

압전소자를 이용한 AE센서 및 연마공정 감시장치 개발

김정돈*(부산대 대학원 지능기계공학과), 김성렬(부산대 대학원 지능기계공학과),
김화영(부산대 기계공학부), 안중환(부산대 기계공학부)

Development of acoustic emission sensor using piezoelectric elements and monitoring system for polishing process

J. D. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), S. R. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU),
H. Y. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), J. H. Ahn(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

Recently, machining process monitoring technique based on AE(acoustic emission) signal is used widely and becomes very important technique in machining process for improving the efficiency and the confidence of the systems. In this study, we fabricated a cheap acoustic emission sensor and monitoring system and estimated the properties of them through comparing with commercial AE sensor systems. In addition, we evaluated the performance of the fabricated sensor in polishing process. Furthermore, we are scheduled to develop the multi-point polishing process monitoring system through fabrication of the more AE sensors and complement of the monitoring system

Key Words : AE sensor(음향 방출 센서), PZT elements(압전소자), Monitoring system(감시장치), Polishing process(연마가공)

1. 서론

최근의 기계가공 시스템은 생산능률 향상과 생산원가의 절감 요구와 더불어 제품의 다양화, 고기능화, 고성능화에 따라서 고도화된 자동화가 요구되고 있다. 특히 연마가공에서는 숙련된 작업자에 의해 감시가 이루어지고 있으나 이를 대신하여 가공공정 상태를 자동으로 감시하는 기술의 개발이 필요하다 [1]. 가공공정상태 감시에 있어서 무엇보다 중요한 것은 센서의 선택이며 미소한 신호변화를 감지하기 위해서 일반적으로 AE 신호가 많이 사용되고 있다. AE 신호는 범용절삭가공뿐만 아니라, 연마가공, 초정밀 연삭 가공 등 다양한 가공 공정에서 가공상태 감시 신호로 사용되고 있다[2].

본 연구에서는 수신 감도가 뛰어난 PZT 압전세라믹 소자를 이용하여 저가의 기계가공상태감시용 AE 센서를 제작하여 그 특성을 평가하였고, 또한 개발한 AE 센서 및 감시장치의 성능을 평가하기 위해 AE 신호처리 방법 중 가장 널리 이용되는 AERMS 값을 이용하여 금형 연마 가공에 적용하였다. 그리고 기계가공 상태 감시에 있어서 센서의 부착위치와

가공점과의 거리 변화에 따른 신호감도를 최적화하기 위해 저가형 AE 센서 제작을 통한 다점 상태 감시의 가능성을 시사하였다.

2. AE 센서 및 신호처리장치 개발

2.1 AE 센서의 설계

AE 신호는 일반적으로 짧은 시간폭의 응력의 전이와 관련되기 때문에 본질적으로 광대역 주파수 성분을 지니게 된다.

광대역 센서의 경우는 표면의 변위 또는 속도를 충실히 전달해주는 장점을 지니고 있는 반면에 감도나 S/N 비가 낮은 단점을 지니고 있다. 반면, 공진형 센서의 경우에는 이와는 반대로 파형 전달과정에서 공진 특성을 나타내어 파형을 왜곡시키는 경우도 있으나, 높은 감도 및 S/N 비 특성을 지니고 있다. 또한, 공진형 AE 센서는 광대역 센서에 비하여 수신감도가 높고 coupling 등의 영향을 그다지 고려하지 않아도 된다[3].

따라서, 기계 가공 상태감시 시스템과 같이 높은 감도와 S/N 비가 요구되고 열악한 환경환경을 극복

하기 위해서는 공진형 센서가 요구된다.

AE 센서의 중요한 구성요소로서는 압전소자와 wear plate가 있으며 센서의 주파수 특성 및 수신 감도를 결정하고 압전소자의 소재와 형상은 요구되는 특성에 따라 적절히 선정되어야 한다. 본 연구에서는 측정결과 가장 적합하다고 생각되는 직경 20mm, 두께 1mm의 상용 PZT 압전세라믹 소자를 선정하였다[3]. Fig. 1은 압전소자에 대한 전기적 주파수 특성을 HP사의 LCR Meter LF4194A를 사용하여 측정하였다. Fig 1에서 압전소자 자체는 850kHz 부근에서 공진이 보이나 wear plate에 부착시킬 경우 연마가공에서 발생하는 100kHz ~ 300kHz의 신호획득에 적합함을 실험을 통해서 확인하였다[3,4].

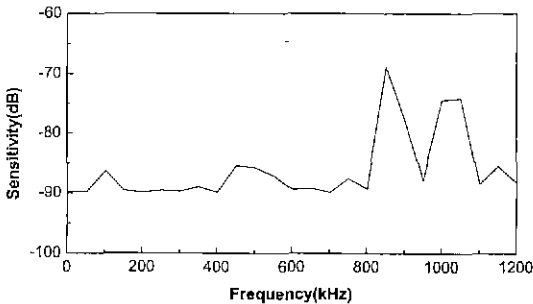


Fig. 1 Frequency characteristics of PZT elements

Fig. 2와 Fig. 3은 압전소자, wear plate, pre-amp, 그리고 하우징으로 구성된 센서의 내부구조와 실제 제작된 센서의 외형을 나타내고 있다. PZT 소재는 출력 임피던스가 높기 때문에 금속 하우징으로 차폐하였고 wear plate는 음향특성 및 내마모성을 고려하여 백색 알루미늄(Al2O3)를 사용하였다.

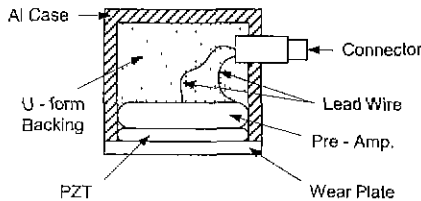


Fig. 2 Construction of the developed AE sensor

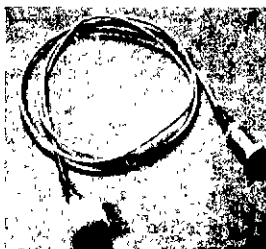


Fig. 3 Photograph of the fabricated AE sensor

또한 wear plate의 두께는 완전투과조건을 만족하는 1mm로 하였다[3,4]. 압전소자와 wear plate는 음향특성이 좋은 일본 A사의 epoxy bond를 사용하였다. 그리고 압전소자에서 검출된 신호는 전류가 미약하므로 센서의 내부에 pre-amp를 내장함으로써 센서신호에 대한 1차 증폭과 외부 잡음에 대한 영향을 최소화하였으며, 센서의 빈 공간은 흡음효과가 있는 우레탄 form으로 충진하였다[3].

2.2 신호처리장치의 설계

Fig. 4는 AE 감시장치의 구성도이다. AE 감시장치는 센서 신호를 받아들이는 입력부, 증폭, 필터 및 AERMS값을 구하는 신호처리부, 신호처리결과를 외부장치와 연결할 수 있는 출력부로 구성되어 있다 [7]. AE 감시장치에서 출력된 신호는 오실로스코프에 연결하여 실시간으로 감시할 수 있고, 컴퓨터에 연결하여 A/D 변환을 거친 후 원하는 데이터를 받아 신호 처리 할 수 있도록 하였다.

Fig. 5는 개발된 AE 감시장치의 외형으로 AE 원신호, filtering 후의 신호, RMS 신호를 각각 출력할 수 있는 단자가 있고 RMS 신호는 10ms와 50ms를 선택할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 장치의 내부 는 주위의 잡음에 강인하도록 동판으로 완전히 차폐되어 있다.

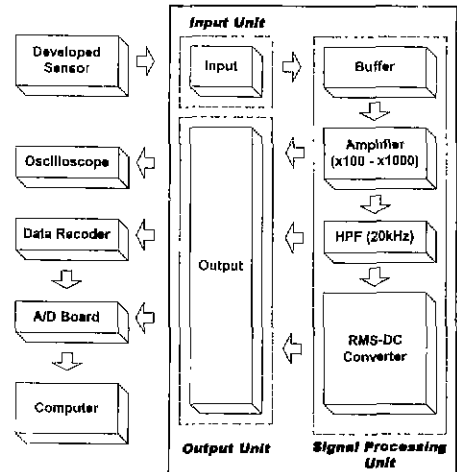


Fig. 4 Block diagram of monitoring unit



Fig. 5 Developed monitoring unit

3. 센서의 특성평가

일반적으로, AE 센서의 특성평가는 표준탄성파원을 발생시켜 표준전달매질을 통하여 AE 신호를 분석하는 방법을 사용한다. 본 연구에서는 산업체나 학계 등에서 흔히 사용하는 간이형 AE 센서 교정장치를 제작하여 상용 AE 센서(PAC NANO30)와 비교하였다[4]. Fig. 6은 본 연구에서 사용된 실험장치도를 나타내고 있다.

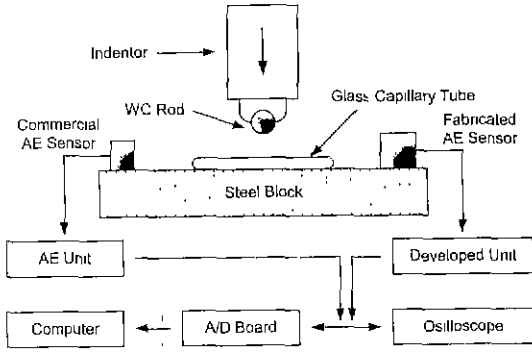
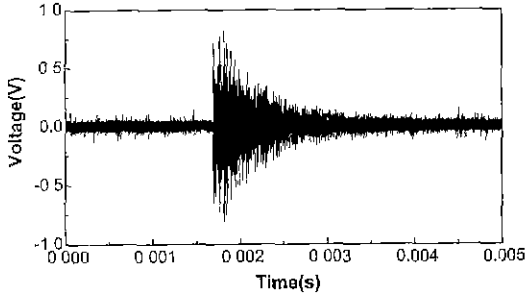


Fig. 6 Schematic diagram of the experiment set-up to examine the characteristics of sensors



(a) Commercial AE sensor

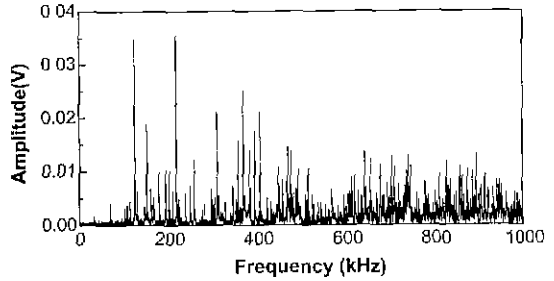
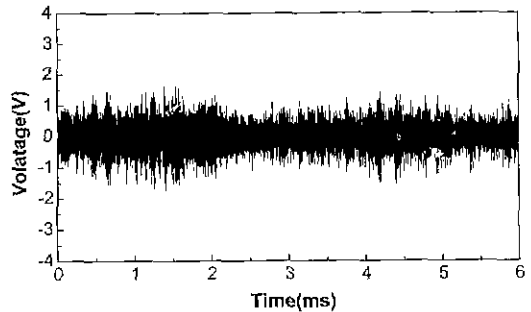


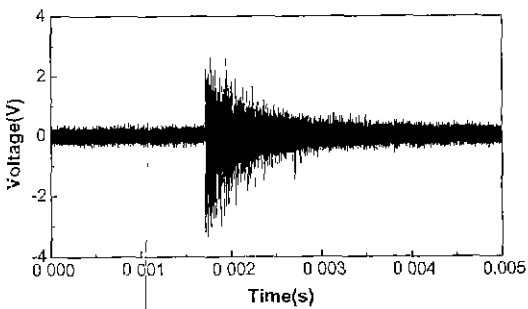
Fig. 8 FFT curves of the developed AE sensor at glass capillary break

표준탄성파원은 값싸고 손쉽게 큰 진폭을 얻을 수 있는 직경 0.5mm의 유리관을 이용하였고, 표준전달매질로는 직경 300mm, 두께 30mm의 주철 단조강을 사용하였다[3,4].

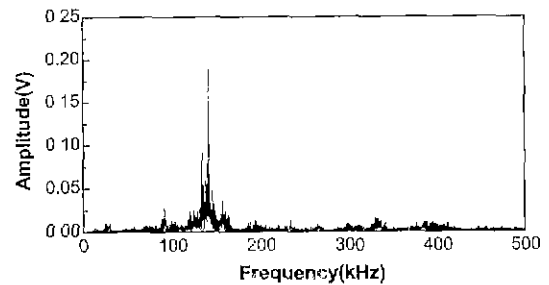
상용 AE 센서와 제작된 센서로부터 얻어진 신호는 20MHz의 고속 A/D board를 사용하여 2MHz로 샘플링하였고, 각각의 센서에서 얻어진 원신호를 Fig 7에 나타내었다. 그림에서 보듯이 제작한 센서의 출력력이 상용센서보다 크게 나타나고 있는데 이는 제작된 센서의 크기와 센서 내부에 내장한 pre-amp의 영향이라고 생각된다. Fig. 8은 제작한 센서에서 얻어



(a) AE raw signal



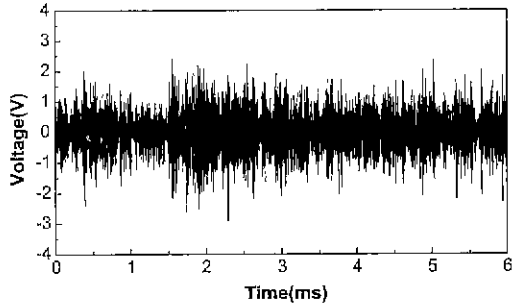
(b) Fabricated AE sensor



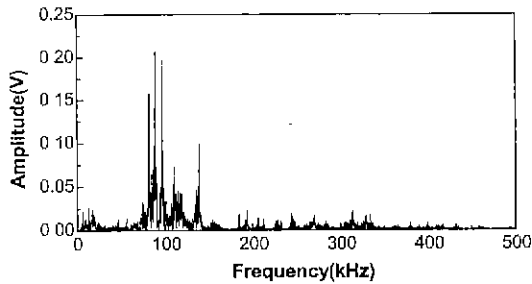
(b) FFT curve for raw data.

Fig. 7 AE raw signals acquired by the glass capillary break

Fig. 9 The signal detected by the fabricated AE sensor at polishing(#100 pad tool)



(a) AE raw signal



(b) FFT curve for raw data

Fig. 10 Signal detected by the fabricated AE sensor at polishing(#100 elastic tool)

진 원신호를 FFT 신호처한 것으로 100kHz ~ 1MHz 까지 전영역에 걸쳐 신호특성이 나타나며 특히 100kHz ~ 300kHz 에서도 높은 민감도를 나타내고 있다. Fig. 9 와 Fig. 10은 연마공구에 따른 신호특성을 나타낸 것으로 탄성숫돌이 연마패드보다 신호레벨은 높으나 FFT 특성에서는 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. 따라서 제작한 센서는 연마가공에서 발생하는 100~300kHz의 신호를 민감하게 감지할 수 있을뿐만 아니라 공구에 의한 특성에서도 거의 유사함을 보이므로 연마공정의 감시를 위한 AE 센서로서 충분히 사용 가능하다고 판단된다.

4. 연마공정감시 실험

4.1 연마가공에서의 AE 신호를 이용한 상태 감시

연마가공시에 숫돌입자와 공작물사이에서 발생 되는 미소한 탄성파를 감지하기 위해 AE 신호를 감시함으로써 연마 후의 표면거칠기 및 연마 숫돌의 교체시기, 연마가공상태 감지가 가능하게 된다[4,5].

4.2 실험장치 구성 및 방법

본 실험에서 사용한 공작물의 재질은 급형재료로 많이 사용되고 있는 SKD-11을 사용하였고, 공구는

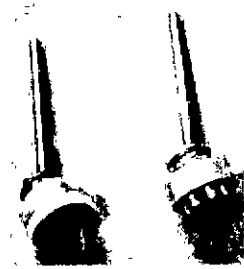


Fig. 11 Photograph of the Polishing tools

Table 1 Condition of polishing

Polishing Machine	DAEWOO AEC-V30
Spindle Speed	800RPM
Feedrate	100 mm/min
Load	10N
Grain Size	#100 #400 #800
Polishing Number	20회
Workpiece	SKD-11

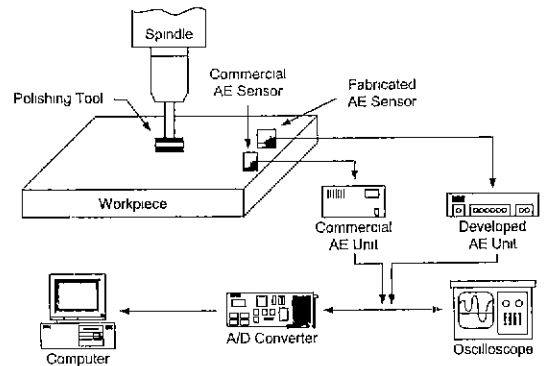
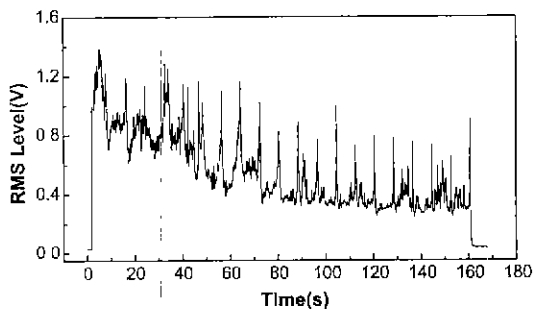


Fig. 12 Experimental arrangement for polishing process monitoring

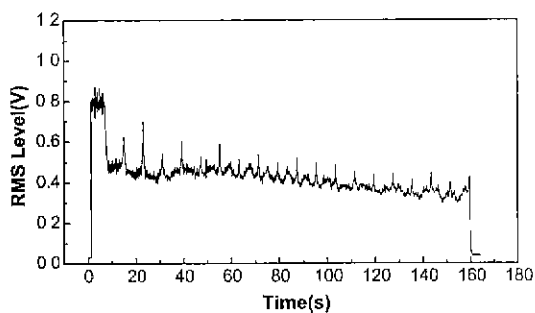
연마패드와 탄성숫돌로 실험하였다. Fig. 11은 실험에 사용된 연마공구의 사진이며 Table 1은 실험에 적용된 연마조건이다. Fig. 12는 연마가공 실험장치도로서 공작물에 상용 AE 센서와 제작된 센서를 부착하고 센서를 통해 획득된 신호를 각각의 감시장치를 통해 AERMS 신호로 변환한 후 오실로스코프와 컴퓨터로 연마상태를 관찰하였다.

4.3 실험결과 및 고찰

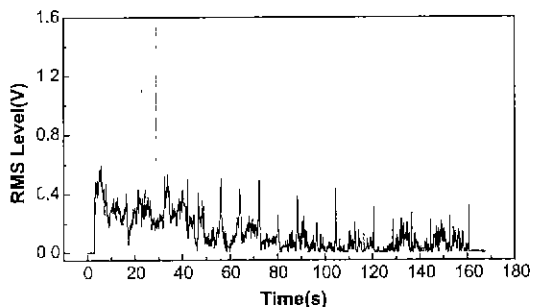
Fig. 12의 (a), (b)는 #100의 탄성공구로 가공할 때의 제작된 AE 센서와 상용 AE 센서의 AERMS 신호의 변화를 나타낸 것이다 제작된 센서의 신호가 더 크며, 연마횟수가 늘어날수록 신호가 낮아지는 것을 볼 수 있다. Fig. 12의 (c)는 (a), (b) 신호의 일부분을 확대하여 비교한 그림으로 신호레벨의 차이만 있을 뿐 신호변화는 거의 유사하므로 제작한 AE 센서의



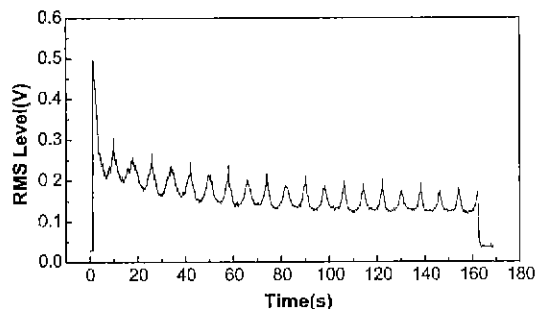
(a) Signal of the developed AE sensor (#100 elastic tool)



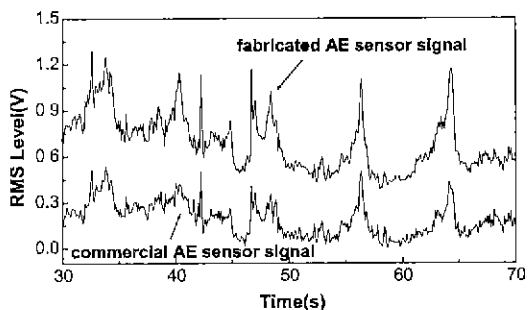
(a) Signal at the #100 pad tool



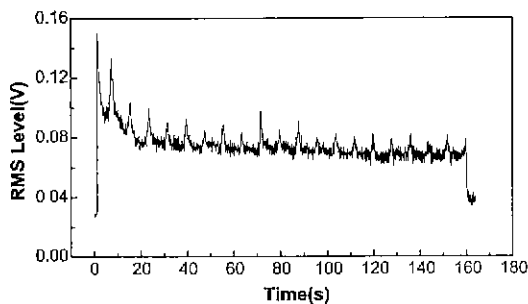
(b) Signal of the commercial AE sensor (#100 elastic tool)



(b) Signal at the #400 pad tool



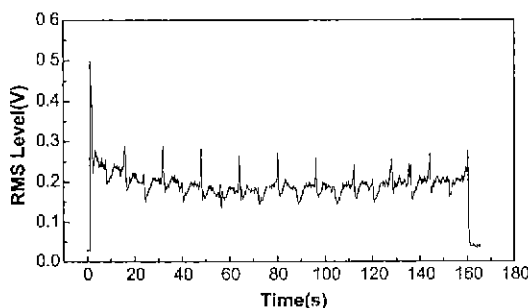
(c) Comparison of RMS curves of the commercial AE sensor and the developed AE sensor



(c) Signal at the #800 pad tool

Fig. 12 RMS curves of the commercial AE sensor and the developed AE sensor in polishing process

신뢰성을 확인할 수 있다. Fig. 13의 (a), (b), (c), (d)는 각각 연마패드와 탄성숫돌로연마 했을 때 제작된 센서로부터 얻어진 AERMS 신호 변화 파형이다. 그림에서 볼 수 있듯이 연마횟수가 증가할수록 신호가 감소하고 있다는 것을 확연히 관찰할 수 있고 한계 연마횟수인 16회 이상에서는 일정한 값을 보이고 있음을 확인할 수 있다[8,9]. 또한 Fig. 14는 연마가공시의 이상상태를 나타내고 있다. 이것은 주축의 흔들림과 연마공구의 편마모에 의해 발생된 것으로 제작된 센서와 감시장치를 연마가공중의 상태감시가 가



(d) Signal at the #400 elastic tool

Fig. 13 RMS curves detected by the developed AE sensor

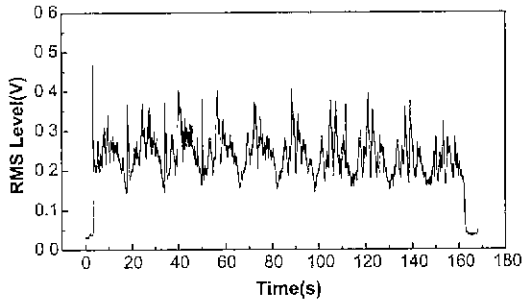


Fig. 14 RMS curves at the abnormal states

능하다는 것을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 기계가공의 생산성 및 신뢰성 향상을 위해 필수적인 가공상태감시를 위해 저가형 AE 센서 및 감시장치를 개발하였고 신호특성평가를 위해 상용 센서와 제작된 센서를 비교하였으며, 금형 연마가공상태감시를 통해 제작된 AE 센서의 성능을 평가하였다.

개발된 센서는 상용센서와의 비교에서 유사한 신호특성을 보였고, 내장된 pre-amp로 인해 더욱 민감한 특성을 나타내었다. 또한 연마가공에서는 가공상태 및 공구마모, 이상상태를 제작된 센서가 충분히 감지할 수 있음을 볼 수 있다. 이를 통해 연마가공 뿐만 아니라 다른 초정밀 가공에서도 제작된 센서가 충분히 적용될 수 있다는 가능성을 확인하였으며, 향후 센서와 감시장치의 보안을 통해 연마가공에서 센서와 가공점 간의 거리에 따른 신호감도 변화에 따른 감시를 최적화 시켜 다점상태감시장치를 개발할 계획이다.

참고문헌

1. 佐佐木哲夫, 三好隆志 他2名, "金型磨き作業の知識獲得と自動化に関する研究(第1報)-金型熟練工の手磨き特性", 精密工學會誌, Vol. 57, No. 3, pp. 497-503, 1991
2. 長田 佐, 大内英俊, 河西敏雄, "壓電セラミツグセンサによる研磨加工中の監視(第2報)-圓すいホーンを利用した音響検出" 精密工學會誌, Vol. 63, No. 12, pp. 1710-1714, 1997
3. 김영환, 김병국, 박영기, 윤동진, "음향방출센서 개발," 한국표준과학연구원 연구보고서, 1992
4. 김병국, 김영환, "표면 변위와 속도의 정량적 검출을 위한 광대역 압전센서 제작과 특성평가," Korean Physical Society, Vol 32, Number 5, pp. 74

4~748, October 1992

5. 이두찬, 정해도, 안중환, 三好隆志, "자동금형연마의 최적조건선정 전문가시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제14권, 제10호, pp. 58~67, 1997
6. 김동환, 申云峰, 김화영, 안중환, "AE신호를 이용한 자동 연마가공에서의 연마면 상태감시," 한국공작기계학회, 춘계학술대회는문집, 2000
7. MICHEL G. DUNCAN, JERRY W. WHITTAKER, "Acoustic Emission Calibration Instrumentation," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No. 3, June 1989
8. C.M.Fortunko, M.A.Hamstad, and D.W.Fitting, "High-fidelity acoustic emission sensor/preamplifier subsystems : modeling and experiments," IEEE, Ultrasonics symposium, pp. 327~332, 1992
9. S.W.Or, H.L.W.Chan, C.L.Choy, "P(VDF-TrFE) copolymer acoustic emission sensors," J. of Sensors and Actuators, Vol. 80, pp. 237~241, 2000