

정밀 광학부품 가공 공정용 on-line 표면 거칠기 측정 방법

Novel on-line surface roughness measurement method for precision optics fabrication

유성열, 변용익, 김석환, 양호순*, 이윤우*, 이재협*

연세대학교 천문우주학과, *표준연구원 우주광학연구단

syyu@galaxy.yonsei.ac.kr

일반적으로 광학부품의 제작 공정에 있어서 가공 작업과 측정 작업은 분리되어 수행 되어 지므로, 작업 생산 효율의 저하요인으로 지적되어 왔다. 현재 가공 공정 효율을 높이기 위해서 가공 공정와 형상 측정 공정의 결합에 대한 연구가 영국의 Zeeko사, 미국의 아리조나 College of optics sciences, 한국의 표준연구원 등에서 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나 표면 거칠기 또한 광학 부품의 질을 결정하는 중요한 요소임에도 불구하고 광가공 공정과 표면 거칠기 측정 공정을 동시에 수행 하기위한 연구는 미미하여 왔다.

한편 이미 수치 제어 금속 가공 분야 에서는 가공 장치와 표면 거칠기 장치를 결합하여 on-line에서 표면 거칠기(Ra)를 측정하기 위한 많은 연구들이 수행되었다. 이때 사용한 대표적인 on-line 거칠기 측정 방법은 computer vision, angular speckle correlation, scattering pattern, speckle pattern 등이 있다. 이 방법들 sub-micrometer 거칠기 범위와 금속 가공에 목적을 두고 있어서 광학 부품 가공에 기술적으로 직접 적용하기가 어렵다는 단점이 있어 왔다. 본 연구 목적은 레이저 스펙클 패턴(speckle pattern)을 이용하여 광학부품의 표면 거칠기를 on-line 에서 수 나노미터 ~수백 나노미터의 Ra 범위를 갖는 실시간 표면 거칠기 측정 기술 방법을 개발하여 정밀 광학부품 제작 공정 효율을 높이는데 있다

본 연구에 사용된 실험 장치는 He-Ne 레이저(632.8 nm), BK7 표면 거칠기 시편, 스크린, CCD로 구성되며, 구성은 그림 1 과 같다

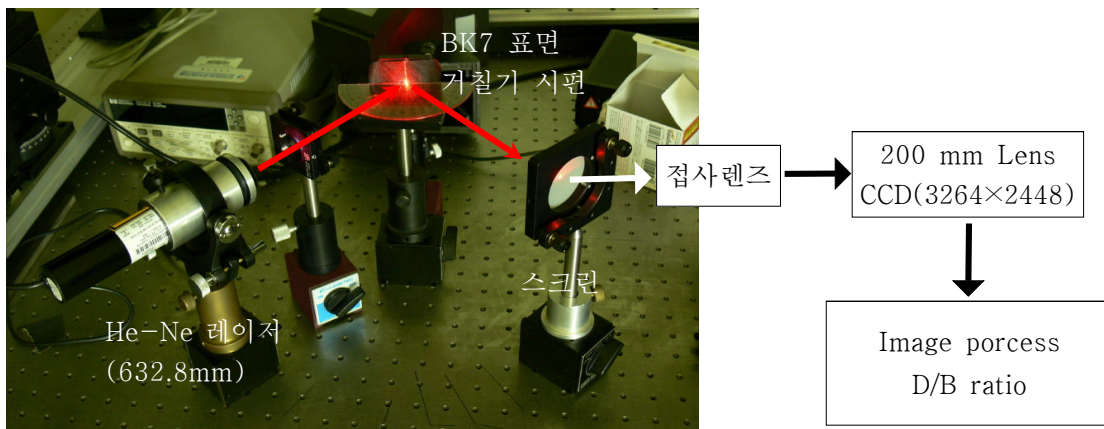


그림 1 실험 장치 구성도

레이저는 He-Ne 레이저(632.8nm)를 사용하여 입사각 30° 로 시편에 조사하였다. 표면 거칠기 시편은 연삭제 #800과 #1200을 이용해서 연삭하였고, 연마는 피치 패드와 산화 세륨을 사용해서 30개 시편을 가공하였다. 시편의 표면 거칠기는 백색광 간섭계 Nanoscan 과 20 배 대물렌즈를 사용하여 각 시편의 29 곳을 5 번씩 측정했고, 측정값을 평균해서 표면 거칠기(Ra)가 0.6 ~ 300 nm 범위를 갖도록 제작하였다. 이때 형상에 의한 표면 거칠기 영향을 제거하기 위해서 편평도를 PV = λ/10 이하로 가공하였다. 스크린에 형성된 스펙클 패턴은 레이녹스사의 DCR-250 접사렌즈와 파나소닉사의 DMC-FZ30 디지털 카메라(200mm)를 사용하여 칼라 패턴 화상을 그림 2 와 같이 획득하였다. 얻어진 패턴 화상은 RGB 8bit 3264×2448의 해상도를 갖으나, 분석 시간을 줄이기 위해서 패턴 화상을 30 % (979×734) 로 축소하고 RGB중에 R 8bit 화상만을 사용하였다.

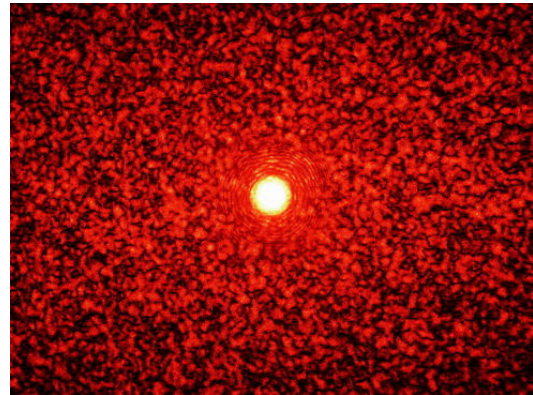


그림 2 Ra = 62.4 nm

패턴 화상 분석 방법은 Dark/Bright ratio⁽¹⁾ (D/B ratio) 라는 방법을 사용했다. D/B ratio는 화상 중에서 전체 화소에 대한 어떤 특정한 값보다 밝은 화소비율을 bright ratio, 어두운 화소 비율을 dark ratio 라 정의되는데, 이중 bright ratio를 사용하여 시편 표면들로부터 그림 3 과 같이 ratio를 획득하였다.

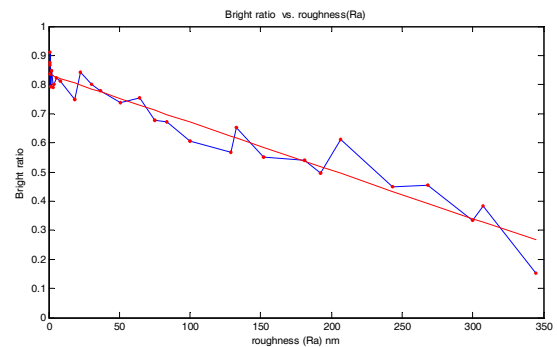


그림 3 bright ratio vs. roughness(Ra)

이 같이 측정된 bright ratio와 Nanoscan 을 이용해서 얻어진 Ra 사이를 최소자승법을 이용하여 관계식을 그림 3 과 같이 찾아냈다.

$$Ra = -\frac{Bright\ ratio - 0.8354}{0.001651}, \quad (X^2=0.94) \quad (1)$$

위 관계식 (1)을 이용하면 on-line에서 얻어진 레이저 패턴 화상의 bright ratio 로부터 Ra = 1 ~ 350 nm 구간에서 표준오차 ±28.6 nm 이내의 정밀도로 표면 거칠기가 측정 가능함을 알 수 있다. 이는 보다 많은 실험 측정 자료에 고차함수 최소자승법을 도입하면, 표면 연마 작업공정 효율을 획기적으로 증가시킬 수도 있음을 의미한다.

현재 이와 같은 실험적 증거에 기반을 두고 Delaunay meshing 기법을 사용하여 측정된 Ra를 갖는 가상 거칠기 시편을 만들고, 3차 반사 광선추적(ray-tracing) 기법을 이용한 관측 된(그림 2) 스펙클 패턴을 반복적으로 구현 할 수 있는 이론적 수치 모의 모델을 수행 중에 있다.

참고문헌

1. Wang W, Wong PL, Luo JB, Zhang Z. "A new optical technique for roughness measurement on moving surface". Tribo Int Vol 31, No. 5, pp. 281-287, 1998