

레이저 산란을 이용한 마이크로 부품의 표면성상 모니터링 Surface texture monitoring for micro-parts using laser scattering

**하태호, 송준엽, 이창우

*#T. H. Ha(taehoha@kimm.re.kr), J. Y. Song, C. W. Lee,
한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부

Key words : Laser scattering, Surface texture, Micro-parts, Monitoring

1. 서론

표면 거칠기, 결함, 표면 오염과 같은 표면 성상은 가공품의 중요한 평가요인의 하나이다. 이들은 기계적 오작동, 과도한 광산란, 외관상 문제, 조립상 문제를 발생시킬 수 있다 [1]. 표면 거칠기의 경우 마이크로 매니플레이터로 10 μm ~ 10 mm 정도의 소형물체를 핸들링할 때 핸들러에 달라붙는 문제를 발생시키기도 한다. [2].

이와 같이 표면성상의 영향은 가공품의 크기가 작아질수록 더욱 심해지는데 표면 성상을 측정하는 장비로는 스타일러스 프로필로미터, 광학식 프로필로미터 등이 있다. 스타일러스 프로필로미터의 경우 신뢰성 높은 표면 측정 결과를 제공하지만 접촉식 측정방법으로 측정 시 시편에 손상을 입힐 수 있으며 또한 높은 곡률을 가지는 표면의 측정에 적합하지 않다. 이에 반해 광산란을 이용하는 광학식 프로필로미터의 경우 대상을 비접촉식으로 고속 측정이 가능하므로 프로세스 컨트롤에 적합한 방식이다. 또한, 측정 대상물의 산란 특성은 표면 정보를 반영하며, 입사각도, 광원의 편광 상태와 같은 입사 조건을 적절히 설정함에 따라 대상물의 특징적인 산란을 강조할 수 있다. 고정도 평가를 위해서는 디텍터의 위치, 수광범위, 편광상태와 같은 검출 조건이 중요한 요소 중의 하나이다. 그러나, 기존의 광산란 측정시스템은 고정된 입사조건하에 고정된 다수의 디텍터를 배치하여 측정하는 방식을 취하고 있거나 [3], BRDF 등의 2차원적인 측정만이 가능하였다. 따라서, 정해진 위치에서의 이산적인 산란강도 값만을 얻거나 제한된 정보로 측정대상물의 산란 특성을 분석하기에는 불충분하다.

본 연구에서는 산란 특성을 분석하여 최적의 표면 성상 모니터링조건을 도출하기 위하여 3차원적인 산란광 강도 분포의 측정이 가능한 레이저 산란 시스템을 개발하였다. 크기 125 mm \times 255 mm \times 375 mm 의 소형 시스템으로 다양한 입사조건 선정이 가능하며 디텍터 헤드의 위치를 3차원적으로 변경시킴에 따라 입체적인 산란광 패턴을 획득할 수 있게 설계되었다. 표준 표면 거칠기 시편을 이용한 산란광 측정 실험을 통하여 레이저 산란을 통한 표면 성상 모니터링의 가능성에 대하여 검증하였다.

2. 레이저 산란 측정 시스템

여기에서는 개발한 레이저 산란 측정 시스템에 대해서 간단하게 논한다. 본 프로토 타입은 회전스테이지를 이용하여 다양한 입사각의 선정이 가능하며, 디텍터 헤드를 두 개의 회전스테이지의 연속적인 동작에 의하여 측정 위치를 이동시킴으로써 대상으로 부터의 공간적인 산란광 강도분포의 측정이 가능하다. 기본적인 구조 및 3차원 산란측정 구조에 대해서는 선행연구에서 논하였으므로 자세한 설명은 생략하기로 한다 [4]. 본 연구에서는 시스템의 소형화와 측정 안정성을 확보를 위하여 기존의 시스템을 개선하여 광원으로 파장 405 nm 의 편광유지 파이버 레이저를 채용하였다. 레이저 산란의 경우 산란광 강도가 파장의 - 4승에 비례하는 점과 사용의 용이성을 감안하여 가시광 중 단파장대의 광원을 선택하였다. 레이저는 110 mm \times 56 mm \times 22 mm 의 크기의 소형 레이저로 0.25 % / 1 hrs 의 파워안정성을 가지는 모델이다. 디텍터의 경우도 광원의 파장에 거의 동일한 파장인 400 nm 에 피크 감도를 갖는 고감도 PMT (photomultiplier tube) 를 채용하였다. Fig 1 에 레이저 산란 측정 시스템 사진을 나타내었다.

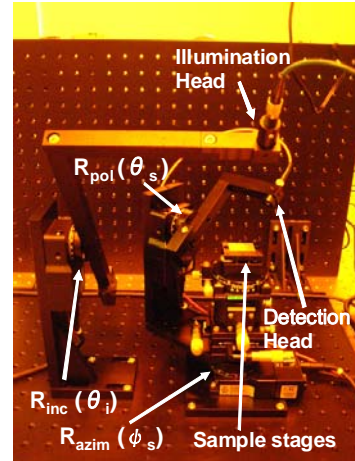


Fig. 1 Photograph of the system

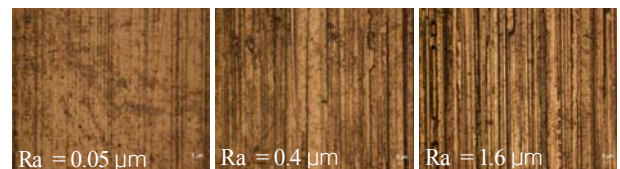
3. 레이저 산란 측정 결과

본 절에서는 레이저 산란 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 표준 표면 거칠기 샘플을 이용한 실험 결과에 대하여 논한다. 실험에 사용한 표준 표면 거칠기 시편은 기계가공용 표준시편인 Flexbar사의 surface roughness standards set (No.16008)로 이 중에서 상대적으로 낮은 표면 거칠기를 가지고 있는 그라인딩 표준시편과 플랫 랩핑 표준시편에 대한 산란광 측정실험을 행하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 Ra = 0.05 ~ 1.6 μm 사이의 그라인딩 시편 6종과 Ra = 0.05, 0.1, 0.2 μm 의 플랫 랩핑 시편 3종을 사용하였다.

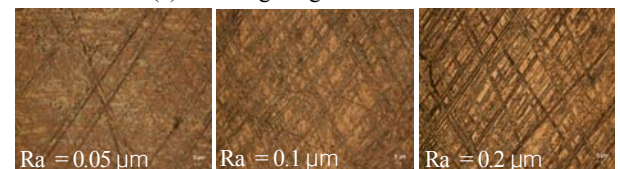
Fig 2는 각각 실험에 사용한 그라인딩 표준시편과 플랫 랩핑 표준시편의 현미경 관찰 사진 예이다. 그림에서 보는 바와 같이 각각의 시편 표면에 특징적인 텍스처가 형성되어있음을 확인할 수 있다.

Table 1 Standard roughness specimens

	Grinding specimen	Flat lapping specimen
Roughness (Ra)	0.05	0.05
[μm]	0.1	0.1
	0.2	0.2
	0.4	
	0.8	



(a) Grinding roughness standards



(b) Flat lapping roughness standards

Fig. 2 Surface roughness standards

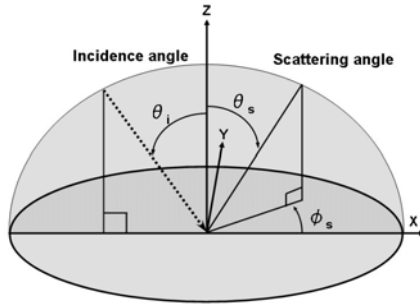


Fig. 3 Coordinate system

본 시스템에 사용된 좌표계를 Fig. 3 에 나타내었다. θ_i , θ_s , ϕ_s 는 각각 입사각, 극각 방향의 산란각, 방위각 방향의 산란각으로 정의하였다.

Fig. 4는 그라인딩 표준 시편으로 부터의 3차원 산란광 패턴 측정결과에 예시 나타내었다. 입사조건은 P 편광상태로 45° 도 입사 시에 각각 극각과 방위각 방향으로 디텍터 헤드를 1° 스텝으로 이동시켰을 때 산란광 강도 측정값을 나타내었다. 그라인딩 표준시편의 경우 수직 방향의 일차원 표면 텍스처에 대하여 입사광은 Fig. 2의 좌측에서 입사시킨 결과이며 PMT의 출력 컨트롤 전압은 910 mV로 설정하였다. 산란광 강도 크기는 pseudo-color plot을 사용하여 도시하였으며, 강도가 클수록 적색에 가까우며 산란광 강도가 낮을수록 보라색으로, 산란광이 거의 존재하지 않는 곳을 회색으로 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 장치로는 획득이 불가능한 3차원 산란광 패턴을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 측정 대상물 표면의 수직 방향의 일차원 표면 텍스처에 대하여 직각방향으로 주 산란광 패턴이 집중되어 존재함을 확인 할 수 있었다.

보다 자세한 산란 특성 비교를 위하여 Fig. 4의 결과 중 가장 특징적인 산란을 보이는 방위각 $\phi_s = 0^\circ$ 입사일 때, 즉 입사면 상에서의 그라인딩 표준 시편으로 부터의 2차원 산란광 패턴을 Fig. 5 에 도시하였다. Fig. 5 에서 보는 바와 같이 입사각에 대응하는 강한 정반사광이 검출되었으며 표면 거칠기가 거칠어짐에 따라 정반사광의 강도는 감소하면서 전체적으로 산란광 분포가 넓은 각도영역으로 퍼져 분포하게 되며 이들 각도 분포를 상세히 파악 할 수 있음을 알 수 있다.

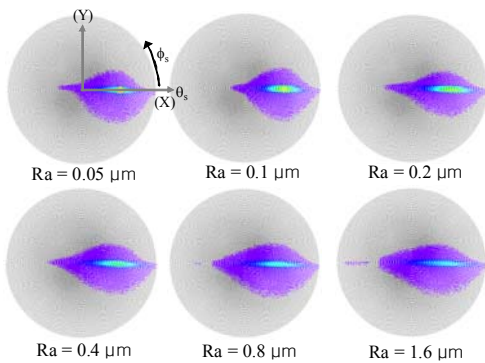


Fig. 4 Three-dimensional scattering patterns from grinding standard specimens

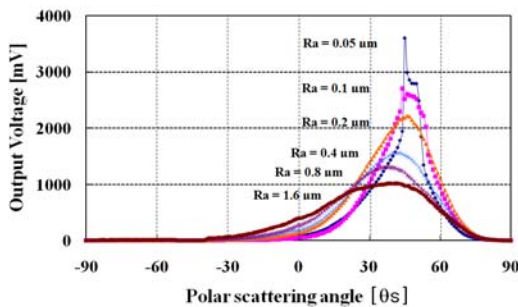


Fig. 5 Two-dimensional scattering patterns from grinding standard specimens

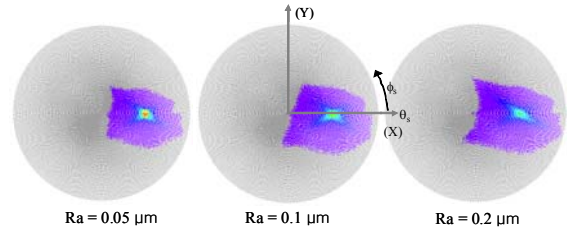


Fig. 6 Three-dimensional scattering patterns from flat lapping standard specimens

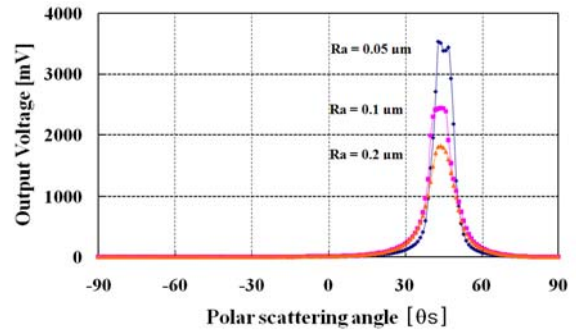


Fig. 7 Two-dimensional scattering patterns from flat lapping standard specimens

Fig 6 및 Fig 7은 동일한 실험 조건으로 플랫 랩핑 표준 시편에 대한 레이저 산란 측정결과를 나타낸다. 그라인딩 표준 시편과 달리 X 자 형태의 주 산란광 패턴을 확인 할 수 있었다. 이 산란광 패턴은 측정물 표면 성상을 반영한 것으로 이 역시 X 자 형태로 존재하는 각각의 가공흔에 대하여 각각 직각방향으로 시트형태의 산란광 패턴이 형성되었음을 알 수 있다. 입사광과 표면 텍스처의 상대적인 위치를 변경시켰을 경우에도 동일한 현상을 얻을 수 있었다.

이와 같은 실험 결과로부터 기존의 측정시스템에서는 얻을 수 없었던 3차원 레이저 산란 패턴을 획득할 수 있었으며, 이 산란 패턴은 측정대상물의 표면 성상 정보를 반영하고 있어 생산 모니터링을 위한 측정시스템의 최적화에 용이하게 사용될 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구에서는 측정대상물의 3차원적인 산란 패턴의 측정이 가능한 소형 레이저 산란 측정 시스템을 개발하여, 마이크로 부품에 그 영향이 더 커지는 표면 성상 모니터링을 위한 산란광 패턴 측정 실험을 행하였다. 그라인딩 및 플랫 랩핑 표준 시편을 이용한 측정 실험을 통하여 시스템의 유용성 및 표면 성상과 산란광 패턴과의 연관성에 대한 검증을 행하였다. 이 시스템은 측정대상물로 부터의 산란특성의 평가를 통해 최적화된 측정조건 도출에 유용한 툴로 사용될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Stove, J.C., "Optical scattering : measurement and analysis (2nd edn)", Optical Engineering Press, 19-27, 1995.
2. Lhernould, M.S, Lambert, P., Delchambre, A. Regnier, S., Influence of surfacetopography in electrostatic forces simulations for microassembly, proc. of IWFMF, 2006
3. Germer, T.A., Multidetector hemispherical polarized optical scattering instruments, proc. of SPIE 3784, pp 304-313
4. Ha, T.H., Lee, C.W., Song, J.Y., Development of miniaturized 3D scattering light pattern measurement system prototype, proc. of ICOMM, 133-138, 2008