

# 대면적 미세형상 가공기의 가공오차 원인 분석 및 가공 정도 향상에 관한 연구 Machining Error Investigation and Machining Accuracy Improvement of Ultra-Precision Machining Tool for Finishing Large Surface

\*정석규<sup>1</sup>, #송영찬<sup>1</sup>, 김병섭<sup>1</sup>, 황주호<sup>1</sup>, 송창규<sup>1</sup>, 박천홍<sup>1</sup>  
\*S.K. Jung<sup>1</sup>, #Y.C. Song(ycsong@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, B. Kim<sup>1</sup>, J. Whang<sup>1</sup>, C. Song<sup>1</sup>, C. Park<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부

Key words : Ultra-precision machine tool, Large surface, machining accuracy

## 1. 서론

마이크로 단위의 미세형상을 가지는 부품을 요구하는 가공 분야는 앞으로 지속적인 발전 가능성이 있는 분야이며, 대표적인 부품으로 디스플레이 산업의 LCD도광판과 차세대 에너지로 각광받는 연료전지의 분리판 등을 들 수 있다. 이들 미세형상을 가진 부품들은 각 제품 제조원가의 상당 부분을 차지하고 있으므로 이들 부품을 보다 저렴하게 대량생산할 수 있는 제조기술이 관련 업계의 초미의 관심사가 되어 있다. 그리고 이들 미세형상부품을 제조하는데 있어 또 다른 이슈는 대면적화이다. LCD 디스플레이의 경우 19인치 이상의 대면적 전체에 미세형상패턴을 가공하기가 어렵기 때문에 도광판을 사용하지 않고 있다. 또한 연료전지의 경우 대용량화를 위해 필연적으로 대면적 분리판을 요구한다.

이러한 대면적 미세형상 가공에 대한 요구를 충족시키는 방법으로서, 미소절삭공구를 사용한 가공기술로 초정밀 미세형상급형을 가공하고, 이 급형으로 사출 혹은 압축 성형하여 미소부품이나 광학용 기능성 표면을 제조하는 기술이 관심의 대상이 되고 있다. 미세형상의 급형 제작을 위한 마이크로 절삭가공 방법은 CNC 프로그램의 사용이 가능하고, 자유 곡면에서부터 복잡한 구조물 형상을 다양한 재료에 대하여 가공이 가능한 장점이 있다. 이러한 특징은 높은 표면조도를 유지하면서 높은 생산성으로 미세형상을 가공하여 경제적인 측면에서 큰 장점을 가진다. 하지만 마이크로 절삭가공의 경우 가공기의 위치정밀도, 이송정밀도, 외란, 제어강성 등의 요인들이 가공물 표면의 정밀도에 크게 영향을 미치므로 이들 요인들에 대한 바른 분석과 개선이 필요하다.

본 논문에서는 대면적 미세형상 가공기를 사용하여 초정밀 절삭가공을 수행함에 있어서 가공 중에 발생한 가공오차의 원인을 분석하고, 이를 통하여 가공정밀도의 향상을 시도한 결과를 보고한다.

## 2. 실험 방법 및 조건

본 실험에서 사용한 가공기는 400mm×400mm의 면적을 가공할 수 있는 대면적 미세형상 가공기로 X, Y, Z, C 축의 4축 구조이며 모두 유정압 베어링과, 기본 5nm에 1nm까지 확장 가능한 레이저 스케일을 채용하고 있다. 또한 직선이송 축은 모두 리니어 모터들, C축은 빌트인 모터를 채용하고 있다. Fig. 1에 가공기를 이용한 가공실험의 모습을 나타내고 있다. 가공은 노즈반경을 가진 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 세이핑 가공방식에 의해 평면가공을 실시하였으며, 가공시의 엔코드신호를 함께 측정하여 가공 상태를 고찰하였다. Table 1에 주요 가공실험조건을 나타내었으며,

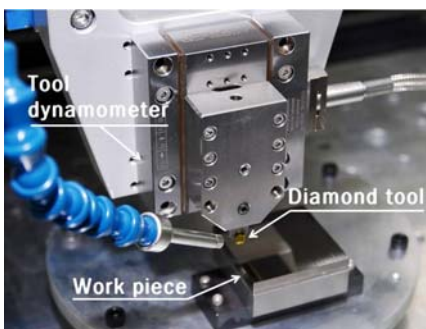


Fig.1 Experimental setup

가공물은 50mm×50mm의 면적의 플라스틱 급형재료로 많이 사용되는 무전해 니켈 도금 재료를 사용하였다. 한편, 절삭이송속도는 12 m/min까지 이송가능하지만, 가공면의 단면상태를 표면거칠기 측정기를 사용하여 측정 및 분석하기 위하여 0.5 m/min의 저속조건에서 가공을 수행하였다.

Table 1 Experimental conditions

Tool	Material	Single crystal diamond
	Radius	4.0 mm
	Rake angle	0 degree
	Flank angle	3 degree
Workpiece		Electroless Ni-P coating
Cutting conditions	Cutting speed	0.5 m/min
	Depth of cut	2 μm
	Feed	50 μm
Cooling condition		Oil mist

## 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 실험조건에 따라 직선이송에 의해 평면가공을 수행하여 가공되어진 가공물 표면의 현미경 사진이며, 이송방향에 대해서는 50μm 간격의 일정한 이송주기를 확인할 수 있다. 하지만, 절삭방향에 대해서는 완벽한 직선을 이루지 못하고 물결치는 모습을 나타내고 있다. 이는 공작물에 대한 공구의 상대적인 궤적이 여러 요인에 의하여 일정하게 유지되지 못한 결과로 판단된다.

Fig. 3은 Fig. 2에 제시한 가공면의 절삭방향에 대한 단면곡선

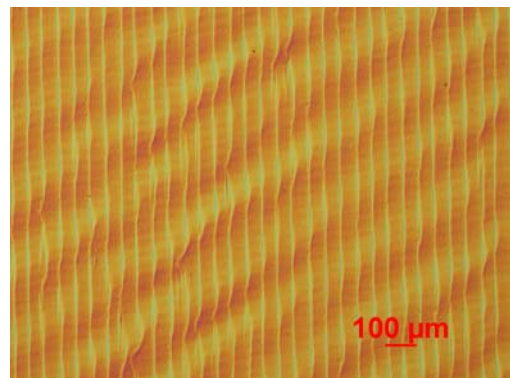


Fig.2 Micro photograph of finished surface

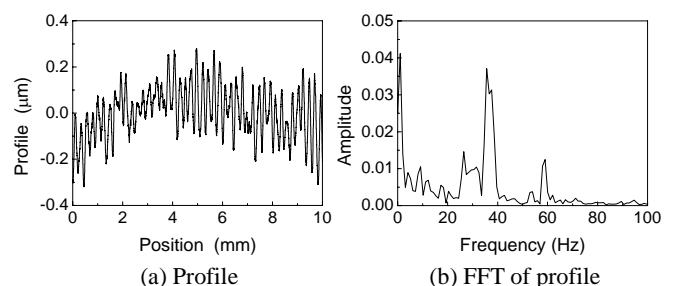


Fig.3 Profile of finished surface on the cutting direction and its FFT

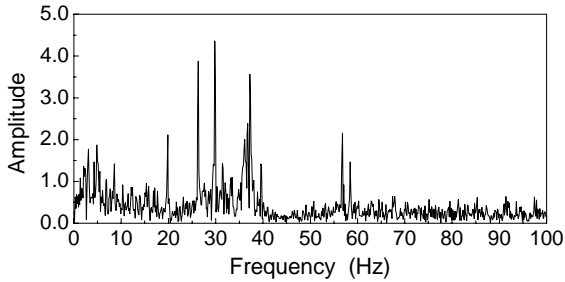


Fig. 4 FFT of encoder signal on Z direction

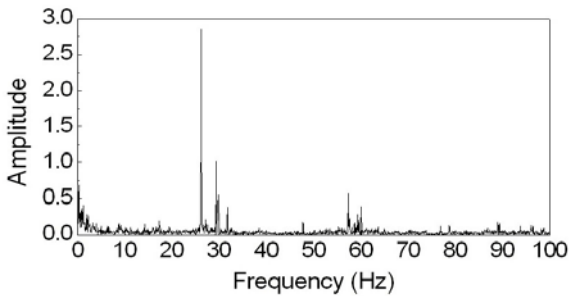


Fig. 5 FFT of the acceleration measured on machine base while all power is turned off

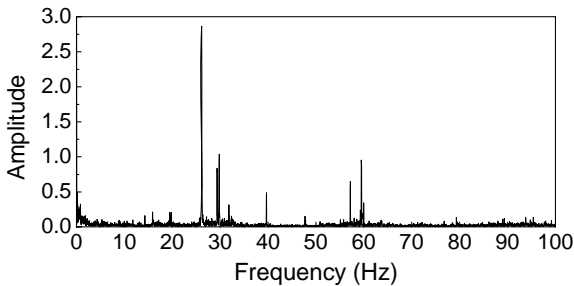


Fig. 6 FFT of the acceleration measured on machine base while the power of oil pump is turned on

과 그 값을 주파수 분석한 결과이다. Fig. 3 (b)로부터 가공면의 단면곡선이 약 27, 30, 37, 58Hz의 주파수 성분을 나타내고 있음을 확인할 수 있으며, 이 성분들로 인해 가공면이 악화되었다고 생각되어진다. 이 결과로부터 본 실험과 같은 절삭조건에서는 약 60Hz의 주파수 성분까지도 가공면의 정밀도에 영향을 미치며, 이들 성분까지도 제어가 요구된다고 판단되어진다. 또한 가공 중 엔코더신호를 측정하여 주파수 분석한 결과를 Fig. 4에 나타내고 있으며, 가공면 단면곡선의 주파수 분석결과와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

이 성분들의 근원을 파악하기 위하여 가속도계를 사용하여 바닥, 가공기, 주변기기 등의 진동을 측정하였다. Fig. 5는 가공기 및 모든 주변장치의 전원을 끈 상태에서, 가공기 바닥에서 외부 노이즈에 의한 진동성분을 측정한 결과이다. 이 값으로부터 바닥을 통하여 전달되는 외부 노이즈 성분은 약 27, 30, 58Hz 성분임을 알 수 있다. 한편, Fig. 6은 유정압베어링용 오일펌프의 전원을 켜 상태에서 가공기 바닥에서 가속도를 측정한 결과이며, Fig. 5의 결과에 추가하여 오일펌프 스핀들의 회전에 의한 성분 즉 40 Hz의 진동성분을 확인할 수 있다. 또한 측정결과 데이터는 제시하지 않았으나, Z축 시스템의 공진주파수를 임펄스 해머로 측정한 결과 약 33 Hz의 고유진동수를 가지고 있음을 확인하였다. 이상의 가속도계 측정 결과들로부터 Fig. 2와 3에서 나타난 가공표면의 주기적인 성분들은 외부노이즈와 유정압베어링 오일펌프의 회전수 그리고 Z축 시스템의 공진주파수에 의한 복합적인 결과로 추측되어진다.

이 주기적인 성분들을 제거하기 위하여 공압 제진베드를 설치

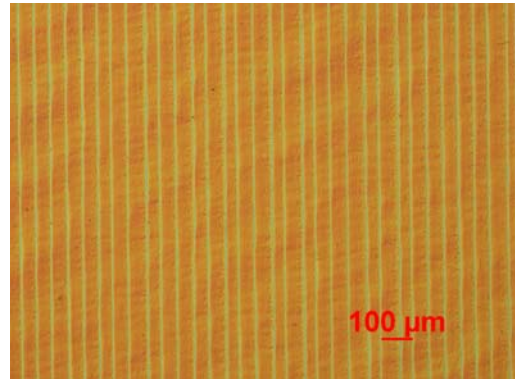
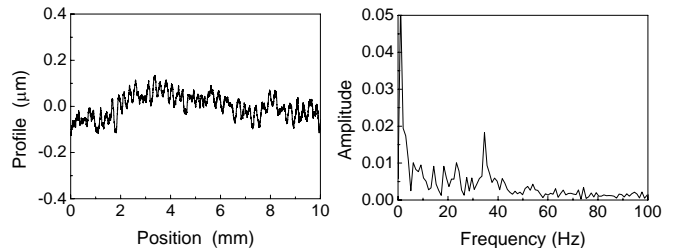


Fig. 7 Micro photograph of finished surface by using air flexible mounting



(a) Profile (b) FFT of profile  
Fig. 8 Profile of finished surface on the cutting direction by using air flexible mounting and its FFT

하여 동일한 가공실험을 수행하였으며, 그 결과 Fig. 7과 8의 결과를 얻었다. Fig. 7의 가공표면의 현미경 사진과 Fig. 8 (a)의 가공표면의 단면곡선을 각각 Fig. 2와 Fig. 3(a)의 제진베드를 사용하지 않을 때와 비교할 때 표면정도가 매우 향상되었음을 쉽게 확인할 수 있다. 한편, Fig. 8(b)를 통하여 크지는 않지만 약 37Hz 주기의 진동성분이 완전히 제거되지 않고 남아 있음을 알 수 있다. 이 성분의 발생요인으로 추측할 수 있는 것은 Z축의 공진주파수와 유압베어링의 오일맥동, 유관을 통한 진동 등을 생각할 수 있으며 추후 이 요소들에 대한 고찰을 추후 수행하여 남은 진동성분을 제거해 나갈 예정이다.

#### 4. 결론

이상에서 대면적 미세형상 가공기를 사용하여 초정밀 절삭가공을 수행함에 있어서 가공 중에 발생한 가공오차의 원인을 분석하고, 이를 통하여 가공정밀도의 향상을 시도하였다. 가공면 단면곡선과 가공기 및 주변기기의 진동상태를 측정하여 주파수분석함을 통하여 주기성을 가지는 가공오차의 원인을 분석할 수 있음을 실험적으로 제시하였다. 또한 약 60Hz의 주기적인 노이즈 성분까지도 가공면에 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

가공오차를 개선하기 위하여 제진베드를 설치함으로 건물 바닥에서 가지고 있는 외부노이즈는 쉽게 완전히 제거됨을 확인하였다. 한편, Z축의 공진주파수 혹은 유압펌프로부터 발생한다고 생각되어지는 진동요소에 관해서는 추후 더욱더 분석하여 제거해 나갈 예정이다.

#### 참고문헌

1. "대면적 미세형상의 초정밀/지능화 가공원천기술 개발(1단계 2차년도 보고서)," 산업자원부, 2006.