많아지게 되고 결국 AE 센서에서 획득된 신호도 커지게 된다.

#600 에서 #1000 의 경우 레벨변화의 차가

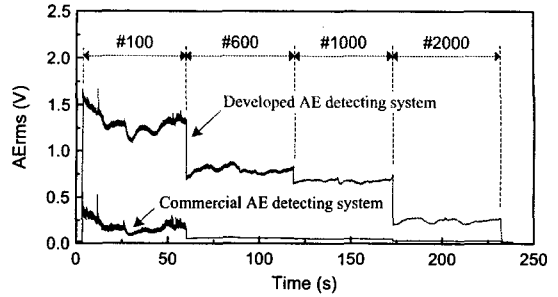


Fig. 9 Relation between AE RMS and abrasives meshes in polishing

#1000 에서 #2000 의 경우보다 적은 것은 각 mesh 로 가공한 후의 연마면 상태에 따라 연마입자가 가공에 참여하는 정도가 다르기 때문이다. 즉, #600 로 가공한 후의 연마면에 #1000 로 가공하는 것보다 #1000 로 가공한 후의 연마면에 #2000 로 가공할 경우 입자들이 가공에 참여하는 비율이 높다고 말할 수 있다. 그리고 #100 에서 AE RMS 의 변화가 큰 것은 초기 절삭가공에 의해 형성된 가공면 상태가 고르지 않아 연마숫돌의 입자와의 충돌에 의한 소재파괴가 왕성하게 일어났기 때문이며 연마가공이 진행될수록 연마면 상태가 점차 평활화 되어감에 따라 소재의 파괴는 줄어들고 마찰에 의한 소재의 소성변형에 기인한 AE 가 발생됨으로써 AE RMS 의 진폭도 줄어드는 것을 알 수 있다.

4.2.3 연마속도와 AE RMS 의 관계

연마속도의 영향을 명확히 하기 위해 #100, #1000 로 주축속도 700rpm, 연마압력 4kgf/cm², 이송속도를 200, 400, 600mm/min 로 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 그림 10 은 각 mesh 에 대한 연마속도와 10msec 로 획득된 AE RMS 를 각 1 회 반복시 평균한 값과의 관계를 나타내고 있다. 식 (8)에서 연마속도는 연마제거량에 비례하며 연마속도가 빨라지게 되면 단위시간당 입자가 연마에 참여하는 비율이 높아지게 되어 연마제거량이 많아진다. 또한 식 (14)으로부터 연마속도는 AE 방출에너지에 비례한다. 연마속도가 빨라지면 연마 입자와 소재 돌기와의 충돌에 의한 파괴지속시간이 짧아져 단위시간당 AE 의 방출이 많아지게 되므로 AE RMS 는 커지게 된다. 연마횟수에 있어서는 횟수가 증가할수록 연마제거량이 감소하여 AE

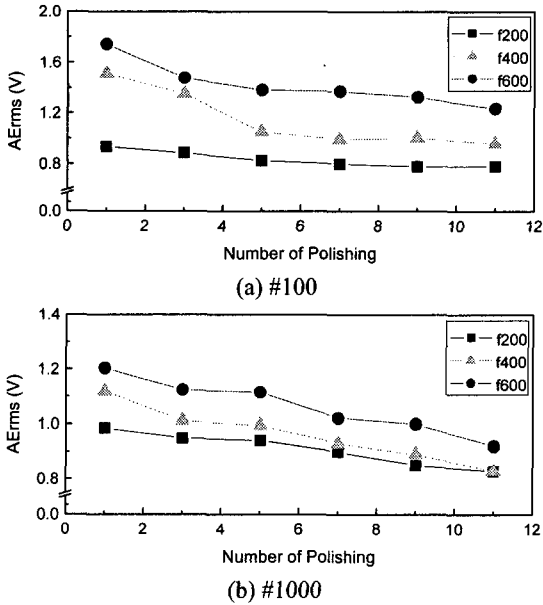


Fig. 10 Relation between AE RMS and feedrate in polishing

RMS 가 작아지는 원인 이외에 초기의 연마숫돌 입자와 소재돌기와의 파괴에 의한 소재제거에서 점차 마찰에 의한 소성변형으로 인하여 AE 방출 에너지가 작아져 AE RMS 도 작아지게 된다. 따라서 연마속 도는 AE RMS 에 영향을 미치는 연마제 거량, 소재의 파괴시간, 마찰로 인한 소성변형 등 과도 밀접한 관계가 있다.

4.2.4 표면거칠기와 AE RMS 와의 관계

지금까지의 실험결과에 있어서 AE RMS 와 표 면거칠기 사이에는 상관관계가 있는 것으로 판단 된다. 각 mesh 에 대한 연마횟수 변화에 따른 표 면거칠기의 변화와 이때의 AE RMS 변화와의 관 계를 그림 11 에 나타내었다. 그림 11(a)에서 #100 로 가공할 때 초기 Ra 가 약 1.0 μm 에서 2 회 가 공 후 0.38 μm 으로 급격히 떨어지는 것은 소재의 초기표면상태가 매우 거칠어 연마입자에 의한 연 마제거량이 많기 때문이며, 이때의 AE RMS 가 가 장 높게 나타난다. 또한 그림에서 보듯 이 각 mesh 에 대한 표면거칠기의 변화는 AERMS 의 변 화와 비슷한 경향을 보인다. 즉, 표면거칠기는 가 공중 연마입자에 의한 제거흔적으로 연마깊

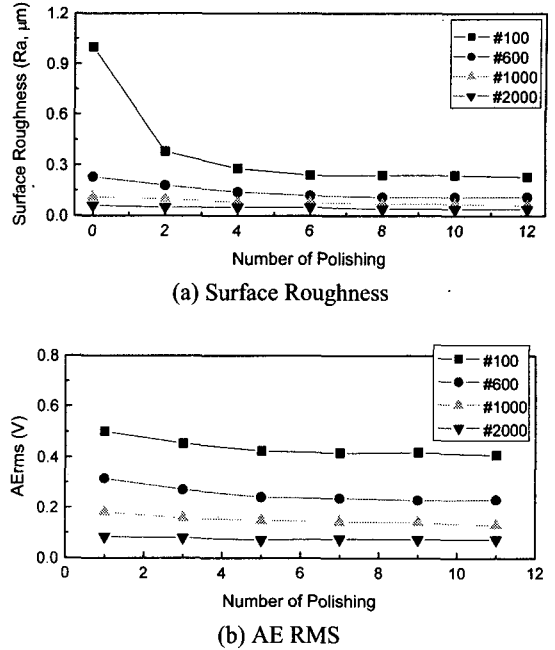


Fig. 11 Relation between AE RMS and Surface roughness in polishing

이와 관계가 있으며 식(14)에 의해 연마깊이는 AE RMS 와도 관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 AE RMS 에 의해 가공물의 표면거칠기 상태를 추정할 수 있다. 그러나 동일한 입자를 이용하여 연마를 하는 경우에도 연마조건에 따라 서로 다른 표면거칠기를 가질 수 있으므로 연마중의 AE 신호에 의해 연마면의 거칠기 상태를 추정하는 것은 가능하지만, 이들의 관계를 정량화하기에는 더욱 많은 데이터의 분석이 필요하다.

5. 결론

연마가공중 방출되는 AE 신호를 검출하여 연 마가공 상태감시를 위한 가능성을 제안하였다. 이 를 위해 AE 와 연마 사이의 관계를 나타내는 연 마모델링을 수행했으며, 실험을 통해 AE 와 연마 파라미터와의 관계 및 연마상태 감시가능성을 평 가하였다.

1. 연마가공에서의 연마모델링과 AE RMS 와의 관계를 규명하였고, 이를 바탕으로 연마가공중 발 생하는 AE 와 연마파라미터와의 관계로부터 AE

에 의한 연마가공 상태감시가 가능함을 확인하였다.

2. 연마입자의 직경 D 와 입자에 의해 가공물에 압입된 폭 ω 의 비는 연마깊이 δ 에 영향을 미치는 중요한 인자로서 연마제거량 및 표면거칠기에 영향을 준다.

3. 연마시간이 경과할수록 표면거칠기는 일정하게 되고 이때의 AE RMS 변화가 거의 없는 것은 어느 시점 이후부터 연마입자와 재료의 마찰 및 마멸만이 가공에 참여하게 되고, 연마제거에 의한 파괴보다는 진폭의 변화가 적은 소성변형에 기인한 AE 가 방출되기 때문이다.

4. AE 방출에너지는 연마제거량에 비례하고, 연마제거량은 연마입자가 클수록, 연마속도는 빠를수록 많아지게 되므로 AE RMS 는 크게 나타난다.

5. 개발된 AE 검출기를 연마가공에 적용한 결과 연마입자의 크기, 연마속도, 가공물의 표면거칠기와 깊은 상관관계가 있음을 확인하였으며, AE RMS 가 연마가공 상태감시에 유효한 파라미터임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Sasaki, T., Miyoshi, T., Saito, K. and Kaihoi, O., "Knowledge Acquisition and Automation of Operation for Injection Mold(1st Report) – Hand Polishing Properties of Skilled Machinist –," Journal of the JSPE, Vol.57, No. 3, pp. 497-503, 1991.
2. Sasaki, T., Miyoshi, T., Saito, K. and Kaihoi, O., "Knowledge Acquisition and Automation of Operation for Injection Mold(2st Report) – Export System for Mold and Die Polishing Operation –," Journal of the JSPE, Vol.57, No. 12, pp. 2151-2156, 1991.
3. Osada, T., Ohuchi, H. and Kasai, T., "Monitoring of lapping Process with Piezoelectric Ceramic Sensor(1nd Report) – Relation between lapping Conditions and Detected Acoustic Signals –," Journal of the JSPE, Vol.62, No.6, pp. 881-885, 1996.
4. Osada, T., Ohuchi, H. and Kasai, T., "Monitoring of lapping Process with Piezoelectric Ceramic Sensor(2nd Report) – Acoustic Detection Using a Conical-Horn Type of Lapping Jig –," Journal of the JSPE, Vol.63, No.12, pp. 1710-1714, 1997.
5. Ahn, J. H., Lee, M. C., Jeong, H. D., Kim, S. R. and Cho, K. K., "Intelligently automated polishing for high quality surface formation of sculptured die," Journal of the MPT, Vol. 130-131, pp. 339-344, 2002.
6. Luo, J., Donfeld, D. A., "Material removal mechanism in chemical mechanical polishing: theory and modeling," IEEE Trans. Semicond. Manuf. Vol 14, No 2, pp. 112-133, 2001.
7. Elijah, K. A., Dornfeld, D. A., "Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting," Trans. ASME, Ser. B. 103. 3. 330., 1981.
8. Fortunko, C. M., Hamstad, M. A. and Fitting, D. W., "High-fidelity acoustic emission sensor/preamplifier subsystems: modeling and experiments," IEEE, Ultrasonics symposium, pp. 327-332, 1992.
9. Onoe, M., Jumonji, H., "Useful Formulas for Piezoelectric Ceramic Resonators and their Application to measurement of Parameters," Journal of Acoust. Soc. America, Vol. 41, No. 4, pp. 974-980, 1967.
10. Kim, S. R., Kim, J. D., Kim, H. Y. and Ahn, J. H., "Development of AE sensor based Monitoring System for Fine Machining," Proceeding of ISC, pp. 255-256, 2001.
11. Hardy, H. R. Jr., "Geotechnical Application of Acoustic Emission Techniques; Present States and Future Goals," Proceedings of the 7th International AE Symposium, pp. 632-641, 1984.