

PZT Actuator를 이용한 진동절삭 시스템의 Tool Holder 및 Amplifier 개발 Development on Amplifier and Tool Holder of Vibration Cutting System Using PZT Actuator

*이세윤¹, 곽용길¹, 정철석¹, 김지운¹, 한준안¹, 곽영환², 박효준², 모용선³, 이호준², 안중환¹

*S. Y. Lee¹, Y. K. Kwak¹, C. S. Jeong¹, J. W. Kim¹, J. A. Han¹, Y. H. Kwak², H. J. Park², Y. S. Mo³, H. J. Lee², J. H. Ahn(jhwahn@pusan.ac.kr)¹

¹ 부산대학교 기계공학과, ² 부산대학교 전자전기공학과, ³ (주)엠앤엘

Key words : PZT Actuator, PZT Tool Holder, Vibration Cutting, Amplifier,

1. 서론

절삭가공기술은 가장 기초적이고 대표적인 기계가공법으로 모든 공업제품을 제조하는데 있어서 중요한 기반기술의 하나인 동시에 현대 첨단 산업을 떠받치는 중요한 기술이다. 최근, 미래 정보화사회의 근간을 이루게 되는 영상·정보기기, 첨단 전자부품 및 광학소자의 성능향상을 위해 초정밀의 복잡한 형상 가공이 요구되고 있다.[1]

고정도의 미세가공에 진동절삭을 이용하면 치수효과에 의한 비 절삭력의 증가와 마찰의 영향을 극복할 수 있고, 진동절삭은 일반적인 절삭에 비해 1/5 ~ 1/10정도의 절삭력만이 요구되며 마찰의 영향도 작을 뿐만 아니라 가공면의 표면 거칠기도 양호해서 미세가공에 적합한 것으로 생각된다.[2]

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 미세 가공기술에 초음파 기술을 이용하게 되었다. 이에 적합한 것으로 PZT(Piezo Electric Transducer)가 있는데, PZT Actuator는 재료에 전압을 인가하면 전기적 에너지가 기계적 에너지로 변환시켜 구동된다. 이 PZT Actuator에 고전압, 고주파수를 입력하여 재료의 표면을 진동절삭 한다.

본 논문에서는 진동절삭 시스템에 필요한 성능인 출력 전압 0 ~ 30V, 출력 주파수 0 ~ 20kHz가 되도록 앰프(Amplifier)를 개발하고, 개발된 앰프에 최적화 된 PZT 공구 홀더를 개발하였다.

2. 진동절삭 시스템 구성

2.1 Tool Holder 설계 및 해석

Fig. 1은 유연 힌지구조를 이용하여 3가지 형상의 공구홀더를 3D로 모델링 한 것이다. Fig 1(a) 스크래치 없이 설계를 하였고, Fig. 1(b)는 하나의 스크래치를 이용하여 설계를 하였으며, Fig. 1(c)는 두 개의 스크래치를 이용하여 설계를 하였다.

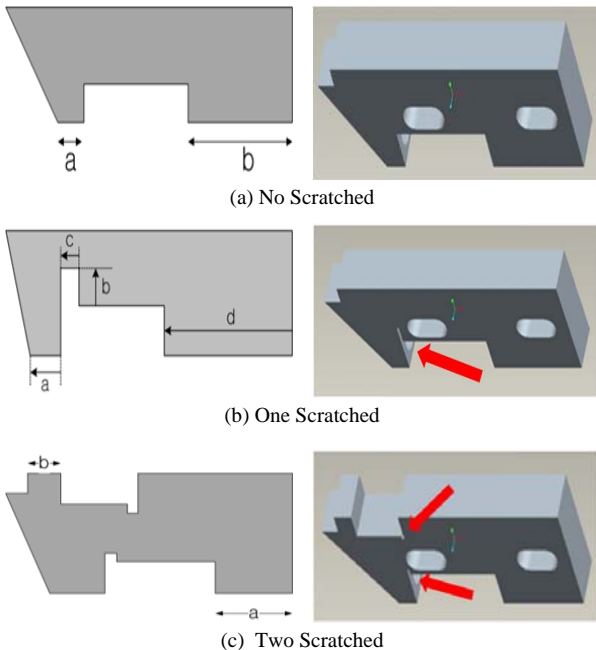


Fig. 1 Three Model Types of Tool Holder Design

각 형상에 대해, 노치의 치수를 조절 해가며 Tool Holder를 설계하였다. 설계된 Tool Holder를 Workbench 11.0을 이용하여 고유진동 해석 및 정적해석을 수행하였고, 진동 절삭 가공에 적절한 주파수를 가지며 절삭방향으로 가진이 되는 모델 6개를 선정하였다. Table 1은 유한요소 해석조건이며, Fig. 2와 Table 2은 각 형상에 대해 수행한 해석결과이다.

Table 1 Input Condition of Modal Analysis in Tool Holder

Mesh	Elements	19570
	Nodes	10989
Material Property	Density (kg/m ³)	7850
	Poisson's Ratio	0.3
	Young's Modulus (GPa)	20

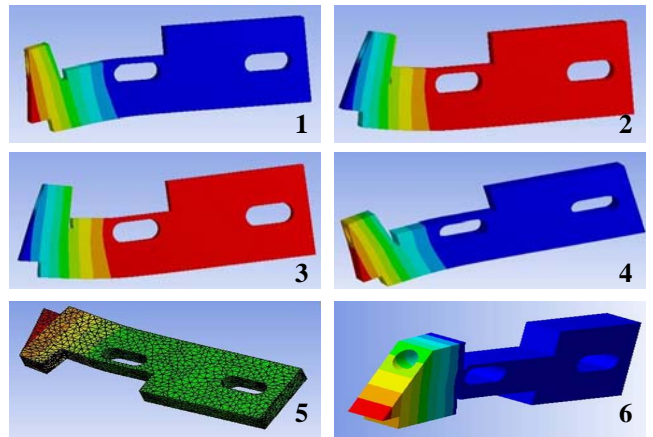


Fig. 2 Result of Analysis for Each Model

Table 2 Result of Modal Analysis

Model Number	Natural Frequency in cutting direction
1	18.1 kHz
2	17.6 kHz
3	16.6 kHz
4	17.3 kHz
5	20.0 kHz
6	15.0 kHz

2.2 Amplifier 회로 설계 및 제작

최대출력 전압은 30V로 개발하고 출력가능 단자는 1개로 하고, 정현파 발생 기능을 내장 하고 있고, 모니터링 가능한 LED 표시부로 설계 하였다. Fig. 3은 제작된 앰프이다.



Fig. 3 Photograph of PZT Amplifier

3. 시스템 구성

다이아몬드 공구 홀더를 기구에 장착시키고, 레이저 센서(LK-GD500)를 Y축, Z축으로 설치한다. 레이저 센서에서 측정된 신호는 증폭기를 통해 실시간으로 오실로스코프로 보내어 변위를 확인 후, DAQ(Wavebook)으로 데이터를 수집 하였다. 가진 주파수는 1kHz에서 20kHz이고, 전압은 0 ~ 30V를 인가한 후 각각의 경우 변위를 측정 하였다. PZT Actuator는 Table 3의 사양의 PI사의 PL885.31을 사용하였고 앰프는 자체 개발한 PZT 앰프를 사용하였다. Fig 4는 전체 진동절삭 시스템의 구성도이다.

Table 3 Specification of PL885.31

Dimensions [mm]	5 x 5 x 9
Nominal displacement [μm @ 100V]	6.5 \pm 20%
Max. displacement [μm @ 120V]	8 \pm 20%
Stiffness [N @ 120V]	100
Electrical capacitance [μF] \pm20%	0.6
Resonant frequency [kHz] \pm20%	135

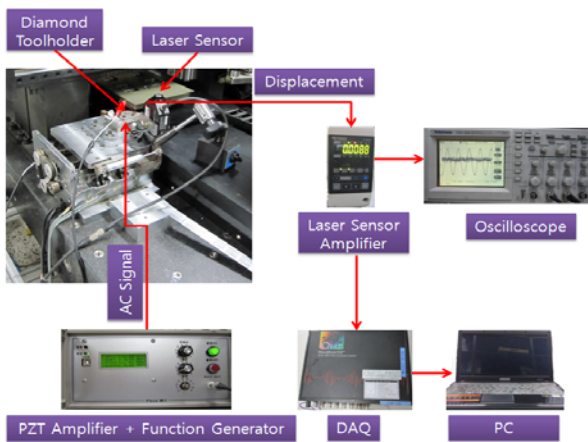
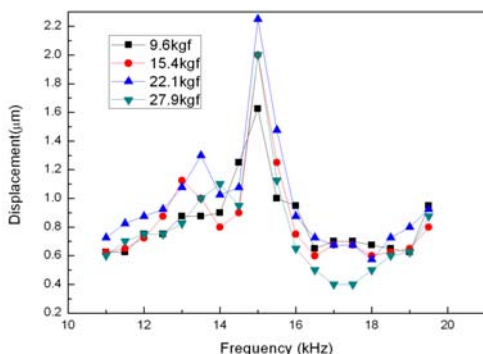


Fig. 4 Experimental Setup

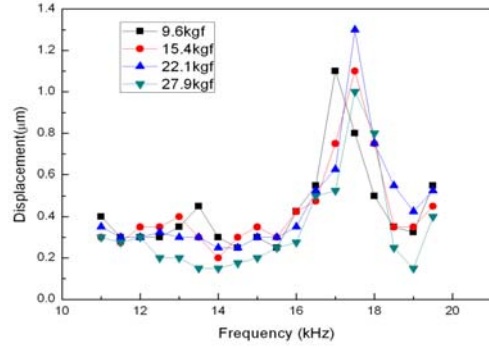
3. 실험 결과

압전소자는 스프링 강성에 의해 변위의 크기가 변하며 외부의 힘에 의해 고유 진동수 또한 변한다. 진동 절삭 기구에 사용된 PZT actuator는 예압에 따라 변위 특성이 달라진다. 따라서 예압 볼트를 이용해 예압조절해가며 변위를 측정하였고, 그 결과가 Fig. 5이다. 예압은 9.6, 15.4, 22.1, 27.9kgf 4단계를 적용하였으며, 절삭 방향 및 공진 주파수 영역에서 최대 변위가 나타나는 최적예압은 22kgf이다.[3]

레이저 변위센서를 통하여 공진주파수와 절삭이 진행되는 방향과 비틀림이 예상되는 두께방향의 변위를 측정하였다. 이론값과 측정값의 절삭방향의 주파수 오차가 10%내외이며 Z/Y 축의 변위비가 가장 높게 나타난 4번 제품을 선정하였다. 아래의 Table 4은 기존의 제품과 개발된 제품에 대한 이론값과 측정값의 차이를 보여주고 있다.



(a) Y axis



(b) Z axis

Fig. 5 Displacement Comparison of Different Preload

Table 4 Result of Tool Holder

Model Number	측정 주파수 (kHz)	주파수 오차 (%)	Y축 변위 (mm)	Z/Y 변위비 (mm/mm)
1	17.0	6.1	\pm 2.7	0.67
2	16.4	6.3	\pm 3.5	0.57
3	15.9	4.2	\pm 2.5	0.90
4	16.0	7.5	\pm 2.75	0.45
5	19.5	2.5	\pm 1.6	0.60
6	9.9	34.0	\pm 3.2	0.44

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 PZT Actuator를 이용한 진동절삭 시스템을 구성하기 위해 Tool Holder를 Pro-E로 설계를 하였고 Workbench 11.0을 통해 해석 후 제작 하였다. 진동절삭 시스템에 필요한 성능인 출력 전압 0 ~ 30V, 출력가능 주파수 0 ~ 20kHz가 되도록 앰프를 개발하고, 진동절삭 시스템의 성능평가를 위해 최적화된 Tool Holder를 선정하여 전압 인가 시 레이저 센서를 통해 절삭 변위를 측정하였다. 이것으로 실제 진동절삭 시 가공면 상태를 평가 할 수 있는 가능성을 얻었다.

현재 진행된 연구는 최종단계로 향후 실제 가공을 통해 PZT Actuator를 최적의 Tool Holder와 개발된 앰프를 이용하여 절단 특성 및 성능을 검증해 볼 것이다.

후기

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도사업 인재양성사업(부산대학교 기계기반 융합부품소재 양성센터(GIFT))의 결과입니다.

참고문헌

1. 손성민, 임한석, 안중환, "미세가공에 있어서 진동절삭의 효과", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 961-964, 1999
2. E.Shamoto and T. Moriwaki " Ultraprecision Diamond Cutting of Hardned Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting", Annals of the CIRP, Vol.48, pp. 441-444, 1999
3. 노진희, "진동절삭을 이용한 광학 부품 표면 정밀도 향상", 부산대학교 석사학위 논문, pp. 35-36