

# 마이크로 인덴테이션 기법을 이용한 마이크로 피라미드 성형기술 개발

\*서대건<sup>1</sup>, 유영은<sup>1</sup>, 제태진<sup>1</sup>, 서영호<sup>2</sup>, 최두선<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원, <sup>2</sup> 강원대학교 기계메카트로닉스학과

## Development of Forming Technology for Micro-pyramid pattern by using Micro-indentation

\*D. G. Seo<sup>1</sup>, Y. Y. Yoo<sup>1</sup>, T. J. Je<sup>1</sup>, Y. H. Seo<sup>2</sup>, D. S. Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Machinery & Materials., <sup>2</sup>Dept. of Mech. Eng and Mechatronics., Kangwon National Univ.

Key words : Micro-indentation, Micro-forming, Pyramid pattern, PZT Actuator

### 1. 서론

최근 디스플레이 산업의 발달로 인해 광학적 역할을 수행하는 다양한 미세패턴의 설계와 가공공정에 관한 연구가 크게 증가하고 있으며, 다양한 소재에 마이크로/나노 크기의 초미세 형상을 구현하는 기술이 나날이 발달하고 있다.

현재, 화학적인 에칭이나 다이아몬드 공구를 이용한 기계적인 절삭공정에 의해 V-groove, U-groove, 사각채널 등의 패턴을 가공하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 이러한 기존의 공정과는 달리, 소재의 소성변형의 특성을 이용하여 도트 형상이나 피라미드 형상과 같은 비연속적으로 이루어진 패턴의 성형기술 개발을 목표로 PZT Actuator와 초정밀 스테이지를 이용하여 미세패턴 성형시스템을 구성하고, 마이크로 인덴테이션 기법을 이용하여 압입속도와 압입깊이 등을 조절하여 마이크로 피라미드 패턴의 최적성형조건을 확립하였다. 또한, 이러한 실험결과를 바탕으로 패턴의 어레이를 고속으로 성형하기 위한 방안을 모색하고자 하였다.

### 2. 실험장치 및 조건

마이크로 피라미드 패턴을 성형하기 위한 가공시스템을 Fig. 1 과 같이 구성하였다.

Micro Vickers Diamond Indenter 를 압입자로 사용하였고, 압입시에 Indenter 의 정밀한 구동을 위해 PZT Actuator 를 구동자로 이용하였다. 또한, 가공시편의 정밀한 이송을 위하여 X-Y-Z 의 기본 3 축으로 구성된 초정밀 스테이지와 Indenter 의 압입 순간의 힘을 실시간으로 측정하기 위해 가공시편 밑면에 공구동력계를 설치하였다.

Micro Vickers Diamond Indenter 의 상세한 형상은 Fig. 2 에 나타내었다.



Fig. 1 Schematic of Micro-Forming System by using PZT Actuator

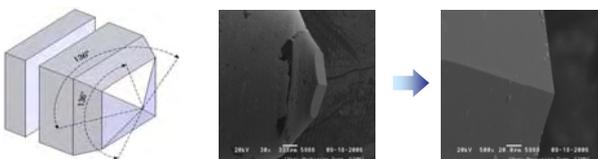


Fig. 2 Schematic of Micro Vickers Diamond Indenter & SEM Image

본 실험에 사용된 소재는 전해도금 처리된 니켈이며 두께는 0.5 mm이고, 경도는 마이크로 비커스 경도기로 측정된 결과 HV 305.74 를 띠는 시편을 사용하였다.

이와 같이 구성된 시스템을 이용하여 Table 1 에 나타낸 바와 같은 조건을 따라서 실험을 수행하였다.

Table 1 Experimental Conditions

Workpiece	Electroplated Nickel (t=0.5mm)
Tool	Micro Vickers Diamond Indenter
Operating Voltage	-500V
PZT Actuator Moving Stroke	90 μm
Initial Gap	0, 20, 40, 60 μm
Input Signal	Sine, Square
Input Frequency	1, 10, 20, 30Hz

### 3. 실험결과 및 고찰

동일한 조건하에서 주파수가 증가할 경우에 소재의 소성변형을 일으키는 힘을 지속하는 구간이 Sine 신호 입력일 경우가 Square 신호 입력의 경우보다 현저히 짧고, 비록 30Hz 구동에서 약간의 오차가 보이지만 대체적으로 최대 힘에 도달하는 Rising time 이 Square 신호 입력일 경우가 짧기에 가공조건 수립 시에 Square 신호 입력이 유리하다는 것을 Fig. 3 을 통해서 알 수 있다. 또한, 그 성형 결과에서도 같은 조건의 30Hz 구동에서 성형부 주위의 경계가 Sine 신호 입력의 경우에 비해 Square 신호 입력의 경우가 더욱 뚜렷하고 명확한 결과를 보이는 것을 Fig. 4 를 통해서 확인할 수 있다.

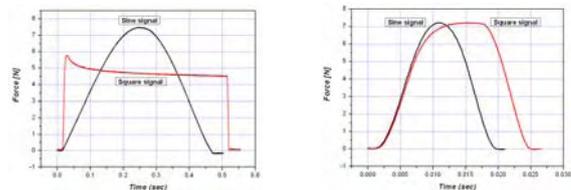


Fig. 3 Force Curve at 0 μm initial gap

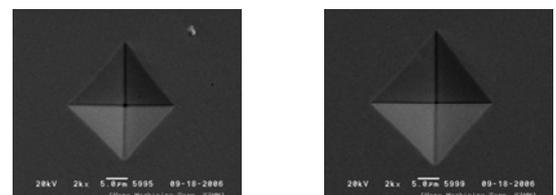


Fig. 4 SEM Images of Micro-pyramid with 60 μm initial gap & 30Hz operation

Sine 신호와 Square 신호의 입력 시에 주파수의 변화와 Initial Gap에 따른 힘과 가공직경의 차이를 알아보았다.

Sine 신호 입력일 경우에 Fig. 5 와 Fig. 6 에 나타낸 바와 같이 대체적으로 주파수가 10~20Hz 사이에서 힘이 가장 크게 발생하는데, Initial Gap 이 0 μm, 20 μm, 40 μm, 60 μm로 변화함에 따라 8.7N, 5.4N, 3.2N, 1.6N 의 힘이 발생했으며, 그에 따라 가공부위 직경도 72 μm, 56.5 μm, 43.7 μm, 29.5 μm 로 나타남을 볼 수 있다.

반면, Square 신호 입력일 경우에는 주파수가 30Hz 로 증가할수록 점차적으로 힘이 더 크게 발생하며, Initial Gap 이 0 μm, 20 μm, 40 μm, 60 μm로 변화함에 따라 7.2N, 5.6N, 3.2N, 1.4N 의 힘이 발생했으며, 그에 따라 가공부위 직경도 66 μm, 57.5 μm, 43 μm, 28.5 μm로 나타남을 Fig. 7 과 Fig. 8 을 통해서 알 수 있다.

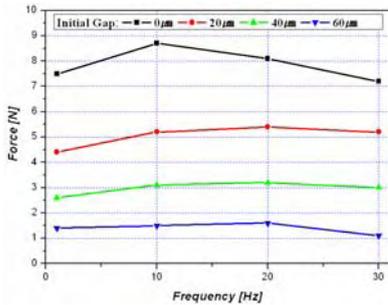


Fig. 5 Force with Frequency at Sine signal

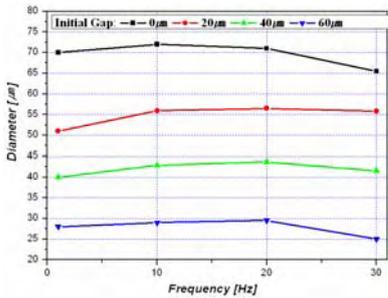


Fig. 6 Diameter with Frequency at Sine signal

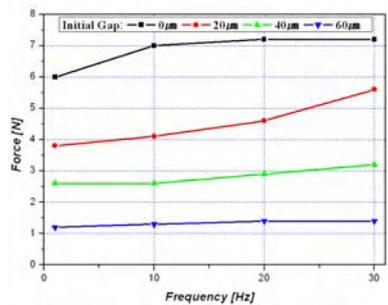


Fig. 7 Force with Frequency at Square signal

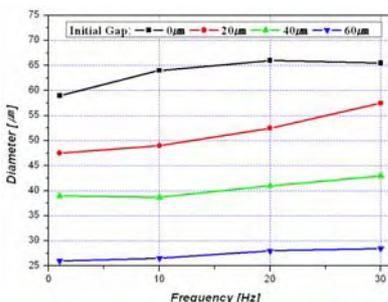


Fig. 8 Diameter with Frequency at Square signal

위 실험으로 수립된 조건을 토대로 마이크로 피라미드 패턴 어레이 성형실험을 해보았다.

스테이지를 1 mm/s 의 속도로 이송시키면서 60 μm의 Initial Gap 상태에서 Square 입력신호의 30Hz 구동으로 1 cm<sup>2</sup>의 면적에 50 μm의 피치를 가지는 패턴 어레이의 성형을 해보았으며, 가공부의 일부분을 SEM 으로 측정하여 Fig. 9 에 나타내었다.

Fig. 9 에서 볼 수 있듯이, PZT Actuator 의 진동속도에 비한 스테이지 이송속도가 적절치 않아서 성형부의 주위에 약간의 파일-업이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

이는 압입 순간에 스테이지의 이송이 진행되어 압입자에 의해 가공시편이 밀리는 현상으로 인해 발생하는 것이라고 볼 수 있으며, 정확한 패턴 어레이의 성형을 위해서는 PZT Actuator 의 진동수에 대응한 적절한 스테이지 이송속도를 확립하는 것이 요구된다.

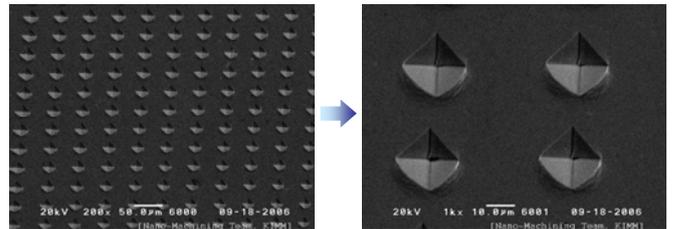


Fig. 9 SEM Image of Micro-pyramid pattern array

#### 4. 결론

본 연구에서는 마이크로 피라미드 패턴의 성형을 위해 Micro Vickers Diamond Indenter 를 이용해서 PZT Actuator 의 구동 입력신호와 진동수 그리고 Initial Gap 을 바꿔가면서 최적의 형상을 성형할 수 있는 조건을 확립하고, 이러한 실험결과를 토대로 패턴의 어레이를 고속으로 성형하기 위한 방안을 모색하였다.

그 결과, 압입자의 구동을 결정하는 PZT Actuator 의 입력신호로써 Square 신호가 Sine 신호보다 적절함을 확인하였고, Initial Gap 을 조절하여 원하는 패턴의 크기를 얻을 수 있었다. 압입속도를 결정하는 입력주파수에 따른 패턴의 성형결과는 성형된 표면의 상태로는 대체로 만족스러우나, 패턴의 어레이 성형실험 시에 PZT Actuator 의 진동속도에 비한 스테이지 이송속도가 적절치 않아서 성형부의 주위에 약간의 파일-업이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 패턴 어레이의 고속성형을 위해서 PZT Actuator 의 빠른 진동수에 대응한 적절한 스테이지 이송속도의 확립에 관한 연구가 요구된다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대신기술개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 “고기능 초미세 광·열유체 마이크로 부품 기술개발”의 세부 과제로서 수행 중이며, 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

#### 참고문헌

- 이정우, 윤성원, 강충길, “나노인테이션을 이용하여 극미세 패턴을 제작하기 위한 나노 변형의 유한요소해석 (I)”, 한국정밀공학회지, **20**, 210-217, 2003.
- M. A. Garrido Maneiro, and J. Rodriguez, "Pile-up effect on nanoindentation tests with spherical-conical tips", Script. Master., **52**, 593-598, 2005.