

3차원 공초점 컬러현미경을 이용한 초정밀 절삭 가공면의 평가

An evaluation of machined surface finishing in ultra precision machining with 3-D confocal color microscope

**김태경¹, 정미숙¹, 김영일¹, 박상배¹, 박성호¹, 제태진²

#*T.K.Kim¹(fearless74@kpu.ac.kr), M.S.Jung¹, Y.I.Kim¹, S.B.Baarg¹, S.H.Park¹, T.J.Je²

¹ 한국산업기술대학교 나노광공학과, ² 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

Key words : Confocal Laser Scanning Microscope, Ultra Precision Machining, Micro Triangle Groove

1. 서론

평판형 디스플레이에 사용되는 광학부품을 생산하기 위해서는 2차원구조의 부품 생산기술인 실리콘기반의 화학적 식각공정에서 탈피하여 첨단 기능성소재의 3차원 구조를 가진 부품을 제작할 수 있는 방법을 사용해야 한다. 이를 위해서는 나노급 정밀도를 가지는 미세가공시스템과 미세공구 제작기술 등이 필요하다. 특히 수십에서 서브마이크로미터의 패턴을 새긴 프리즘 도광판과 다양한 패턴의 광학프리즘 시트, 재귀반사용시트 등은 고도의 정밀한 미세평삭가공기술이 요구되는 동시에 가공된 결과를 신속하게 확인 할 수 측정법이 뒷받침되어야 한다.

종래에는 마이크로미터 및 서브마이크로미터 단위의 미세패턴을 가공할 때 그 가공된 정도를 숙련된 기술자의 경험과 판단에 의존하는 실정이었으며, 주로 측정식 표면측정기를 사용하여 형상 및 표면거칠기를 측정해왔다. 이러한 방법은 수십 킬로그램의 하중을 가지는 대면적 금형의 표면 상태를 검사하거나 미세패턴 가공의 표면에 잠재된 이상 유무를 신속하게 확인하기에는 그 구조상 제품에 흔적이 남을 수 있고 하중을 견디기에도 적합하지 않았다. 따라서 가공의 품질이상을 신속하게 판단하여 재가공여부를 결정하기에는 측정식장비로는 거의 불가능하였고 결국에는 최종 시제품의 샘플을 부분적으로 측정하거나 완성된 모듈의 성능검사를 통하여 간접적으로 확인하는 것이 최선의 방법이였다. 한편 최근 비접촉측정기로서 높은 해상력과 다양한 측정프로그램을 내장한 현미경들이 출시되면서 이러한 문제들이 개선되고 있다. 이에 저자는 현재 도광판금형 직가공기로 절삭한 가공품들에 대해 공초점 방식의 마이크로스코프를 장착한 대면적 검사용 표면 측정기를 이용하여 신속한 측정과 평가를 하여 그 정밀도를 비교 평가하고자 하였다.

2. 장치 및 방법

공초점 현미경은 일반 현미경 기술의 확장으로 삼차원 영상 획득을 목표로 한다. Fig.1은 기본적인 형태의 공초점 현미경의 원리를 보여준다. 광원에서 조사되는 여기광(excitation light)은 다이크로 거울(dichroic mirror)에 의해 반사된 후 대물렌즈를 통과하여 관찰물 표면에 초점을 형성하고, 관찰물의 표면에서 반사된 빛은 대물렌즈를 통과하여 핀홀 조리개(pinhole diaphragm)에서 초점이 맺힌다. 여기서 시료상의 초점과 핀홀(pinhole)상의 초점이 일치하는데, 이것을 공초점(confocal)이라 하며, 이러한 공초점 원리와 광원으로서 레이저를 이용한 현미경을 공초점 레이저 주사현미경(Confocal Laser Scanning Microscope)이라 한다. 여기서 초점면에서 반사된 빛은 공초점 핀홀 조리개(Confocal Pinhole Diaphragm)에 의해 효율적으로 억제되는데, 이러한 과정을 통하여 경로에서 벗어난 빛을 상당량 제거함으로써 고해상도의 이미지를 얻을 수 있다. 일반 현미경과의 차이점은 광원과 수광소자에 각각 작은 직경을 갖는 핀홀(pinhole)이 설치되어 있다는 점이다. 점광원으로 부터 출발한 광은 현미경 대물렌즈에 의해 물체표면의 초점에 해당되는 한 점에 집광되고 이로부터 반사한 광들은 다시 대물렌즈를 거쳐 광분할기에서 부분 반사되며 이후 핀홀(pinhole)을 통과하여 수광소자에 결상되게 된다. 이때 측정표면의 위치가 초점으로부터 벗어나게 되면 대부분의 광이 수광소자의 전단 핀홀(pinhole)에 의해 차단되게 되며, 측정표면이 초점의 위치에 있을 경우에만 대부분의 광이 핀홀(pinhole)을 통과하게 된다. 이러한 공초점 현미경의 점대점(point to point) 결상 방식으로 인하여 일반 현미경과 비교하여 선명한 상을 얻을 수 있으며, 더욱 중요한 장점으로는 초점의 위치를 측정물체의 표면과 깊이 방향으

로 적절히 주사할 경우 삼차원의 영상 정보를 얻을 수 있다는 것이다. 현재 초점위치의 주사방법으로는 회전디스크, 갈바노미터, 그리고 압전소자를 이용한 미세구동 메카니즘이 널리 이용되고 있다. 각각의 측정물체의 높이에서 관측된 영상은 컴퓨터 프로그램 기술을 활용하여 삼차원 영상(tomography)으로 구성되며 다양한 단면에서의 측정물체의 관찰과 분석을 가능하게 한다.

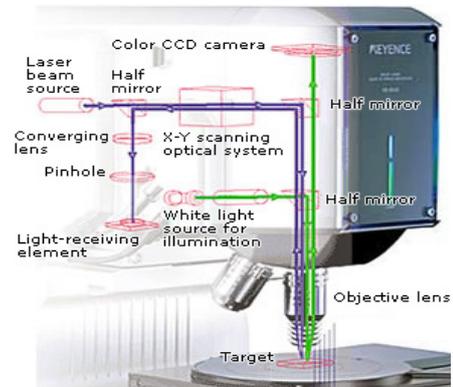


Fig.1 Schematic of Confocal Laser Scanning Microscope

Fig.2에서 볼 수 있는 측정스테이지는 가공물 표면의 정밀한 관측을 위해서 공압으로 수평면을 이루도록 하고 유정압 베어링을 사용하여 정밀한 위치제어가 가능하도록 하였다. 또한 측정물의 급속(2000mm/min), 정속(1000mm/min) 및 초저속(100mm/min) 이송이 가능하도록 하였고 X-Y-Z 축을 기본으로 하여 500x500x150(mm)으로 이송가능하며 대면적 중량의 금형도 측정이 가능하도록 하중이 최대100kg까지 견딜 수 있도록 설계하여 제작하였다. Fig.3에서 보듯이 광원으로는 가시광영역 한계의 단파장($\lambda=408\text{nm}$) 바이올렛 레이저를 사용한 키엔사의 VK-9500series를 탑재하여 X,Y축 평면 공간분해능이 0.14 μm 이고 Z축 계측 분해능이 0.01 μm 를 구현함으로써 광학배율이 18,000배가 가능하도록 하였다.



Fig.2 Photograph of 3-D measuring instrument

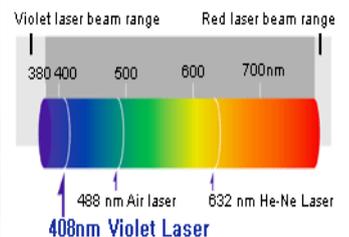


Fig.3 Schematic view of 408nm threshold wavelength

Table 1 Cutting condition of micro triangle groove

Workpiece	copper alloy (thickness 500 μm)
Cutting tool	90° Natural Diamond tool
Feed speed	5,000mm/min
Cutting depth	90 μm
Cutting oil condition	oil mist

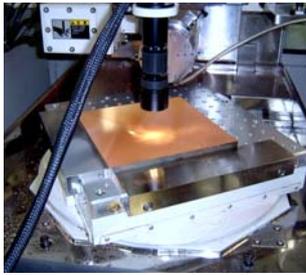


Fig.4 Setup of triangle cutting

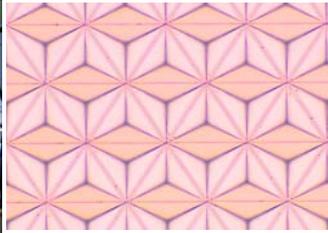


Fig.5 Photograph of micro triangle pattern(x500)

본 연구에서 3차원 측정에서 사용된 측정물은 재귀반사시트의 제작에 사용되는 마이크로 사면체 꼴의 금형이다. 가공소재는 경도가 Hv230인 동합금이며 초정밀평삭도광관가공기로 가공하였다. Fig.4 는 가공장면을 보여주고 있으며, table 1은 가공에 따른 절삭조건을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

Fig.5는 공구현미경으로 관찰하였을 때, 가공이 완료된 금형의 표면을 촬영한 것이다. 기존의 현미경을 이용한 평가 방법으로서 가공표면이 양호하게 나타났으나 Fig.6의 raw image와 Fig.7의 3-D image로 가공표면을 평가한 결과 큰 차이 값을 나타냄을 알 수 있었다. Fig.8은 형상 치수 값을 나타낸 것이며, Fig.9는 surface roughness를 Ra, Ry, Rz로 나타낸 것이다. 한편 평탄한 동일 가공물의 일정 부분에 대하여 원자간력 형상측정기인 UA3P와 본 연구에서 사용된 공초점 현미경을 이용하여 측정하였고, 이를 비교 평가한 결과 table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

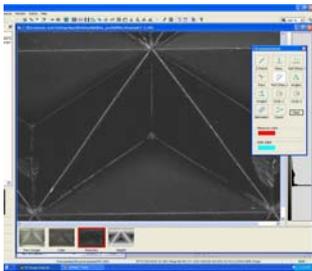


Fig.6 Photograph of raw image

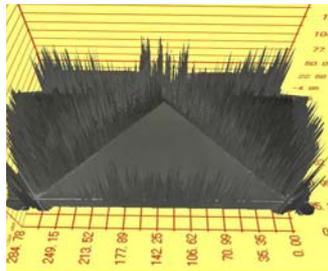


Fig.7 Photograph of 3-D micro triangle pattern

Table 2 Comparison of surface roughness (µm)

	원자간력 형상측정기(UA3P)	3-D confocal microscope
Ra	0.09	0.12
Ry	0.80	0.89
Rz	0.61	0.64

4. 결론

일반적으로 단결정 다이아몬드공구를 이용하여 초정밀 절삭을 하는 나노급 정밀도의 미세가공시스템에서는 절삭소재, 가공장비, 가공환경의 영향이 매우 중요하다. 이와 더불어 가공이 끝난 후의 정밀한 측정도 뒷받침되어야 한다.

그동안 평판형 디스플레이에 쓰이는 대면적 도광판(LGP)의 제작과 렌티큘라 렌즈(lenticular lens)의 제작에 필요한 평판형 직가공 과정에서 그 가공물 크기의 특성상 간접적으로 측정할 수밖에 없는 상황이었다.

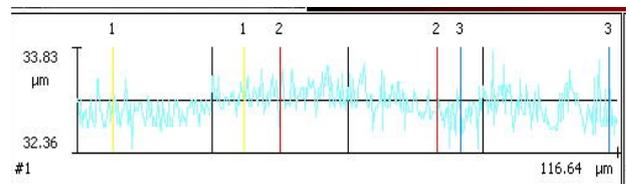
본 연구에서는 숙련된 기술자의 경험과 판단에 의존하였던 기존의 금형표면측정방법과 주로 측정식 표면측정기에 의존하여 형상 및 표면 거칠기를 측정해온 어려움을 인식하고 보다 다루기 쉬우면서 신속하고 정확한 측정 자료를 산출하는 방법을 제시하였다. 수십 킬로그램의 하중을 가지는 금형의 표면상태를 검사하거나 대면적 미세패턴 가공 표면에 잠재된 이상 유무를 신속하게 확인하는데 있어서 본 연구가 실제적인 도움이 되기를 기대한다.

Seg.	H. dist.	V. dist.	Angle	Comment
Entire	197.65µm	3.63µm	1.05°	
1	84.63µm	87.67µm	46.01°	
2				
Total	84.63µm	87.67µm	46.01°	
Max.	84.63µm	87.67µm	46.01°	
Min.	84.63µm	87.67µm	46.01°	
Av.	84.63µm	87.67µm	46.01°	

Seg.	H. dist.	V. dist.	Angle	Comment
Entire	263.11µm	34.28µm	7.42°	
1	151.08µm	85.13µm	29.40°	
2				
Total	151.08µm	85.13µm	29.40°	
Max.	151.08µm	85.13µm	29.40°	
Min.	151.08µm	85.13µm	29.40°	
Av.	151.08µm	85.13µm	29.40°	

Seg.	H. dist.	V. dist.	Angle	Comment
Entire	247.47µm	6.44µm	1.49°	
1	145.11µm	87.80µm	31.18°	
2				
Total	208.74µm	113.51µm	53.18°	
Max.	145.11µm	87.80µm	31.18°	
Min.	63.63µm	25.71µm	22.00°	
Av.	104.37µm	56.76µm	26.59°	

Fig.8 Measuring data of micro triangle pattern



Seg.	Ra	Ry	Rz
Total	0.49µm	3.28µm	2.42µm
Max.	0.20µm	1.37µm	1.01µm
Min.	0.13µm	0.93µm	0.64µm
Av.	0.16µm	1.09µm	0.81µm
Std Dv	0.03µm	0.20µm	0.15µm
3sigma	0.09µm	0.59µm	0.46µm

Fig.9 Surface roughness of micro triangle pattern (Ra,Ry,Rz)

후기

본 연구는 산업자원부의 산업기반조성사업 중 “초정밀광학 클러스터 기반구축” 과제의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 제태진,이종찬,"마이크로 부품제조를 위한 미세절삭공정 연구,"금오공대박사학위논문,2004.
2. 제태진,이종찬,최환,이응숙,"다이아몬드 공구에 의한 미세 그루브 금형 가공기술 연구," 한국기계가공학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, 2003. 11, pp. 125 ~ 129
3. 최두선, 제태진, 유영은, 이응숙,"기계적인 마이크로 절삭가공기술," 기계저널 제46권 제6호, 2006. 6, pp. 34 ~ 40
4. 홍성민, 제태진, 이동주, 이종찬," 피삭재에 따른 V형 다이아몬드 공구의 절삭특성 연구," 한국기계가공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, 2005. 11, pp. 53 ~ 58
5. 유송민, 최인,"진폭 및 기술기분포를 통한 선삭가공의 표면거칠기 분석," 한국자동차공학회춘계학술대회논문집, 1993, 6, pp. 592~600
6. 공재향, 사승윤, 유봉환,"통계적 방법을 이용한 니켈도금 표면거칠기의 텍처 해석," 대한기계학회논문집 A권 제24권 제5호, 2000. 5, pp. 1254 ~ 1260
7. 최기홍, 최기상,"엔트로피 개념을 이용한 절삭가공에서 표면거칠기의 특성화," 대한기계학회 논문집 제18권 제12호, 1994. 12, pp. 3118~3126
8. 조민식, 정태호, 오문수, 이수상, 이재철,"위상측정 간접계를 이용한 sub-Å급 표면거칠기 측정," 한국광학회 동계학술발표회논문집, 2000. 2, pp. 176 ~ 177
9. 조홍진, 남기봉,"현미경을 이용한 무한 심도의 영상 구성과 3차원 형상의 측정," 한국광학회 동계학술발표회논문집, 1999. 2, pp. 16 ~ 17
10. 최기준, 정창섭, 심상현, "대칭 및 비대칭 binary filter가 수차를 포함한 광학계의 측상 GAIN에 미치는 영향," 한국광학회지 제12권 제3호, 2001. 6, pp. 165 ~ 171