

무전해 니켈도금 소재의 초정밀 가공에서 V-형상 미세 패턴 가공한계에 대한 실험적 평가

김현철*

(Manuscript received: Jul, 16, 2012 / Revised: Jan, 15, 2013 / Accepted: Jan, 17, 2013)

Experimental evaluation of machining limit in machining V-shaped microgrooves on electroless nickel plated die materials

Hyun Chul Kim*

Abstract

The continuing demand for increasingly slimmer and brighter liquid crystal display (LCD) panels has led to an increased focus on the role of light guide panels (LGPs) or optical films that are used to obtain diffuse, uniform light from the backlight unit (BLU). The most basic process in the production of such BLU components is the micromachining of V-shaped grooves. Thus, given the current trend, micromachining of V-shaped grooves is expected to play increasingly important roles in today's manufacturing technology. LCD BLUs comprise various optical elements such as a LGP, diffuser sheet, prism sheet, and protector sheet with V-shaped grooves. High-aspect-ratio patterns are required to reduce the number of sheets and enhance light efficiency, but there is a limit to the aspect ratio achievable for a given material and cutting tool. Therefore, this study comprised a series of experimental evaluations conducted to determine the machining limit in microcutting V-shaped grooves on electroless nickel plated die materials when using single-crystal diamond tools with point angles of 20°–80°. Cutting performance was evaluated at various cutting speeds and depths of cut using different machining methods and machine tools. The experimental results are that V-shaped patterns with angles of 80° or up can be realized regardless of the machining conditions and equipment. Moreover, the feed rate has little effect on machinability, and it is thought that the fly-cut method is more efficient for shallow patterns.

Key Words : Ultra-precision machining(초정밀 가공), V-shaped microgroove(V-형상 미세 패턴), Machining limit(가공 한계)

1. 서론

매년 급격히 성장하고 있는 스마트폰, 모니터, 디지털 카메라, 네비게이션, TV 등 디스플레이 제품에 LCD사용이 폭발적

으로 증가하고 있다. 최근 OLED TV와 같이 자체 발광소자를 이용한 디스플레이 제품이 나오고는 있지만, 아직까지 가격 경쟁력 및 제품의 수준면에서 LCD가 우위에 있는 것이 사실이고, 이러한 LCD는 자체 발광이 되지 않으므로 Fig. 1과 같이

* 고안전 차량 핵심기술 연구소, 인제대학교 기계자동차공학부
주소: 621-749 경남 김해시 어방동 607

✉ Corresponding Author E-mail: mechkhc@inje.ac.kr

BLU(Back Light Unit)라는 면광원의 빛을 만들어 주는 핵심 장치가 필요하다. 이 BLU 는 다양한 부품들로 구성되어 있으며, 이러한 부품들은 공통적으로 다양한 형태의 미세패턴들이 고르게 분포되어 있다. 이러한 미세 형상 부품들은 다양한 첨단 제품들에 사용되어 지고 있어 예전부터 많은 연구들이 진행되어 왔다⁽¹⁻⁵⁾.

현재 수행중인 마이크로 가공기술은 리소그래피와 에칭 등의 반도체 공정기술을 응용한 것과 절삭, 연삭, 방전가공, 레이저 가공 등의 일반 기계가공 기술을 응용한 것으로 크게 분류된다.

전자는 동일 부품의 형상 자체를 대량 가공하는 경우에는 큰 장점을 갖고 있으나, 공정상 에칭등의 부대 공정을 고려하면 제조공정 전체의 측면에서는 비경제적인 면이 많다. 또한 비교적 작은 수량의 다양한 부품을 가공하는 경우에는 고가의 마스크를 각각 사전에 제작해야 하는 어려움이 있으며, 또한 가공 가능한 가공물 크기 및 표면조도 면에서 제약이 있다^(6,7). 후자는 경제적인 측면에서 생산성은 양호하나 우수한 가공면을 얻기가 곤란하다. 이러한 제약을 극복하기 위한 방법으로서 미소 공구를 이용한 미세 형상 가공기술로 초정밀 미세형상 금형을 가공하고 이 금형으로 사출 혹은 압축 성형하여 미소부품이나 광학용 기능성 표면을 제조하는 기술⁽⁸⁾이 매우 경제적이면서 다용도로 활용될 수 있는 기술로서 관심의 대상이 되고 있다. 무엇보다도 미세 형상에 제조를 위한 기계가공 방법은 수 내지 수십 나노의 높은 표면조도를 확보 할 수 있어 광학부품이나 디스플레이 제품에 들어가는 미세 패턴의 제작에 최적의 방법으로 사용되고 있다. 수 내지 수십 나노 미터 수준의 고품의 가공 기술은 현재 금속 소재에 도금을 하고 단결정 다이아몬드

공구를 이용하여 가공하는 방법이 유일하다. 도금은 크게 동도금과 니켈 도금을 사용하고 있으며, 동 도금의 경우 니켈에 비해 경도가 약해 가공성이 좋다는 장점은 있으나 공기중에서 쉽게 산화되어 후처리가 필요하고 금형의 수명이 짧다는 단점이 있다. 근래에는 상용으로 생산하는 광학제품의 생산금형은 주로 무전해 니켈 도금 소재를 이용하고 있어 무전해 니켈 도금소재의 가공기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한 최근의 디스플레이 제품의 슬림화와 광효율 향상을 위해서 광학설계자들은 예각의 높은 세장비를 갖는 V-형상 미세 패턴의 요구가 많으나 실제 제작을 위해 예각 형상 가공시에는 Fig. 2와 같이 패턴의 버 및 변형으로 가공성이 좋지 않아 90°보다 큰 V-형상이 일반적으로 사용되어 지고 있다. 따라서 일반적인 초정밀 공작기계에서 가공 가능한 V-형상의 가공 한계가 주어지면 광학설계자 및 가공자의 시행착오를 줄여 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 20°~80°의 V-형상 다이아몬드 공구를 이용하여 무전해 니켈 도금 소재의 미세 패턴 가공 후 가공 형상을 분석함으로써 가공 한계를 실험적으로 제시하였다.

2. 실험 방법

2.1 가공 방법

초정밀 가공에서 V-형상 미세 패턴을 가공하는 방법은 크게 셰이핑(shaping)가공과 플라이 컷(fly-cut) 가공 두 가지가 있다. 셰이핑 가공은 V-형상의 공구를 이용하여 Fig. 3과 같이 소재를 깎아 내는 가공이며, 플라이 컷 가공은 밀링과 유사하게 공구를 회전시키면서 가공하는 방법이다. 본 실험에서는 가공에 주로 사용되어 지는 셰이핑 가공을 이용하여 V-형상 가공 후 가공성을 평가하고 추가로 플라이 컷 가공의 특성을 평가하였다.

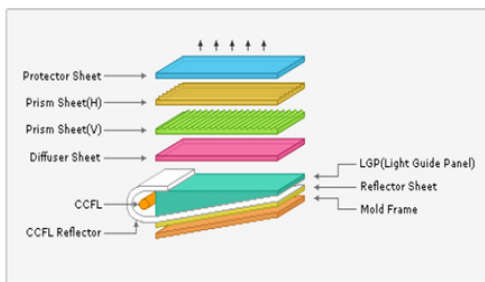


Fig. 1 BLU structure

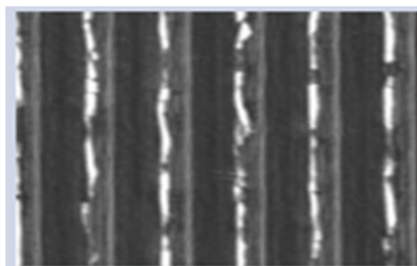


Fig. 2 Sharp pattern machining(Burr, Deformation)

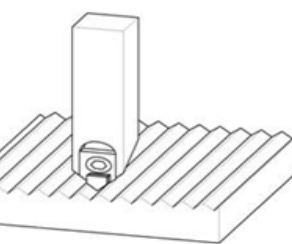
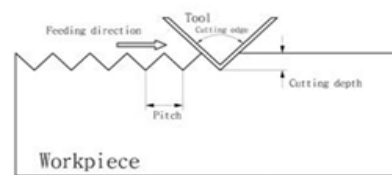


Fig. 3 Shaping technique

2.2 실험 장치

실험을 위해서 Table 1과 같은 규격을 갖는 도시바(Toshiba) UMP-160160D 모델을 활용하였다. 가공 소재는 Starvax 모재에 100 μ m 두께의 무전해 니켈 도금한 소재가 사용되었다. 단결정 다이아몬드 공구는 20 $^{\circ}$ ~80 $^{\circ}$ 공구각 및 0 $^{\circ}$ 의 경사각을 갖는 공구를 사용하였으며 패턴의 높이는 1 μ m~10 μ m 패턴을 가공하여 패턴 형상을 측정하였다. Fig. 4는 실험 패턴의 형상을 보여주고 있다.

패턴 형상은 Keyence의 Violet Laser를 이용한 1nm 분해능과 3000배율을 갖는 공초점 현미경 VK-9700K 모델을 사용하였다. 실험 장비는 Fig. 5와 같으며 가공조건은 Table 2에 보여진다.

2.3 결과 및 고찰

Fig. 3에서 보는 것처럼 세이핑 가공을 이용하여 공구각, 이송거리(pitch) 및 절삭깊이(cutting depth)를 변경하면서 V-형상 가공을 수행하였다. 각 패턴은 가공성 평가를 위해서 현미경으로 관찰하였으며, Fig 6은 이송속도 3000mm/min에서 공구

Table 1 Specification of UMP-160160D

Main specifications		UMP-160160D
Table	Working surface (mm)	1550 × 1550
	C1 axis equipped (mm)	φ800
Travel	X (mm)	1600
	Y (mm)	1600
	Z (mm)	150
Maximum feed rate		X: 15000 mm/min, Y: 9000 mm/min, Z:3000mm/min
Programming resolution		X, Y, Z: 0.001 μ m, A,C:0.00001 $^{\circ}$

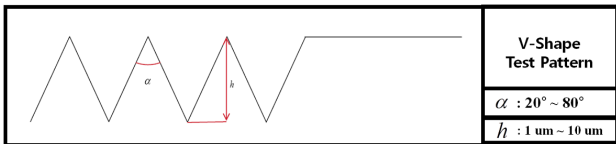


Fig. 4 Test V-shaped groove pattern

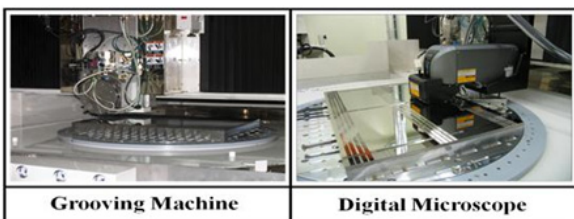


Fig. 5 Machine tool and measurement

각 20 $^{\circ}$ ~60 $^{\circ}$ 공구를 이용한 가공 실험 결과이다.

Fig 6에서 보는 것처럼 60 $^{\circ}$ 이하의 미세 패턴 가공에서 일반적인 가공방법으로 원하는 형상을 얻기가 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 7과 같이 공구접촉면에 수직한 방향으로 작용하는 절삭력에 의해 예각 패턴의 소성 변형이 쉽게 발생하기 때문으로 판단된다. 상대적으로 큰 공구각을 갖는 70 $^{\circ}$, 80 $^{\circ}$

Table 2 Experimental instruments and cutting conditions

Instruments	
Machine	UMP 160160D (Toshiba)
Tool	Diamond Tool 20 $^{\circ}$ ~80 $^{\circ}$ (V shape) (Sinjin Diamond)
Workpiece	Nickel-plated STARVAX substrate
Measurements	Optical Measurement: VK 9700 (Keyence Digital Microscope)
	Profile Measurement: UA3P (Panasonic)
Cutting conditions	
Feed	3000~7000 mm/min
Cutting Method	Grooving & Fly cutting

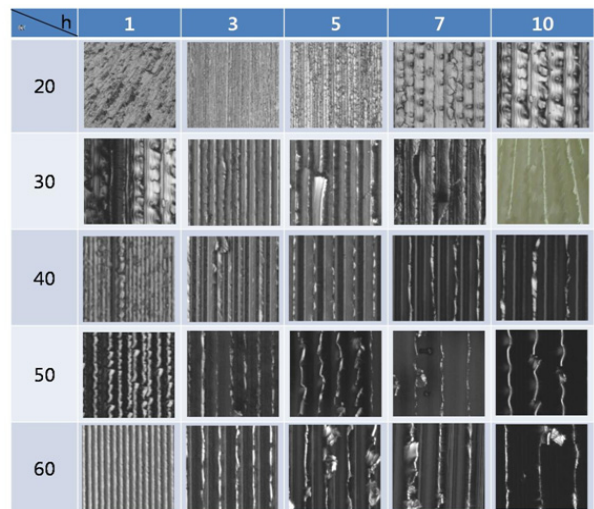


Fig. 6 Machining results at sharp angles

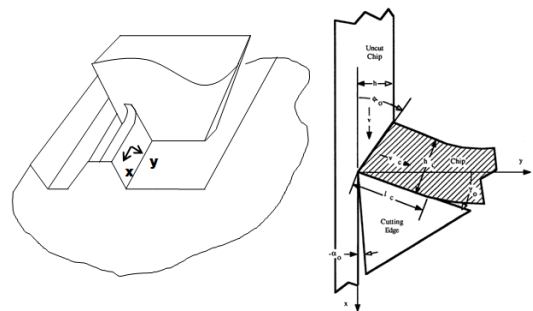


Fig. 7 Cutting force on the pattern

의 경우 가공 실험 결과는 Fig. 8과 같다. 비교적 큰 공구각을 갖는 경우는 60° 이하의 예각에 비해 가공성이 많이 개선되어 원하는 미세 패턴가공이 가능하다고 보여 진다. 하지만, 1 μ m과 3 μ m의 높이를 갖는 미세 패턴의 경우 현미경 관찰 결과를 가지고 판단하기가 쉽지 않음을 알 수 있다. 곳곳에 버의 발생이 보여 저서 광학제품 생산에 적합하지 않는 것으로 생각된다. 보다 정확한 가공 한계 측정을 위해서 파나소닉 UA3P를 이용해 패턴의 프로파일을 측정하였다. 측정 결과는 Fig 9와 같으며 70° 패턴의 경우 1 μ m, 3 μ m패턴은 가공의 균일도 면에서 적합하지 않음을 확인 할 수 있다. 또한 80° 패턴의 경우도 1 μ m 패턴의 가공이 정상적으로 이루어지지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 70° 5 μ m이상, 80° 3 μ m이상의 패턴의 경우만이 패턴의 변형 및 버의 발생에 따른 가공 불량 없이 가공이 가능함을 확인 하였다. 이는 패턴이 예각화 되면서 세장비가 높아져 패턴의 절삭력에 대한 지지력이 약해져 쉽게 소성변형이 발생하기

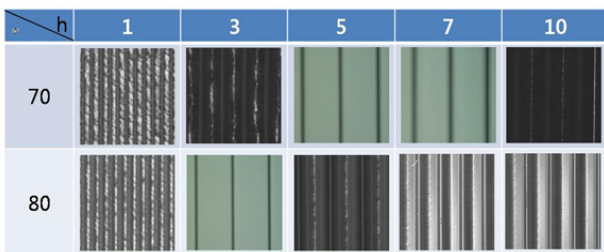


Fig. 8 Machining results at 70° and 80°



Fig. 9 Profile measurement on 70° and 80° patterns

α \ h	1	3	5	7	10
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					

Fig. 10 Acceptable region (dark gray color) for V-shaped grooves

때문으로 판단된다. 이상의 내용을 정리하면 가공 가능한 V-형상의 패턴은 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있다.

2.3.1 가공 조건의 영향

이송속도에 따른 가공 가능영역 변화를 확인하기 위해서 Fig 10의 경계 영역에 있는 70° 3 μ m와 5 μ m패턴에 대해 이송속도를 5000mm/min와 7000mm/min에서 다시 가공 실험을 한 후 결과를 측정하였다. Fig. 11에서 보는 것처럼 이송속도에 따른 가공성의 차이를 확인 할 수 없고 물리적인 패턴의 형상이 가공 한계를 결정하는 중요한 인자라는 것을 확인 하였다. 이는 패턴의 변형은 이송방향의 수직방향의 절삭력에 기인한다고 사료되며, 이송속도에 따른 절삭력 변화는 기존연구들에 의해 거의 무시할 만함으로 이론적으로 적합한 결과라고 생각된다.

또한 가공 장비에 따른 가공 가능 패턴의 한계 변화를 알아보기 위해 도시바 UMP-4550장비를 활용하여 동일한 실험을 수행하였지만, 허용 가능한 패턴의 각도 및 높이에는 변화가 없었다.

2.3.2 가공 방법의 영향

추가적으로 가공 방법에 따른 가공 한계의 변화를 확인하기 위해 70° 패턴에 회전하는 공구를 사용하는 플라이 커팅을 실시

Cutting condition	Pattern angle : 70 degree		
	3000 mm/min	5000 mm/min	7000 mm/min
Pattern height 3 μ m			
Pattern height 5 μ m			

Fig. 11 Machining results at feed rates of 5000 and 7000mm/min

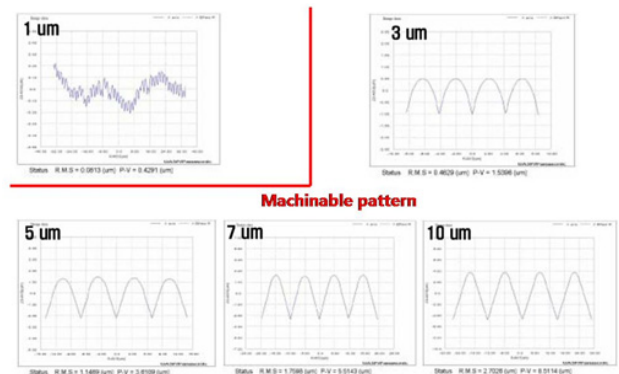


Fig. 12 Machining with fly-cut method

하였다. 플라이 컷의 직경은 110mm이고 회전속도는 10000rpm, 이송속도는 웨이핑과 동일하게 3000mm/min으로 하였다. Fig 12에서 보는 것처럼 3 μ m 패턴의 경우 세이핑 가공에 비해 좋은 가공성을 보였으며, 이는 작은 패턴의 경우는 플라이 컷팅 가공 방법이 보다 효율적임을 보여준다.

3. 결론

본 연구에서는 디스플레이 BLU 및 광학 필름 등에 주로 사용되어 지는 V-형상 미세 패턴의 가공 한계를 실험적으로 분석하였다. 실험은 무전해 니켈 도금 소재에 공구각 20°~80°를 갖는 단결정 다이아몬드 공구를 이용하여 1 μ m~10 μ m 패턴을 일반적인 가공방법을 사용하여 가공하고 가공 결과를 공초점 현미경 및 스타일러스를 이용하여 측정하여 허용 가공 영역을 설정하였다. 가공 가능 영역은 패턴의 각 및 높이와 같이 물리적인 형상이 중요하며 가공조건에 따른 차이는 크지 않음을 확인하였다. 또한 세이핑 가공에 비해 플라이 컷팅 가공은 작은 패턴의 가공에서 보다 효율적임을 확인하였다. 이와 같은 결과는 광학 설계자가 광학 제품을 설계할 때 중요한 자료로 사용되어 질 것이며, 설계와 가공에서의 일관된 데이터 제공으로 시행착오를 줄일 수 있어 생산성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012R1A1B4001609).

References

- (1) Park, W. K., Lee, D. M., and Hong, W. H., 2011, "A study on Basic Research Trends of Ultra-Precision Machining Technology in Korea," *Journal of Manufacturing Engineering & Technology*, Vol. 20, No. 1, pp. 86~95.
- (2) Li, Y., Guo, M., Zhou, Z., and Hu, M., 2002, "Micro electro discharge machine with an inchworm type of micro feed mechanism," *Precision engineering*, Vol. 26, No. 1, pp. 7~14.
- (3) Malek, C. K., and Saile, V., 2004, "Applications of LIGA technology to precision manufacturing of high-aspect-ratio micro-components and -systems; a review," *Microelectronics journal*, Vol. 35, No. 2, pp.131~143.
- (4) Kang, S. W., and Yang, H., 2000, "Improvement of thickness uniformity in nickel electroforming for the LIGA process," *Int. J. of Mach. Tools & Manu.*, Vol. 40, No. 7, pp. 1065~1072.
- (5) Yoo, C. K., Yoon, C. Y. and Hyun, D. H., 2009, "Research on Light Reflection Effect of the Optical Micro Pattern Using Ultra-Precision Technology," *Journal of Manufacturing Engineering & Technology*, Vol. 18, No. 6, pp. 621~628.
- (6) Rahman, Azizur., and Rahman, M., 2005, "CNC microturning: and application to miniaturization," *Int. J. of Mach. Tools & Manu.*, Vol. 45, No. 6, pp. 631~639.
- (7) Lim, H. S., Kumar, A. S. and Rahman, M., 2002, "Improvement of Form Accuracy in Hybrid Machining of Microstructures," *Journal of electronic materials*, Vol. 31, No. 10, pp. 1032~1038.
- (8) Lee, B. K., Kim, D. S., and Kwon, T. H., 2004, "Replication of microlens arrays by injection modeling," *Microsystem Technologies*, Vol. 10, No. 6/7, pp. 531~535.