

엔드밀 가공에서 런아웃 측정을 통한 가공성 평가에 관한 연구

Evaluation of Workability through Runout in End Milling

김병국*, 김경수(부산대 원), 이득우, 김정석(부산대)

B.K. Kim*, K.S. Kim(PNU Graduate School), D.W. Lee, J.S. Kim(Pusan Univ.)

ABSTRACT

The quality of products is depend on the performance of machine and machining conditions. In this study the runout of spindle is selected as a parameter through which we could appreciate the workability of machine and the quality of products. Through the runout of high speed machining center on freeload machining, the revolution accuracy and the characteristics in connection with spindle speed are evaluated. It was experimented flat and ball end milling for estimating machine accuracy and workability by measuring spindle runout. In end, This paper shows the effects of runout on surface roughness through analysis of runout and roughness profiles.

Key Word : End Milling(엔드밀링), Runout(런아웃), Surface Roughness(표면 거칠기)

1. 서론

기계 가공제품의 품질을 좌우하는 요인중 가장 큰 부분을 공작기계의 정밀도가 차지하고 있는 것은 주지의 사실이다. 그리고 보다 나은 정밀도의 제품을 얻기 위해서는 각 제품의 품질 요구 정도에 맞는 가공조건의 선정 또한 중요하다.

공작기계의 정밀도는 크게 회전정밀도와 이송정밀도로 나눌 수 있는데, 회전정밀도는 주축의 회전오차의 변화량을 통하여 그 정밀도를 측정할 수 있고, 이송정밀도는 이송계 시스템의 직선운동 정밀도를 각종의 측정장치를 이용하여 알 수 있다.¹⁾ 특히 공작기계의 회전정도는 고정밀도가 요구되는 제품의 가공에 있어서 그 품질에 영향을 미치는 중요한 인자라 할 수 있다.²⁾ 공작기계의 회전정도는 여러 가지 방식으로 측정될 수 있으나, 본 연구에서는 간단 한 변위 센서를 이용하여 주축의 회전정도를 파악할

수 있는 장치를 구성하였다. 본 측정 장치는 공작기계의 회전정밀도를 파악할 수 있음은 물론 가공시 주축의 런아웃을 측정하여 가공조건에 따른 절삭상태의 변화를 파악할 수 있다.

공작기계의 주축의 고속화로 인하여 기존의 공구동력계는 그 응답성이 주축의 회전수에 미치지 못하여 정상적인 절삭력의 파악이 힘들다.³⁾ 그래서 고속에 적합한 공구동력계의 개발이 필요하고, 그것을 대신하여 응답성이 좋은 변위센서를 이용하여 런아웃을 측정함으로써 10,000rpm 이상의 고속영역에서도 가공상태를 파악할 수 있다.

본 연구에서는 고속 머시닝 센터에서 엔드밀 가공을 통하여 주축의 런아웃을 측정하여, 공작기계의 정밀도와 함께 가공상태 파악을 위한 실험을 하였다. 그리고 최종적으로 공구의 런아웃이 제품의 표면거칠기에 미치는 영향을 파악하였다.

2. 공회전시 런아웃 측정을 통한 공작기계의 회전정도 측정

공작기계의 성능을 평가하는데 있어서 회전정밀도는 형상오차 중 진원도, 원통도, 평면도, 표면 거칠기 등에 중대한 영향을 미치는 인자이다. 특히 고정도의 제품을 가공하는데 있어서는 필수적인 요소이다. 공작기계의 회전정도를 측정하는데 있어서 여러 가지 방법이 있다. 일반적으로 가장 많이 이용되는 측정법은 변위센서와 정도가 좋은 마스터 구를 이용하여 정밀도를 측정하는 것이다.

본 연구에서 이용한 회전정도의 측정법은 공작기계 주축에 장착된 공구의 떨림을 변위센서를 이용하여 측정할 수 있는 장치를 구성하였다. Fig. 1은 본 측정장치의 개략도를 나타낸 것이다.

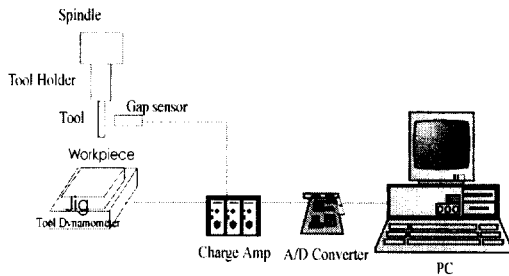


Fig. 1 Experimental setup

본 연구에서 이용한 측정법은 공작기계의 회전정밀도를 정밀하게 측정하기가 힘들다. 이것은 주축의 회전시 공구의 떨림을 변위센서로 떨림의 변화량을 측정하는 것이기 때문이다. 그러나 이 측정법은 실제 공작기계가 가지고 있는 회전 진동의 특성을 파악할 수 있는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 고속머시닝센터에서 공구의 떨림을 회전수를 증가시키면서, 각 회전수마다 공구의 런아웃을 측정하여 공작기계의 각 회전수마다 나타내는 고유주파수를 FFT분석을 통하여 알아 보았다. Fig. 2는 각 회전수의 런아웃 파형과 그것의 FFT를 나타낸 것이다.

FFT(Fast Fourier Transform)는 특정 주파수의 크기를 알 수 있는 신호처리 기법으로 많이 이용된다. 이 기법을 이용하면 공작기계의 정밀도의 변화에 따라 나타나는 지배적인 주파수와 그것의 크기를 알 수 있기 때문에 공작기계의 정도를 쉽게 파악할 수 있는 특징을 갖고 있다.

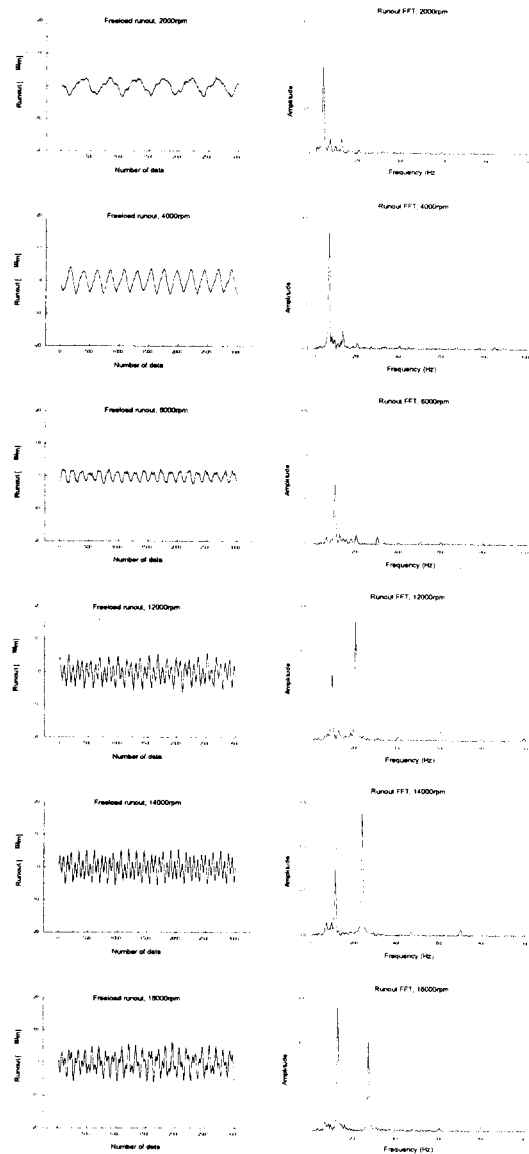


Fig. 2 Free-load runout and FFT

Fig. 2는 공작기계 주축의 런아웃을 공회전시 절삭을 하지 않은 상태에서 측정한 것이다. 회전수가 2000, 4000, 6000rpm과 12000, 14000, 16000rpm일 때의 런아웃을 측정하였다. 본 연구에서 이용한 머시닝센터는 2000~6000rpm에서 회전수가 빨라질수록 안정된 파형을 보여주고 있다. FFT분석에서도 지배적인 주파수에서 크게 나타나고 있으며, 6000rpm에서 안정적인 때, 지배주파수의 크기도 작게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 10,000rpm이상의 고속영역에서는 다소 불안정한 파형을 보이고 있지만 회전수에

따른 큰 변화가 없다. FFT분석도 지배주파수의 크기가 가장 크지만 16,000rpm에서는 오히려 지배주파수인 266.6Hz에서보다 133.3Hz에서 크기가 더 큰 것을 볼 수 있다. 이것은 이 회전수영역에서 다소 불안한 회전을 하고 있음을 보여주고 있는 것이다.

이러한 분석을 통해서 공작기계의 회전정도와 함께 회전시의 공작기계의 진동상태를 파악할 수 있다.

3. 엔드밀 가공에서의 런아웃 측정을 통한 가공성 평가

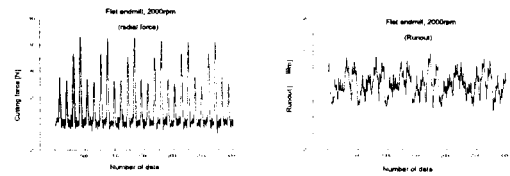
머시닝센터를 이용한 엔드밀 가공시 가공상태를 파악하기 위하여 앞에서 언급한 방식의 측정법을 이용하여 런아웃을 측정하였다. Table 1은 본 실험에서 이용한 실험 장치들을 나타낸 것이다.

Table 1 Experimental equipments

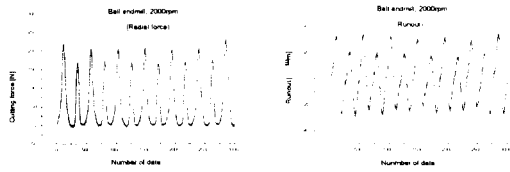
Machining Center	Spindle speed : 20,000rpm Feed Speed : 50m/min Location Resolution : 2 μ m
Dynamometer	Range : -2.5 ~ 2.5 (kN) Rigidity : 240 N/ μ m
Gap Sensor	Resolution : 0.5 μ m Range : 0 ~ 2.0mm Frequency response : DC-20KHz
Tool	Flat, Ball Endmill (ϕ 10, HSS)
Workpiece	HP4M (HRc28)

본 실험에서는 플랫과 볼, 2종류의 엔드밀을 이용해 평면 시편(HRc28)을 절삭실험을 하여 엔드밀링의 가공 특성을 파악하여 보았다. 엔드밀링은 선삭과 달리 단속적으로 공구에 미치는 절삭력의 힘이 주기적으로 미치고 이것이 바로 공구의 휨으로 나타난다. 그리하여 본 실험에서는 런아웃과 함께 공구동력계를 이용하여 절삭력도 측정하였다.

Fig. 3은 플랫 엔드밀링과 볼 엔드밀링을 2000rpm에서 측정한 절삭력과 런아웃을 도시한 것이다. 여기서는 4날의 플랫엔드밀과 2날의 볼엔드밀을 이용하였다. 절삭조건은 FP가공을 원칙으로 하여 회전당 이송량(0.3mm/rev)과 피크피드(0.3mm)를 같게 하였다. Fig. 3(a)는 플랫엔드밀로 절삭력 파형과 런아웃 파형이 유사함을 잘 보여주고 있다. 플랫엔드밀의 4날중 2날이 절삭에 주로 관여함을 볼 수 있으며 이때문에 공구의 휨이 불규칙적으로 생기는 것을 알 수 있다.



(a) Flat end milling (2000rpm)



(b) Ball end milling (2000rpm)

Fig. 3 Cutting force and runout in end milling

Fig. 3(b)는 볼엔드밀 가공을 한 절삭력과 런아웃의 파형이다. 두파형의 유사함을 볼 수 있다. 볼엔드밀은 플랫에 비하여 평면가공시 가공이 불안정함을 파형을 통해 볼 수 있다. 절삭력과 런아웃의 크기가 2배이상임을 알 수 있다.

이러한 특징으로 볼 때, 절삭력과 런아웃을 통해 가공상태를 파악할 수 있고, 이것을 통해 절삭조건에 대한 안정성을 판단할 수 있다. 그러나 기존의 공구동력계에 의한 절삭력 측정은 10,000rpm 이상의 고속영역에서는 주축 회전수에 비해 그 응답성이 떨어지고 설치상의 문제 때문에 이용에 어려움이 있다. 그러나 변위센서에 의한 런아웃의 측정은 변위센서의 주파수 응답성이 20KHz(Table 1 참조) 수준을 유지함으로 고속영역에서도 이용이 가능하다. Fig. 4는 주축 회전수 15,000rpm에서의 볼엔드밀 가공을 한 절삭력과 런아웃의 파형을 도시한 것이다.

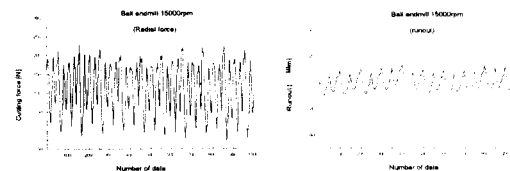


Fig. 4 Cutting force and runout in 15000rpm

15,000rpm에서의 절삭력 파형은 단속절삭이라는 특징이 없이 한 날에 의한 절삭력이 단속적으로 일어나지 않고 있다. 이것은 공구동력계의 응답성이 절삭력의 변화에 미치지 못함을 알 수 있다. 그에 비하여 런아웃 파형은 날당 절삭에 의한 런아웃 변화를 뚜렷이 알 수 있다. 그러므로 런아웃의 측정은 고속영역에서도 유용하게 이용될 수 있는 가공성 파

악의 한 방법이 될 수 있다.

4. 표면형상에 미치는 런아웃의 영향 분석

본 연구에서 측정된 런아웃은 공구의 휨량이라고 볼 수 있다. 가공시 공구의 휨은 직접적으로 제품의 표면에 영향을 미치는 것은 당연하다. 그러므로 가공시 런아웃량의 변화를 통해서 표면의 형상을 예측이 가능할 것이다. 그래서 본 연구에서는 런아웃의 변화가 표면형상에 미치는 영향에 대한 분석을 하였다.

표면의 형상은 공구의 형상에 따라 다양한 절삭조건에 의하여 기본적인 형상을 가진다. 그러나 런아웃의 영향으로 불규칙적인 면을 가지게 된다. Fig. 5는 플랫 엔드밀 가공과 볼 엔드밀 가공을 시편의 표면 거칠기 파형을 런아웃 파형과 함께 도시하였다. 주축의 회전수는 2000, 4000rpm으로 하였다.

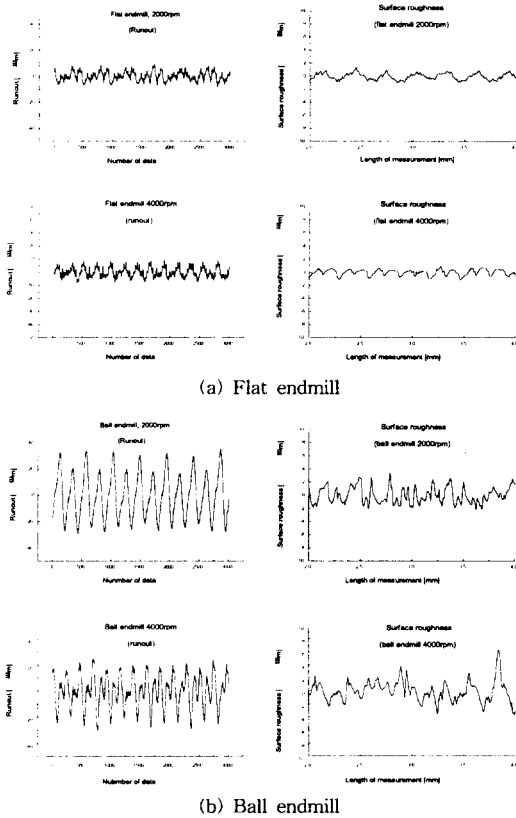


Fig. 5 Runout and surface roughness in 2000, 4000rpm

Fig. 5(a)는 플랫 엔드밀 가공에서의 런아웃과 표면 거칠기의 파형을 도시한 것이다. 평면가공에서의 플랫 엔드밀은 런아웃량이 적은 안정된 가공을 보이고 있다. 측정 길이를 2mm로 한 표면 거칠기 파형은 런아웃 파형과 주기적으로 유사하고 런아웃이 안정될 때 표면 거칠기의 파형도 안정이 되어 좋은 면을 획득할 수 있었다. Fig. 5(b)는 볼 엔드밀 가공을 한 것으로 가공이 불안정하고 표면 또한 불규칙하다.

실제 표면 형상에 영향을 미치는 요인은 수없이 많으나, 가공중의 주축의 흔들림은 동작기계의 특성과 가공조건에 안정성을 모두 포함하여 표면 형상의 변화에 미친다. 런아웃의 변화가 정량적으로 표면 거칠기 값으로 나타나는 것은 아니지만 가공중 런아웃을 측정하여, 그 제품에 요구되는 표면 형상의 정도를 상대적으로 판단하여 제품의 품질을 미리 예측할 수 있을 것이다.

5. 결론

엔드밀 가공에서의 런아웃 측정을 통한 가공성 평가에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 공회전시 런아웃의 변화량을 통해서 주축의 회전 정도는 물론 특정 회전수에서의 동작기계의 진동 특성을 알 수 있었다.
2. 엔드밀 가공시 주축의 런아웃은 절삭력과 더불어 가공상태를 파악할 수 있는 인자로 이용될 수 있고, 특히 고속영역에서도 그 유용함을 가지고 있다.
3. 실제 가공에서 주축의 런아웃은 제품의 표면에 직접적인 영향을 미치고 런아웃의 변화를 통해 제품의 품질을 감시 할 수 있다.

참고문헌

- 1) 박준호 “정밀시스템공학”, 야정문화사 pp243-256 1996
- 2) W.A. Kline and R.E. Devor, “The Effect of Runout on Cutting Geometry and Forces In End Milling”, Int. J. Mach. Tools Des. Res. Vol. 23. No. 2/3, pp.123-140, 1983
- 3) 安岡 成泰, “高硬度材の高速切削加工に關する研究”, 千葉大學大學院 工學研究科 機械工學專攻 機械システム工學講座, 1996