

## 프리즘 패턴의 기계적 절삭 가공

유영은<sup>1</sup>·홍성민<sup>1</sup>·제태진<sup>1</sup>·최두선<sup>#</sup>

### Mechanical Machining of Prism pattern

Y.-E. Yoo, S. M. Hong, T.J. Je, D.-S. Choi

#### Abstract

In recent, various shapes of pattern in micron or nano scale are adapted in many applications due to their good mechanical or optical properties. Light guide panel (LGP) of the LCD is one of important applications for micro pattern and micro prism shape is one of the typical patterns. Many applications have the patterns on their surface and the size of the pattern keep decreasing down to the order of micron or even under micron. On the other hand, the area to be patterned keeps enlarging. These two trends in patterned products require tooling micro patterns on large surface, which has still many technical problems to be solved mainly due to pattern size and the tooling area.

In this study, we fabricate prism shape of patterns using diamond cutting tool on some metal core and plastic core like PMMA. Some of cutting conditions are investigated including cutting force, cutting depth and speed for different core materials.

**Key Words** : prism pattern, diamond cutting tool, mechanical machining, cutting force, cutting depth

#### 1. 서론

최근 LCD의 핵심 부품 중의 하나인 BLU의 도광판과 같은 디스플레이 기기 부품을 비롯하여 많은 응용 제품에서 표면에서의 기계적 특성이나 광학적 특성의 개선을 위해 마이크로 혹은 나노 크기의 다양한 패턴에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 응용 제품의 대부분은 넓은 면적의 표면에 매우 작은 패턴이 설계된 형태를 보이고 있는데 이와 같은 부품의 대량 생산을 위해서는 대면적에서의 미세 패턴 가공/금형 기술 및 성형 기술의 개발이 필요하다. 미세 패턴 금형 제작을 위한 패턴 가공은 미세 절삭 가공, 리소 공정을 응용한 etching 공정 및 electroforming에 의한 니켈 스템퍼 제작 기술 등이 패턴의 형상 및 크기, 필

요 가공 면적 등을 고려하여 선택적으로 적용될 수 있는데, 패턴이 미세화 되고 형상이 다양해지며, 가공 면적이 커짐에 따라 이에 대응할 수 있는 가공 방법의 개발에 많은 관심이 모아지고 있다.

앞에서 기술한 미세 패턴 제품 금형 가공 방법 중, 기계적 절삭 공정은 다양한 패턴 형상의 구현이 가능하고 가공 면 상태가 매우 우수하여 고성능의 기능성 표면 제품의 개발에 매우 적합하나, 양산 공정에서의 적용을 위해서는 가공 속도, 패턴이나 가공 면적의 크기, 가공 결함 등의 문제 개선을 위한 기술 개발이 필수적이다.

본 연구에서는 기계적 절삭 가공에 의한 미세 패턴 가공 기초 기술 개발을 위해서 서로 다른 소재에 대하여 절삭 깊이, 절삭 속도 등에 따른 절삭력, 가공 면 및 가공 형상 결과를 실험을 통해 분석하고 최적의 절삭 공정 조건을 구하고자 하였다.

1. 한국기계연구원 나노공정장비센터  
# 한국기계연구원 나노공정장비센터,  
E-mail: choids@kimm.re.kr

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 초정밀 미세 가공시스템은 X-Y-Z 의 3 축의 가공 자유도를 가지고 있으며, 이를 기반으로 엔드밀링, 드릴링 및 플라이 커팅에 의한 미세 가공을 수행할 수 있다.

시스템의 제어는 PC 기반의 Turbo PMAC board 를 사용하였고, 3 차원 형상의 초소형부품 제작을 위하여 CAD/CAM 기능이 지원되는 PMAC-NC software 를 추가 설치하여 CAM 프로그램에서 생성된 NC data 를 직접 받아 가공 할 수 있도록 하였다. 또한 공구 밑에는 0.002N 의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치 하였다.

### 2.2 가공원리 및 공구

프리즘 형상의 패턴은 셰이핑 공정을 이용하여 가공하는데, 다이아몬드 공구를 절삭면에 수직인 방향으로(Z 축)에 고정시킨 후 상하 운동을 통해서 가공 절입 양을 조절하며 패턴 방향(Y 축) 및 패턴 수직 방향(X 축)으로의 이송 운동을 통해서 패턴 가공 및 패턴 Pitch 를 제어 한다. 프리즘 패턴 가공을 위한 셰이핑 가공법의 원리와 모식도를 Fig. 1 에서 나타내었다.

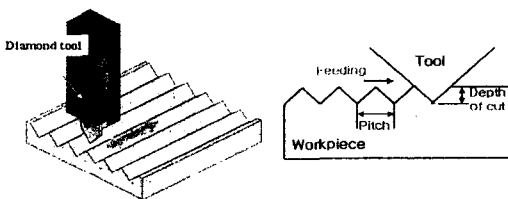


Fig. 1 Schematics of shaping for prism pattern

Fig.2 에 본 실험에서 사용된 90° 다이아몬드 공구의 상세도면 및 세부 형상을 나타내었다. 경면 가공을 위해서 단결정 천연다이아몬드 공구를 사용하였고, 1  $\mu\text{m}$  의 형상 및 치수정밀도를 가지도록 제작하였다.

### 2.3 가공소재

Table 1 는 본 실험에서 사용된 소재의 기계적 성질을 나타내었다. 각각의 소재에 대하여 동일한

조건에서의 실험을 위하여 대형 vise 에 5 종의 재료를 함께 고정하였고 평면가공을 통해 소재의 평탄도가 1  $\mu\text{m}$  이내가 되도록 하였다.

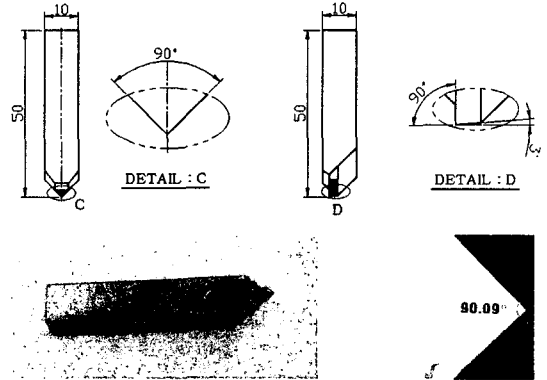


Fig. 2 Diamond tool of 90°angle

Table 1 Mechanical properties of materials

항목 Materials	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)	경도 (HB)
6:4 Brass	25	55	46
Copper	22~25	49~60	35~40
Al 6061	18~25	10~14	40~60
PC	6~7	90~140	700~900
PMMA	4.5	47	590

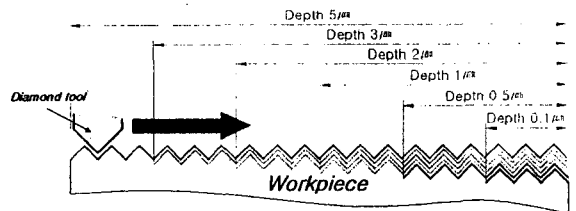


Fig. 3 Cutting mechanism of prism pattern

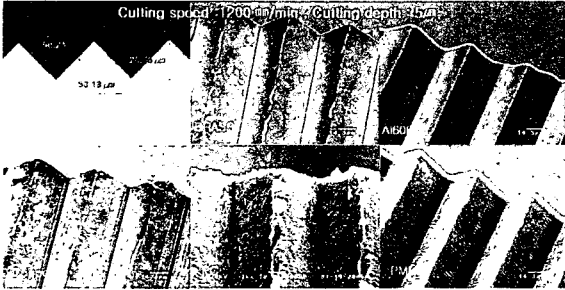
## 3. 프리즘형 도광판 가공실험

### 3.1 가공방법 및 조건

본 실험에 적용된 절삭 공정은 Fig.3 에 나타내었듯이, 5  $\mu\text{m}$  의 절입 깊이로 원하는 높이 와 피치의 형상을 1 차 가공하는 황삭 공정 후 5 단계에 걸친 정삭 과정을 통해 프리즘 패턴 가공을 수행하였다. 이때 정삭 1 단계는 황삭의 절입양보다 적은 3  $\mu\text{m}$  의 절입으로 절삭하며, 2 단계 2  $\mu\text{m}$ , 3 단계

**Table 2 Machining conditions of prism pattern**

Cutting tool	90° Diamond tool	
Cutting speed	1200 mm/min	
Cutting depth	황삭	정삭
	5 $\mu\text{m}/\text{pass}$	3, 2, 1, 0.5, 0.1 $\mu\text{m}/\text{pass}$
Workpiece	Brass, copper, Al6061, PC, PMMA	
Cutting oil	Spindle oil	



**Fig. 4 SEM of machined V-groove**

1  $\mu\text{m}$ , 4 단계 0.5  $\mu\text{m}$ , 5 단계 0.1  $\mu\text{m}$  의 순으로 가공을 진행하였다. Table 3 에 구체적인 절삭조건을 나타내었다.

### 3.2 실험결과 및 고찰

#### 3.2.1 소재특성에 따른 실험결과 및 고찰

Cutting speed : 1200 mm/min, Cutting depth : 5  $\mu\text{m}$  에서의 6:4 Brass, Al6061, Copper, PC, PMMA 의 가공표면 SEM 사진 및 단면 측정 결과를 Fig. 4 에 나타내었다.

각각의 소재에 대하여 가공표면의 상태를 분석하여 보면 6:4 Brass 의 경우 가공부 에지에 다량의 버가 존재하고, Al6061 의 경우는 6:4 Brass 보다 양호한 가공 상태이다. Copper 의 경우 버와 함께 가공면에 뜬 흔적이 발생하였고 PC 와 PMMA 는 가공 상태가 불량하며, 가공부 산과 골의 에지가 명확하지 않다. PC, PMMA 를 금속재료와 비교할 때, 가공 면이나 형상에서의 정밀도가 저하되는 것을 알 수 있다.

Fig.5 은 황삭시 절입 5  $\mu\text{m}$  인 최초평면 절입부터 프리즘 형상을 완성하는 다섯 번째 절입까지 절삭력을 분석하였다. 그 결과 '모든 소재가 최초의 절입 에서 약 0.05N 내외의 절삭력을 가지며 PC, PMMA, Al6061, 6:4 Brass, Copper 의 순으로 기울기 값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

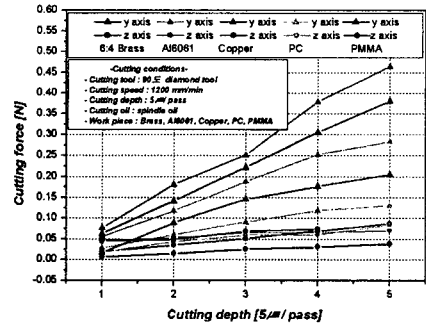
Copper 의 경우 다섯 번째 절입 에서 절삭진

행 방향인 Y 축의 절삭 력이 약 0.46N 이고 PC 의 경우 약 0.125N 이다. 또한 Z 축의 절삭력은 모든 소재에서 0.05N 이하이며 증가 량 또한 매우 작다.

#### 3.2.2 절입깊이 변화에 따른 실험결과 및 고찰

Fig.3 의 절삭 공정을 이용한 프리즘 패턴의 절입깊이 변화에 따른 가공결과를 Fig.8 (6:4 Brass), Fig.9 (Al6061), Fig.10 (PMMA) 을 통하여 알 수 있다.

Fig.8 은 황삭 절입 5  $\mu\text{m}$  에서 버가 다량 발생하였고, 절입 깊이가 감소함에 따라 버의 발생량도 감소하여 절입 0.5  $\mu\text{m}$  에서는 버가 존재하지 않는 매끄러운 표면을 관찰 할 수 있다.



**Fig. 5 Cutting force for materials character**

Copper 또한 6:4 Brass 와 같은 현상이 발생 하였으므로 6:4 Brass 와 함께 본 실험에서 응용된 절삭 공정을 적용한 정밀 프리즘 패턴 금형의 가공이 가능할 것으로 판단된다.

Fig.9 에서는 황삭 절입 5  $\mu\text{m}$ 과 정삭 절입 0.1  $\mu\text{m}$  에서 버 및 가공표면의 상태가 비슷한 것을 볼 수 있다. 그러므로 Al6061 에서는 고속가공을 위하여 절입 5  $\mu\text{m}$  의 가공조건으로 프리즘형 금형을 가공 할 수 있다.

Fig.10 은 PMMA 를 절입깊이 변화에 따른 분석 결과 이며, 황삭 절입 5  $\mu\text{m}$  에서 가공부 표면에 많은 뜬김 현상과 가공부 에지가 명확하지 않으며, 절입 깊이가 감소 할수록 가공부 표면 상태가 양호해 지는 것을 볼 수 있다. PC 또한 같은 현상이 발생 하였으며, 본 실험에 응용한 절삭 메커니즘으로써 문제점을 해결 할 수 있었다.

Fig.9 에서는 Cutting speed: 1200mm/min, Cutting depth 5  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ , Workpiece : 6:4 Brass 에서의 동적 절삭력 파형을 분석하였다. 그림에서

보는 바와 같이 절입 깊이가 감소 할수록 파형의 폭이 감소 하였고 표면의 질이 향상됨을 알 수 있다. 또한 가공중 실시간으로써 절삭력을 감시 하기 때문에 절삭력 파형의 폭으로써 가공면의 품질을 예측할 수 있다.

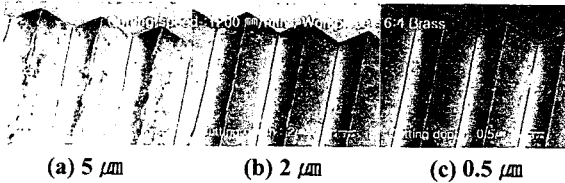


Fig. 6 Prism pattern machined with different cutting depth(for 6:4 brass)

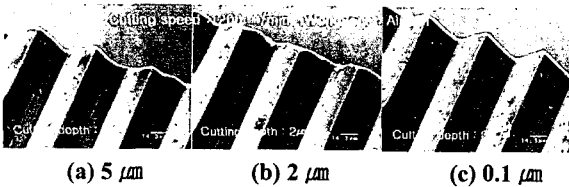


Fig. 7 Prism pattern machined with different cutting depth(for Al6061)

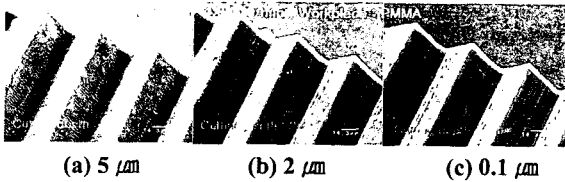


Fig. 8 Prism pattern machined with different cutting depth(for PMMA)

#### 4. 결론

본 연구에서는 프리즘형 도광판 금형 가공용 공구를 설계하고 천연다이아몬드를 이용하여 고정밀도의 공구를 제작하였으며, 6:4 Brass, Copper의 절삭 가공시 버와 PC, PMMA 가공시 표면이 뜯기는 현상을 본 연구에 응용된 절삭 메커니즘을 이용하여 위의 문제점들을 해결하였고, 최적의 절삭 조건을 확립하였다.

1) 소재특성에 따른 실험 결과 Cutting speed 1200mm/min, Cutting depth : 5  $\mu\text{m}$  의 가공조건에서 Al6061 은 다른 소재에 비하여 가공면의 상태가 매우 양호 하였고, 절삭력은 Copper 가 PC 보다 약 3.5 배 정도 크게 발생 하였다.

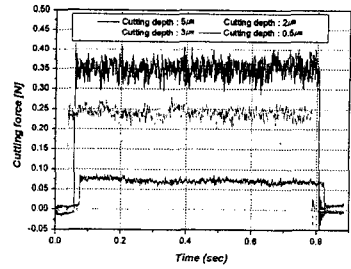


Fig. 9 Cutting force vs. time

2) 절입깊이에 따른 실험분석 결과 Al6061 을 제외한 모든 소재에서 절입량이 감소 할수록 표면의 품질이 양호해 짐을 알 수 있었고 절입량이 감소 할수록 절삭력 파형의 폭이 작아지는 현상을 실시간으로 감시 함으로써 가공면의 품질을 예측 할 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 제태진, 이종찬, 최 환, “다이아몬드 공구에 의한 미세 그루브 금형 가공기술 연구” 한국 기계가 공학회 2003 년도 추계학술대회, pp. 125-129, 2004.
- [2] 제태진, “마이크로 부품제조를 위한 미세 절삭 공정연구” 박사학위논문, 2004

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 특정연구개발과제 사업의 지원으로 수행되었습니다.