

연삭 작업상태 감시 시스템 개발

Monitoring System of the Grinding Working Conditions

김성렬, 윤덕상**, 김선호***, 김화영****, 안중환*

*부산대학교 정밀기계공학과(Tel:+82-051-510-3087; Fax:+82-051-514-0685)

**교에이 코리아(주)(Tel:+82-051-264-5733; Fax:+82-051-264-5734)

***한국기계연구원(Tel:+82-042-868-7146; Fax:+82-042-868-7150)

****부산대 기계기술연구소(Tel:+82-051-510-2861; Fax:+82-051-514-0685)

Abstracts Grinding process takes a long time that grinding machine is setted properly. It is difficult for user to judge correctly the abnormal states generated in grinding process. Air grinding has to be reduced for the improvement of productivity. In addition, it is important to monitor the dressing and the grinding process so that the grinding working maintains optimal grinding conditions. In this study, the monitoring system using the acoustic emission is developed to monitor these processes continuously. This system was able to reduce the preparation as well as the machine setting time in grinding operation.

Keywords Acoustic Emission, Monitoring, Grinding, Dressing, Air Grinding

1. 서 론

연삭가공은 기계가공품이 높은 가공 정밀도를 요구할 때 주로 이용되는 가공법으로서 높은 경도의 부품을 생산하기 위해 연삭 가공전에는 열처리 공정을 거치는 것이 일반적이다. 따라서 연삭 가공에서는 요구되는 가공정밀도의 실현을 위해 고려해야 할 사항이 많이 존재하며 그 대부분을 숫돌의 준비 및 교체작업 그리고 공연삭 시간등이 차지한다. 이 때문에 비가공시간이 점유하는 비율은 커지게 되며 생산능률을 저하시키는 원인이 된다[6].

특히, 생산성을 향상시키기 위해서는 숫돌과 공작물의 접촉이 이루어지기 전의 긴 공연삭 시간을 단축시키는 것이 필요한데 숫돌과 공작물의 간극(gap)을 사전에 예측하기가 쉽지 않다는 문제점이 있다. 또한, 드레싱 작업시 숫돌상태 및 드레싱 작업상태를 알 수 없기 때문에 드레싱 깊이를 어느정도로 설정하고 언제 종료하는 것이 적당한지를 결정하기 어렵다.

연삭숫돌의 교체작업 후 정상 가공상태로 조정·셋팅하는 것은 현재 대부분이 작업자의 숙련된 경험에 의존하고 있으며 시간이 많이 소요되는 작업으로 개선이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 연삭공정의 상태를 검출하고, 이러한 검출된 상태에 근거하여 기계셋팅의 문제점을 파악·해결하거나 연삭조건 등을 조정한다든지, 이상상태를 진단할 수 있는 시스템을 구축하기 위해 AE(Acoustic Emission) 센서를 이용한 연삭상태 감시장치를 개발하였다. 또 이 장치를 이용해 숫돌의 마모상태 및 드레싱과 숫돌의 상대적 위치 검출에 의한 드레싱 깊이 설정 등, 드레싱 작업상태를 감시함으로써 최적의 드레싱량을 결

정할수 있는 가능성에 대해서도 검토하였다.

지금까지는 숙련된 작업자의 청각이나 시각에 의존하던 연삭 공정 상태의 감시를 본 연구에서 개발한 장치를 작업자가 사용함으로써 작업상태를 직접 관찰함으로써 기계를 최적의 상태로 짧은 시간에 셋팅할 수 있게 하여 준비 교체작업시 걸리는 시간을 단축할 수 있도록 했다.

본 논문에서는 AE 신호를 이용한 감시장치를 센터리스 연삭기(Centerless grinding machine) 및 내면 연삭기(Internal grinding machine)에 설치하여 실험한 결과들을 소개한다.

2. 감시 시스템의 구성 및 제작

AE 센서를 이용한 AE 감시장치는 그림 1에서 보여주는 바와 같이 버퍼 회로, 증폭 회로, HPF(High Pass Filter)회로, RMS(Root Mean Square)-DC 변환 회로, 정전압전원과 입출력 단으로 구성되어 있다[4].

본 감시장치의 회로도도 그림 2(a)에 나타내었다. 센서에서 나오는 신호는 고임피던스이므로 전류가 아주 미약하다. 따라서 버퍼 회로(OP amp. CA3140)는 고임피던스 회로로부터 그 회로에 영향을 주지 않고, 신호전압만을 받아 다음단 회로에 저임피던스로 전류를 흐르게 한다. 증폭 회로(OP amp. LM 318)는 2단 증폭을 사용하여 수mV ~ 수십mV의 고주파 AE 신호를 수백배에서 수천배로 증폭을 시킨다. HPF 회로(OP amp. LF356)는 전기 기계적 잡음과 여러 가지 외부 요인으로 인한 잡음 등 저주파 신호를 제거하기 위하여 차단 주파수를 20KHz로 설정하였다. RMS-DC

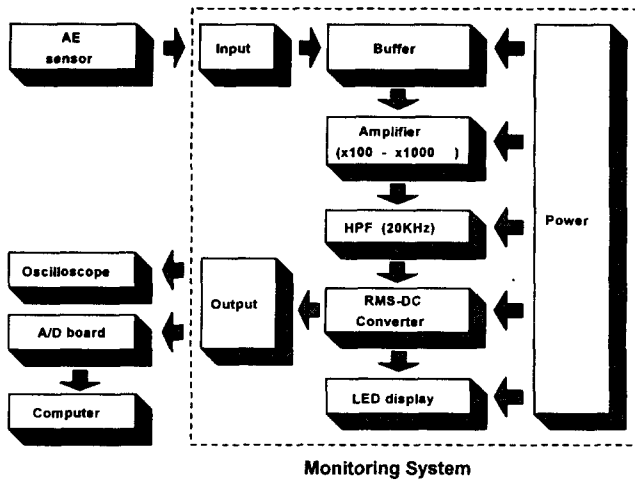


그림 1 감시장치의 기능별 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of monitoring system

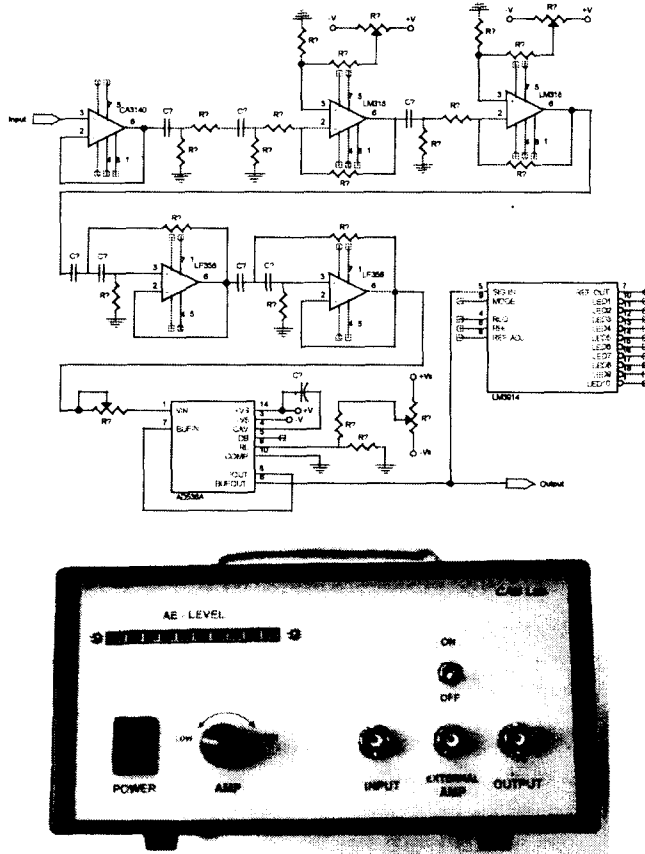


그림 2 제작된 감시장치의 회로도(a) 및 외관(b)
Fig. 2 Circuit diagram(a) and Photograph(b) of developed monitoring system

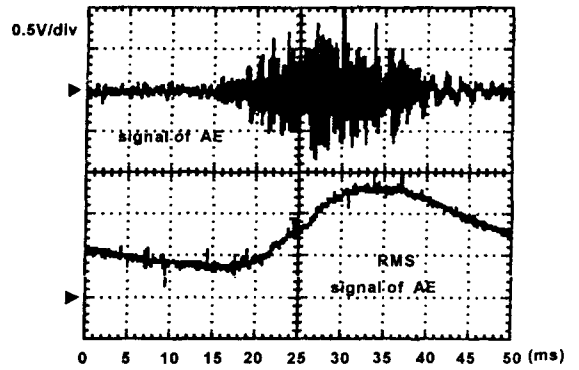


그림3 AE 신호와 RMS 처리된 신호
Fig. 3 The comparison of AE signal and RMS of AE signal

변환기(AD 536)는 AE 파형을 전파 정류한 후 DC 값으로 출력하고, 그 출력값은 LED Display를 통하여 표시된다.

식(1)은 AE_{RMS} 값을 구하는 식이다.

$$AE_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V_{AE}(t)^2 dt} \quad (1)$$

여기서 $V_{AE}(t)$: 필터링된 AE 신호, ΔT : 평균시간이다.

정전압전원은 부하의 변동과 관계없이 일정한 전압을 부하에 공급하기 위해, 제너다이오드를 사용하여 미소한 신호를 취급하는 전자회로가 안정하게 동작하도록 하였다.

입력단자는 두 개로 하여, AE 센서로부터 직접 장치 내부의 증폭기를 거치는 경우와 내부 증폭기를 거치지 않고 바로 외부 증폭기를 거친후 감시장치에 연결하도록 하였다. 이와 같이 설계한 이유는 연삭가공의 경우 작업조건 및 센서의 부착위치에 따라 신호의 출력레벨이 매우 큰 차이가 있으므로 내부 증폭기로 처리할 수 없는 범위에서 원하는 신호를 얻고자할 때 사용하도록 하였다.

이 감시장치에서 출력된 신호는 오실로스코프에 연결하여 실시간으로 감시하거나 또는 컴퓨터 등에 연결하여 원하는 데이터를 받아 신호처리할 수 있다. 그림 2(b)는 실제 제작한 AE 감시장치의 사진이다.

그림 3은 제작된 감시장치를 이용하여 얻은 RMS값과 증폭된 AE 신호의 변화를 보여준다. 증폭된 AE 신호와 RMS값이 시간상으로 차이가 나는 것은 식(1)의 ΔT 에 의한 지연때문이다.

3. 감시 시스템을 이용한 이상연삭 감시

연삭작업시 기계내부의 이상이나 슛들의 마모 및 파손은 공작물의 형상정도와 표면 거칠기에 직접 영향을 미친다. 그러나 미소한 경우는 잘 드러나지 않지만 시간이 지속되면 누적되어 기계 및 슛들에 영향을 미치게 된다. 이런 영향으로 인하여 연삭공정의 원활한 흐름이 지연되며, 바로 비가공시간을 증가시키는 원인이 되기도 한다. 또한 드레싱의 결과는 드레싱의 이송, 절입량 및 드레싱의 선단형상등에 의해 결정되며, 공작물의 형상정도에 직접 영향을 미친다. 따라서 드레싱상태의 감시 및 최적의 드레싱량의 설정은 매우 중요하다[1,6].

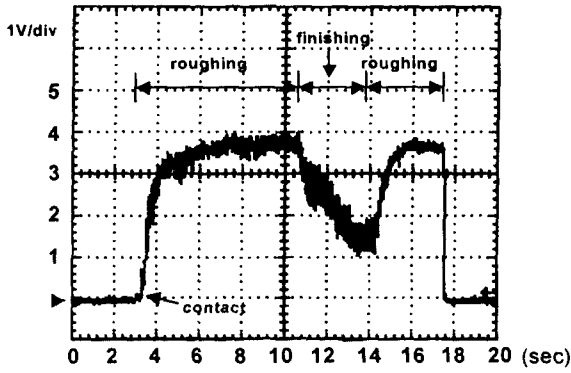


그림 4 센터리스 연삭시 발생한 이상상태 신호
Fig. 4 Abnormal signal for centerless grinding process

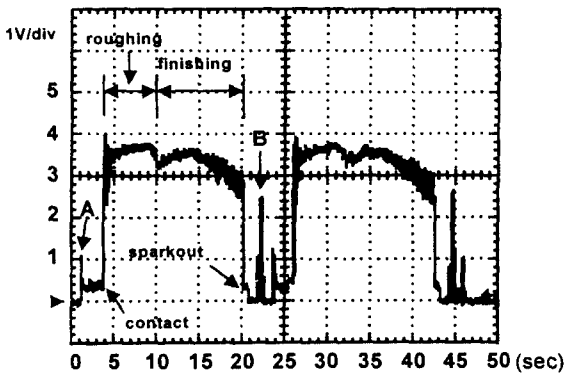


그림 5 내면 연삭시 발생한 이상상태 신호
Fig. 5 Abnormal signal for internal grinding process

본 연구에서는 제작한 AE 감시장치를 이용하여, 연삭공정에서 작업자의 적절하지 못한 기계셋팅과 연삭조건 등에 의한 이상상태 및 슷들의 편마모, 드레싱량의 설정에 대하여 감시·진단하였다.

3.1 센터리스 연삭공정의 상태 감시

센터리스 연삭가공에서는 연삭스틀(EA80K7V75S) 속도 2400 m/min 와 조정스틀 속도 27rpm으로 연삭가공을 수행하였다.

그림 4는 기계셋팅시 연삭조건으로 연삭스틀과 공작물이 접촉한 시점에서 한 개의 공작물의 가공이 끝날때까지의 전시간을 14초로 설정하고, 그 중에서 스파크아웃 시간을 3초로 두었을 때 얻은 신호이다. 일반적으로 정상상태에서의 작업은 황삭, 정삭, 스파크아웃 단계로 연삭을 수행하지만, 그림에서는 황삭, 정삭 단계를 거친후, 스파크아웃 단계를 거치지않고 다시 황삭을 수행하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 작업자가 원하는 연삭조건을 설정하여 가공을 했지만, 실제 연삭가공에서 공작물이 어떤 상태로 가공되고 있는지는 알 수 없었다. 종전의 기계셋팅은 공작물의 형상정도와 거칠기에 중점을 두고 연삭조건을 판단하였지만, 본 연구에서 개발한 감시장치를 이용함으로써 가공중의 이상상태 감시 및 진단을 통해 기계셋팅에 대한 문제점을 파악할 수 있는 정보를 작업자에게 제시해줌으로써 작업자가 적절한 후처리작업을 수행하는데 도움을 주게 하였다.

3.2 내면 연삭공정의 감시 상태

그림 5는 내면연삭기에서의 연삭작업중에 얻어진 이상상태 신호이다.

내면 연삭가공에서는 연삭스틀(SM/TA120K7V533S) 2512m/min의 주축속도와 150rpm의 롤러속도로 공작물을 가공하면서 이상상태를 감시하였다.

그림 5와 같은 현상이 발생한 이유는 작업자가 연삭조건으로 황삭단계에서 절입속도를 너무 크게 설정하였기 때문에 일어났다. 절입속도가 커지면 연삭스틀 스피들에 과도한 연삭력이 걸려 축힘이 발생하고, 이것으로 인해 가공물이 taper진 상태로 가공이 이루어지게 된다. 또한 정삭단계로 넘어가면서 절입속도의 감소는 축의 탄성회복을 일으켜 공작물의 taper진 부분을 서서히 가공한다. 이와 같은 상태로 가공을 행하면, 결국 공작물의 형상에 영향을 미치므로 지나친 절입속도를 피하면서 적절한 속도의 선택이 필요하다. 이 현상은 AE 감시장치로 검출한 신호의 변화로 추정할 수 있다. 또한 그림의 A, B지점에서 신호가 튀는 것은 이송기구에 의한 영향이며, A, B지점 사이의 신호가 연삭 한 사이클이다.

3.3 드레싱 공정의 상태 감시

연삭공정에서 드레싱시기와 드레서의 절입량의 선택은 작업자에 의해 결정되는 경우가 많다. 적절한 시기와 드레싱량의 설정은 연삭비용을 감소시킬뿐만 아니라 가공시간의 단축에도 매우 중요하다.

그림 6은 센터리스 연삭기에 사용되는 슷돌형상과 드레서의 경로를 나타내고, 그림 7은 센터리스 연삭가공에서의 드레싱공정시 검출된 AE신호의 변화를 나타낸다. 그림 7(a)는 드레서가 경로를 따라 드레싱할 때 검출된 AE 신호로써, 드레싱 깊이를 50 μm로 1회 드레싱 한 후에 다시 드레싱 깊이를 50 μm로 주었을 때 나타난 신호이다. 그림에서 AE_{RMS} 레벨의 높이 h가 일정하지 않는 것은 슷돌표면의 편마모로 인한 드레싱 절입깊이의 차이로 인해 생긴 것으로 드레싱시 AE_{RMS} 레벨의 변화로부터 슷돌의 표면상태를 추정할 수 있다. 또한 드레싱시 슷돌의 단차부분에서 신호가 아주 높게 튀는 것도 알 수 있다.

그림 7(b)는 그림 7(a)의 슷돌상태에서 20 μm로 1회 드레싱한후 2회시 50 μm으로 드레싱하여 슷돌의 편마모를 제거한후 검출된 AE 신호의 일부로, 드레서가 슷돌전면에 걸쳐 균일하게 접촉함으로써 AE_{RMS} 레벨의 높이 h가 일정하게 나타남을 알 수 있다.

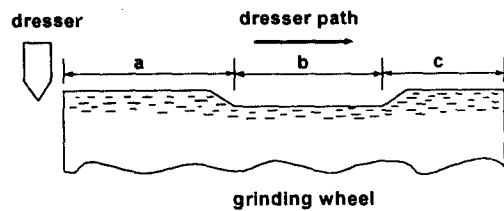
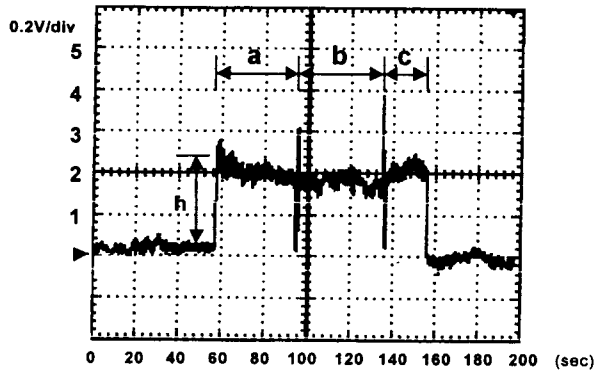
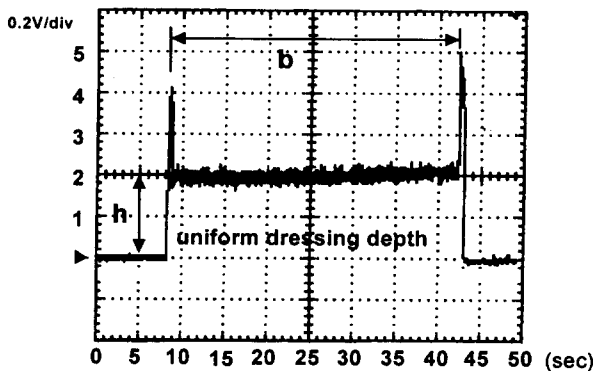


그림 6 슷돌 형상과 드레서 경로
Fig. 6 Cross sectional profile of grinding wheel and dressing path



(a) 드레싱중의 AE 신호(드레싱 깊이 50 μ m)
 (a) AE signal for dressing depth 50 μ m



(b) 슷돌 전면에 완전히 접촉한 후 AE 신호 일부
 (b) AE signal for full contact between dresser and wheel

그림 7 드레싱중의 AE 신호

Fig. 7 AE signals for variations of dressing conditions

따라서 본 연구에서 개발한 AE 신호 감시장치는 슷돌작업면의 편마모 검출뿐만 아니라 드레싱량에 대한 AE_{RMS} 레벨을 분석함으로써 드레서와 슷돌의 상대적 위치를 검출하여 최적 드레싱량을 판단하는 기준을 제시해 줄수 있다.

4. 고찰 및 결과

본 연구에서 개발한 장치를 가지고 센터리스 연삭, 내면 연삭 및 드레싱상태를 감시하였다.

AE 센서는 취급신호의 주파수 특성과 강도, 전기 기계적 잡음의 영향, 부착위치 및 주위환경으로부터의 영향등을 받기 쉽다. 특히, 센서 부착위치의 설정은 무엇보다도 중요하다. 실제 실험에서도 부착위치에 따라 센서의 감도가 수십배 차이가 남을 알수 있었다. 또한 연삭액이 센서의 부착면에 잠입함으로써 센서의 감도가 변화하기 때문에 되도록이면 그 지점을 피하는 것이 바람직하다[3]. 일반적으로 전기 기계적 잡음은 AE신호보다 낮은 주파수이지만 실험중에 AE 신호 검출에 영향을 미치는 경우가 있었다. 이런 전기적 잡음과 연삭유 펌프로부터 발생되는 고주파

잡음등, 필요없는 신호를 제거하기 위해서는 필터의 차단 주파수를 적절히 채택하여 제거하여야 한다.

연삭가공에서 드레싱 작업이 효율적으로 이루어지지 않을 경우 비가공시간의 증가와 슷돌의 수명을 감소시키는 원인이 되므로 AE 감시장치로부터 얻은 신호는 슷돌의 마모상태뿐만 아니라 드레싱 횟수에 대한 효과적인 정보를 제공함으로써 이런 문제들을 해결할 수 있게 한다.

본 실험에서는 AE 감시장치를 이용하여 작업자가 AE 신호로부터 받은 정보를 근거로 하여 기계를 셋팅하고, 연삭 사이클 시간을 단축하기 위해 각 단계(황삭, 정삭, 스파크아웃)별로 적절한 시간을 설정하여 가공을 수행함으로써 작업능률을 향상시킬수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 AE 센서를 연삭기에 부착하고, 이로부터 검출된 신호를 이용해 연삭작업시 가공상태를 지속적으로 감시함으로써 각 상태에 대해 적절한 연삭조건을 설정할 수 있는 감시 시스템을 개발했다. 이러한 시스템의 개발을 통해 다음과 같은 작업효율을 가지고 있음을 확인하였다.

1. 연삭작업시 작업자의 경험에 의존한 기계셋팅으로 인해 발생될수 있는 이상상태에 대하여 감시·진단함으로써 최적의 셋팅조건을 설정하여 셋팅시간을 단축시킬수 있다.
2. 연삭가공시 각 단계별(황삭, 정삭, 스파크아웃 등)로 적절한 가공시간 설정에 의해 연삭 사이클 시간을 단축시킬 수 있다.
3. 드레싱시 슷돌마모상태를 감시하여 최적의 드레싱 횟수와 드레싱량을 조정할 수 있으므로 필요이상으로 슷돌을 드레싱하는 것을 피할 수 있다.

참고문헌

- [1] I. Inasaki, K. Okamura, "Monitoring of Dressing and Grinding Processes with Acoustic Emission Signals", *Annals of the CIRP* Vol. 34, 1985
- [2] 垣野義昭, 江田 弘, 貴志浩三, 山田卓郎, 藤原童多彦, "アコースティックエミッションを用いた砥石・工作物 接觸開始時期の檢出法", *精密機械*, 48卷 3号, pp. 50-51, 1982
- [3] 江田 弘, 貴志浩三, 垣野義昭, 藤原童多彦, 山田卓郎, "AEを用いた砥石-工作物のタッチセンサ", *センサ技術*, Vol. 3. No. 11, pp. 54-60, 1983
- [4] 稻崎一郎, "AEによる研削現象のセンシング", *砥粒加工學會誌*, Vol. 38, No. 4, pp. 183-186, 1994
- [5] 김선호, 박화영, "원통연삭에 있어 비가공시간 단축기술", *한국정밀공학회 '95년도 추계 학술대회논문집*, pp. 103-107, 1995
- [6] 김선호, 정병철, 안중환, "원통 프런지 연삭공정의 감시/제어 시스템", *한국정밀공학회지*, 제12권, pp. 66-73, 1995