

물체 표면의 3 차원 정밀형상측정을 위한 공초점 현미경에 관한 연구

송대호*(전북대학교석사과정), 안중근(전북대학교박사과정), 강영준(전북대학교기계항공시스템공학부교수), 채희창(전북대학교기계항공시스템공학부교수)

A Study on Confocal Microscope for A Precise 3-Dimensional Surface Measurement

D. H. Song * (Dept. of Mech. Design, CBNU), J. K. An (Dept. of Mech. Design, CBNU), Y. J. Kang (School of Mech., CBNU), H. C. Chae (School of Mech., CBNU)

ABSTRACT

In modern industry, the accuracy and the surface-finish requirements for machined parts have been becoming ever more stringent. Optical method in measurements is playing an important role in vibration measurement, crack and defect detection and surface topography with the advent of opto-mechatronics. In this study, the principle of the general confocal microscope is introduced for surface measurement, and the advanced confocal microscope that has better measuring speed than the traditional confocal microscope is developed. A study on improving the resolution of the advanced confocal microscope is followed. Finally, Software for data acquisition and analysis of various parameters in surface geometrical features has been developed.

Key Words : Confocal Microscope (공초점 현미경, CFM), Surface Measurement (표면형상측정), Optical Method (광학적 방법), Collimation Beam (시준빔)

1. 서 론

최근 산업의 근대화가 가속화 되면서 각종 기계 부품들의 소형화와 정밀화가 이루어지고, 자동화 기술이 급진적인 발전을 이룸에 따라 소형 정밀 기계 부품의 품질 검사 등을 위한 3 차원 표면 형상 측정 기술의 개발 요구가 나날이 증대되고 있다.[1] 현재 표면 형상 측정을 위해 주로 사용되고 있는 방법으로는 다이아몬드 축침법, 삼각 측정을 이용한 방법 그리고, 레이저 간섭계를 이용한 방법 등이 이용되고 있다.[1-4] 하지만, 이러한 방법들은 측정 대상물의 표면에 손상을 주게 되는 접촉식 검사 방법이거나 측정속도 및 측정 영역의 제한을 가지는 등의 문제점을 안고 있다.[1-4] 이를 극복하기 위해서 해외에서는 이미 80 년대부터 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 공초점 현미경의 원리에 대해서 술하였고, 기존에 사용되던 공초점 현미경을 개선하여 측정에 소요되는 시간을 줄일 수 있는 시스템

을 개발하였고, 이 시스템의 분해능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. 그리고, 이 측정 시스템을 이용하여 3 차원 측정을 수행함으로써 이 측정시스템의 성능을 보였다.

2. 공초점 현미경

2.1 기본 원리

공초점 현미경은 Fig. 1 에서 보는 것처럼 광원에서 나온 빔을 집속 렌즈를 통해 시료 표면에 조사하고, 시료 표면에서 반사되어 나오는 빔의 세기 변화를 광 검출기로 검출하여 전기적 신호로 변환해서 표면 정보를 획득하는 구조를 가지고 있다. Fig. 1 에서 (a)와 (c)는 물체 표면이 초점 평면과 어긋나 있어서 물체 표면에서 반사되는 빔의 일부만이 핀홀을 통해서 광 검출기에 검출된다. 반면에 Fig. 1 (b)의 경우, 물체 표면이 초점 평면과 일치하여 반사된 빔의 전부가 핀홀을 통과하여 광 검출기에 검출된다. 그래서, 물체를 Fig. 1 (a)의 위치에서 (c)의 위치까지 이동시키면서 광 검출기로 반사되는

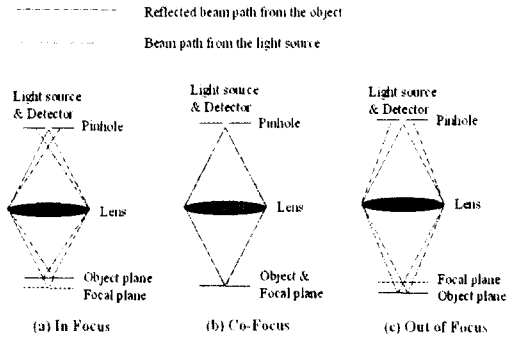


Fig. 1 The confocal principle

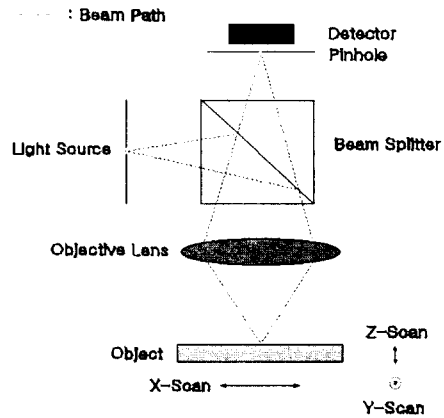


Fig. 3 The general confocal microscope

빔을 검출해 보면 Fig. 2 와 같은 곡선을 얻을 수 있다. 즉, Fig. 2 의 그래프에서 곡선의 최고점이 바로 물체 표면과 초점 평면이 일치하는 위치를 나타내는 것이다.[1,3,4,6]

이러한 원리를 이용하는 공초점 현미경은 일반적인 광학 현미경으로는 관측할 수 없는 시료 표면의 거칠기나 높이의 변화를 3 차원 영상으로 얻을 수 있으며, 영상처리 속도가 빠르고 사용에 편리하다.[5,6]

2.2 기존의 공초점 현미경

Fig. 3 은 일반적인 공초점 현미경을 보이고 있다.[1] 그림에 표시된 것처럼 이 방법을 이용하여 3 차원 표면 형상을 측정하기 위해서 먼저 Z 방향 스캔을 수행하여 측정 대상물 표면 위의 한 점에 대해 Fig. 2 와 같은 데이터를 얻어 그 점에 대한 Z 방향 표면 정보를 검출한다. 그리고 나서 X 방향의 이웃한 점으로 이동하여 이 점에 대해 다시 Z 방향 스캔을 수행한다. 이 과정을 계속 반복하여 한 라인에 대해 수행한 다음 Y 방향의 다음 라인으로 이동하여 Z 방향 스캔과 X 방향 스캔을 반복하게 된다. 이렇듯 3 축에 대해 스캔을 해야 하기 때문에 측정 시간이 많이 요구된다.[4,5]

2.3 개선된 공초점 현미경

Fig. 4 는 기존의 공초점 현미경의 단점이라 할

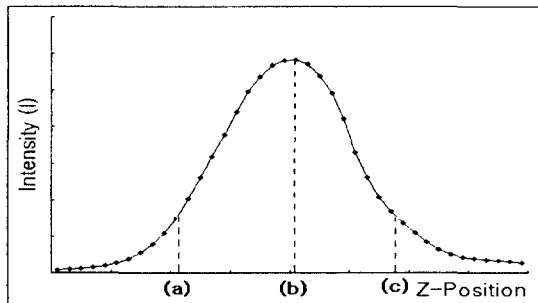


Fig. 2 The intensity variation in the general CFM according to the position of the object

수 있는 측정 시간을 단축시키기 위해 구성된 개선된 공초점 현미경의 시스템 구성도이다. 이 시스템은 크게 두 가지의 특징을 가지고 있다. 그 첫번째는 빔의 효율을 증대시키기 위해서 일반 빔 분할기 대신 편광 빔 분할기를 사용한 것이다. 일반 빔 분할기를 사용하면 실제로 검출기로 진행되는 빔은 레이저 출력의 1/4 정도여서 효율이 많이 떨어지게 되는 반면에 편광 빔 분할기를 사용할 경우에는 1/2 정도로 효율을 증대시킬 수 있다. 그리고, 이 시스템의 두번째 특징은 측정시간을 단축시키기 위한 구성과 새로운 알고리즘을 적용하였다는 것이다. 이 알고리즘을 적용하기 위해서는 물체 표면으로부터 Z-방향 스캔을 통해서 Fig. 5 (b)와 같은 레퍼런스를 먼저 얻어야 한다. Fig. 4 의 그림에 나타난 첫번째 검출기로부터 얻은 신호를 I_1 이라 하고, 두번째 검출기로부터 얻은 신호를 I_2 라 할 때, 레퍼런스 I_{Ref} 를 얻는 방법은 다양하지만, 본 연구에서는 다음과 같은 식을 제안하여 I_{Ref} 를 얻는데 사용하였다

$$I_{Ref} = \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)} \quad (1)$$

이 식에 의해 얻어진 I_{Ref} 를 그래프로 나타낸 것이 Fig. 5 (b)이다. 이 그림에서 Le 로 표시된 구간은 이 측정 시스템의 Z 방향 측정 가능 범위를 나타낸다. 이 Le 구간은 사용되는 렌즈의 초점 거리에 따라, 렌즈의 초점 평면과 핀홀과의 거리에 따라 조정될 수 있다. 이렇게 해서 레퍼런스가 얻어진 후에는 Z 방향 스캔 과정을 생략하고 X 방향 및 Y 방향 스캔을 하면서 얻어지는 I_1 과 I_2 로 (1) 식을 통해 I_{xy} 를 얻어 $I_{xy} = I_{Ref}$ 가 되는 Z_{xy} 를 결정함으로써 표면 정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 X-방향, Y-방향 및 Z-방향 스캔을 제어하고 광 검출기로부터 얻어진 신호가 위의 처리 과정을 거칠 수 있도록 Visual C++ 6.0 컴파일러를 이용하여 프로그램을 자체 개발하였다.

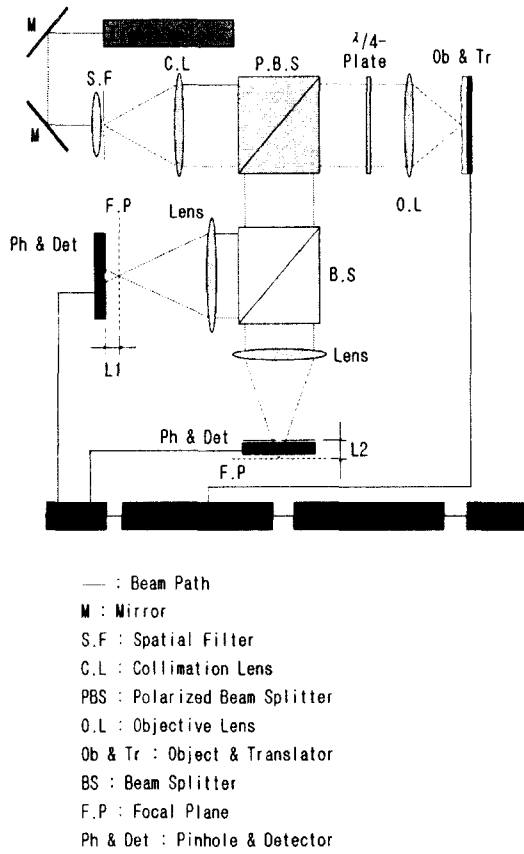


Fig. 4 The diagram of the advanced CFM

3. 실험 및 결과

본 연구는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 그 중 첫번째는 이 측정 시스템의 분해능에 영향을 주는 요소를 알아보고, 분해능을 향상시키기 위한 것이다. 그리고 두번째는 자체 제작한 시편의 표면을 이 측정 시스템을 이용해서 측정하여 그 결과를 보이는 것이다.

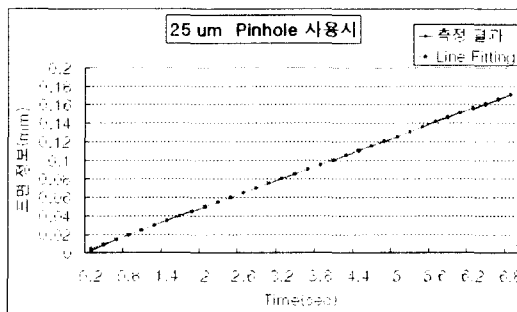


Fig. 6 Experimental result by the variation of pinhole size (25 μm pinhole and 20 mm dia. Beam)

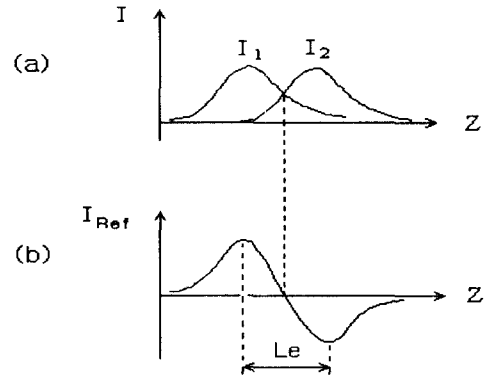


Fig. 5 The intensity variation in the advanced CFM

먼저 이 측정 시스템의 분해능에 영향을 줄 것으로 예상되는 요소로는 대물 렌즈의 초점거리, 대물 렌즈에 입사되는 시준빔의 크기 그리고 사용되는 핀홀의 크기 등이다. 이 중에서 대물렌즈에 입사되는 시준빔의 크기가 분해능에 미치는 영향과 핀홀의 크기가 미치는 영향에 대한 실험을 일차적으로 수행하였다. Fig. 6은 광학용 거울의 표면을 대상으로 수행한 이 실험에서 얻은 결과의 한 예이다. Fig. 6을 보면 거울 표면을 스캔한 측정 결과와 그 결과를 Line Fitting 한 결과가 동시에 나타나 있다. 이 두 결과 사이의 표준 편차는 이 측정 시스템이 가

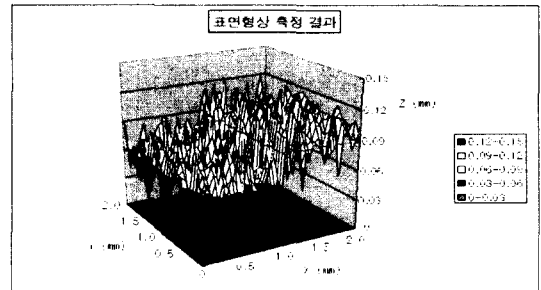


Fig. 7 Experiment result of the specimen with 0.03 mm height stair

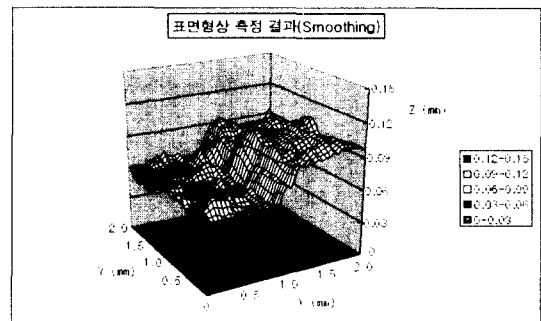


Fig. 8 Smoothed result with 5x5 window size

지는 분해능을 나타내는 지표라 할 수 있겠다. Table 1 과 Table 2 는 그 결과를 나타내고 있다. Table 1 은 핀홀의 크기는 25 μm 로 일정하고 대물렌즈에 입사되는 빔의 크기가 5 mm 와 20 mm 일 경우에 대한 결과이다. 표에서 보는 것처럼 대물렌즈에 입사되는 시준빔의 크기가 클수록 이 시스템의 분해능이 향상되는 것을 알 수 있다. 하지만 분해능이 향상됨에 따라 이 시스템이 측정할 수 있는 범위가 줄어드는 것 또한 나타내고 있다. Table 2 는 대물렌즈에 입사되는 시준빔의 크기는 일정하고 핀홀의 크기가 5 μm , 10 μm 그리고 25 μm 로 변할 때의 실험 결과를 나타내고 있다. 역시 핀홀의 크기가 작아질수록 시스템의 분해능이 향상되고 그에 따라 측정 가능한 범위는 줄어드는 것을 알 수 있다.

Table 1. Experimental results by the beam size

빔의 크기	분해능(표준편차)	측정 가능 범위
5 mm Beam	0.88131 μm	0.5 mm
20 mm Beam	0.2657 μm	0.25 mm

Table 2. Experimental results by the pinhole size

핀홀의 크기	분해능(표준편차)	측정 가능 범위
25 μm	0.6072 μm	0.2 mm
10 μm	0.3171 μm	0.1 mm
5 μm	0.1529 μm	0.05 mm

Fig. 7 은 본 연구의 두번째 부분으로 자체 제작한 시편의 표면을 측정된 결과를 나타내고 있다. 자체 제작한 시편의 재질은 알루미늄이었고, 그 표면에 0.1 mm 와 0.03 mm 의 계단형 단차를 가지도록 제작하였다. 실험은 시편 전체를 측정하지는 않고 표면 중에서 단차가 위치한 부분을 중심으로 일부 분만을 측정하였다. 그 측정 범위는 2 mm(X) \times 2 mm(Y)이었고, 분해능은 0.05 mm(X) \times 0.05 mm(Y)이었다. Fig. 7 에서 보면 그 표면에 fluctuation 이 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 공초점 현미경의 S/N 비가 크다는 특성때문으로 표면이 광학적으로 거칠수록 이러한 fluctuation 은 심해진다. 이러한 fluctuation 의 영향을 줄이기 위해 5 \times 5 의 창크기로 smoothing 처리를 한 결과가 Fig. 8 에 나타나 있다. 하지만 이러한 smoothing 처리는 fluctuation 을 없애기도 하지만 표면 정보 또한 상실시키므로 너무 반복 적용하면 오히려 오차가 커지게 되므로 주의해야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 3 차원 형상 측정을 위해 사용되고 있는 다양한 측정 방법의 장단점과 공초점 현미경에 대해서 살펴보았다. 또, 기존의 공초점 현미경을 개선하여 측정 소요 시간을 단축시킬 수 있는 공초점 현미경을 개발하였고 그에 필요한 소프트웨어를 자체 개발하였다. 또, 이 측정 시스템의 분해능에 영향을 미치는 요소를 예측하고 이것을 증명하기 위한 실험을 수행하였다. 요약해보면, 대물렌즈에 입사되는 시준빔의 크기가 클수록, 사용되는 핀홀의 크기가 작을수록 시스템의 분해능은 높아진다는 것이다. 하지만, 분해능이 좋아짐과 동시에 측정 가능한 영역의 범위가 좁아지기 때문에 측정 대상에 적절한 시스템을 구성하여 사용해야 할 것이다. 마지막으로 이 개선된 공초점 현미경을 이용하여 자체 제작한 시편의 표면 형상을 측정함으로써 그 성능을 보였다.

참고문헌

1. D. K. Hamilton, T. Wilson, "Three-Dimensional Surface Measurement Using the Confocal Scanning Microscope", Applied Physics B, Vol. 27, pp. 211-213, 1982
2. 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
3. F. Laguarda, I. Al-Khatib, R. Artigas, "Laser profiler based on the depth from focus principle", J. Opt. 29, pp. 236-240, 1998
4. 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
5. Peisen S. Huang, Xiaorong R. Xu, "Design of an optical probe for surface profile measurement", Opt. Eng. 38(7), pp. 1223-1228, 1999
6. Mitsuhiro Ishihara, Hiromi Sasaki, "High-speed surface measurement using a non-scanning multiple-beam confocal microscope", Opt. Eng. 38(6), pp. 1035-1040, 1999