

# 무선 AE 신호처리장치 개발

\*장기수<sup>1</sup>, 김성렬<sup>2</sup>, 안중환<sup>3</sup>, 김명수<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 지능기계공학과, <sup>2</sup> 부산대학교 ERC, <sup>3</sup> 부산대학교 기계공학부, <sup>4</sup> (주) KNJ Precision Tech.

## Development of wireless acoustic emission detector using Bluetooth

\*K. S. Jang<sup>1</sup>, S. R. Kim<sup>2</sup>, J. H. Ahn<sup>3</sup>, M. S. Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Mech. Eng., Pusan Univ., <sup>2</sup> ERC, Pusan Univ., <sup>3</sup> School of Mech. Eng., Pusan Univ., <sup>4</sup> KNJ Precision Tech Co. Ltd.

Key words : AE Sensor, Bluetooth, Monitoring, Polishing

### 1. 서론

화학기계적연마(Chemical Mechanical Planarization), 초정밀 연마·연삭 등과 같은 회전기계에서 제품의 품질 및 생산성 향상을 위해 센서에 의한 가공상태 감시가 요구되고 있다. 그러나 센서를 회전하는 구조물에 부착하여 신호를 검출하는 것은 현재로서는 거의 불가능한 실정이다. 기존의 감시 방법들은 고정된 공작물이나 지그(Jig) 등에 센서를 부착하여 신호를 검출하는 방식을 사용하고 있으나 센서의 부착위치와 설치에 따른 제약 때문에 정확한 신호검출이 어렵다. 또한 초정밀 가공처럼 미소절삭에 의한 신호변화를 감지하기 위해서는 미세한 가공상태 변화를 신뢰성 있게 실시간 검출할 수 있고 주변잡음이나 가공조건 변화에 대한 강인성을 갖춘 센서가 요구된다.

본 연구에서는 미세가공 상태감시를 위해 널리 사용되는 AE 센서를 선택하였다. AE 신호는 범용절삭가공에서부터 연마가공, 초정밀가공 등 다양한 가공공정에서 가공상태 감시신호로 사용되고 있다.<sup>1</sup> 하지만 기존의 AE 감시장치의 경우 고가이며 미세가공 상태감시에서는 만족할 만한 성능을 내지 못하며 회전체에서의 상태감시 적용에도 한계가 있다. 따라서 미세가공 상태감시에 적합한 고주파 특성과 회전구조물에 장착하여 무선모듈에 의해 신호전송이 가능한 무선 AE 신호처리장치를 개발했다. AE 신호처리방법으로는 가공감시에 주로 사용되는 AE RMS 를 사용하였고, 이 AE RMS 신호를 무선으로 전송하기 위해 블루투스를 적용하여 연마가공에서 그 성능을 평가하였다.

### 2. 무선 AE 신호처리장치

#### 2.1 신호처리장치 구성도

Fig. 1은 무선 AE 신호처리장치의 구성도로서 전하증폭기(Charge amplifier), 전압증폭기(Voltage amplifier), 밴드패스필터(Band pass filter), RMS-DC 컨버터, 마이크로프로세서, 블루투스로 구성되어 있다.<sup>2</sup>

전하증폭기는 공구와 재료 사이의 마찰·마멸에 의한 미세가공시 발생하는 수  $\mu\text{V}$ 의 음향신호를 수십 ~ 수백 배로 증폭하는 역할을 한다. 이때 증폭기의 게인을 너무 크게 하면 고주파 신호성분의 주파수 이득이 나빠지므로 고주파의 특성을 위해 수백 배로 제한하였다. 전압증폭기는 A/D 컨버터와 주변장치에서 신호를 처리하기 쉽도록 수십 ~ 수백 배로 증폭하도록 설계하였다. 밴드패스 필터는 전압증폭기에서 증폭된 음향신호 중에서 기계의 진동이나

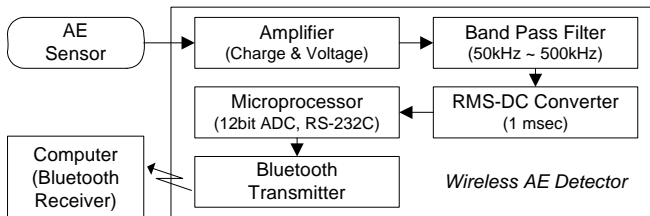


Fig. 1 Block diagram of wireless AE detector

전원잡음 등의 저주파 신호와 주변기기에서 들어오는 고주파 잡음을 제거하기 위한 목적으로, 예비실험을 통해 획득한 원신호(Raw signal)의 주파수분석에 의해 50kHz ~ 500kHz의 대역으로 설정하였다. RMS-DC 컨버터의 경우 일반적으로 고주파일수록 평균시간을 짧게 설정해야 가공중에 발생하는 미세음향신호의 변화검출이 가능하다. 이를 위해 RMS 시간은 1msec 로 설정하였다. 또한, 아날로그 신호인 AE RMS 를 블루투스로 전송하기 위해 12bit A/D 컨버터와 RS-232C 를 내장한 마이크로프로세서를 사용하였으며, 무선모듈로는 블루투스를 선정했다. 블루투스는 기존의 RF(Radio Frequency) 방식보다 노이즈에 강하고, IrDA(Infrared Data Association) 보다 전송속도가 빠르며 장애물에 상관없이 전송이 가능하고 소형인 이점이 있다. 특히 전송 가능한 거리도 넓어 최대 100m 이내의 장비들과 자유롭게 데이터 전송이 가능하다. Fig. 2 는 개발한 무선 AE 신호처리장치이다.

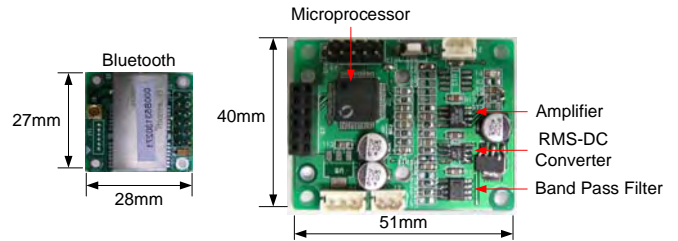


Fig. 2 Photograph of wireless AE detector

#### 2.2 신호처리장치 특성평가

개발한 무선 AE 신호처리장치의 성능평가를 위해 상용 AE 신호처리장치(Pre-amplifier: 1220A, Post-amplifier, filter and RMS converter: AE1A, PAC)와 비교 실험하였고, AE 센서로는 PAC사의 NANO 30(125kHz ~ 700kHz)을 사용하였다. Fig. 3 은 간이형 실험장치로서 강판(Steel Block)위에 AE 센서를 부착하고 외부에서 충격을 가했을 때 동일한 AE 센서에서 출력된 신호가 각각의 AE 신호처리장치로 입력되도록 하였다.

Fig. 4 와 Fig. 5 는 각각의 AE 신호처리장치에서 얻은 AE 원신호와 그에 대한 FFT 신호이다. 개발한 신호처리장치의 신호가 더 크게 나타난 것은 전하증폭기로 AE 센서에서 발생한 전하를 1 차 증폭한 후, 전압증폭기에 의해 다시 2 차 증폭했기 때문이다. 이 실험을 통해 가공상태 감시를 위한 관심 주파수 대역인 100kHz ~ 500kHz 에서 개발한 신호처리장치가 더 우수함을 알 수 있다. 50kHz 이하의 주파수 성분은 잡음성분으로 전기적 잡음이 완전히 차폐되지 못하고, 또한 밴드패스필터가 2 차 버터워스(Butterworth) 필터로 제

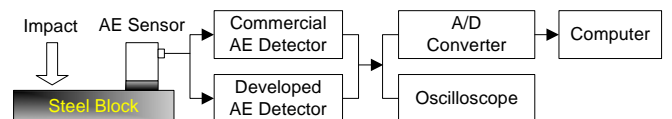


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup for evaluation of AE sensors

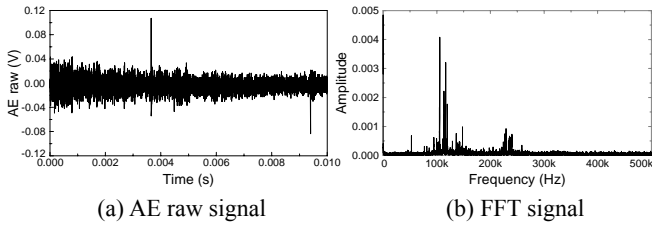


Fig. 4 AE signals acquired by the commercial AE detector

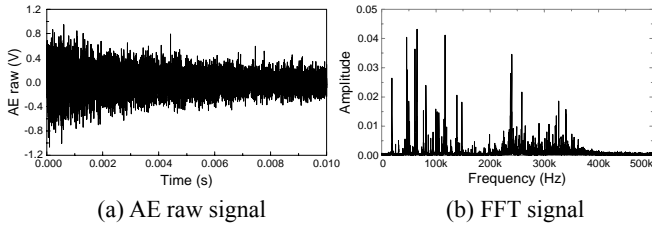


Fig. 5 AE signals acquired by the developed wireless AE detector

작되어 신호를 완전히 차단하지 못한 것으로 보인다. 따라서 이 성분은 필터의 차수를 높이고 신호케이블 및 신호처리장치의 실딩(Shielding)을 통해 제거가 가능하리라 본다.

### 3. 연마가공 상태감시

Fig. 6 은 본 연구에서 개발한 무선 AE 신호처리장치에 의한 연마가공상태 감시를 위한 실험장치도이다. 사용된 상용 AE 신호처리장치의 경우 RMS 평균 시간은 최소인 50msec, 증폭은 최대인 60dB 로 설정하였고, 개발한 AE 신호처리장치는 1msec, 90dB 로 하였다. 실험에 사용된 가공물은 반도체 공정에 사용되는 실리콘 웨이퍼를 사용하였고, 연마패드는 웨이퍼가공에 주로 사용되는 IC 1400 을 사용하였다. Table 1 은 실험에 사용된 연마조건이다.

Fig. 7 은 상용 AE 신호처리장치와 개발한 AE 신호처리장치의 연마가공에서의 신호특성을 비교 평가한 결과이다. 그림에서 보듯이 충격과 같은 큰 신호에 대해서 두 신호의 진폭차이는 크지만 동일한 시점에 동시에 검출됨을 알 수 있다. 그러나 마찰·마멸에 의해 발생하는 미세한 AE 신호에 대해서 상용 AE 신호처리장치에 의한 RMS 변화는 거의 없지만 개발한 AE 신호처리장치의 경우 신호검출이 가능함을 볼 수 있다. 이것은 개발한 AE 신호처리장치의 고증폭 및 짧은 RMS 시간에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 8 은 연마가공중 웨이퍼에 AE 센서를 부착하여 획득된 신호이다. 개발한 AE 신호처리장치의 RMS-DC 컨버터

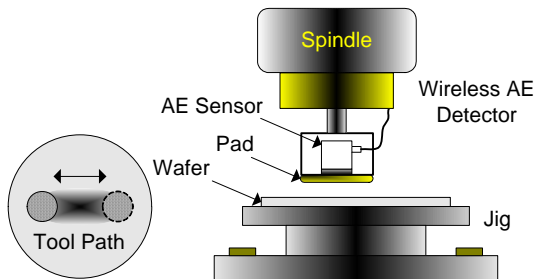


Fig. 6 Experimental setup for polishing monitoring

Table 1 Experimental conditions in polishing process

Spindle Speed (rpm)	100, 150, 200, 250, 300
Polishing Pad	IC 1400
Feedrate (mm/min)	100
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	3
Workpiece (inch)	Si wafer (Φ4)

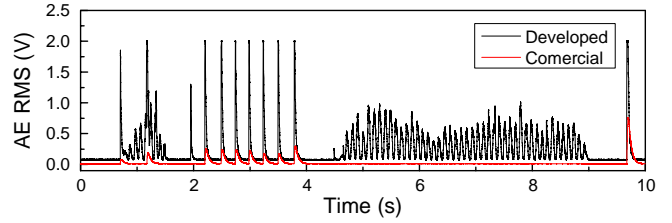


Fig. 7 Comparison of AE RMS signals acquired by two detectors

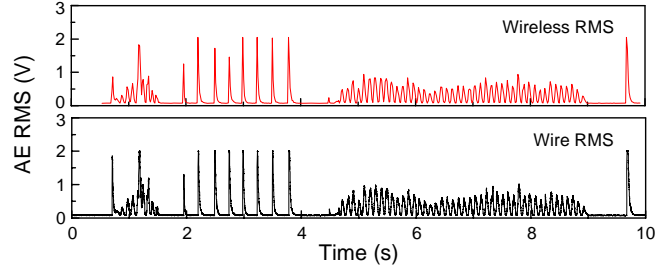


Fig. 8 Comparison of AE RMS signals acquired by wire and wireless in the developed AE detector

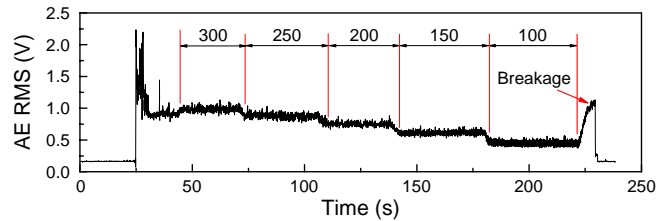


Fig. 9 Variation of AE RMS signals acquired by the changes of spindle speed

의 출력신호와 블루투스를 통해 무선으로 전송된 RMS 신호를 비교한 것으로 거의 동일한 신호패턴을 가짐을 알 수 있다. 따라서 이 실험결과로부터 무선 AE 신호처리장치의 무선 신호전송에 대한 신뢰성을 판단할 수 있다.

Fig. 9 는 연마속도에 따른 AE RMS 변화이다. 일반적으로 AE 방출에너지는 연마제거량에 비례하고, 연마제거량은 연마속도가 빠를수록 많아지게 된다. AE RMS 는 에너지와 비례하므로 연마속도가 빠를수록 AE RMS 도 크게 나타나게 된다. 그림에서 100rpm 이후 갑자기 AE RMS 신호가 급격히 증가한 것은 웨이퍼가 파손될 때의 신호이다. 이상과 같은 실험을 통해 본 연구에서 개발한 무선 AE 신호처리장치가 연마가공과 같은 회전구조물에 부착되어 실시간으로 가공상태 감시가 가능함을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 미세음향신호를 검출할 수 있는 고증폭기, AE 원신호를 짧은 시간에 RMS 로 변환시킬 수 있는 고속 RMS-DC 컨버터, 무선전송을 위한 블루투스를 갖춘 무선 AE 신호처리장치를 개발하고, 이를 고정도 미세입자 가공인 연마가공에 적용하여 그 가능성을 평가하였다. 본 연구의 실험결과로부터 개발한 무선 AE 신호처리장치의 우수성을 확인하였으며, 기존의 유선방식으로는 적용하기 어려운 회전체에서의 가공상태감시가 가능함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- Inasaki, I., "Application of acoustic emission sensor for monitoring machining processes," Journal of Ultrasonics, **36**, 273-281, 1998.
- 김성렬, 김화영, 안중환, "미세 음향방출 감시장치 개발," 한국 정밀공학회지, **22**, 109-117, 2005.