

기어가공시 AE 신호를 이용한 공구수명의 감시

(Tool Life Monitoring using AE Signal in Gear Shaping)

최성필*(부산대 원), 강명창(부산대 기계기술연구소), 김정석(부산대 정밀정형 및 금형가공 연구센터)

김순열(삼성중공업 T/M 생산부), 류병진, 지용권(삼성중공업 소재연구파트)

ABSTRACT : The characteristics of AE(Acoustic Emission) signal is related to cutting condition, tool material, and tool geometry in metal cutting. The relation between AE signal and tool life was investigated experimentally. Experiment is carried out by gear shaping and SCM 420 workpiece. AE RMS voltage were increased according to tool wear. It is suggested that maximum value of AE RMS voltage is an effective parameter to monitor tool life

Key words : Gear Shaping(기어가공), Flank Wear(여유면 마멸), Sliding Method(미끄럼 방식), AE Signal (음향방출 신호), Tool Life Monitoring(공구수명 감시)

1. 서 론

절삭가공은 대부분의 생산공정에서 큰 비중을 차지하고 있으며, 절삭공구, 즉 초경공구나 고속도강 공구등의 절삭성에 관한 연구가 많이 행해지고 있다. 그러나 피니언 커터와 같이 내마멸성이 크고, 절삭기구가 복잡한 기어가공에 대한 연구는 거의 행해지지 않고 있는 상황이다.

기어가공품의 생산성 향상을 위해서는 가공에 사용되는 공구의 수명을 연장하는 공구의 연마 및 교환주기를 단축하는 방안이 강구되어야 한다. 그 방법의 일환으로 재료의 평가나 비파괴 검사법에 이용되고 있는 AE (Acoustic Emission) 신호는 인장시험시의 모드해석⁽¹⁾, 베어링의 마찰, 마멸량의 인프로세스(In-process) 계측⁽²⁾ 등의 다양한 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 특히 기계가공시스템의 공구마멸, 공구파손, 공작기계의 이상상태 진단에 많이 응용되고 있는데, 선반 및 보링작업에서 AE 신호와의 관계를 규명한 연구와 다양한 절삭공정에서 공구의 손상을 감지하는 기법에 대한 연구가 주로 행해지고 있다. 즉 공구마멸의 감지에 AE 신호의 진폭 레벨로 감시하는 등⁽³⁾의 다양한 파라메타가 검토되고 있으나 고주파의 AE 신호를 적절하게 변환한 실효치 전압(RMS), 카운트(Count), 이벤트(Event) 등의 파라메타를 이용하여 마멸을 감시한 연구가 대다수이다.^(4,5)

따라서 본 연구에서는 기어가공에서 공구가 가공하는

동안에 발생하는 공구마멸과 AE 신호의 관계를 파악하여, 기어가공의 AE 적용 가능성과 공구수명의 예측 방안을 검토하고 공구수명의 인프로세스 감시를 위한 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장비

본 실험에 사용된 공작물은 SCM 420이고 공구는 기어를 제작하는데 사용되고 있는 잇수가 44개인 피니언 커터이다.

공구수명과 AE 신호와의 관계를 규명하기 위한 실험 장치도는 Fig. 1에 표시하였다.

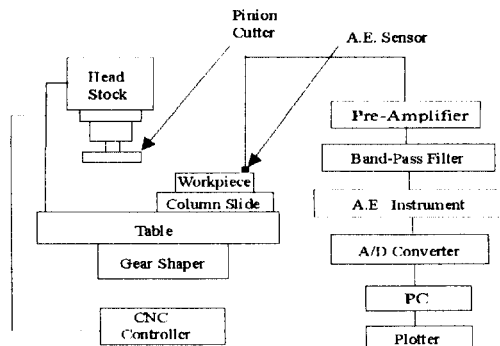


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

2.2 실험방법

2.2.1 AE 신호의 획득방법

기어가공용 공작기계는 공구가 직선 왕복운동과 회전 운동을 병행하고 있고, 공작물 또한 회전을 하고 있으므로 AE 기법을 적용함에 있어서 케이블에 의한 센서의 부착이 큰 문제가 되고있다. 따라서 예비실험을 통해 센서의 부착 가능성과 신호의 획득 여부를 검토한 결과, 회전하고 있는 공작물 윗면에 센서를 미끄럼(Sliding) 방식으로 적용시켜서 잔류하고 있는 절삭유가 접착제의 역할을 수행하여 신호의 획득이 가능함을 발견하였다. 이는 점성이 큰 절삭유가 센서와 공작물사이에 얇은 유체막을 형성하여 미시적 관점에서 접촉을 증대시켜 신호를 전달시키기 때문이다.

Fig. 2는 자체 제작한 지그에 부착된 센서가 신호를 획득하는 형태를 나타낸 것이다.

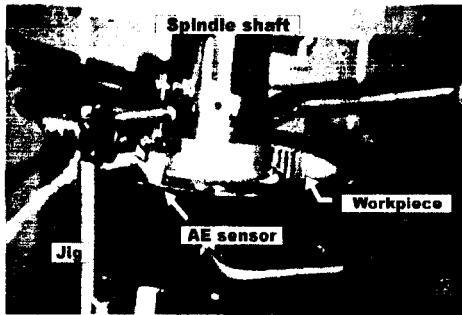
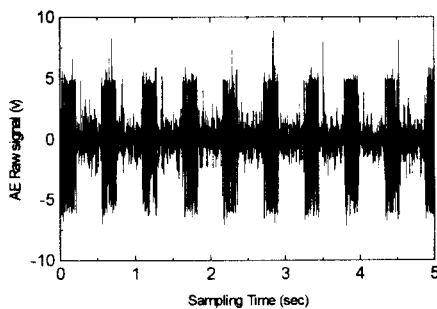
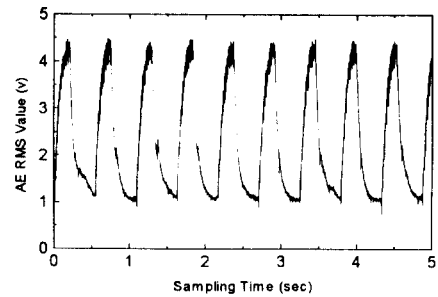


Fig. 2 Signal acquisition system by sliding method

Fig. 3에 공작물의 가공시간이 59분일 때 가공중에 발생하는 AE 원신호와 RMS 신호를 나타내었다. 기어가 단속 가공되므로 절삭되는 부분과 절삭이 되지 않는 부분에서 AE 원신호가 확연하게 구별되는 것을 볼 수 있으며, RMS 신호 또한 같은 경향을 보이고 있다.



(a) AE raw signal



(b) AE RMS signal

Fig. 3 The raw and RMS signal of AE (when cutting time of workpiece is 63 minutes)

2.2.2 공구마멸의 측정

공구수명 즉 공구의 재연삭 주기를 결정하기 위해서 공작물의 가공을 마친 공구를 탈착하여 공구마멸을 측정하였다. 44개의 치차 중 90° 씩 떨어진 치차의 위치에서 관찰하였는데, 윤곽측정기(Contourgrapher)로 경사면 마멸을, 광학현미경(Optical Microscope)을 이용하여 여유면 마멸을 측정하였다.

2.2.3 AE 신호의 측정시점

전치중폭기 내장형 AE 센서를 지그로 공구의 윗면에 접촉시켜 공작물의 회전에 따라 미끄러지도록 설치하고 100~300kHz의 대역통과필터(Band Pass Filter)를 통하여 AE 장비에 연결하여 AE 신호를 분석하였다. 본 AE 장비는 카운트, 이벤트, 최대 RMS 등을 측정할 수 있으며, 외부출력 단자를 통해 RMS 값을 A/D변환기로 받은 후 분석하였다.

Table 1 The measuring period of AE signal

Workpiece Number	Regrinding Number	New Tool	1	6	11	12
1	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○
13						○
15	○	○	○	○	○	○
17						○
23	○					○

본 실험에서 공구마멸의 측정과 AE 신호를 획득한 시점을 Table 1에 나타내었는데, 새로운 공구와 재연삭횟수가 공구마멸과 AE 신호에 미치는 영향과 공작물의 가공수량에 따른 영향을 알아보기 위해 실험을 행하였다. 또

한 임의로 설정한 공구의 재연삭주기인 공작물의 가공수량 15개 전후에서 AE 신호의 변화를 관찰하기 위해, 재연삭 12회한 공구를 이용하여 공작물을 일정한 측정 주기로 17개까지 가공하면서 AE 신호를 검출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공구수명시의 마멸기구

본 기어가공용 공구는 다인공구로써 황삭일 때 하나의 이빨당 4회 가공이 되고 그것도 커터의 주변으로 분산되어 접촉이 되기 때문에 여유면에 비해 상대적으로 작은 경사면 마멸(Crater Wear)이 발생하였다.

Fig. 4는 각각 재연삭횟수에 따른 경사면 마멸을 측정 한 그림이다. 공구의 재연삭횟수와 공작물의 가공수량이 증가해도 경사면 마멸의 크기는 거의 일정함을 알 수 있다.

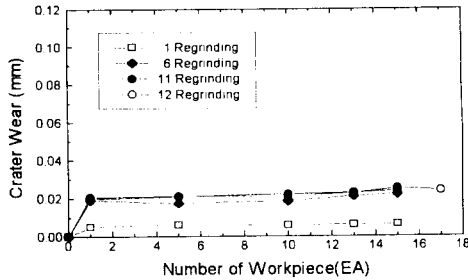


Fig. 4 Characteristics of crater wear vs. number of workpiece

여유면에서는 공구형상의 특성으로 공구가 반경방향과 원주방향으로 가공될 때 치면에 비해 상대적으로 큰 부하가 여유면 노우즈(Nose) 부분에 집중되어 작용하기 때문에 경사면 마멸에 비해 상대적으로 큰 마멸이 발생하였다. 전체적으로 마멸량의 변화는 각 재연삭후 공작물 1개 가공후의 마멸이 급증함을 볼 수 있고 1회 이후의 여유면 마멸은 큰 변화를 보이지 않았다.

Fig. 5와 Fig. 6에 공구를 12회 재연삭한 후 공작물 1개 및 15개를 가공한 상태의 여유면 마멸 형태를 나타내었다. 공작물의 가공수량이 증가함에 따라 노우즈 부분의 여유면 마멸은 계속 증가하지 않고 측면으로 확대 증가되어 감을 볼 수 있는데, 이는 절삭속도보다 이송량이 상대적으로 크기 때문이다. 또한, 재연삭한 후 공작물의 가공수량이 1개일 때 여유면 마멸이 갑자기 증가하는데 이는 미소칩핑(Minute Chipping)에 의한 영향으로 사료된다.

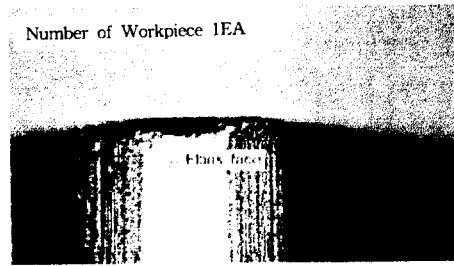


Fig. 5 Flank wear after regrinding 12 times (1EA)

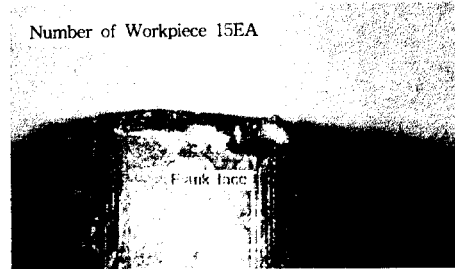


Fig. 6 Flank wear after regrinding 12 times (15EA)

Fig. 7은 재연삭횟수에 따른 여유면 마멸을 측정 한 그림이다. 재연삭 횟수가 증가함에 따라 마멸량이 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

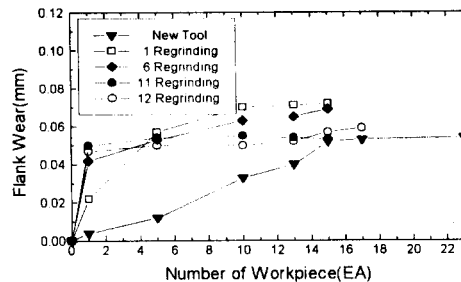


Fig. 7 Characteristics of flank wear vs. number of workpiece

3.2 AE 신호를 이용한 공구수명의 감시

3.2.1 AE 주파수의 측정

공구마멸시에 발생하는 주파수를 검출하기 위해 광대역 AE 센서를 사용하여 AE 주파수를 측정하였다.

Fig. 8(a), (b)는 AE 파라메타중 AE 에너지가 발생하는 AE 주파수의 영역을 나타내는 그림으로 (a)그림은 공작물 1개 가공시, 그리고 (b)그림은 공작물 17개 가공시 획득한 데이터이다. 여기서 AE 에너지는 AE 진폭의 제곱을 나타내는 파라메타로 (a)그림에서는 피크치가 130

kHz에서 나타나고 그림 (b)에서는 180kHz정도에서 피크치를 가지고 있다. 이는 기어가공시 발생하는 AE 주파수가 약 100~200kHz 영역에 있다는 것으로서 일반적으로 절삭가공시 공구마멸에서 발생하는 AE 주파수(100~300kHz)와 유사한 영역에 있다.

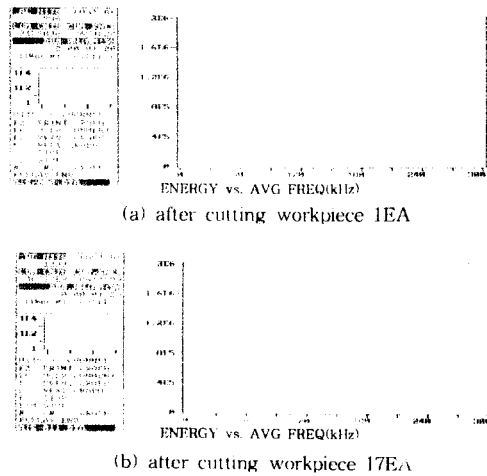


Fig. 8 The relation between AE energy and AE frequency when cutting time of workpiece is 63 minutes

3.2.2 AE 파라메타의 선정

공구마멸의 값에 적합한 AE 파라메타의 선정을 위해 AE 장비에서 받은 신호를 통해 카운트와 이벤트, 평균 RMS 값, 최대 RMS 값을 검토하였다.

Fig. 9는 재연삭 1회인 공구로 공작물을 가공시 A/D 변환기를 통해 받은 RMS 신호의 최대값을 가공시간에 대해 나타낸 그림이다. 가공수량이 증가함에 따라 RMS 최대값이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 그 값의 차이가 미소한 것을 알 수 있는데 이는 공작물을 15개 가공하였을 때의 공구마멸이 공구수명에 해당하는 마멸크기에 도달하지 않았기 때문이다.

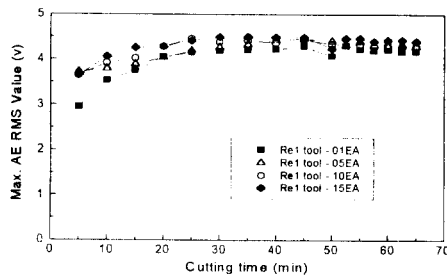


Fig. 9 The relation between Max. AE RMS value and cutting time according to workpiece number

Fig. 10은 경사면과 여유면에 TiN 코팅되어 있는 새로운 공구를 사용하였을 때 이벤트당 카운트 값을 나타낸 그림인데, 공작물의 가공수량에 상관없이 불규칙하게 나타나 공구수명을 감시하기 위한 파라메타의 선정으로는 적합하지 않음을 알 수 있다. 또한 재연삭한 공구에서도 동일한 신호경향이 나타났다. 따라서 공구마멸을 감시하기 위한 AE 파라메타로 최대 RMS 값이 효과적임을 알 수 있다.

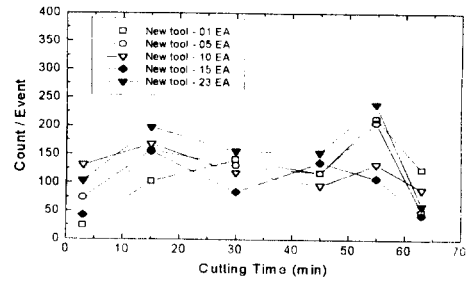


Fig. 10 The relation between count per event and cutting time according to workpiece number

3.2.3 재연삭 횟수에 따른 신호의 변화

새로운 공구와 재연삭 1, 6, 11회인 공구에서 공작물을 10개 가공하였을 때의 최대 RMS 값의 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 새로운 공구일 때의 최대 RMS 값이 재연삭했을 때 보다 작은 값을 보이는데, 이는 경사면의 코팅으로 인해 마멸이 상대적으로 작게 발생했기 때문이다. 또한 재연삭 횟수가 1, 6, 11회일 때의 값은 비슷한 경향으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

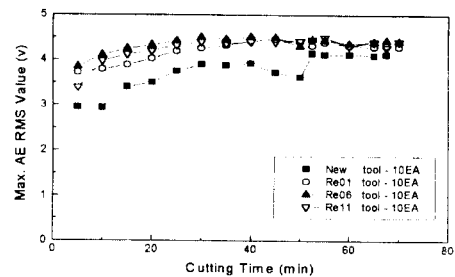


Fig. 11 The relation between Max. AE RMS Value and cutting time according to regrinding number

공작물의 가공수량 15개에서의 재연삭횟수에 따른 최대 RMS 값의 변화를 Fig. 12에 나타내었다. 최대 RMS

값이 거의 유사한 크기로 나타나는 것을 볼 수 있으며 따라서 공구수명에 해당하는 마멸의 크기를 결정한다면 재연삭횟수에 상관없이 그 조건에 맞는 공구수명의 감시가 가능함을 보여주고 있다.

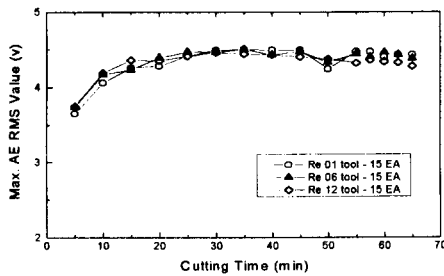


Fig. 12 The relation between Max. AE RMS value and cutting time according to regrinding number

3.2.4 AE 신호를 이용한 공구수명의 판정기준

공구수명에 해당하는 공구의 마멸크기를 확정한다면 그때의 AE 신호로부터 공구수명에 대한 감시시스템을 구축할 수 있다. 즉 현재의 공구 재연삭주기인 가공수량 15개 전후에서의 공구마멸 거동과 AE 신호의 변화를 파악한다면 공구수명의 판정과 AE 신호를 이용한 마멸의 감시에의 이용에 많은 정보를 제공하게 된다.

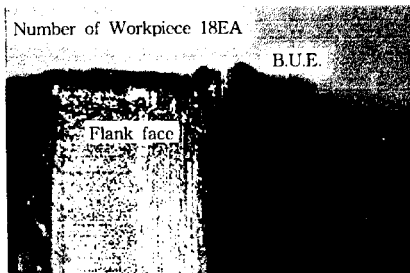


Fig. 13 Flank wear occurred after Regrinding 12 times

공구를 12회 재연삭 했을 때, 가공수량 15개 전후에서 공구의 마멸의 상태를 관찰하기 위해 공작물 18개까지 가공하여 이때의 공구상태를 Fig. 13에 보이고 있다. 공구의 여유면에 구성인선(Built-Up Edge)이 나타나 공구에 이상상태가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 시점 이전의 최대 RMS 값의 변화를 Fig. 14에 나타내었는데, 17개일 때의 신호와 15개일 때를 비교해 보면 최대 RMS 값의 크기가 뚜렷하게 구분됨을 알 수 있다. 이로부터 어느정

도의 마멸이 발생한 후, 즉 공구수명(재연삭 시점)에 도달했을 때에는 공구수명의 감시가 훨씬 용이함을 알 수 있다.

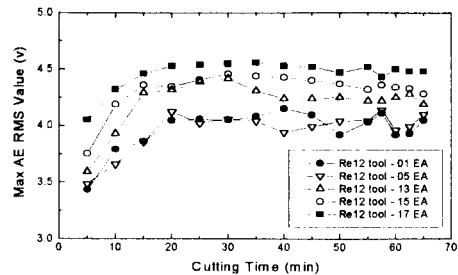


Fig. 14 The relation between Max. AE RMS value and cutting time according to workpiece number

5. 결론

- 1) 최전하고 있는 공작물 윗면에 AE 센서를 이용하여 미끄럼 방식으로 신호 획득이 가능함을 알 수 있다.
- 2) AE 파라메타중 최대 RMS 값이 공작물의 가공수량에 따른 공구마멸의 증가 경향을 잘 반영한다.
- 3) 최대 RMS값은 재연삭횟수에 상관없이 동일한 가공수량에서 비슷한 크기의 값을 가지며, 가공수량이 증가함에 따라 최대 RMS 값이 증가하여 수명의 감시가능성을 파악하였다.

참고문헌

- (1) 和田正毅, 水野 萬龜雄, "AEによる摩擦・磨耗の研究", 日本精密工學會誌, 1990
- (2) 和田正毅, 水野 萬龜雄, "摩擦・磨耗のsAEによるインプロセス計測に関する研究", 日本精密工學會誌, 1990
- (3) I. Inasaki, S. Yonetsu, "In-process Detection Tool Damage by Acoustic Emission Measurement", PAC TR-104-31-10, 1985
- (4) Robert Teti, "Tool Wear Monitoring through Acoustic Emission", Annals of CIRP, Vol. 38, 1989
- (5) Iwata, K. and Moriwaki, T., "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear", Annals of CIRP, Vol. 25, No. 1, 1977