

## 다이아몬드공구에 의한 프리즘형 도광판 금형 가공기술 연구

홍성민\* (충남대 대학원), 제태진, 최두선, 이응숙 (한국기계연구원)  
이동주 (충남대 기계공학과)

### Studies of Prismless Type Light Guide Panel Mold Machining using Diamond Tool

S. M. Hong (Mecha. Eng. Dept. CNU), T. J. Jae, D. S. Choi, E. S. Lee(KIMM)  
D. J. Lee(Mechanical Eng. Dept., CNU)

#### ABSTRACT

Recently, the trends of TFT-LCD are large scale and thin thickness, so, the demands of Light Guide Panel(LGP) which is able to substitute for prism sheets are appeared. Functions of LGP obtaining polarization of light of the prism sheet as well as the incidence and reflection of light are demanded. This prismless type LGP to complete functions of the existing LGP and polarization at once must be supported by micro machining technology of LGP surface.

In this research, we have used the STAMPER method for the mass product and In-Line process, and the optimized conditions are established by analyzing the cutting force and conditions according to the material and processing properties when the prismless type LGP mold is fabricated. Parameters of the cutting condition were the workpiece and cutting depth.

**Key Words** : Prismless type LGP mold (프리즘형 도광판 금형), micro groove (미세 그루브), Cutting force (절삭력), Shaping(셰이핑), Diamond tool (다이아몬드 공구)

#### 1. 서론

최근들어 TFT-LCD Module 의 크기가 증가하고, 두께는 감소되는 추세를 감안하여 프리즘 시트의 기능을 대체할 수 있는 도광판의 수요가 대두되었다. 즉 기존의 빛의 입사 및 출사 역할을 넘어서서 프리즘 시트가 담당해오던 편광 기능까지 수행 하는 도광판의 성능이 요구 되는 것이다. 이러한 Prismless 형 도광판은 기존의 도광판 기능과 편광 기능을 동시에 수행하기 위한 도광판의 표면은 광학 성능이 뛰어나야 하므로 초정밀 가공기술이 뒷받침 되어야 할 것이다.

본 연구에서는 생산성 측면에서 대량생산 및 In-Line 작업이 가능한 STAMPER 방식을 이용한 Prismless 형 도광판금형 제작시 금형의 가공특성 및 소재에 따른 절삭력을 관찰하였고, 절삭조건에 따른 표면상태를 비교 분석 하여 소재특성에 따른 최적의 절삭 조건을 확립하였다. 본 실험의 절삭조

건은 Workpiece, Cutting depth 를 변수로 설정하였으며, 실험에 사용된 공구는 광학적 측면을 고려하여 고정밀도로 제작된 공구각 90° 의 천연다이아몬드 공구이다.

가공 방식으로는 셰이핑 방식으로 V 형상의 다이아몬드 공구를 Z 축에 고정시켜 상하 절입 운동으로 원하는 깊이만큼 절입 하여 Y 축에 이송을 주어 가공하며 X 축에서 Pitch 를 제어 한다. 이러한 과정을 반복하여 도광판 금형을 가공 할 수 있다.

실험에 사용된 소재는 6:4 Brass, Al6061, free oxygen copper, PC, PMMA 이며, PC 와 PMMA 와 같은 연질의 재료들은 원자, 분자 이온간의 인장력이 작기 때문에 셰이핑 가공시 많은 양의 절입은 가공부 뜯김 현상의 원인이 되어 가공부 표면에 많은 결함이 발생 한다. 이런 결함은 절입깊이를 줄이며 정삭가공을 하는 절삭 메카니즘을 이용하여 가공부 표면의 결함을 없앨 수 있었다

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 초정밀 미세 가공시스템은 X-Y-Z 의 3 축으로 이루어졌으며, 엔드밀링 및 드릴링, 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 부가 설치하여 CAM 프로그램으로 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.

Fig. 1 과 Table 1 에 초정밀 미세 가공시스템의 외관과 사양을 나타내었다.

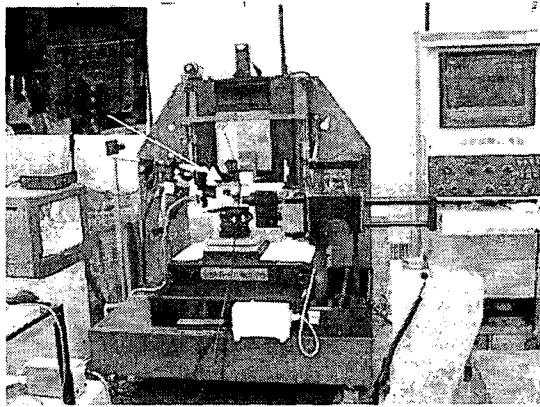


Fig. 1 Micro fabrication system for Experiments

Table 1 Specification of the micro machining system

	Item	Unit	Specification
X-Y Axis Stage	Moving Stroke	mm	200? 00
	Feeding Speed Range	mm/s	0.005-22
	Min. Incremental Move	nm	5 (200000cts/mm)
	Position Repeatability	μm	0.05-0.25
Z Axis Slide	Moving Stroke	mm	100 (LS1mm/rev)
	Feeding Speed Range	mm/s	0.005-22
	Min. Incremental Move	nm	40 (25000cts/mm)
	Position Repeatability	μm	0.3-0.5
Table	Size	mm	220? 20
	Allowable Weight	N	890
Straightness	X Axis	μm	H<0.5, V<0.6
	Y Axis	μm	H<0.5, V<0.6
	Z Axis	μm	H,V : 0.0025
Repeated Precision (X/Y/Z Axis)		μm	< 0.1

### 2.2 가공원리 및 공구

Prismless 형 도광판 금형의 가공 방법은 세이핑 방식으로써 다이아몬드 공구를 Z 축에 고정시켜 상하 절입 운동으로 원하는 깊이만큼 절입 하여 Y 축에 이송을 주어 가공하며 X 축에서 Pitch 를 제어 한다. 이러한 과정을 반복하여 Prismless 형 도광판 금형을 가공할 수 있다. Fig. 2 는 세이핑 가공법의 원리와 모식도를 나타내었다.

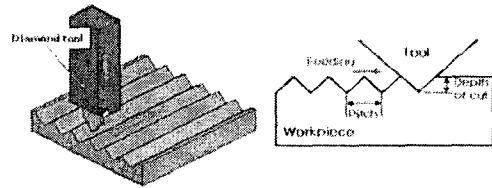


Fig. 2 Machining method of prismless type LGP by Shaping

Fig.3 은 본 실험을 위해 설계 제작된 90° 다이아몬드공구의 상세도면 및 세부 형상을 나타내었다. 공구의 특성은 경면 가공을 위한 단결정 천연다이아몬드이고, 형상정밀도 및 치수정밀도에 대하여 1 μm 을 요하는 고정밀도로 제작 되었다.

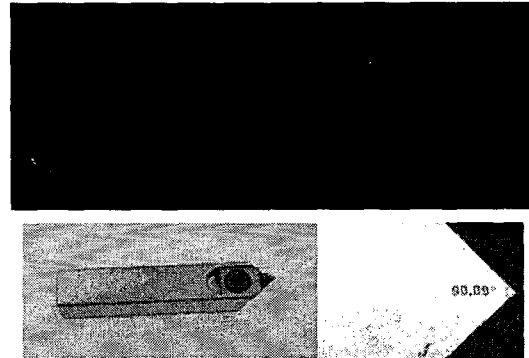


Fig. 3 Diamond tool with 90° angle

### 2.3 가공소재

Table 2 는 본 실험에서 사용된 소재의 기계적 성질을 나타내었다. Fig.4 는 각각의 소재에 대하여 동일한 조건에서의 실험을 위하여 대형의 vise 에 5 종의 재료를 함께 고정하였고 평면가공을 통해 소재의 평탄도를 1 μm 범위 내로 셋팅 하였다.

Table 2 Mechanical properties of materials

항목	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)	경도 (HB)
Materials			
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

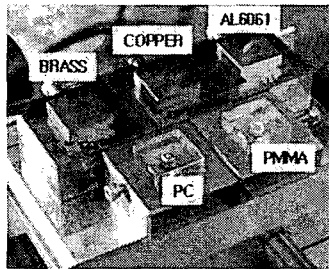


Fig. 4 Photo of materials setting

### 3. 프리즘형 도광판 가공실험

#### 3.1 가공방법 및 조건

본 실험에 응용된 절삭 메카니즘으로는 Fig.5와 같으며, 그 원리는 절입깊이 5  $\mu\text{m}$ 의 황삭으로써 원하는 Height와 Pitch에 대하여 형상을 완성하고 5 단계에 걸친 정삭 과정으로써 가공 메카니즘을 완성할 수 있다.

정삭 1 단계는 황삭의 절입양보다 적은 3  $\mu\text{m}$ 의 절입으로 절삭하며, 2 단계 2  $\mu\text{m}$ , 3 단계 1  $\mu\text{m}$ , 4 단계 0.5  $\mu\text{m}$ , 5 단계 0.1  $\mu\text{m}$ 의 순으로 절삭 메카니즘을 완성하였다. Table 3은 절삭조건을 나타내었다.

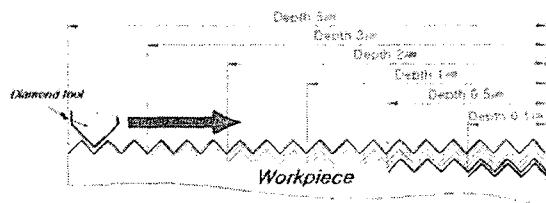


Fig. 5 Cutting mechanism of prismless type LGP mold

Table 3 Machining conditions of Prismless type LGP

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	

#### 3.2 실험결과 및 고찰

##### 3.2.1 소재특성에 따른 실험결과 및 고찰

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

각각의 소재에 대하여 가공표면의 상태를 분석하여 보면 6:4 Brass의 경우 가공부 에지에 다량의 버가 존재하고, Al6061의 경우는 6:4 Brass보다 양호한 가공 상태이다. Copper의 경우 버와 함께 가

공면에 뜬 흔적이 발생하였고 PC와 PMMA는 가공 상태가 불량하며, 가공부 산과 골의 에지가 명확하지 않다. PC, PMMA를 금속재료와 비교해보면 기계적 성질이 전혀 뒤지지 않음에도 불구하고 이러한 현상이 발생하는 이유는 원자, 분자간 작용하는 인력이 작기 때문일 것이라고 사료된다.

Fig.7은 황삭시 절입 5  $\mu\text{m}$ 인 최초평면 절입부터 프리즘 형상을 완성하는 다섯 번째 절입까지 절삭력을 분석하였다. 그 결과 모든 소재가 최초의 절입에서 약 0.05N 내외의 절삭력을 가지며 PC, PMMA, Al6061, 6:4 Brass, Copper의 순으로 기울기 값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

Copper의 경우 다섯 번째 절입에서 절삭진행 방향인 Y축의 절삭력이 약 0.46N이고 PC의 경우 약 0.125N이다. 또한 Z축의 절삭력은 모든 소재에서 0.05N 이하이며 증가량 또한 미소하다.

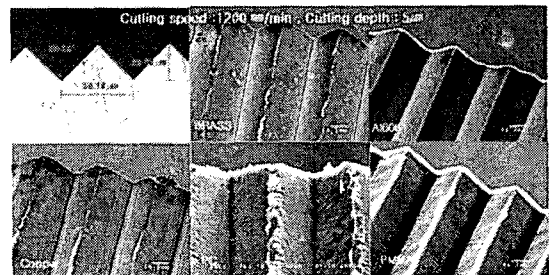


Fig. 6 SEM of machined V-groove

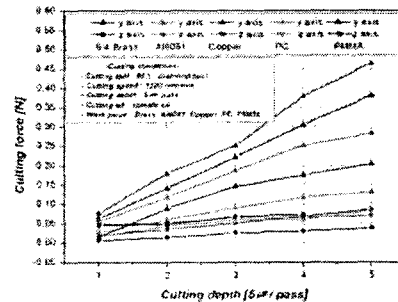


Fig. 7 Cutting force for materials character

##### 3.2.2 절입깊이 변화에 따른 실험결과 및 고찰

Fig.5의 절삭 메카니즘을 이용한 프리즘형 도광판의 절입깊이 변화에 따른 가공결과를 Fig.8 (6:4 Brass), Fig.9 (Al6061), Fig.10 (PMMA)을 통하여 알 수 있다.

Fig.8은 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 관찰할 수 있다.

Copper 또한 6:4 Brass와 같은 현상이 발생하였으므로 6:4 Brass와 함께 본 실험에서 응용된 절삭

메카니즘 으로 프리즘형 도광판 금형을 완성 한다면 양질의 금형을 가공 할 수 있으리라 사료된다.

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 가공할 수 있다.

Fig.10 은 PMMA 를 절입깊이 변화에 따른 분석 결과 이며, 황삭 절입 5  $\mu\text{m}$ 에서 가공부 표면에 많은 뜯김 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 메카니즘으로써 문제점을 해결 할 수 있었다.

Fig.11 은 6:4Brass 의 정삭 에서 절입 깊이가 변화에 따른 절삭력을 분석하였다. 그 결과 절입 0.1  $\mu\text{m}$ 에서 약 0.025N, 절입 3  $\mu\text{m}$ 에서 약 0.23N 의 절삭력이 발생하였고, 절입 깊이가 증가 할수록 절삭력이 증가하는 현상을 볼 수 있다.

Fig.12 는 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.

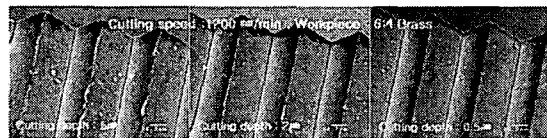


Fig. 8 Machining result of prismless type LGP mold in 6:4 brass



Fig. 9 Machining result of prismless type LGP mold in Al6061



Fig. 10 Machining result of prismless type LGP mold in PMMA

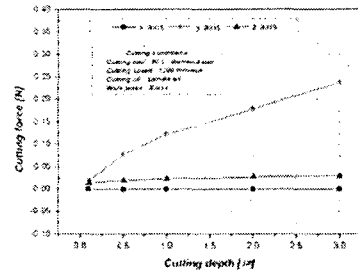


Fig.11 Cutting force with cutting depth

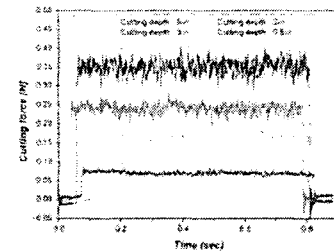


Fig. 12 Measurement of Cutting force with change of cutting depth

#### 4. 결론

본 연구에서는 프리즘형 도광판 금형 가공용 공구를 설계하고 천연다이아몬드를 이용하여 고정밀도의 공구를 제작하였으며, 6:4 Brass, Copper 의 절삭 가공시 버와 PC, PMMA 가공시 표면이 뜯기는 현상을 본 연구에 응용된 절삭 메카니즘을 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.

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 실시간으로써 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 절삭공 정연구” 박사학위논문, 2004