韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.51~54 KSPE 00F012

공초점 원리를 이용한 표면형상 측정

송대호*(전북대 대학원), 유원재(전북대 대학원),
강영준(전북대 기계공학부), 김경석(조선대 기계공학부)

Surface measurement using Confocal principle

D. H. Song(Mech. Design Dept., CBNU), W. J. You(Mech. Design Dept., CBNU),
Y. J. Kang(Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

The traditional surface measuring method using confocal principle requires much time to measure an object surface since it is a scanning tool. In this paper, the upgraded confocal microscope is introduced. It is also a scanning tool but it requires 2D-scanning while the traditional one requires 3D-scanning. It means the time for measuring is considerably reduced. In addition, the measuring system is configured to increase the efficiency of beam. He-Ne laser whose frequency is 632.8 nm is used for the laser source. An example of measuring result through the upgraded confocal microscope is showed.

Key Words : Surface Measurement(표면형상 측정), Confocal Microscope(공초점 현미경, CFM), Focal Plane(초점 평면), Collimation Lens(시준 렌즈)

1. 서 론

최근 각종 기계 부품들의 소형화와 정밀화가 이루어지고 1970년대 후반부터 생산공학 부양에서 기계 가공의 정밀도와 생산성 향상을 꾀하면서 자동화 기술이 급진적인 발전을 이루게 되었다. 이에 따라 소형 정밀 기계 부품의 품질 검사 등을 위한 3차원 표면 형상 측정 기술의 필요성이 나날이 증대되고 있다.

현재 표면 형상 측정을 위해 주로 사용되고 있는 방법으로는 다이아몬드 촉침법, 삼각 측정을 이용한 방법 그리고, 레이저 간섭계를 이용한 방법 등이 이용되고 있다. 하지만, 이러한 방법들은 물체 표면에 손상을 주게 되는 접촉식 검사 방법이거나 측정속도 및 측정 영역의 제한을 가지고 있다. 이러한 단점들을 극복하기 위해서 해외에서는 이미 80년대부터 공초점 원리를 이용한 계측 방법을 개발하려는 연구가 활발히 이루어지고 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이어서 개발이 시급히 요구되고 있다.

본 연구에서는 기존에 사용되던 공초점 현미경의 Stage scanning 방법을 개선하여 측정에 소요되는 시간을 줄일 수 있는 측정 시스템을 개발하였다.

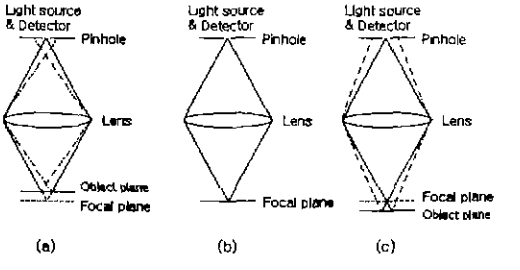

Fig. 1. The confocal principle

2. 공초점 원리

공초점 원리는 Fig. 1에서 보는 것처럼 광원에서 나온 빔을 집속 렌즈를 통해 시료 표면에 조사하고, 시료 표면에서 반사되어 나오는 빔의 변화를 검출기로 검출하여 표면 정보를 획득하는 원리이다. 그림

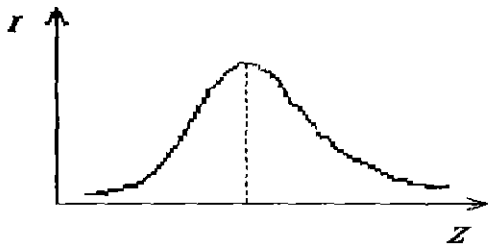

Fig. 2. Intensity variation according to the position of object surface

1에서 (a)와 (c)는 물체 표면이 초점 평면과 어긋나 있어서 물체 표면에서 반사되는 빔의 일부만이 핀홀을 통해서 광 검출기에 검출된다. 반면에 그림 1 (b)의 경우 물체 표면이 초점 평면과 일치하여 반사된 빔의 전부가 핀홀을 통과하여 광 검출기에 검출된다. 그래서, 물체를 그림 1 (a)의 위치에서 (c)의 위치까지 이동시키면서 광 검출기로 반사되는 빔을 검출해 보면 Fig. 2와 같은 결과를 얻을 수 있다. 즉, 그림 2의 그래프에서 곡선의 최고점이 바로 물체 표면과 초점 평면이 일치하는 위치를 나타내는 것이다.

이러한 원리를 이용하는 공초점 현미경(CFM)은 일반적인 광학 현미경으로는 관측할 수 없는 시료 표면의 거칠기나 높이의 변화를 3차원 영상으로 얻을 수 있으며, 영상처리 속도가 빠르고 사용에 편리하다.

공초점 현미경은 그 작동 방식에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

1) Stage scanning 방식 : 물체를 3축 방향으로 움직이며 정보를 얻는 방식

2) Beam scanning 방식 : 거울로 입사광을 움직이며 정보를 얻는 방식

3) 회전원판 기법 : 회전원판(Spinning Disk)라는 공간 필터를 사용하는 기법

4) 마이크로렌즈 기법 : 규칙적으로 배열된 마이크로 렌즈를 사용하는 기법

일반적으로 scanning 방식은 측정 시간이 많이 소요되는 방법이어서 회전원판 기법이나 마이크로렌즈 기법이 선호되는 경향이 있기는 하지만 scanning 방식도 많이 사용되고 있다.

3. 실 험

Fig. 3은 측정 시스템을 위해 일반적으로 많이 사용되는 Stage scanning 방식의 장치 구성도이다. 레이저 광원으로는 출력 1 mW, 파장(λ) 632.8 nm의 He-Ne 레이저를 사용하였다. 그리고, 대물렌즈를 포

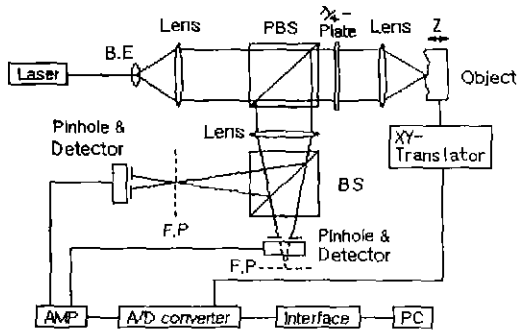

Fig. 3. Diagram of the measuring system

함한 렌즈들의 초점거리는 54.1 mm이다. A/D Converter로는 NI사의 Lab PC+를 사용하였고 정보 획득과 XY-Translator 및 Z-scanning을 제어하기 위해 프로그램을 자체 개발하여 사용하였다. Fig. 3에서 보듯이 빔 확대기(BE)를 통과하면서 확대된 빔은 Collimation Lens를 지나면서 평행하게 진행하게 된다. 그리고, 편광 빔 분할기(PBS)에서 s-상태의 편광 빔은 반사되어 소멸되고 p-상태의 빔은 그대로 진행하여 λ/4-Plate와 대물 렌즈를 거쳐 물체까지 진행하게 된다. 물체에서 반사된 빔은 다시 편광 빔 분할기에 도달하게 된다. 하지만 그 과정에서 λ/4-Plate를 두 번 통과하면서 p-상태였던 빔이 s-상태의 빔으로 편광된다. 그래서 이번에는 투과되지 않고 반사되어 렌즈와 핀홀(Pinhole) 등을 통해 두 개의 검출기(Detector)에 검출되게 된다. 편광 빔 분할기 대신 일반 빔 분할기를 사용할 수도 있지만 그렇게 하면 실제로 검출기로 진행하는 빔은 레이저 출력의 1/4 정도여서 효율이 많이 떨어지게 된다. 그래서 빔의 효율을 증가시키고자 편광 빔 분할기를 사용하게 되었다. 여기서 두 개의 핀홀과 검출기를 초점 평면(F.P)을 중심으로 하여 대칭으로 위치시킴으로써 Fig. 4 (a)와 같이 두 개의 유사한 곡선을 얻을 수 있다. 그리고, 이 두 곡선이 만나는 즉, 두 검출기에서 검출되는 빔의 강도가 같을 때가 바로 렌즈의 초점 평면(Focal Plane, F.P)과 물체의 표면이 일치하였을 때이다. 초기의 공초점 현미경은 물체 표면의한 점에 대해 Z-방향 스캔을 하여 렌즈의 초점 평면과 물체 표면이 일치하는 Z 위치를 찾은 다음 XY-Translator를 이용하여 이웃한 점으로 이동한 후 Z-방향 스캔을 하는 방식으로 물체의 표면 형상을 측정하였다. 하지만 이러한 방식은 표면 각각의 점에 대해 Z-방향 스캔을 해야 하기 때문에 측정 시간이 상당히 요구되었다. 본 연구에서는 이 측정 시간을 단축하기 위해서 기존의 위치 정보 획득 과정과 다른 알고리즘을 적용하였다. 이 알고리즘을 적용하기 위해서는 물체 표면 중 Fig. 4 (b)와 같은 레퍼런스를 먼저 얻

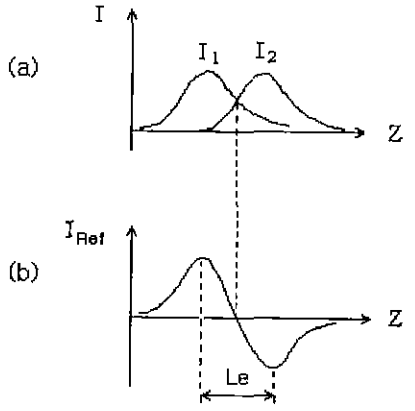

Fig. 4. Graph of the reference signal

어야 한다. 첫 번째 검출기로부터 얻은 신호를 I_1이라 하고, 두 번째 검출기로부터 얻은 신호를 I_2라 할 때, 레퍼런스 I_{Ref}를 얻는 방법은 다양하지만 본 연구에서는 다음과 같은 식에 의해 I_{Ref}를 얻어 사용하였다.

$$I = \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)} \qquad \text{(식 1)}$$

Fig. 4 (b)에서 L_e로 표시된 구간은 이 측정 시스템의 Z-방향 측정 가능 범위를 나타낸다. 물론 좀 더 복잡한 해석 과정을 거친다면 L_e 구간을 벗어난 영역에 대해서도 해석이 가능하겠지만 본 연구에서는 L_e 구간만으로도 충분히 측정 범위를 만족하였다. 이 L_e 구간은 사용되는 렌즈의 초점 거리와 렌즈의 초점 평면과 핀홀과의 거리에 따라 조정될 수 있다. 이렇게 해서 레퍼런스가 얻어진 후에는 Z-방향 스캔 과정을 생략하고 XY-방향 스캔만을 하면서 얻어지는 I_1과 I_2로 (식 1)을 통해 I_{xy}를 얻어 $I_{xy} = I_{Ref}$가 되는 Z_{xy}를 결정함으로써 표면 형상을 측정할 수 있다.

4. 결 과

Fig. 5는 0.3 mm 정도의 단차를 갖는 시편을 공초점 현미경을 이용하여 측정한 결과를 보여주고 있다. 시편의 표면은 레이저 빔이 균일하게 반사될 수 있도록 무광택 백색 도료를 도포하여 사용하였다. 실험 결과는 시편 중에서 단차가 있는 부분을 중심으로 일부분만을 측정한 것으로 그 측정영역의 크기는 5 mm × 3 mm 이고 분해능은 0.1 mm × 0.2 mm 이다. 그리고, 유효 구간 L_e는 1.128 mm이다. Fig. 5를 보면 눈에 띄게 튀어나온 peak가 많이 존재하는데 이것은 S/N Ratio가 높은 공초점 현미경의 특성으로 인한 오차로 추측된다. 이러한 오차를 제거하기 위해서 실험 결과를 Smoothing 처리하여 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다. Smoothing 처리 과정은 오차를 줄이기도 하지만 물체의 표면 정보 또한 상실시키기 때문에 Smoothing 영역을 3 ×3의 작은 영역으로 설정하여 수행하였다.

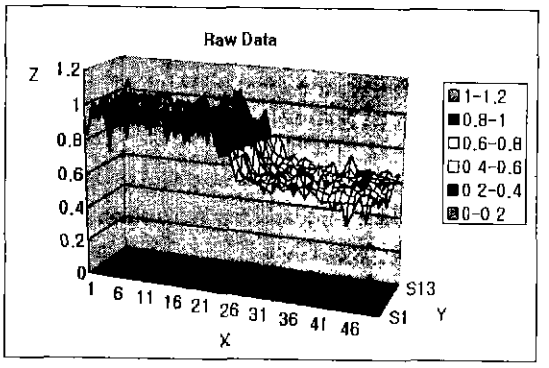

Fig. 5. Surface of the specimen (Raw Data)

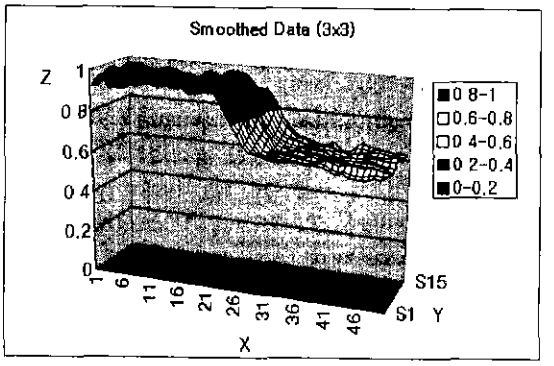

Fig. 6. Surface of the specimen (3x3 Smoothed Data)

5. 결 론

본 연구에서는 Stage scanning 방식의 공초점 현미경을 구성하여 3차원 scan이 아닌 2차원 scan만으로도 3차원 형상을 재생함으로써 기존 방법보다 측정 시간을 상당히 줄일 수 있는 측정 시스템을 구성하여 단차를 가진 시편의 표면 형상을 측정하였다. 본 연구에서는 이 시편의 5 mm × 3 mm의 영역만을 측정하였지만 스캔 영역을 확대함으로써 더 넓은 영역을 측정할 수 있을 것이다. 그리고 재질이 다른 몇 가지 물체에 대해 실험을 해 본 결과 비금속성 물체보다는 금속성 물체가 측정하기가 용이하였다. 이것은 시편에 백색 도료를 도포하기는 하였지만 물체

자체의 특성에 영향을 받아 빔의 효율이 떨어지는 것으로 생각된다. 따라서 물체에 따라서는 출력이 좀 더 큰 레이저 광원을 사용하여야 할 것으로 생각된다. 또, 실험 결과에서 S/N Ratio가 상당히 크게 나타나고 있는데 더 나은 결과를 얻을 수 있기 위해서는 앞으로 그 원인을 찾아 해결해야할 것이다. 마지막으로 더 나은 성능의 Data Acquisition Board를 사용하여 Data Acquisition 속도와 XY-scanning 속도를 빠르게 하면 측정 속도를 좀 더 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 신은성, 남기봉, "회전원판식 공초점 현미경의 구성과 광학특성", 한국광학회지 Volume 8, 제 4 호, pp. 255-259, 1997
2. 김수철, 송장섭, 권남익, "4분할 광검출기를 이용한 표면 추적 효과의 공초점 현미경", 한국광학회지 Volume 9, 제 1 호, pp. 1-3, 1998
3. D. K. Hamilton, T. Wilson, "Three-Dimensional Surface Measurement Using the Confocal Scanning Microscope", Applied Physics B, Vol. 27, pp. 211-213, 1982
4. M. J.Downs, W. H. McGivern, H. J. Ferguson, "Optical system for measuring the profiles of super-smooth surfaces", Precision Engineering, Vol. 7(4), pp. 211-215, 1985
5. F. Laguarta, I. Al-Khatib, R. Artigas, "Laser profiler based on the depth from focus principle", J. Opt. 29, pp. 236-240, 1998
6. Ganesha Udupa, M. Singaperumal, R. S. Sirohi, M. P. Kothiyal, "Characterization of surface topography by confocal microscopy", Meas. Sci. Technol. 11, pp. 305-314, 2000
7. Peisen S. Huang, Xiaorong R. Xu, "Design of an optical probe for surface profile measurement", Opt. Eng. 38(7), pp. 1223-1228, 1999
8. Mitsuhiro Ishihara, Hiromi Sasaki, "High-speed surface measurement using a nonscanning multiple-beam confocal microscope", Opt. Eng. 38(6), pp. 1035-1040, 1999