

미세 피라미드 패턴 금형 가공공정 연구

제태진¹, 신영재¹, 이응숙¹, 최두선¹, 홍성민¹, 강영훈²

Machining Process for Micro Pyramid Pattern Mold

T. J. Je, Y. J. Shin, E. S. Lee, D. S. Choi, S. M. Hong, and Y. H. Kang

Abstract

Technologies of super-precision micro pattern mold machining and high-performance optical films manufacturing using thereof forms the basis of recent display industries which have developed remarkably. Especially, it is the light guide plates and high luminous intensity prism sheets at BLU or FLU in LCD and lenses at virtual keyboard's display to be manufactured by micro machining technology. One way the industry requires to do that is by developing high-performance light guide plates or films which are existing light guide plates, diffusion films and luminance enhancement prism films all in one. In this research effort, basic processing of the micro pyramid structure by shaping method is proposed. Experiments of mold machining of pitch 20 μm tetrahedral pyramid and pitch 100 μm trihedral pyramid using a 90° diamond tool were conducted to identify a variety of machining features, such as cutting forces, conditions of the surface, shapes of chips, and influence of materials.

Key Words : micro pyramid pattern (미세피라미드패턴), machining process(가공공정), cutting force (절삭력)

1. 서론

최근, 눈부신 성장을 거듭하고 있는 디스플레이 산업의 기저에는 초정밀 미세패턴 금형 가공기술과 이를 이용한 고성능 광학필름의 제조기술이 접목되어 있다. 특히 LCD의 BLU 또는 FLU에 사용되는 도광판 및 고휘도 프리즘 시트, 가상 키보드의 디스플레이에 사용되는 렌즈 등은 미세 기계가공기술에 의한 금형으로 생산되고 있다. 이러한 디스플레이 산업의 기술개발 방향은 박형화, 경량화, 고기능화를 추구하면서 광의 효율을 극대화 하고 필름 및 부품 수를 줄여 가격경쟁력을 높이는 방향으로 전개되고 있다. 이에 따라 광의 효율을 높이면서 광학 필름의 수를 줄이기 위해서 기존의 도광판, 확산필름, 휘도향상용 프리즘 필름 등을 하나의 기능으로 통합한 고성능 도광판 또는 필름에 대한 기술개발이 요구된다[1~4].

미세 삼각 피라미드 패턴 구조는 1960년대부터

재귀반사(retro-reflective)형 필름으로 개발되어 최근 각종 표지판, 자동차 반사판 등에서 광범위로 사용되고 있다. 당시에는 오늘날과 같은 초정밀 절삭 가공기가 없어 대부분 롤링머신(ruling engine)으로 금형이 제작되었다. 1980년대부터 유정압 및 공기정압 베어링을 장착한 초정밀 가공기가 개발되면서 미세 절삭가공으로 사각 및 삼각 피라미드 패턴 금형을 제작하기 시작하여, 현재는 디스플레이산업에 필수적인 광학용 필름의 기반기술이 되었으며, 대면적 필름 제조를 위하여 롤 금형에 대한 가공까지 진행되고 있다[5~8].

본 연구에서는 세이핑 방식에 의한 미세 피라미드 구조체의 기초적인 가공공정을 제시하고 90° 다이아몬드공구를 이용한 피치 20 μm 의 사각형상 피라미드 금형 및 피치 100 μm 의 삼각형상 피라미드 금형의 가공실험을 수행하며 절삭력, 가공표면의 상태, 칩의 형상, 소재의 영향 등 피라미드 패턴 가공시의 기본 가공특성을 파악하고자 하였다.

1. 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부

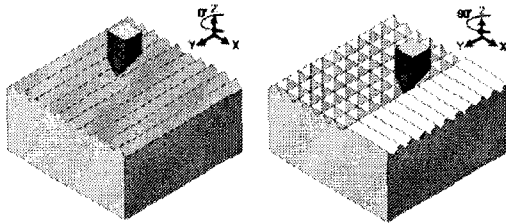
2. ㈜케이메트로

2. 미세피라미드 패턴 가공공정

2.1 사각 미세 피라미드 패턴 가공공정

사각형상의 미세 피라미드형상 패턴 금형 코어를 제작하기 위한 가공공정을 Fig. 1 에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 공정은 V형의 다이아몬드 공구를 이용하여 프리즘 패턴형상 가공 후 두 번째 공정으로 프리즘 패턴 형상에 대하여 직각방향으로 회전시켜 동일한 방법으로 프리즘 패턴형상을 가공 하게 되면 사각형상의 피라미드 패턴이 생성된다.

피라미드 패턴 금형 가공 시 로터리의 회전정밀도, 반복위치 정밀도 및 회전 런아웃이 패턴의 형상정밀도에 직접적으로 영향을 미치게 된다.



(a) Initial cutting (b) Final cutting

Fig. 1 Machining process of square shape pyramid

2.2 삼각 미세 피라미드 패턴 가공공정

삼각형상의 미세피라미드 패턴은 재귀반사를 위한 3 차원 형상 구조를 가지며, 가공방법으로는 Fig. 2 와 같은 공정으로 다이아몬드 세이핑 가공으로 한 축을 가공한 후, 테이블을 60° 회전하여 나머지 한 축을 가공하고, 다시 60° 회전하여 다른 나머지 한 축을 가공하는 공정으로 이루어진다[2]. 위와 같은 가공공정에서는 x, y, z 및 회전축의 오차 성분이 삼각형상의 미세피라미드 패턴의 형상정밀도에 직접적으로 영향을 미치게 된다[3][4]. 위에서 언급한 바와 같은 가공 기에서의 x, y, z 및 회전축의 오차 성분을 제거 한다고 하여도 가공공정을 최적화 하지 못한다면 여러 형태의 패턴에러를 발생 시킨다. 예를 들어 절입깊이 미달에 따른 비 절삭부, 회전축의 회전센터 편심 설정에 따른 비정상 패턴 등이다. 이러한 패턴에러의 영향을 최소로 하기 위하여 Fig. 3 의 Flow chart 를 제안하였다.

첫 번째 공정에서 가공하고자 하는 시편을 가능한 한 회전축의 중심부에 가깝게 세팅하고 임

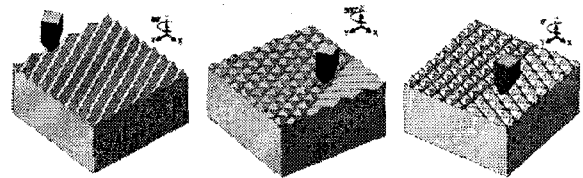
의의 한 선을 세이핑 방식으로 가공하고자 하는 공구를 이용하여 가공한다.

두 번째 회전 스테이지를 180° 회전 후 위와 같은 방법으로 임의의 선을 가공한다. 이때 두선 사이의 1/2 지점이 회전센터가 된다.

세 번째 공정에서 회전센터를 중심으로 60° 회전하여 프리즘 패턴을 가공한다.

네 번째 회전센터를 중심으로 300° 회전하여 프리즘 패턴을 가공한다.

다섯 번째 회전센터를 중심으로 0°상에서 프리즘 패턴을 가공한다. 위와 같은 방법으로 세 번째 공정부터 다섯 번째 공정을 소정의 깊이로 가공될 때까지 반복하면, 패턴에러가 발생 하지 않은 양질의 재귀반사용 삼각형상의 미세 피라미드 패턴 금형을 제작할 수 있다.



(a) Initial cutting (b) Second cutting (c) Final cutting

Fig. 2 Machining process of triangular pyramid

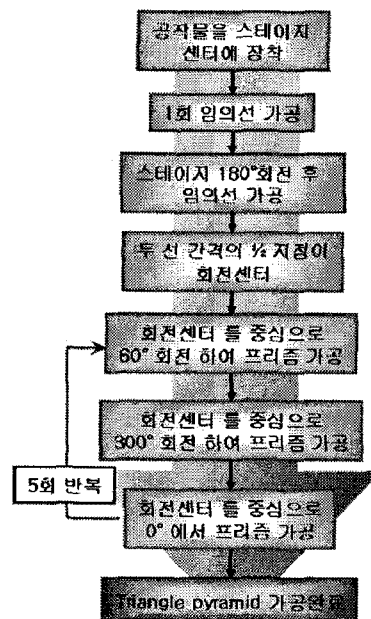


Fig. 3 Flow chart for machining of triangular pyramid pattern

3. 미세피라미드 패턴 금형 절삭특성 분석

3.1 사각 피라미드 패턴 절삭특성 분석

사각형상의 미세피라미드 패턴 금형 절삭특성 분석을 위해 가공실험을 수행하였다. 이때 사용한 공구는 Fig. 4에 나타낸 공구 각 90°의 천연다이아몬드이며, 세이핑용 다이아몬드 공구는 가공 면의 형상 및 가공표면의 가공상태가 공구 절인의 상태에 따라 결정되므로 공구의 절인은 매우 정밀하고 예리하게 제작되어야 한다.

Table 1은 절삭조건을 나타내었으며, 미세 피라미드 패턴 사이즈는 폭 20 μm, 높이 10 μm의 크기로 제작되었으며, 공작물은 무산소동과, 64 황동을 사용하였다.

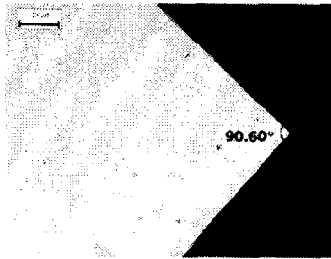
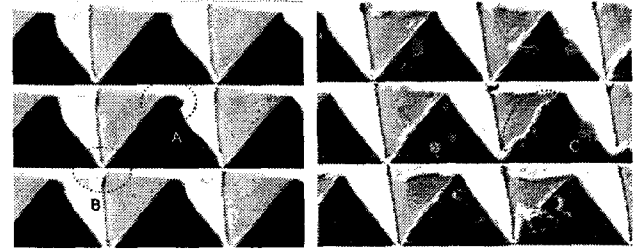


Fig. 4 Diamond tool of cutter angle 90°

Table 1 Cutting condition of

Cutting Tool	90° Diamond tool
Workpiece	copper, 6:4 brass
Cutting speed	900 mm/min
Cutting depth	5 μm/pass
Pattern size	Height: 10 μm
	Pitch: 20 μm
Cutting oil	Mist oil No.9

사각 형상 피라미드 패턴 가공 후에 발생한 형상 에러에 대하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)는 무산소동 시편의 가공결과이며 A, B의 position 에러를 볼 수 있다. 이러한 에러의 원인은 회전축의 회전 시 발생한 에러 및 절입깊이 미달에 따른 것으로 사료된다. 또한 Fig. 5(b)는 64 황동 시편의 가공결과이며 position 에러는 보이지 않으나 소재 특성상 불순물로 인한 가공 면 에지에 많은 양의 버가 발생한 것으로 보인다.



(a) Oxygen free copper (b) 6:4 brass

Fig. 5 Machining result of square shape pyramid

사각형상 피라미드 패턴의 최종 가공공정 중에 발생한 절삭력 파형을 Fig. 6에 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같은 파형이 발생한 원인은 비절삭 구간과 절삭구간이 일정하게 반복되는 단속절삭에 따른 것이며, 절삭속도비 단속절삭주기는 약 0.0013초이다. 이때 발생한 이송방향인 Y축의 절삭력은 약 0.23N, 절삭깊이 방향인 Z축의 절삭력은 약 0.15N이 발생하였다.

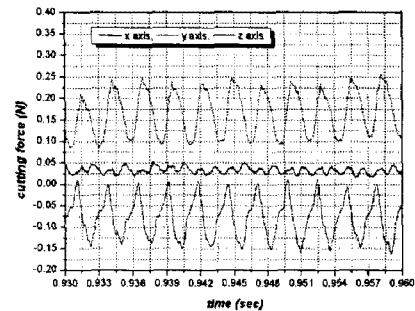


Fig. 6 Cutting force

3.2 삼각 피라미드 패턴 절삭특성 분석

삼각형상의 피라미드 패턴가공이 가능한 시스템을 Fig. 7에 나타내었다. 본 시스템은 X-Y-Z축의 resolution은 0.01 μm이고, 360°회전이 가능한 A축의 resolution은 0.0001°이며, 반복 정도는 5 sec인 시스템이다.

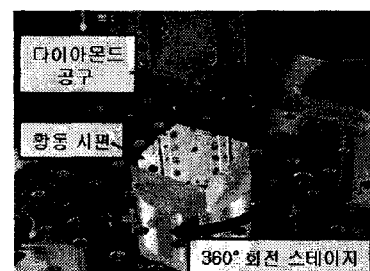


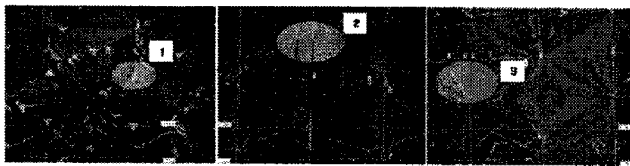
Fig. 7 Experimental set-up

삼각 형상 피라미드 패턴 가공 조건을 Table 2에 나타내었다. 절삭깊이 조건으로 총 33 μm 절삭량 중에 10 μm 2회, 5 μm 2회, 3 μm 1회의 총 5회의 공정으로 형상을 완성하였다.

Table 2 Cutting condition of triangular pyramid pattern

Cutting Tool	90° Diamond tool
Workpiece	6:4 brass (60×60 mm)
Cutting speed	6,000 mm/min
Cutting depth	10(2회), 5(2회), 3(1회) $\mu\text{m}/\text{pass}$
Pattern size	Height: 33 μm
	Pitch: 100 μm
Cutting oil	Mist oil No.9

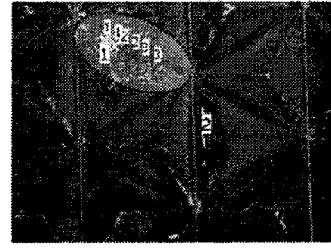
삼각 형상 피라미드 패턴 가공 후에 발생한 형상 에러에 대하여 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)는 절삭깊이 방향인 Z 축이 공작물과 접촉하는 순간인 공작물 원점좌표 세팅 에러에 의해 패턴의 최상부에 미가공부가 발생한 것이다. Fig. 8(b)는 pitch 방향 축의 offset에 따른 비정상 패턴이 형성됨을 알 수 있다. Fig. 8(c)는 구조물의 에지부에 깨짐 현상을 볼 수 있는데 이러한 깨짐 현상은 소재에 포함된 불순물 및 소재의 가공특성에 의해 발생한 것으로 사료된다.



(a) defect caused by z direction setting
(b) defect caused by pitch direction setting
(c) defect caused by impurities of the material

Fig. 8 Defects of triangular pyramid pattern

삼각 형상 피라미드 패턴 가공 후 가공표면의 거칠기 측정 결과는 Fig. 9와 같다. 거칠기는 다이아몬드 공구가 절삭을 하고 지나간 임의의 세 부분을 측정하였으며, 측정값은 Ra 약 200 nm 수준으로서 광학적 성능을 기대하기 위해서는 가공면의 거칠기 수준을 향상시킬 필요가 있다.



Seg.	Ra	Ry	Rz
Entire	0.24 μm	2.09 μm	1.20 μm
1	0.20 μm	0.77 μm	0.67 μm
2	0.20 μm	0.65 μm	0.64 μm
3	0.29 μm	1.00 μm	0.85 μm

Fig. 9 Surface roughness

삼각 형상 피라미드 패턴 가공 중 발생한 절삭력 데이터를 Fig. 10에 나타내었다. 이때의 가공 조건은 5회의 절입 중 첫 번째 절입에서 회전센터를 중심으로 0°에서 가공 중 발생한 평균 절삭력이 약 1.5N이 발생하였다. 가공 중 단속 절삭된 부분은 절삭력이 급격히 감소하였고, 이때 발생한 절삭력은 약 0.5N 미만이다. 칩 형상은 Fig. 11에서 보는 바와 같으며 단속절삭의 영향에 의해 삼각형상의 칩들이 배출되었을 알 수 있다.

본 연구에 의해 성립한 가공공정에 의해 고휘도 반사필름 금형을 제작하였으며, 그 금형을 Fig. 12에 나타내었다.

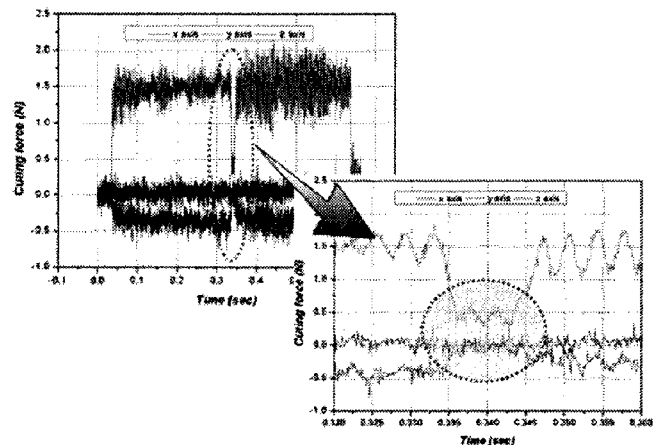


Fig. 10 Cutting force

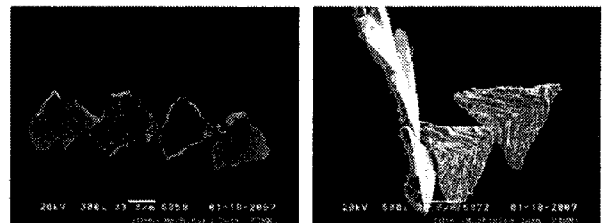


Fig. 11 Cutting chip

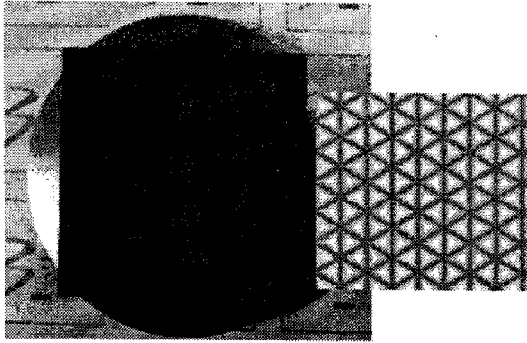


Fig. 12 Triangular pyramid mold core

4. 결론

세이핑 가공법과 다이아몬드공구를 이용하여 미세 피라미드 패턴 금형의 가공공정에 대한 기초적 연구를 수행하여 사각 및 삼각형상의 미세 피라미드 패턴 금형 시제품을 제작하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 미세 피라미드 패턴 금형 가공에서는 절입 깊이 방향의 원점 세팅 및 회전테이블의 런아웃에 따른 미가공부가 발생하기 쉬우므로 이에 대한 조치가 필요하다.

(2) 미세 삼각 피라미드 패턴 금형의 가공 공정에서는 회전테이블의 회전센터를 찾아 공작물의 중심점과 정확히 일치시키는 것이 중요한 요소이며, 공구와 공작물과의 정확한 접촉순간을 찾아 절입 깊이를 세팅 하는 것이 가공 오차를 줄이는 방법이다.

(3) 무산소동 소재에 비하여 황동 소재에서 많은 양의 가공 버가 발생하는 것을 확인하였다. 피라미드 패턴 금형 가공용 소재는 에지 부분의 버 발생이 적고, 샤프한 에지가 생성되며, 가공성이 뛰어난 소재를 선정하는 것이 중요하다.

(4) 미세 피라미드 패턴 가공공정은 최종적으로는 미세한 단속절삭 과정을 거치기 때문에 단속절삭에 의한 가공 현상과 칩 형상이 나타났다. 단속의 주기는 패턴의 피치와 일치한다.

후 기

본연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 Milli-Structure 생산기술 개발 사업의 위탁과제로서 수행 중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

- [1] 황경현 외, “고기능 초미세 광열유체 마이크로 부품사업”, 차세대신기술개발사업 제9회 워크샵, 2006.9.19
- [2] 최수창, 이득우, 김석원, 박천홍, 2005, “미세사면체 금형 패턴가공을 위한 초정밀 세이핑 시스템 제작”, 한국기계가공학회, 2005년도 추계 학술대회 논문집, pp. 92~96, 2005.
- [3] Jian G S., Koichi O., Toshimichi M., “Study of ultraprecision orthogonal microdiamond cutting of single-crystal copper” JSME International journal Series C, Vol. 36, No. 3, pp. 400~406.
- [4] Moriwaki T., Okuda K., “Machinability of copper in ultraprecision micro diamond cutting”, Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, pp. 115, 1989.
- [5] V. Weber, St. Paul, Minn, “Reflex Reflector Article”, US Patent 3,140,340, 1964.7
- [6] Robert Franz Stamm, “Retro-reflective Surface”, US Patent 3,712,706, 1973.1
- [7] John A, Martena, White Bear Lake, Minn, “Shaped Plastic Articles Having Replicated Microstructure Surfaces”, US Patent 4,576,850, 1986.3
- [8] Norio Taniguchi, “Nanotechnology Integrated Processing System for Ultra-precision and Ultra-fine products”, Oxford University Press, 1996