

레이저 빔 반사 패턴을 이용한 표면 프로파일 추정

서영호*(부산대원 지능기계공학과), 김화영, 안중환(부산대 기계공학과)

Estimation of Surface Profile Using Reflected Laser Beam Pattern

Y. H. Seo(Mech. Eng. Dept., PNU), H. Y. Kim, J. H. Ahn(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

An optical method for surface roughness estimation based on statistical analysis of the light intensity of a scattered laser beam pattern. The method is very simple but has a disadvantage that no more information than the averaged roughness is estimated. In this study a new try was conducted to derive more advanced surface information from the details of the light intensity distribution. Some periodic ripples among the light intensity distribution being assumed to relate with scratch left on the machined surface, a corresponding surface profile is estimated from the ripples using FFT and IFFT algorithm. IFFT technique is used to extract some dominant signal components among the intensity distribution. Compared to the measured profiles by a stylus type surf-tester, the profiles obtained through the proposed method are probably acceptable in a sense of the profile shape. Calibration of the amplitude needs more works in the future.

Key Words : Reflected laser beam pattern(반사 레이저 빔 패턴), Surface roughness(표면 거칠기), Surface profile(표면 프로파일), Inverse FFT(역 고속 푸리에 변환), Image sensor(이미지 센서)

1. 서론

기계 가공면의 표면 거칠기를 측정하는 방법은 크게 기계적인 측정법을 사용한 접촉식 측정법과 광을 이용한 비접촉식 측정법으로 나눌 수 있다. 접촉식 측정법은 측정 원리가 간단하고 주위 환경의 영향을 적게 받으며 측정 값의 반복 정밀도가 높다는 장점을 갖고 있는 반면에 측정의 측정 압력으로 인한 측정면 손상과 측정 선단부의 크기로 인한 왜곡 및 마멸의 단점이 있다. 이의 대안으로 광을 이용한 비접촉식 측정법에 대한 관심이 커지고 있다. 광을 이용한 측정법에는 여러 가지가 있으나 그 중 광의 산란을 이용하여 측정하는 기법은 60년대 초 Beckmann⁽¹⁻²⁾에 의해 일반적인 해가 제시되었다.

본 논문에서는 선행 연구⁽³⁻⁴⁾를 토대로 산란광에 나타나는 빗살 무늬의 주기성을 분석한 뒤 이를 측정면의 표면 프로파일과 연관성을 찾는 것에 주안점을 둔다. 이것은 종래에 이루어졌던 산란 패턴의 광량 분포를 통계화한 뒤 그 수치에 의존하여 표면 거칠기를 추정하는 것과는 전혀 다른 시도이며 반복 정밀도의 신뢰성을 높여 줄 것으로 기대된다.

2. 실험 장치 및 구성

실험 장치는 마이크로 컨트롤러를 내장한 시스템으로 설계하였으며 크게 광학계와 광학계의 이송을 위한 기구부, 그리고 영상 처리 시스템으로 구성하였다. 영상처리 시스템은 영상을 획득하기 위한 CCD 이미지 센서와 획득한 영상을 처리하기 위한 마이크로 컨트롤러부, 그리고 EEPROM 상에 저장된 영상 처리 소프트웨어로 구성된다. 마이크로 컨트롤러의 처리 속도의 한계를 극복하기 위하여 영상 획득 장치 및 영상 처리 알고리즘은 최대한 간단하게 구성하였다.

2.1 광학계의 구성

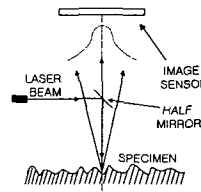


Fig. 1 Principle of acquiring reflected laser beam pattern

레이저 빔의 산란 패턴을 획득하기 위한 광학계의 구성으로서 레이저빔을 측정면에 수직으로 입사시키는 수직형으로 설계하였으며 그림 1에 도시하였다.

실험 장치를 소형화 시키기 위하여 레이저 빔을 수직으로 측정면에 입사시키기 위한 하프 미러를 제외하고는 별다른 광학 렌즈를 추가하지 않았다. 따라서 정확하게 이미지 센서에 산란 패턴을 맺히게 하기 위해서는 여러 번의 시행 착오를 통하여 적절하게 이미지 센서와 하프 미러의 위치를 조절하여 줄 필요가 있다. 그러나 이와 같은 노력은 실험 장치를 소형화시켜 이송 기구부에 쉽게 장착이 가능하도록 하였을 뿐 아니라 광학 렌즈로 인한 왜곡이 우려되지 않는 깨끗한 원 신호를 획득하는데 도움이 되었다.

2.2 기구부의 구성

레이저빔의 스폿은 점광원에 지나지 않으며 이 같이 제한된 크기의 광원을 통해 얻은 산란광으로서 충분히 측정면의 정보를 알 수가 없다. 따라서 측정식 표면 거칠기 측정기가 측침을 움직여 1차원 길이 방향의 프로파일을 획득하는 것에 착안하여 본 실험에서도 레이저 스폿을 움직일 수 있는 장치를 고안하였다.

레이저 스폿을 움직이기 위해서는 광학계 전체가 움직여주는 것이 이상적이다. 그러나 본 실험에서는 이송 기구부를 간단하게 하기 위하여 광학계를 고정하고 반대로 측정 시편을 움직여 주었다. 이와 같은 구조를 그림 2에서 보이고 있다. 광학계 ②와 마이크로 컨트롤러부 ③을 마그네틱 스탠드 ④를 이용하여 단단히 고정하였다. 그리고 X-Y 테이블 ①위에 측정용 시편을 올려 둔 뒤 마이크로 컨트롤러를 이용하여 X-Y 테이블을 구동하여 레이저 스폿을 움직일 수 있게 하였다.

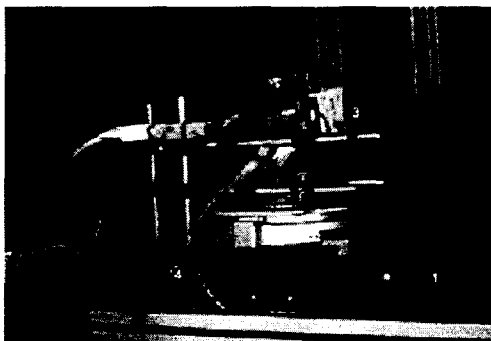


Fig. 2 Photograph of the measuring system

Table 1 Specification of CCD Image Sensor

Pixel Resolution	642×482
Pixel Size	8×8μm
Sensitivity	2.5V/lux·sec
Technology	0.5μm 2metal CMOS

2.3 영상 획득 시스템의 구성

영상 획득 시스템은 CCD 이미지 센서 및 그 전자 제어 컨트롤러로 구성된다. 그리고 마이크로 컨트롤러와의 전기적인 타이밍을 맞추어 주는 로직 회로와 이미지 버퍼링을 위한 용도의 램이 결합되어 있다. 표 1은 본 실험에서 사용한 CCD 이미지 센서의 사양이다.

2.4 영상 처리 소프트웨어의 구성

영상 처리 소프트웨어는 EEPROM에 저장되며 마이크로 컨트롤러에 의해 실행된다. 영상 처리 소프트웨어는 여러 모듈을 결합하여 완성하였다. 각각의 모듈은 크게 이미지 센서가 포화되지 않도록 하는 광량 안정화 알고리즘, 광 패턴을 분석하는 영상 처리 알고리즘, X-Y 테이블을 구동하는 알고리즘, 그리고 마이크로 컨트롤러의 초기화 및 PC 직렬 통신 루틴을 포함하는 루틴들로 나눌 수 있다.

그림 3은 PC상에서 동작하면서 마이크로 컨트롤러와 통신을 하는 데이터 수집용 소프트웨어를 나타낸다. 이러한 소프트웨어의 구현을 통해 정상적인 마이크로 컨트롤러의 동작 상태를 모니터링하면서 마이크로컨트롤러가 내보내는 영상 신호를 PC상에 저장할 수 있다.

3. 실험 방법

측정이 가능한 거칠기 영역의 측정면에 대하여 여러 부분으로 레이저빔의 스폿을 이동하며 CCD 이미지 센서를 이용하여 산란광을 획득한다.

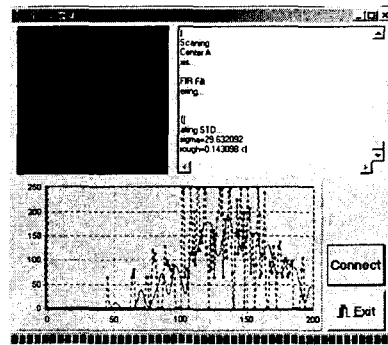


Fig. 3 Picture of data logger

본 실험에서는 측정면으로서 똑같은 재질과 가공 방법으로 제작된 표준 시편을 이용하며 거칠기를 대, 중, 소로 나누어 Ra가 각각 0.165, 0.05, 0.03인 시편을 준비한다.

그리고 그림 4에서 보인 측정식 표면 거칠기 측정기를 이용하여 측정면의 프로파일을 구한다. 레이저빔의 스폿 직경이 0.8mm이므로 프로파일 역시 이 범위에서 측정한다. 이렇게 구한 측정면의 프로파일을 통해 레이저빔의 산란광과 표면 프로파일간의 상관성을 규명할 수 있을 것이다. 측정면의 표면 프로파일을 얻기 위한 측정식 표면 거칠기 측정기 측정 범위 300 μ m를 지닌 Mitutoyo사의 휴대형 측정기 SJ-301을 사용하였다.

영상 처리 알고리즘의 구성을 그림 5에 도식화하였다. 영상 처리 알고리즘은 크게 이미지 전처리 과정과 광산란 패턴 분석 및 패턴 중심 축의 광강도 획득으로 나뉜다. 전처리 과정은 CCD 이미지 센서로부터 획득한 이미지에서 마이크로컨트롤러의 연산량을 줄이기 위하여 이미지의 반을 버리는 과정과 광강도 255레벨에 대해 주변광의 간섭으로 볼 수 있는 60레벨 이하를 0으로 이치화하는 과정으로 나눌 수 있다. 그리고 광산란 패턴 분석은 산란된 광의 패턴이 어느 정도의 각을 가지고 이미지 센서 상에 맺히는지 알아내는 단계이며 실험에서는 패턴의 중심점을 찾아 장축을 찾아내는 간단한 방법으로 구현한다. 끝으로 패턴의 장축에 분포한 광강도를 PC로 전송한 뒤 PC 상에서 주파수 스펙트럼의 특징적인 주파수를 추출한다. 그 뒤 이를 역 푸리에 변환하여 측정면의 프로파일과 상관성을 규명하기 위한 신호를 생성한다. 역 푸리에 변환에서는 주파수 스펙트럼 상에서 DC 성분을 제외한 피크 값을 여러 개 선택한다.

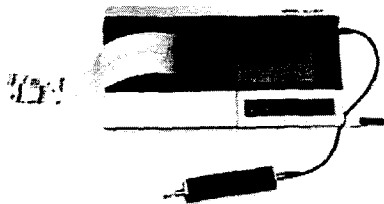


Fig. 4 Photograph of a portable surface tester

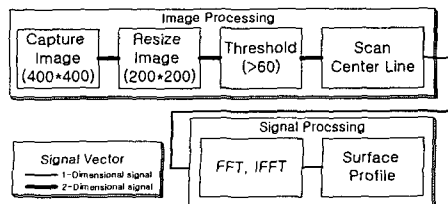


Fig. 5 Schematic diagram of image processing

(a) Specimen I (b) Specimen II (c) Specimen III
Fig. 6 Reflected laser beam patterns

4. 실험 결과 및 고찰

그림 6은 각각 표면 거칠기 Ra가 0.165, 0.05, 0.03인 시편 I, II, III에 대해 산란광을 획득한 것을 보여준다. Ra가 클수록 산란이 크게 일어나는 것을 확인할 수가 있다. 그림 7(a)와 그림 8(a) 및 그림 9(a)의 첫 번째 그래프는 시편 I, II, III의 표면 프로파일이다. 두 번째 그래프는 표면 프로파일의 주파수 스펙트럼에서 11개의 피크 값을 선택하여 그 중 DC 성분에 해당하는 첫 번째 피크값을 제외하고 나머지 주파수 성분으로 IFFT를 한 것을 보인다. 이것을 가지고 표면 프로파일의 특징적인 파형을 파악할 수 있으며 세 번째 그래프와 같이 나타난다. 그림 7(b)와 그림 8(b) 및 그림 9(b)의 첫 번째 그래프는 그림 6에 보인 세 가지 산란 패턴에 대한 장축 방향의 광량 분포를 나타낸다. 두 번째 그래프는 주파수 스펙트럼이며 피크 값 5개를 선택하여 그 중 파형의 DC 성분과 정반사광이 패턴의 중심부로 몰린 성분을 버린 뒤 나머지 3개의 주파수 성분만으로 IFFT를 한 것이다. 이 같은 과정을 통해 특징적인 파형을 추출한 것이 세 번째 그래프에 해당한다.

같은 시편에 대해서 표면 프로파일과 산란 패턴의 특징적인 파형을 추출한 결과가 골과 산의 모양에서 서로 유사한 것을 확인할 수 있다. 이 같은 결과는 측정면의 표면이 좋을 때는 정반사광이 많아지며 상대적으로 나쁠 때에는 산란광이 많아지는 현상을 통해 설명할 수 있다. 즉 표면이 좋을 때는 표면 프로파일의 저주파 성분의 산만이 산란 패턴에 슬릿 무늬로 반영되게 되며 측정면의 표면이 나쁠 때는 프로파일의 고주파에 해당하는 파형의 산까지도 나타날 수 있어서 레이저 스폿 직경보다 넓은 영역에 대해서 훨씬 세밀하게 슬릿 무늬가 나타날 수 있는 것이다. 추후 한층 더 깊은 연구를 통해 상호 간의 스케일 정보를 알아낼 수 있다면 광 산란 패턴만 가지고도 표면 프로파일의 추정이 어느 정도 가능할 것이며 측정의 신뢰성을 한층 더 높일 수 있을 것으로 기대된다.

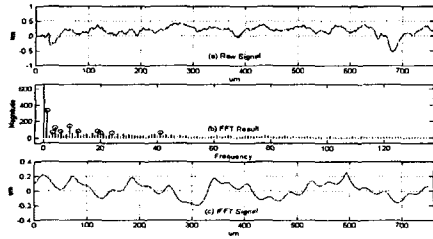


Fig. 7(a) Surface profile of specimen I

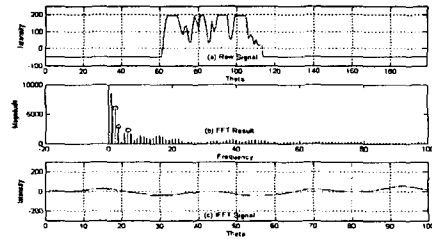


Fig. 9(b) Light intensity distribution of specimen III

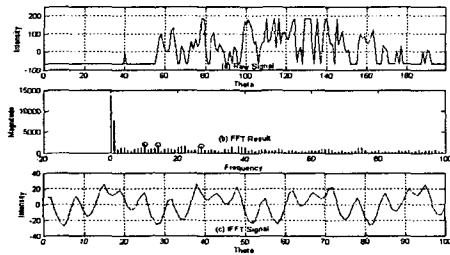


Fig. 7(b) Light intensity distribution of specimen I

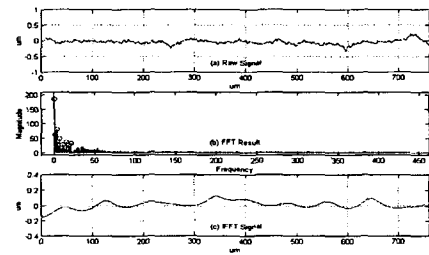


Fig. 8(a) Surface profile of specimen II

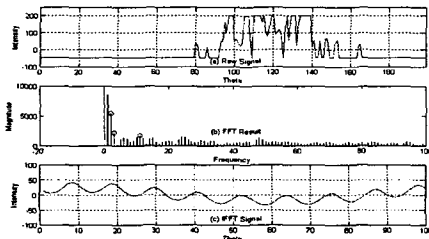


Fig. 8(b) Light intensity distribution of specimen II

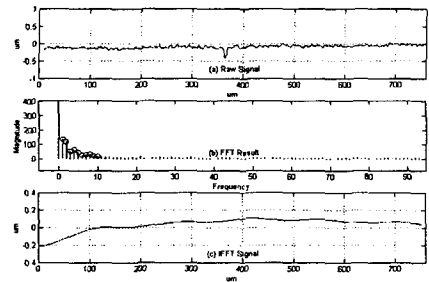


Fig. 9(a) Surface profile of specimen III

5. 결론

본 연구에서는 한 방향 스크래치의 시편에 대해 그 레이저 빔 반사 패턴과 표면 프로파일과의 상호 관계를 살펴보았으며 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 레이저 빔의 반사 패턴의 광 강도 분포는 측정면 표면 프로파일의 요철과 깊은 관계가 있다.

(2) 반사 패턴의 광 강도 분포와 표면 프로파일을 주파수 스펙트럼 상에서 관찰하면 측정면이 고주파 성분과 저주파 성분이 강조되며 측정면이 거칠수록 고주파 성분까지도 광 산란 무늬에 반영될 수 있음을 알 수 있다.

(3) 앞으로 연구를 통해 상호간에 진폭의 비례 정도를 알 수 있다면 완벽하게 표면 프로파일을 추정할 수 있을 것이며 비접촉식 표면 거칠기 측정 기술의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.

참고문헌

1. P. BECKMANN and A. SPIZZICHINO, "The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces," Pergamon Press, Oxford, 1963
2. D. Y. Yim, S. W. Kim, "Optical Roughness Measurement of Ground Surfaces By Light Scattering," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 30, No.2, pp. 283-289, 1990
3. Yun-Feng Shen, 임한석, 김화영, 안중환, "레이저빔 반사 화상을 이용한 연마면 거칠기 측정법에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제16권, 제2호, pp. 145-152, 1999
4. 申雲峰, 김화영, 안중환, 최이준, "레이저광 반사 화상을 이용한 표면 거칠기 측정법의 개발과 적용," 한국정밀공학회지, 제 18권 제11호, pp 51-57, 2001