

# 표면 형상에 따른 레이저 산란 특성 분석에 관한 연구

## A study on the analysis of laser scattering characteristics depending on surface shapes

\*홍연기<sup>1</sup>, #김경범<sup>2</sup>

\*Y. K. Hong<sup>1</sup>, #G. B. Kim(kimgb@cjnu.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충주대학교 대학원 항공·기계설계 학과, <sup>2</sup>충주대학교 항공·기계설계학과

Key words : Deflection angle, Laser scattering characteristics, Rayleigh criterion, Surface roughness

### 1. 서론

최근 IT/BT/ST/NT분야가 발전함에 따라 제품의 소형화 고 정밀도화가 요구됨에 따라 가공 부품 역시 극소의 치수와 정밀도가 요구되고 있다. 이에 따라 측정 정밀도도 마이크로미터 및 나노미터 수준을 요구하게 되고 측정기도 표면거칠기에 영향을 미칠 수 있는 접촉식에서 비접촉식으로 요구가 높아져 가고 있다. 이러한 추세에 발맞춰 STM(Scanning Tunneling Microscope)과 AFM(Atomic Force Microscope) 같은 나노미터 수준의 고분해능을 갖는 비접촉식 측정기기들이 다양하게 개발되어 사용되고 있으나 이들은 높은 수준의 측정 환경이 요구되고 측정 및 평가에 많은 시간이 요구되므로 신속한 피드백을 요구하는 생산성 향상에 지대한 영향을 미치는 인라인(in-line)측정에는 부적합하다. 이의 대안으로 인라인 측정을 위한 방법으로 광을 이용한 측정 방식이 일부 개발되어 사용되고 있으며 특히 최근 표면의 형상정보를 포함하고 있는 레이저를 이용한 광학 측정 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>1-3</sup> 하지만 이러한 연구 역시 가공방법에 따라 표면형상의 특징이 동일하게 나타나는, 즉 밀링(milling), 선삭(turning), 연삭(grinding) 등의 각각의 동일 가공 집단에 국한되어 있어 범용적으로 사용하기 위한 측정시스템에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구는 레이저 산란(laser scattering)을 이용하여 범용적으로 표면거칠기를 측정할 수 있는 레이저 산란 응용 측정 시스템 개발을 위한 기초 연구로 표면 가공방법에 따라 특징을 보이는 표면형상에 대한 레이저 산란광 이미지를 실험을 통해 획득한 후 비교, 평가 및 고찰하였다.

### 2. 측정 시스템의 구성

거친 표면에서 광산란은 1960년대 일반해가 구해진 이후 산란성분에 대한 지속적인 연구로 빛의 광로(optical path)를 기하학적 특성으로 예측할 수 있게 되었다. 거친 표면에서 빛의 반사는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>4,6</sup>

$$\omega = 2\delta \tag{1}$$

여기서  $\omega$ 는 입사된 광에 대한 정반사(specular reflection) 성분의 편향각(deflection angle)을 의미하고  $\delta$ 는 광이 입사된 거친 표면의 한 점에서의 기울기와 수평면과 이루는 각을 의미한다. 이와 같은 내용들을 기반으로 하여 표면의 이미지 획득을 위한 기본적인 레이저 산란 메커니즘을 Fig. 1에 도시한 개념과 같이 구성하였다. 1392×1040 해상도에 픽셀크기(pixel size) 4.65 $\mu\text{m}$ ×4.65 $\mu\text{m}$ 을 갖는 카메라는 표준법선 방향에 위치시켜 이미지가 왜곡될 가능성을 최소화하였고, 조명은 긴 파장에 속하는 636.6nm의 레이저 집광원을 사용함으로써 거친 표면에 대해 강건하게 구성하였다. 또한 레이저의 입사각은 정반사 성분에 의해 나타나는 잡음을 최소화할 수 있는 경사입사법(grazing incidence)을 적용하여 80°로 선정하고 이 값이 유효한지를 레일리 기준<sup>6</sup>

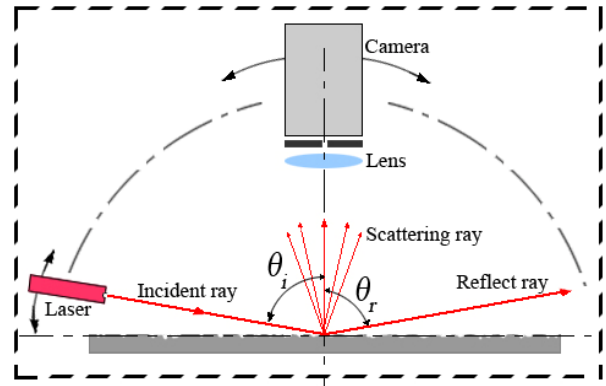


Fig. 1 Laser scattering system for the evaluation of surface roughness

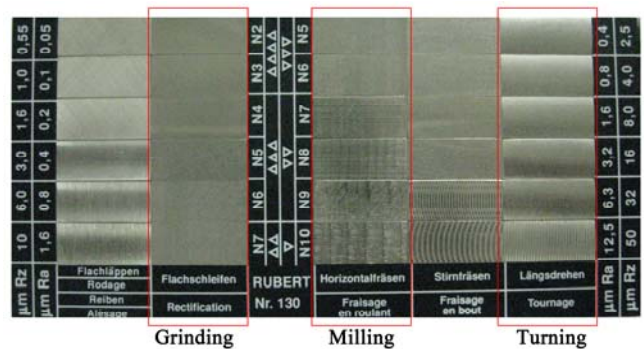


Fig. 2 Experimental machined specimens

(Rayleigh's criterion)에 의해 확인하였다. 카메라와 레이저는 동일평면(coplanar)에서 포커스를 측정표면의 한 점에 일치 시킴으로써 실험 시 나타날 수 있는 오류를 최소화 하였다.

실험 방법은 측정표면의 가공결(machined lay)에 직교방향으로 레이저를 입사하여 거친 표면의 경사진 영역에서 산란된 레이저 성분을 검출하는 방식으로 Fig. 2에 나타난  $R_a$ 값이 0.8 $\mu\text{m}$ ,  $R_z$ 값이 4.0~6.0 $\mu\text{m}$ 인 RUBERT No. 130의 밀링, 선삭, 연삭가공에 대한 표면거칠기 시편 이용하여 반복 실험을 수행함으로써 획득 이미지에 대한 신뢰성을 확보하였다.

### 3. 레이저 산란영상 비교 및 분석

앞 절에서 언급한 내용을 바탕으로 실험을 수행하여 Fig. 3와 같은 결과 이미지를 획득하였다. 먼저 세가지 이미지를 통해 동일한 광학계 조건에서도 특징이 다른 가공 표면에 대한 산란광 획득이 가능함을 확인할 수 있었다.

먼저 선삭가공에 의해 형성된 표면의 경우 세로방향의 띠 모양의 산란광이 비교적 일정한 간격으로 이미지 안에서 획득됨을 알 수 있다. 이에 측정표면을 광학현미경을 통해 관찰한 결과 선삭가공 시 레이저 입사방향에 직교방향으로 나타나는 공구 이송속도에 관련된 표면형상의 특징

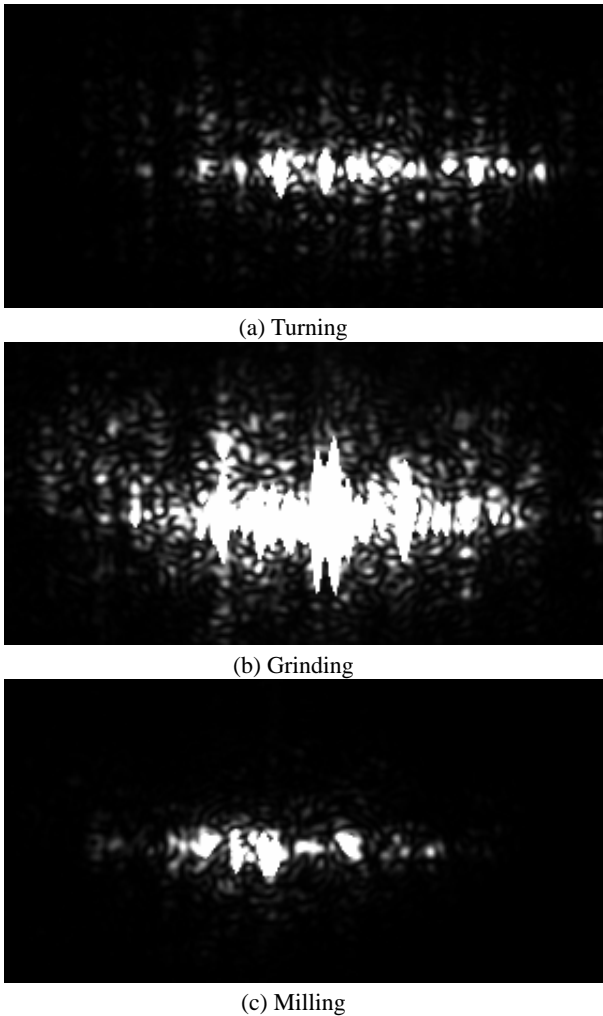


Fig. 2 Laser scattering images of each surface shape

인 가공결이 이미지에 획득된 것으로 판단된다. 연삭가공에 의해 형성된 표면의 경우 선삭가공과 유사한 세로방향의 띠 모양이 나타나기는 하나 띠의 방향이나 발생 빈도 수가 불규칙 적이고 광강도가 강한 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 분석하기 위해 이 역시 측정 표면을 광학현미경을 통해 관찰한 결과 레이저 입사방향에 대해 직교하는 가공결이 매우 불규칙한 형태로 매우 조밀하게 형성되어 있었다. 이 두 영상의 비교를 통해 이미지에 획득되는 세로방향의 띠 형태는 가공결의 경사면에서 획득되는 레이저 산란광이라는 것과 표면의 굴곡이 조밀하게 형성될 경우 이는 광강도에 영향을 미친다는 것을 추론할 수 있다. 밀링가공에 의해 형성된 표면의 경우 가지적으로 확인할 수 있는 표면의 특성에 비해 영상에 맺히는 레이저 산란광은 상대적으로 미세하였다. 이는 측정시스템의 특성상 레이저 입사방향에 직교하는 가공결에서 강한 산란광을 얻는 특성 때문이다. 밀링에 의해 가공된 표면의 경우 공구의 회전에 의해 발생하는 가공결과 공구 이송속도에 따라 나타나는 가공결이 공존하는데 공구회전에 의해 나타나는 가공결의 경우 조밀함에도 불구하고 레이저의 입사방향 평행하게 형성되어 대부분 영상에 획득되지 못하고 정반사 성분과 함께 산란광 검출 영역을 회피할 것이고, 반면에 공구 이송속도에 의해 나타난 가공결의 특성의 경우 동일 영역 내에서 선삭과 연삭가공에 비해 발생빈도수가 상대적으로 적어 영상으로 획득되기는 하나 그 양이 적은 것이라 판단된다.

마지막으로 Fig. 3 의 세가지 이미지에서 공통적으로 나타나는 특징은 길이 방향에 대해 획득된 세로방향의 픽셀

들이 일종의 골과 마루를 갖는 굴곡을 형성하는 것이다. 이는 암시야 조건의 조명방식에 있어서의 특징이라 할 수 있는데 이미지로 획득되는 긴 띠 형상은 거친 표면의 경사면에서 편향된 정반사 성분과 산란광이라 할 수 있고, 이미지 상에서 세로방향의 두께가 좁게 나타나는 부분은 실제 거친 표면에서 정반사 성분을 많이 나타내게 하는 골과 마루 영역이라 판단 된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 범용적으로 활용 가능한 표면거칠기 측정 및 평가 시스템을 구현하기 위한 기초 실험으로 가공 방법에 따라 나타나는 거친 표면형상의 특징들이 레이저 산란광에 미치는 영향에 관한 실험이 수행되었다. 그 결과 표준 법선 방향에 카메라를 위치시킬 경우 입사하는 레이저의 방향에 대해 직교방향으로 위치된 표면 형상의 경사면에서 산란광이 검출되고, 이와 같은 경사면의 발생빈도가 높을수록 획득되는 광의 강도가 높아짐을 추정하였다. 또한 선삭, 연삭, 밀링가공에 의해 형성된 표면의 특징에 종속적인 산란광이 획득됨을 이미지 분석을 통해 알 수 있었다. 향후 가공표면의 특징, 표면거칠기, 레이저 입사각, 카메라 관찰각 등의 상호 관계성 고찰을 통해 레이저 산란 이미지에 영향 미치는 인자들을 선별한 후 실험계획법을 이용하여 범용적으로 활용할 수 있는 시스템에서의 각각의 표면형상에 대한 향상된 이미지를 획득할 수 있는 최적의 인자 값들을 찾는 연구가 진행될 예정이다.

#### 참고문헌

1. 서영호, 안중환, 김화영, 김선호, “레이저 반사광 분석을 통한 미세 표면 프로파일 추정 알고리즘 개발,” 한국정밀공학회지, 22, 64-71, 2005.
2. 김경범, 한재철, “적외선차단필터의 표면 검사를 위한 암시야 레이저산란에 대한 실험적 분석,” 한국정밀공학회지, 24, 76-83, 2007.
3. Ghassan A. Al-Kindi, Bihan Shirzadeh, “Feasibility assessment of vision-based surface roughness parameters acquisition for different types of machined specimens,” Image and Vision Computing, 27, 444-458, 2009.
4. Beckmann, P. and Spizzichino, A., The scattering of electromagnetic waves from rough surface, Pergamon Press, 1963.
5. Nayar, S. K., Ikeuchi, K. and Kanade, T., Surface reflection: physical and geometrical perspectives, IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 13, Issue 7, pp. 611-634, 1991.
6. Bakolias, C., “Dark field, scheinpflug imaging for surface inspection,” Journal of SPIE, Vol. 3029, pp. 57-68, 1997.