

엔드밀 밀링공구의 가공특성검출 Machining Characteristics Detection of Endmill Milling Tool

맹민재(홍익대 대학원), 조성산(홍익대 공대), 정준기(홍익대 공대)
M. J. Maeng (Graduate School, Hongik Univ.), S. S. Cho (Hongik Univ.)
J. K. Chung (Hongik Univ.)

ABSTRACT

Acoustic emission(AE) is monitored during end milling with a sensor attached to the cutting fluid discharge nozzle. Cutting forces are also measured and compared with the AE signals to examine the reliability of the AE signals. It is demonstrated that the AE signals provide reliable informations about the cutting processes and tool states. Moreover, edge chipping and fracture of tools can be successfully detected using both the AE signals and cutting forces.

Key Words : end milling(엔드밀 가공), acoustic emission(음향방출), cutting fluid(절삭유), cutting force(절삭력), chipping(칩핑), fracture(파손)

1. 서 론

1960년대는 별로 수요가 없던 엔드밀은 공작기계의 CNC화와 더불어 금형제작에 많이 이용되고 그 수요도 급속히 증가하였다. 또한 금형재료를 비롯한 재료기술의 발달과 더불어 엔드밀도 비약적인 진보를 이루어가고 있다.

최근 들어 기계가공품에 대한 고정밀도와 고도의 생산효율이 요구되고 있으며, 이에 부응하여 CNC공작기계를 근간으로 가공자동화가 이루어지고 있다. 자동화된 절삭공정의 신뢰성을 저하시키는 요소중의 하나는 절삭공구의 칩핑이나 파손에 따른 비정상 절삭상태의 발생이다. 따라서, 절삭공정중에 공구의 이상상태를 자동으로 감지하는 장치가 필요하다.

가장 신뢰성 있는 공구상태평가 방법인 직접적 측정법은 절삭공정의 중단없이 수행이 어렵고, 따라서 간접적인 방법이 개발되어 왔으며, 그 중의 하나가 음향방출(Acoustic Emission, AE)을 이용하는 것이다. AE신호는 전파과정에서 감쇠가 되므로 센서의 설치는 신호방출원과의 거리가 일정하면서 가능한 신호방출원에 근접한 위치가 바람직하다. 따라서 선삭의 경우에는 공구축에 설치한다. 그러나 밀링공정에서는 절삭중에 공구가 회전하므로 센서를 공구에 부착하는데 어려움이 있다. 이의 차선택으로 센

서를 공작물에 부착하는 방법과 주축두에 부착하는 방법이 연구되었다. 그러나, 전자의 경우에는 절삭공정중에 센서와 절삭점간의 거리가 변화하여 신호강도가 변화하고, 후자의 경우에는 신호가 주축내부에 설치된 볼을 통과하면서 분산과 감쇠에 의해 파형이 변화한다. 이 문제점을 극복하기 위해 주축대축에 자성유체를 연결매체로하여 AE센서를 부착하는 방법⁽¹⁻⁵⁾이 연구되었다.

절삭공정시 엔드밀 인선부위에 공급되는 절삭유는 탄성파의 일종인 AE의 전달매체가 될 수 있고, 절삭유 공급장치와 절삭점간의 거리는 밀링공정중에 항상 일정하다. 따라서, 본 연구에서는 절삭유 공급장치에 AE센서를 부착하여 절삭 및 공구 상태를 검출하는 방법의 가능성을 확인하는데 목적이 있다. 이를 위하여, 가공조건에 따른 AE신호의 변화를 관찰하여 신뢰성을 검증하고, 절삭공구의 칩핑 및 파손 감지의 가능성을 조사한다. 절삭력도 동시에 측정하여 상호 비교를 수행한다.

2. 실험장치의 구성 및 방법

2.1 실험장치 및 구성

Fig. 1은 엔드밀 가공중에 AE와 절삭력을 검출하

기 위해 CNC머시닝센터(Tongil H. I.-TNV40A)에 부착한 실험장치의 구성을 보여준다. AE센서는 절삭유 분사노즐의 후미에 부착하고, 공작물은 공구동력계 위에 설치하였다. 주요 실험장치는 공구동력계(Kistler-9257B), 충전증폭기(Kistler-5019A), 터번유량계(KFI-1100-S-F), AE변환기(PAC-R15), AE신호처리장치(LOCAN 320-AT) 등이다.

절삭공구는 2날 솔리드형 고속도강 엔드밀, 공작물은 일반 구조용 탄소강(SM45C), 절삭유는 물-드롬투스 오일 혼합(95% H₂O + 5% Oil)을 사용하였다.

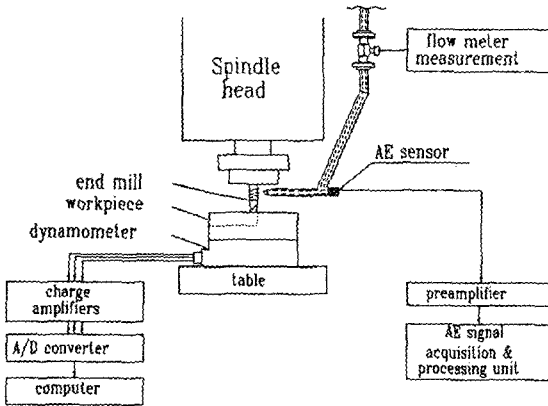


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

2.2 실험방법

실험은 3단계로 수행되었다. 첫단계에서는 절삭을 수행하지 않는 상태에서 절삭유 분사속도, 유량, 그리고 공구와 분사노즐간의 간격을 변화시키면서 AE Count Rate를 측정하여 최적의 AE신호를 검출할 수 있는 절삭유 공급조건을 선정하였다. 두번째 단계에서는 정상절삭상태하에서 절삭조건, 즉 공구회전속도, 이송속도, 축방향 절삭깊이, 절삭방법(상향 및 하향절삭)에 따른 AE Count Rate와 절삭력의 변화를 측정, 비교하여 신뢰성 있는 AE신호의 검출가능성을 조사하였다. Fig. 2는 절삭방법과 절삭력의 관계를 보여준다. 절삭조건은 공구제작업체의 추천 절삭조건을 근간으로 선정하였다. 마지막 단계는 절삭공구의 칩핑 및 파손시 검출되는 AE와 절삭력 신호의 특성을 관찰하여 자동감지의 가능성을 조사하였다.

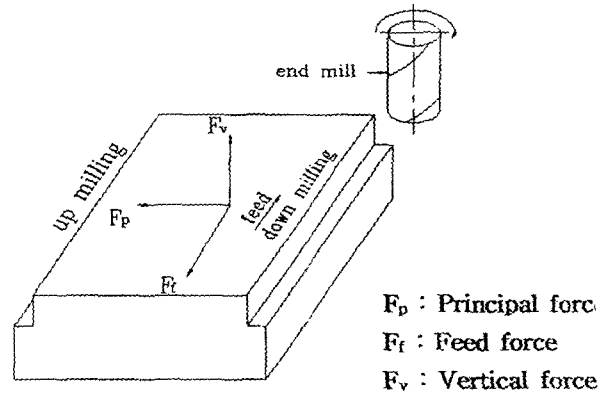


Fig. 2 Cutting force components in milling

2.3 신호처리

공구동력계에서 충전증폭기를 거쳐 출력된 3분력의 절삭력 신호는 10ms간격으로 연속적으로 컴퓨터에 입력하였다. 입력된 각각의 절삭력 신호는 연속적인 50개 데이터의 평균값을 계산하여 저장하였다.

AE센서에서 검출된 신호는 전치증폭기에서 40dB 증폭하고 주파수 영역 100-300kHz에서 여과한 후 AE신호처리장치에 입력하였다. 신호처리장치내의 주증폭기에서 다시 40dB증폭한 후, 500μs단위로 Count Rate를 검출하였다.

밀링작업에서는 칩의 두께가 공구회전속도와 이송속도의 영향을 받으므로, 검출된 신호와 절삭조건을 비교함에 있어 이송속도 대신 평균 칩두께를 이용하였다. 평균 칩두께는 다음의 식을 이용하여 계산하였다.⁽⁶⁾

$$t_{down} = \frac{f_d d}{L_d}, \quad t_{up} = \frac{f_d d}{L_u} \quad (1)$$

여기서, L 은 칩길이이고,

$\frac{\pi}{180} R \cos^{-1} \left(\frac{R-d}{R} \right) \pm \frac{f_r}{2\pi R} (2Rd-d^2)^{0.5}$ 로 계산되며, f_d 는 $\frac{f_r}{z}$ 로 정의 되는 절삭날당 이송량, f_r 은 공구회전당 이송, R 은 공구반경, d 는 공구반경방향 절삭깊이이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 절삭유 공급조건

Fig. 3(a)는 유속의 증가에 따른 AE Count Rate의 변화를 나타낸다. 유속 측정은 유속에 따라 비례적으로 증가하는 회전 각속도를 전기적 주파수의 변

화로 검출하는 방법을 이용하여 수행하였다. 본 실험장치에서는 유속이 0.815m/sec일 때 가장 강한 AE신호가 검출되며, 이때의 유량은 16ml/sec이다.

Fig. 3(b)는 AE센서가 설치된 분사노즐과 엔드밀 외경간의 간격의 변화에 따른 AE Count Rate의 변화를 나타낸다. 분사노즐 거리가 짧으면 엔드밀 인선부위에 분사되는 절삭유의 분포가 불안정하여 상대적으로 약한 AE신호가 검출되고, 분사노즐 거리가 길면 전달과정에서 발생하는 신호의 감쇠 때문에 상대적으로 약한 신호가 검출되는 것으로 사료된다. 본 실험장치에서는 분사노즐거리가 7mm일 때 가장 강한 신호가 검출되었다.

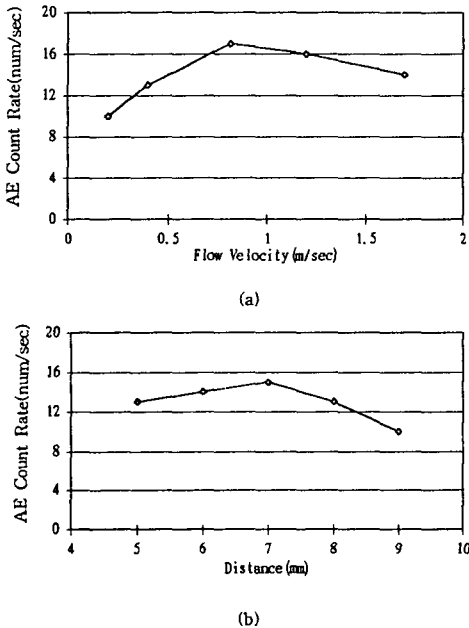


Fig. 3 AE Count Rate vs. (a) Flow Velocity and (b) Gap Distance

3.2 AE신호의 신뢰성

Fig. 4는 하향절삭시 공구회전속도, 칩두께, 축방향 절삭깊이의 변화에 따른 AE Count Rate와 절삭력의 변화를 나타낸다, 여기서 절삭력은 3분력의 합력이다. Fig. 4(a)와 (b), (c)와 (d)를 각각 비교하면 칩 두께의 증가에 따라 AE Count Rate와 절삭력 모두 증가함을 알 수 있다. 한편, 공구회전속도가 증가하면 절삭력은 감소하고 AE Count Rate는 증가함을 알 수 있다. Fig. 4(a)와 (c), (b)와 (d)를 비교하면 축방향 절삭깊이의 증가에 따라 AE Count Rate와 절삭력 모두 증가함을 알 수 있다. 밀링가공에서 공구회전속도, 칩두께, 축방향 절삭깊이는 각기

선삭의 절삭속도, 이송량, 절삭깊이에 해당하므로 기존의 선삭 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 절삭력에 비해 AE Count Rate는 칩두께 0.035mm이하에서 미미한 변화를 나타낸다. 이는 AE신호의 낮은 민감도를 나타낸다고 보다는 문턱값(Threshold Value)의 영향으로 사료된다

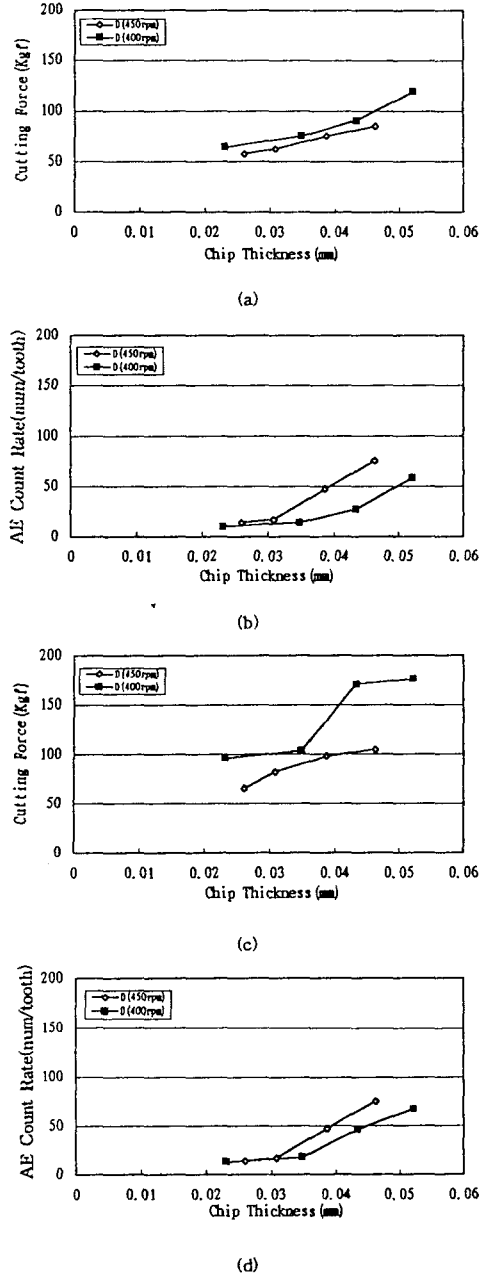


Fig. 4 Cutting Force and AE Count Rate in down milling at an axial cutting depth of: (a), (b) 6mm, and (c), (d) 9mm

Fig. 5는 상향절삭시 Fig. 4와 동일 절삭조건하에서 얻어진 AE Count Rate와 절삭력의 변화를 나타낸다. 절삭조건의 변화에 따른 AE Count Rate와 절삭력의 변화는 하향절삭의 경우와 동일하다. 단지, 상향절삭에 비해 AE Count Rate와 절삭력이 미소하게 감소하고 있다. 절삭방향이 AE 신호에 미치는 영향에 관한 기존의 연구결과가 미진하여 비교는 불가능하지만, 절삭력에 관한 본 실험결과는 기존의 것과 일치한다. 따라서, 절삭유를 통해 전달되는 AE 신호는 밀링공정상태를 감시하는데 사용이 가능함을 알 수 있다.

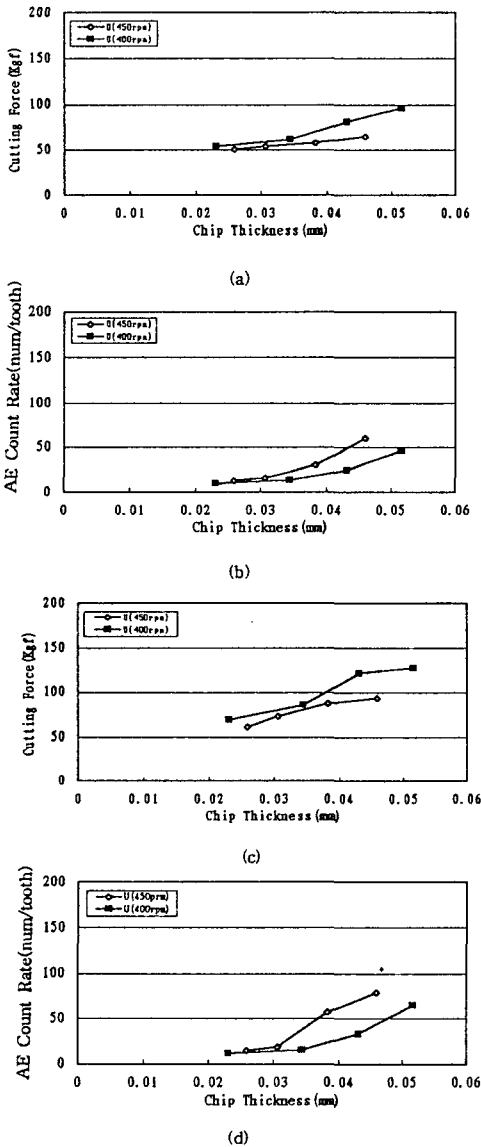


Fig. 5 Cutting Force and AE Count Rate in up milling at an axial cutting depth of: (a), (b) 6mm, and (c), (d) 9mm

4. 공구 이상상태 검출

Fig. 6은 칩핑 발생시 AE Count Rate와 절삭주분력의 변화를 나타내고 있다. 절삭조건은 절삭속도 20m/min, 이송속도 120m/min, 축방향 절삭깊이 6mm이고, 칩핑은 약 3.7초경에 발생하였다. 본 실험에 사용된 공구는 2날을 가지고 있으므로 정상상태에서의 절삭력은 공구 1회전에 2개의 피크값과 2개의 0에 가까운 값을 나타내고 있다. 그러나, 칩핑 발생시 절삭력은 정상상태와는 다르게 피크값에서 0의 값으로 복귀하지 못하고 다시 피크값으로 증가한다. 한편, AE Count Rate는 칩핑 발생시 특징적 변화를 나타내지 않고, 전 구간에 걸쳐 상대적으로 작은 여러개의 피크를 포함하고 있다. 이는 칩핑과 연관된 균열의 전파와 관계가 있는 것으로 사료된다.

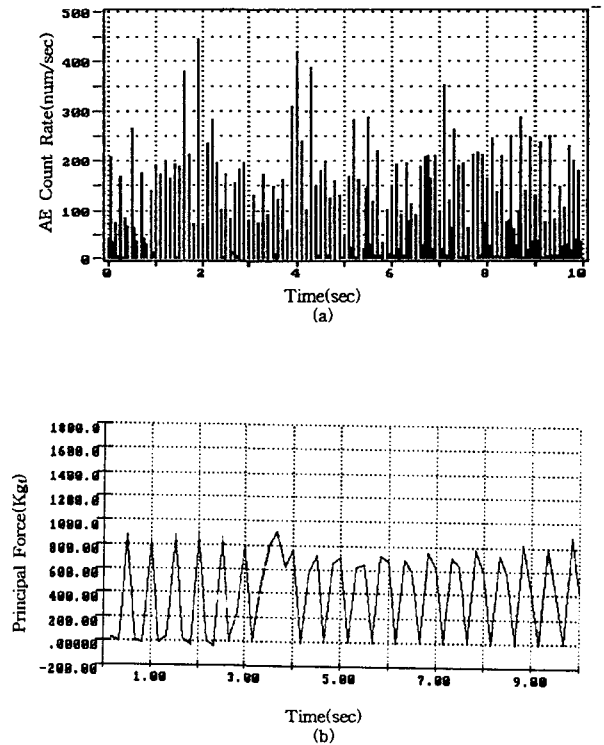


Fig. 6 Variations of AE Count Rate and principal cutting force due to chipping: $V=20\text{m/min}$, $f=120\text{mm/min}$, $d=6\text{mm}$

Fig. 7은 공구파손시 AE Count Rate와 절삭주분력의 변화를 나타내고 있다. 공구파손을 유도하기 위하여 측면 절삭날에 축방향에 대해 45°, 두께 3mm, 깊이 3mm인 인공 흠을 판 엔드밀을 사용하

5. 결론

다양한 절삭상태하에서 엔드밀 가공을 수행하면서 절삭유 공급장치에 부착된 AE센서를 통해 검출된 신호와 절삭력을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭유를 전달매체로하여 절삭조건의 변화 및 공구이상상태를 반영하는 신뢰성있는 AE신호의 검출이 가능하다.
- (2) 절삭유 공급조건은 검출되는 AE신호의 강도에 영향을 미치며, 최적조건이 존재한다.
- (3) AE신호와 절삭력을 이용하여 공구의 칩핑 및 파손을 감지하는 것이 가능하다.

참고문헌

1. Blum, T., Suzuki, I., and Inasaki, I., "AE-Monitoring Systems for the Detection of Single-Point and Multipoint Cutting Tool Failures," *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 7, No. 4, pp. 179~184, 1988.
2. Blum, T., "Tool Failure Detection in Milling Operations using an Intelligent Tool Monitoring System," *LMA*, pp. 35~38, 1990.
3. Yu, Q., and Hutton, D. V., "Investigation of Sensor Placement for Monitoring Acoustic Emission in Machining," *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 8, No. 3, pp. 41~46, 1989.
4. Blum, T., and Dornfeld, D. A., "Milling Process Monitoring via AE using Ferrofluid Coupled Sensor Device," 4th World Meeting on Acoustic Emission, ASNT, Boston, MA. pp. 239~254, 1991.
5. Takeshita, H., and Inasaki, I., "Monitoring of End Mill Cutter Failure with an AE sensor," 4th World Meeting on Acoustic Emission, ASNT, Boston, MA. pp. 301~307, 1991.
6. Martellotti, M. E., "An Analysis of the Milling Process," *ASME Transactions*, Vol. 63, pp. 677~700, 1941.

었다. 절삭조건은 칩핑실험의 경우와 같으며, 공구파손은 약 10초경에 발생하였다. AE Count Rate는 공구파손시점에 일시적으로 큰 피크값을 나타내고, 그 이후에도 상대적으로 크고 작은 피크를 간헐적으로 나타내고 있다. 파손시 발생하는 큰 피크는 공구파괴 최종단계에서 발생하는 균열의 급격한 성장과 연관이 있고, 그 후의 피크들은 파손된 공구면에서 발생하는 추후의 파괴와 연관이 있는 것으로 추정된다. 절삭력은 공구파손시점에서 연속되는 두 피크값의 현격한 차이를 나타내고, 그 이후에도 두 값의 차이는 유지하면서 전체적으로 증가하여 일정 값에 이르른다. 절삭력이 일정해지는 시점은 AE Count Rate의 두번째 큰 피크의 발생시점과 거의 유사하다.

이상의 결과를 종합하면, 절삭유를 통해 검출된 AE신호는 절삭공구의 이상상태와 연관된 정보를 함유하고 있으며, AE신호와 절삭력의 변화를 동시에 측정하면 절삭공정중에 공구의 칩핑 및 파손을 감지하는 것이 가능함을 알 수 있다.

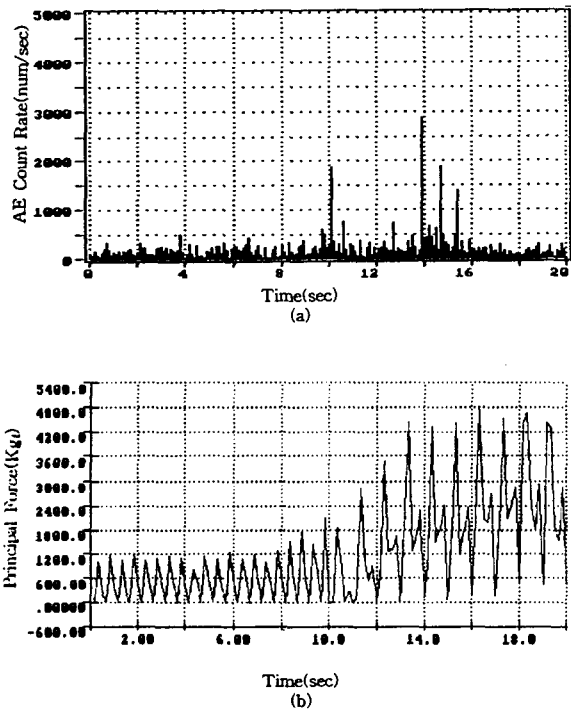


Fig. 7 Variations of AE Count Rate and principal cutting force due to fracture: $V=20\text{m/min}$, $f=120\text{mm/min}$, $d=6\text{mm}$