

세이핑에 의한 렌티큘러 렌즈 금형 가공

제태진* · 최두선* · 이응숙* · 심용식** · 김응주***, 나경환***

Manufacturing Technology of Lenticular Lens Mold by Shaping

T. J. Je, D. S. Choi, E. S. Lee, Y. S. Shim and E.Z. Kim, K. H. Na

Abstract

광의 효율적 사용을 위해 표면에 마이크로 그루브가 새겨진 고성능 광학 부품의 개발이 활발하고, 이들 부품의 다량 생산을 위한 초정밀 금형제조기술이 각광을 받고 있다. 최근의 초정밀 미세 기계가공의 경우 간단한 공정으로 이러한 마이크로 그루브 금형을 제작할 수 있다. 특히 조명각 변조용 렌티큘러 렌즈와 같이 실린더형 그루브 금형의 경우에는 기존의 Lithography, MEMS, LIGA 등 광 에너지를 이용한 다른 제조방법들에서는 가공하기 어려운 점이 있으나, 기계가공에서는 쉽게 제작가능한 장점이 있다.

본 연구에서는 이러한 미세기계가공기술의 장점을 활용하여 U 형 마이크로 그루브를 가진 Lenticular 렌즈용 금형을 가공하고자 하였다. 가공에는 3 축 구동의 초정밀 미세 복합가공기와 단결정 천연 다이아몬드공구가 사용되었고, 가공방식은 마이크로 세이핑 공정을 적용하였으며, 가공 금형 재료에는 Brass 와 무전해 Nickel 이 사용되었다. 실험을 통하여 금형가공시의 절삭력, 칩 형상, 가공표면 등의 분석이 수행되었으며 이를 기반으로 여러 가지 가공문제점을 해결하고, 최종적으로 양호한 렌티큘러렌즈용 금형을 가공하였다.

Key Words : Micro groove (마이크로그루브), Lenticular lens (렌티큘라렌즈), Mold(금형), Shaping(세이핑), Diamond tool(다이아몬드공구), Machining condition(가공조건)

1. 서론

기존의 홀로그래피 및 분광을 위한 미세 grating 부품을 비롯하여 최근의 LCD 분야 및 3 차원 영상 구현을 위한 기능성 광학부품으로서 표면에 마이크로 그루브가 새겨진 고기능성 광 응용 부품들의 수요가 급증하고 있다. 이에따라 이들 부품의 양산을 위한 금형 제조기술이 필요하다[1]. 기존의 마이크로 패턴 금형 제조는 주로

Lithography, MEMS, LIGA 프로세스 등 고 에너지빔과 광원을 이용하여 제조되었다. 그러나 이 방법들은 별도의 초정밀 마스크를 만들고, 노광-에칭-현상-전주의 공정을 거쳐서 만들어 진다. 이에 따라 고가의 설비와 복잡한 공정으로 인해 실용적인 마이크로 패턴의 금형을 제조하는 데는 많은 문제가 있었다. 최근에 개발된 초정밀 미세 기계가공기술은 이러한 마이크로 형상 금형의 가공에 매우 효율적이다[2]. 특히 U 형 그루브와 같이 실린더형의 렌즈 구조물, 샤프한 에지가공, 뛰어난 표면품질 등은 기존의 에너지 가공법에 비하여 월등한 것으로 평가되고 있다.

* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부
** 주식회사 엘지엑스
*** 한국생산기술연구원

또한 간단한 제조설비 및 공정, 가공시간의 단축 등으로 제조비용이 크게 절감되는 이점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 기계가공의 장점을 활용하여 Fig. 1 과 같은 조명각 변조시스템의 Stereoscopic 모듈용 렌티큘라 렌즈 금형을 제작하기로 하였다. 조명각 변조 시스템용 렌티큘라 렌즈는 렌즈의 반경이 수백 300~600 μm , 피치 200~600 μm , 높이 10~100 μm 정도의 U 그루브 패턴으로 설계된다. 이들 금형의 공통적인 특징은 다른 용도의 마이크로 그루브에 비하여 비교적 패턴이 크고 대면적을 요구하고 있어 기계적인 가공방법 이외의 다른 가공법으로는 제작이 곤란한 상태이다. 본 연구에서는 다이아몬드공구에 의한 세이핑 방식을 적용하여 이와같은 U 그루브 형상의 초정밀 미세 패턴 금형을 가공하고자 하였다.

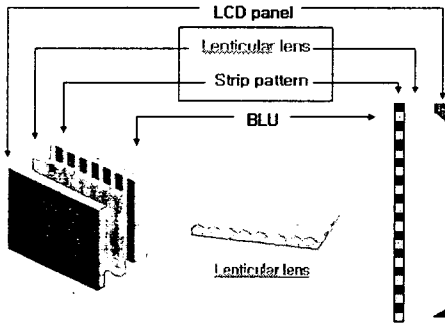


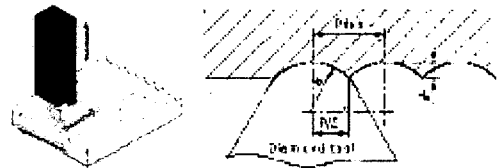
Fig. 1 Stereoscopic module and lenticular lens

2. 가공방법 및 실험장치

Fig. 2 에 세이핑 방식으로 U 형상의 렌티큘라 렌즈 금형을 가공하는 모습과 그루브의 형상 결정원리를 나타내었다. 다이아몬드공구를 Z 축의 고정장치에 고정시키고 상하 절입 제어로 원하는 그루브 가공 깊이를 설정하며, Y 축에서는 이송 속도를 제어하고, X 축에서는 Pitch 를 제어하며 가공한다. 이러한 과정을 반복하여 렌티큘라 렌즈 금형을 가공할 수 있다. 가공되는 그루브의 형상 치수는 다음 식으로 표현된다.

$$H_g = R - \sqrt{R^2 - (P/2)^2}$$

여기서, R 은 공구반경, P 는 그루브의 피치 간격으로서 광학적인 초점거리와 기능에 의해 설계된 값을 적용한다. 공구반경과 피치가 정해지면 그루브의 깊이 H_g 가 정해지게 되고, 이 값이 실제 금형에서의 가공깊이가 된다.



(a) shaping method (b) groove dimension
Fig. 2 Machining method of lenticular lens mold

초정밀 미세 가공시스템의 모습과 실험장치의 개략도를 Fig. 3 에 나타내었다. 시스템의 주요 구성은 X-Y-Z 의 3 축으로 이루어져 있으며 X-Y 축은 Air bearing 구동으로 최고 2nm 오더의 정밀도를 가지며, Z 축은 리니어 모터로 최고 40nm 의 정밀도를 가지고 있다. 시스템의 제어는 PC 기반의 Turbo PMAC board 를 사용하였다. 공작물 밑에는 0.002N 의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하였다.

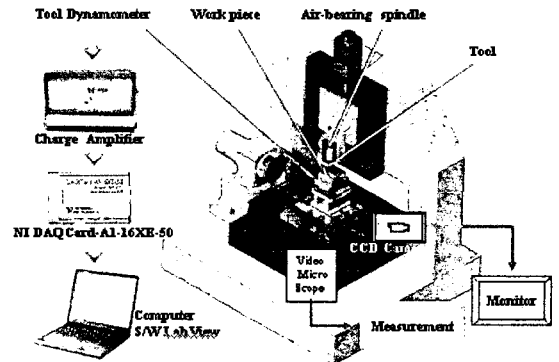


Fig. 3 Micro machining system and schematic of experimental system

3. 금형 가공실험 및 고찰

3.1 가공방법 및 조건

본 연구에서는 R355 μm , R493 μm , R600 μm 의 3 가지 공구를 이용하여 실험하였다. R355 μm 공구로는 피치 431 μm , 깊이 66 μm 의 그루브를 가공하였고, R493 μm 공구로는 피치 590 μm , 깊이 98 μm 의 그루브를 가공하였으며, R600 μm 공구로는 피치 359 μm , 깊이 27.5 μm 의 그루브를 가공하였다. 이들 수치는 모두 조명각 변조용 렌티큘라렌즈의 광학적 설계에 의해 결정된 값들이다.

Fig. 4 에 R355 μm 의 단결정 천연 다이아몬드 공구의 설계도에 의해 제작된 공구의 끝단 모습을 나타내었다. Fig. 5 에 금형의 가공방법 및 R355 μm 공구로 가공하는 렌티큘라렌즈 금형의 단면도를 나타내었으며, Table 1 에 가공조건을 나타내었다



Fig. 4 Diamond tool with R355 μm for shaping

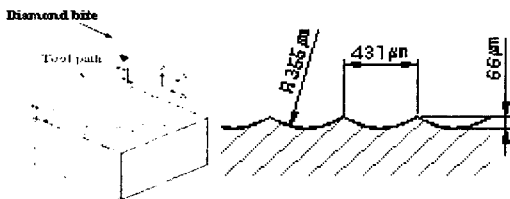


Fig. 5 Machining method and scheme of lenticular lens

Table 1. Cutting conditions

| | | |
|---------------|---|-------------------------|
| Cutting tool | Natural diamond tool (R 355 μm) | |
| Workpiece | 6:4 Brass | Ni (120 μm) |
| Cutting speed | 500 mm/min, 900 mm/min | |
| Cut increment | 5 μm /pass | |
| Cutting oil | Spindle oil (ISO VG8) | |

금형은 먼저 황동 소재로 예비 가공실험을 수행하여 절삭조건을 확립한 이후 실제 사용하는 니켈 금형을 가공하는 순서로 진행된다. 절삭조건은 1 행정 당 절입 5 μm /pass을 적용하였다. 절삭 속도는 500mm/min, 900mm/min의 2가지를 적용하였고, 피

치는 431 μm 을 적용하였다.

3.2 가공표면고찰

Fig. 6 에 cut increment 5 μm , cutting speed 500 mm/min 의 조건에서 가공된 황동소재의 렌티큘라 렌즈 금형의 SEM 사진을 나타내었으며, Fig. 7 에 cut increment 5 μm , cutting speed 900 mm/min 의 조건에서 가공된 렌티큘라 렌즈 금형의 SEM 사진을 나타내었다. 두 가지 가공조건 모두에서 burr 나 그루브 형상 및 표면 결함이 거의 없는 양호한 가공표면이 형성되었다. 이 결과는 실린더형 그루브의 세이핑 가공에서도 생산효율 향상을 위해 고속가공을 적용할 수 있음을 보여 준다.



Fig. 6 Machining result of cutting speed 500 mm/min



Fig. 7 Machining result of cutting speed 900 mm/min

Fig. 8 은 니켈소재를 이용하여 실제 사출성형용의 렌티큘라 렌즈 금형을 제작하여 표면을 광학현미경으로 촬영한 것이다. 실제 금형은 SEM 에서 촬영할 수가 없기 때문에 광학 현미경을 사용하였다. Fig. 9 는 cutting speed 900 mm/min 의 조건에서 가공된 렌티큘라 렌즈 NI 금형의 표면형상 Profile 을 측정하여 나타내었다.

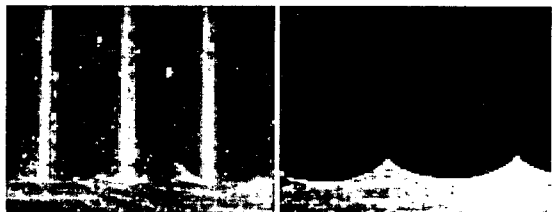


Fig. 8 Machining result of cutting speed 900 mm/min (Ni)

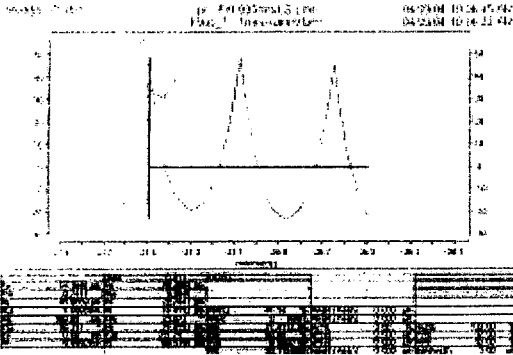


Fig. 9 Profile of lenticular lens mold

측정결과 모두 양호한 가공이 이루어진 것을 알 수 있었다.

Fig. 10 에는 그루브의 표면조도 측정결과를 나타내었다. 표면조도 측정 결과 Brass 금형에서 약 12-14nm, Ni 금형에서 12nm 정도를 보였다. 전체적으로 매우 양호한 표면조도를 보여 이정도 표면이면 렌티큘러용의 금형으로서 광학적으로 문제가 없을 것으로 판정된다. 임의의 3 점에서 표면조도를 측정한 결과 Brass 의 경우 cutting speed 900 mm/min 에서 Rmax 값이 가장 크게 나타났으며, Ra 값은 양호하였다. cutting speed 500 mm/min 에서 Rmax 값이 양호한 반면 Ra 값이 가장 크게 나타났다. 니켈 무전해 도금 시편의 경우 Ra, Rmax 모두 양호 하였다.

3.3 칩 상태 고찰

Fig. 11 은 cutting speed 900 mm/min, depth of cut 5 μ m의 가공조건으로 가공했을 때 황동 절삭 칩의 표면을 SEM 으로 촬영한 것이다. 칩의 표면에 일정한 간격으로 굵힌 흔적을 볼 수 있다. 이 굵힌 흔적은 공구 결합에 의한 것과 구성 인선의 영향이 동시에 나타난 것이다. 이러한 공구로는 실제적인 광학부품을 가공할 수 없다.

Fig. 12는 새로운 공구로서 니켈금형의 표면을 가공한 칩이다. 여기에서는 공구의 결합이나 구성 인선의 흔적을 볼 수 없다. 그러나 계속된 가공에서 Fig. 13과 같이 칩의 표면에서 미세한 굵힌 흔적이 나타났다. 이것은 구성인선의 영향으로 볼 수 있다. 이러한 공구의 문제점과 구성인선의 영향으로 인하여 전체적인 가공표면이 나빠졌고, Fig. 10의 그래프에서 보는 것과 같이 최대표면 거칠

기 Rmax 값이 상승하였다

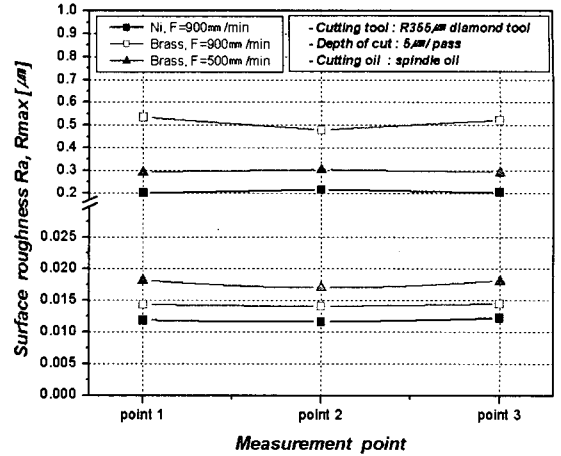


Fig. 10 Surface roughness of lenticular lens mold with material and cutting speed



Fig. 11 Chip formation of Brass mold

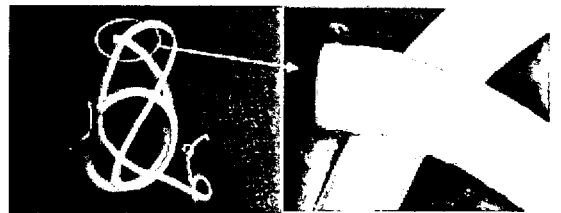


Fig. 12 Normal chip

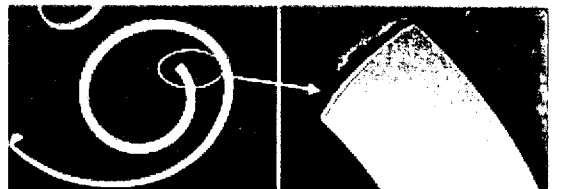


Fig. 13 Scratched chip

3.4 절삭력

Fig. 14는 R355 μm 공구로 Brass 재료를 cutting speed 900 mm/min, cut increment 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$ 의 절삭조건에서 1 pass 당 절삭력을 측정된 것이다. 주 절삭력은 y 방향 성분으로서 약 0.9N 에서 2.6N 으로 증가하고 있다. 반구 단면의 가공이기 때문에 z 방향의 절삭력도 0.5N 에서 1.0N 정도로 증가하였다. 절입이 증가함에 따라 절삭력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 절삭 깊이가 일정하게 증가하면 절삭단면적도 일정하게 증가하고 그에 따라 절삭력도 일정한 값으로 증가하고 있다.

Fig. 15는 R600 μm 공구로 무전해 Ni 도금층을 cutting speed 900mm/min, cutting depth 500 nm/pass 로 가공한 것으로서, 최대 절삭력은 약 0.7N 이하로서 안정된 절삭력 파형을 보이고 있다. 전체 실험을 통하여 이 조건에서 양호한 표면이 가공되었다.

Fig. 16은 같은 가공조건에서 cutting depth 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$ 를 적용하여 가공한 절삭력을 측정된 결과이다. 이 조건에서는 절삭력이 최대 15~18N 정도로 급증하였다. 이 절삭력은 무리한 힘으로 작용하여 과부하에 의한 불규칙한 파형을 만들고 있다. 파형 원인을 분석한 결과 과도한 힘에 의해 Z 축이 밀려서 절입깊이 만큼 정상가공이 되지 않고 미 가공되는 현상을 확인하였다. 또한 이러한 결과는 공구와 기계장치에 과부하를 주고 가공표면을 나쁘게 하였다.

이상과 같은 현상을 살펴볼 때 초정밀 고품위 U 그루브의 가공을 위해서는 미세한 절입깊이 제어에 의한 저절삭력으로 가공해야 함을 알 수 있다.

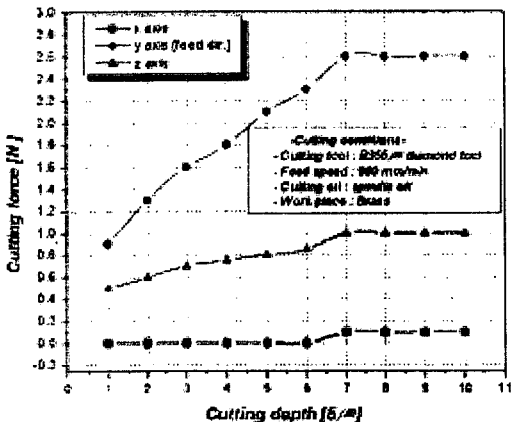


Fig. 14 Variation of cutting force with cutting depth (Tool R355 μm , Brass)

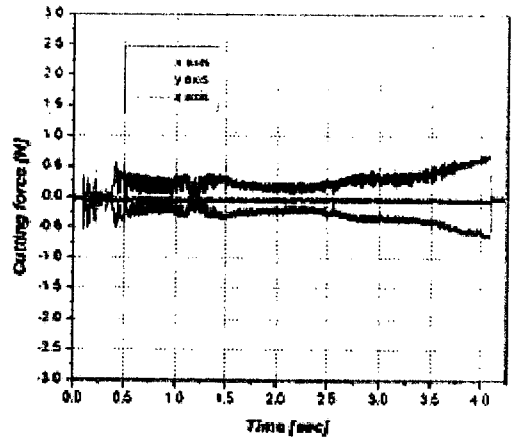


Fig. 15 Normal cutting force ($V=900$ mm/min, cutting depth 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$, Tool R600 μm , Ni)

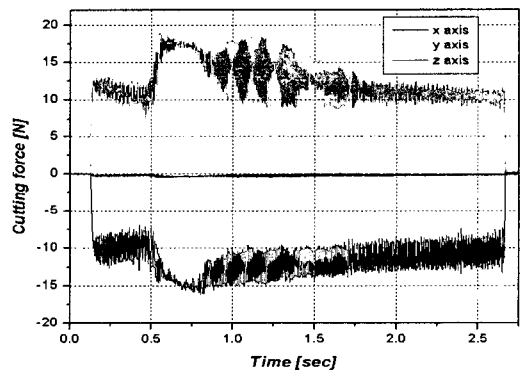


Fig. 16 Excessive cutting force ($V=900$ mm/min, depth 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$, Tool R600 μm , Ni)

4. 결론

본 연구에서는 조명각 변조용 Stereoscopic module 용 렌티큘러 렌즈 금형의 제작을 위하여 세이핑에 의한 마이크로 U 그루브 패턴 가공 기술에 대한 연구를 수행하였다. 실험을 통하여 공구와 구성인선, 칩, 절삭력 등의 가공 문제점을 분석하고, 초정밀 미세 U 그루브 금형 가공기술을 확립하였으며, 적정절삭조건을 확립을 통하여 최종적으로 실제 적용 가능한 수준의 초정밀 렌티큘러 렌즈 금형 가공기술을 확립하였다.

향후 보다 고품위의 미세패턴 금형 가공을 위해서는 공구정밀도의 향상과 더불어 시스템의 응용조건에 맞는 최적가공조건을 정립이 필요한 것으로 생각된다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) 澤多 潔, 竹内芳美, “超精密 マシ-ニング センタと マイクロ 加工”, 日刊工業新聞社, 1998
- (2) 제태진, 이응숙, 최두선, 이종찬, 최 환, “미세 기계가공시스템 개발 및 응용기술 연구”, 한국 기계가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 162-165, 2003