

엔드밀 공정에서 공구 동력계를 이용한 절삭상태 감시 (Cutting Process Monitoring Using Tool Dynamometer in End-Milling Process)

김홍겸(숭실대학원), 양호석(숭실대학원), 이진복(숭실대학교)

Hong Gyum Kim(Graduate School, Soongsil Univ), Ho Suk Yang(Graduate School, Soongsil Univ),
Gun Bok Lee(Soongsil University)

Key Words : Cutting Force(절삭력), Cutting Speed(절삭속도), FeedRate(이송속도), Depth of Cut(절삭깊이), Resultant Force(합력)

ABSTRACT

Rise in cutting force causes tool damage and worsens product quality resulting in machining accuracy deterioration. Especially, fragile material cutting brings about breakage of material and worsens product surface quality.

In this study, we trace the locus of cutting force and examine the machined surface corresponding to the cutting force loci. and build up a monitoring system for deciding normal operation or not of cutting process.

1. 서론

일반적으로 공구 손상에 영향을 미치는 절삭조건은 절삭 속도, 이송 속도, 절삭 깊이 순서로 커지게 된다. 또한 이러한 요소들은 절삭물의 가공 정도를 저하시킬 뿐 아니라, 절삭물의 외관에도 영향을 끼치게 된다. 최근에는 보통강을 열처리한 금형강, 티타늄 합금, 내열, 내 마멸 합금 등 각종 난삭재의 재료가 사용되고 있는데, 이러한 재료의 절삭 시 과도한 절삭량은 공구의 손상뿐만 아니라, 가공 중에 재료가 깨지는 현상으로 나타나게 된다. 따라서 절삭하고 있는 상황을 적절히 모니터링하여 재료가 깨지는 현상을 최대한

방지를 하는 것은 정도 높은 가공물을 얻는 것과 동시에 공구의 손상을 방지하게 한다.

본 연구에서는 절삭 시 재료에 걸리는 힘 중 X축, Y축에 나타나는 힘의 합력을 측정하고, 재료의 이상 절삭 시에 나타나는 패턴을 조사한 후, 측정된 패턴을 통하여 절삭 조건을 제어할 수 있도록 제어에 의미 있는 신호의 체계로 변환을 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2. 1 실험 장비

Fig 1은 데이터를 얻고, 제어할 수 있도록 구성된 시스템이다.

절삭력은 다이내모미터에서 측정이 되고, 측정된 절삭력은 스트레인 앰프에서 증폭이 됨과 동시에 필요 없는 주파수 성분을 제거하기 위하여 2 날 밀링 커터에서 최대 3000RPM의 주축 속도 내의 신호만을 검출하기 위하여 100Hz의 차단주파수로 필터링을 하게 된다. 또한 증폭된 신호를 A/D 컨버터의 측정 범위에 맞추어 최대한의 감도를 얻기 위하여 OP-Amp를 이용한 차동 증폭 회로를 구성하여 A/D 컨버터의 측정 전압 범위에 맞도록 증폭을 실시한다. 입력으로 들어갈 이

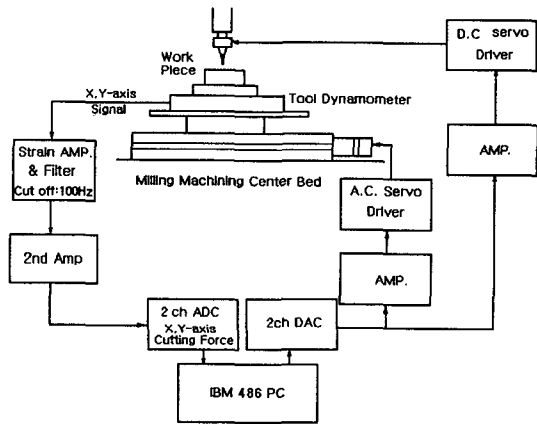


Fig 1 Schematic Diagram of Control Configuration for Data Acquisition and Control System

송 속도는 D/A 컨버터를 사용하여 아날로그 전압으로 변환한다. 변환된 신호는 AC서보 드라이버의 제어 입력 범위에 맞추기 위하여 증폭을 한다. 증폭된 신호는 AC서보 드라이버를 통하여 주축을 구동하게 된다. 절삭력의 실시간 측정을 위하여 절삭력 측정, 제어신호 갱신 및 출력은 1ms의 샘플링 시간으로 설정하였다. 절삭력은 12bit의 해상도를 가지고 있는 A/D 컨버터에서 측정된 값과 실제 각 축 방향으로의 힘을 측정하여 계산하여 상사 시켰고, 축 방향의 이송 속도는 엔코더에서 나온 펄스와 실제 거리를 측정된 값과 상사시킨 후, 샘플링 시간으로 나누어 속도를 구하였다.

2. 2 실험 및 모델링

Fig 2는 엔드밀 절삭 시 공구에 의하여 공작물에 작용하는 힘을 표시한 그림이다.

그림과 같이 엔드밀 절삭 가공에서 발생하는 절삭력은 공구날의 회전에 의한 성분과, 이송에 의한 성분, 그림 상에서 지면 방향의 절삭 깊이에 따른 성분이 조합되어 영향을 끼치게 된다.

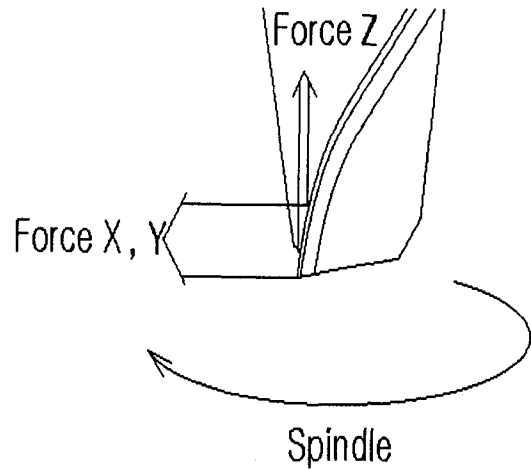


Fig 2 Force on Milling Tool

이러한 각각의 요소는 각 축에 대한 분력 Force X, Force Y, Force Z의 성분으로 나타나게 된다.

X, Y, Z축의 분력의 합력이 공구 및 재료에 실제로 가해지는 절삭력이고, 이러한 절삭력에 의하여 소재는 가공이 된다..

밀링에서 절삭하는 부분을 확대하면 Fig 3과 같고, 재료를 절삭하며 공구가 진행하면, 공구 회전 방향의 접선 방향과 수직 방향으로 분력이 나타난다. 접선 방향은 X축과 Y축의 절삭력으로 나

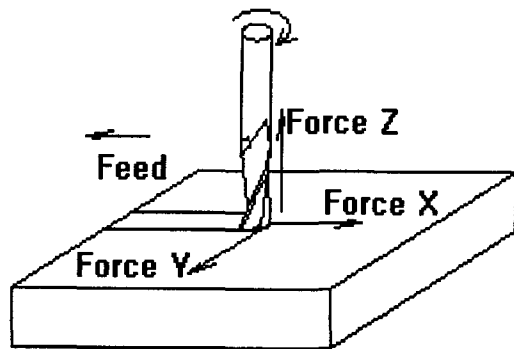


Fig 3 Cutting Force during End-Milling Process

타나고, 수직 방향은 Z축의 절삭력으로 나타난다. Fig 4는 절삭 깊이 2mm/s 이고 1.03mm/s 의 속도로 절삭이 수행 될 때 X축 신호를 획득한 것이다. 이에 반하여 Fig 5는 3.25mm/s 의 속도로 절삭이 진행될 때 측정된 X축 신호이다. 신호가 불규칙해지는 것이 보이며 이때 절삭면을 찍은 사진은 Fig 6이다.

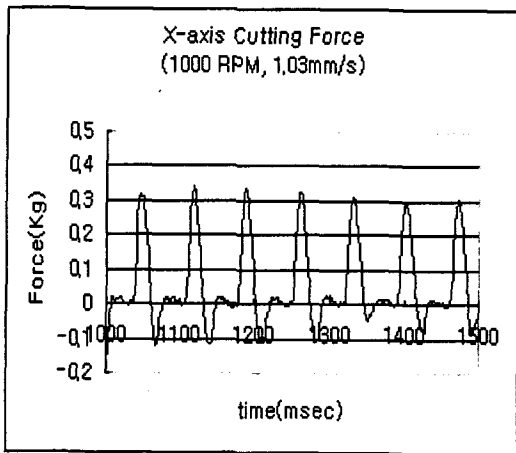


Fig 4 X-axis Cutting Force at 1000RPM, 1.03mm/s FeedRate

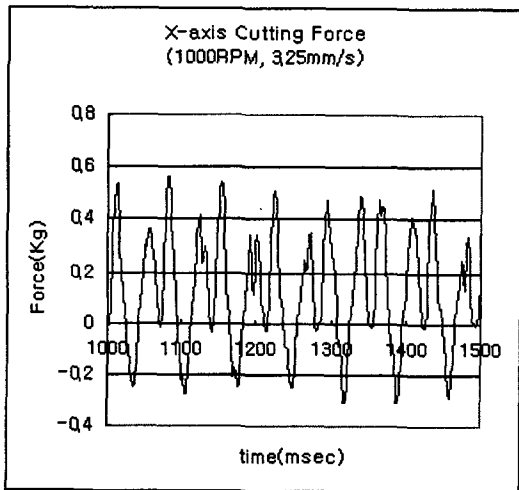


Fig 5 X-axis Cutting Force at 1000RPM, 3.25mm/s FeedRate



Fig 6 Machined Surface at 1000RPM, 3.25mm/s FeedRate

Fig 6은 깨지기 쉬운 아크릴을 절삭하여 얻은 사진이고, 절삭력이 커지면, 재료가 깨져나가는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 적절한 절삭량을 제한하도록 모니터링 할 수 있는 기준을 설정하기 위하여 절삭력을 X축 및 Y축의 합력으로 측정을 하였다.

Fig 7은 재료의 깨지는 현상이 없는 1000RPM, 1.03mm/s 의 속도로 X축 및 Y축의 절삭력의 합력을 나타낸 그래프이다.

절삭력이 1회전하여 원점으로 돌아오는 샘플의 개수는 대략 64개정도 되고, 1msec의 샘플링이므로, 스피들 속도는 대략 937.5 RPM이 된다는 것을 알 수 있다. 또한 원점으로 다시 돌아오는 한 주기의 절삭력 벡터의 크기를 계산하면, Fig 7의 반경 R과 같이 절삭 시 공구에 걸리는 최대 절삭력을 측정할 수 있고, 절삭력의 회전 방향의 반대 방향이 공구 주축의 회전 방향이다.

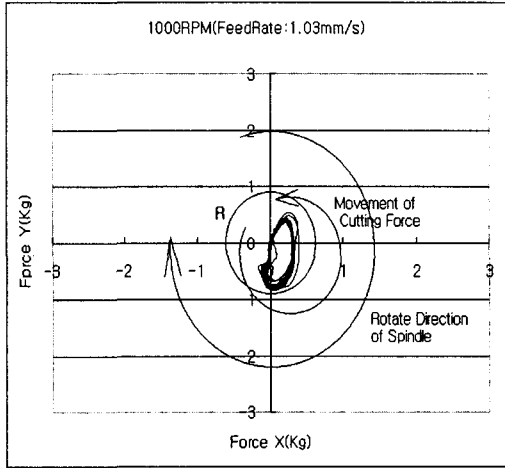


Fig 7 Resultant of Cutting Force at 1000RPM, 1.03mm/s Feed Rate

Fig 8은 재료의 깨짐이 일어나는 3.25mm/s의 속도로 가공 시 나타나는 절삭력의 합력이다.

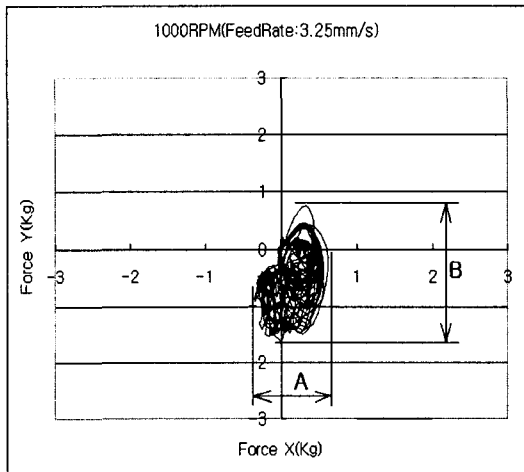


Fig 8 Resultant of Cutting Force at 1000RPM, 3.25mm/s FeedRate

그림에서 보는 바와 같이 절삭력의 증가는 이송 속도에 따라 증가하는 경향이 생기며, 절삭력의 증가에 따라 재료가 깨지는 현상은 절삭력의 합

력이 불안정해지는 결과로 나타나게 된다. 따라서 이러한 내용을 종합하여 절삭 상황을 감시할 수 있는 그래프는 Fig 9와 같고 이는 실제 공작 기계에서 절삭 상황을 비주얼하게 감시할 수 있는 모니터링 시스템으로 사용할 수 있다.

여기서 스핀들 속도 S_r 은

$$S_r = \frac{60000}{S_n} \quad 1)$$

로 구할 수 있으며, 샘플링 시간은 1ms이고 S_n 은 절삭력 벡터의 크기가 증가했다가 다시 감소하여 원점으로 돌아올 때까지 샘플링한 개수이다.

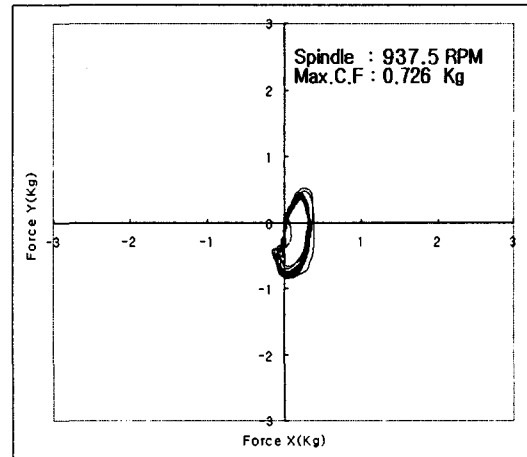


Fig 9 Monitoring Screen for End-Milling Process

3. 결론

본 연구에서는 공구 동력계를 사용하여 절삭 과정을 모니터링 하고, 절삭환경을 제어할 수 있는 몇 가지 인자를 추출하였다. 실험은 500, 1000, 1500, 2000, 2500 RPM의 스핀들 속도에서 각각의 이송속도를 변경하며 측정하였으며, 모든 스핀들 속도에서 비슷한 패턴을 측정할 수가 있었다. 이상의 내용을 정리하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 재료가 깨지는 현상이 발생하였을 때의 절삭력 패턴과 정상적인 절삭 과정시의 절삭력 패턴을 명확하게 구분할 수 있는 모니터링 시스템을 구성할 수 있다.
2. 절삭력의 패턴을 통하여 주축의 동작상태를 모니터링 할 수 있다.
3. 정확한 주축 속도를 간접 측정함으로써 공구의 실제 절삭력에 의해 최대 절삭력을 실시간으로 모니터링 하였고, 최대 절삭력을 적절히 설정함으로써 공구의 손상을 최소화하고 가공면의 표면 정도를 향상 할 수 있다.

5. 참고문헌

[1] 박성은 외, “볼 엔드밀 가공 시 절삭 깊이와 가공위치의 변화에 따른 표면 정밀도”, 한국공작기계학회 추계 논문집 2000. 10.

[2] 이기용 외, “절삭력 신호에 의한 공구 런아웃의 온라인 감시”, 한국정밀공학회 추계 논문집 (1), 1998. 11.

[3] 고정훈 외. “엔드 밀링의 가공 표면 정밀도 예측과 해석“. 한국정밀공학회 추계 논문집. 2000. 10

[4] Ismail Lazoglu, “Modeling of Ball-End Milling Forces With Cutter Axis Inclination”. Journal of Manufacturing Science and Engineering. FEBRUARY 2000, Vol. 122 /3