

공초점 현미경을 이용한 물체표면 형상측정에 관한 연구

강영준[#], 송대호^{*}, 유원재^{*}, 백성훈^{**}

A Study on the Con-focal Microscope for the Surface Measurements

Young June Kang[#], Dae Ho Song^{*}, Won Jae Ryu^{*}, Sung Hoon Baik^{**}

ABSTRACT

In modern industry, the accuracy and the surface-finish requirements for mechanical parts have been becoming ever more stringent. In addition, measuring and understanding of surface topography are rapidly attracting the attention of the physicist and the chemist as well as the engineer. Optical measuring method has been used in vibration measurement, crack and defect detection with the advent of opto-mechatronics, and it is expected to play an important role in surface topography. In this study, the principle of confocal microscope is described, and the advanced 3-D surface measuring system that has better performance than the traditional confocal microscope is developed. Suitable fixtures are developed and integrated with the computer system for generating 3-D surface and form data. Software for data acquisition and analysis of various parameters in surface geometrical features has been developed.

Key Words : Surface Measurements(표면형상측정), Con-focal Microscope(CFM, 공초점 현미경)

1. 서론

근대 산업에서 광학적 측정 방법은 opto-mechatronics 의 이점을 가지고 진동 측정이나 균열, 결합의 검출 등의 분야에서 유용한 측정 방법으로 사용되고 있고, 표면 형상학의 분야에서 다시 한 번 중요한 역할을 할 것으로 기대를 받고 있다.¹

현재 표면 형상 측정을 위해 주로 사용되고 있는 방법으로는 다이아몬드 측침법, 삼각 측정을 이용한 방법 그리고, 레이저 간섭계를 이용한 방법 등이 이용되고 있다.^{1,2} 하지만, 이러한 방법들은 측정 대상물의 표면에 손상을 주게 되는 접촉

식 검사 방법이거나 측정 속도 및 측정 영역의 제한을 가지는 등의 문제점을 안고 있다.² 이를 극복하기 위해서 국제적으로는 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 공초점 현미경의 원리에 대해 서술하였고, 기존에 사용되던 공초점 현미경을 개선하여 측정에 소요되는 시간을 줄일 수 있는 시스템을 개발하였고, 이 시스템의 분해능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. 그리고, 이 측정 시스템을 이용하여 3 차원 형상을 측정함으로써

2002년 6월 17일 접수
[#]교신저자, 전북대학교 기계항공시스템 공학부
Email yjkang@moak.chonbuk.ac.kr Tel.(063)270-2453
^{*}전북대학교 공과대학원 기계설계학과
^{**}한국 원자력 연구소

이 측정시스템의 성능을 확인하였다.

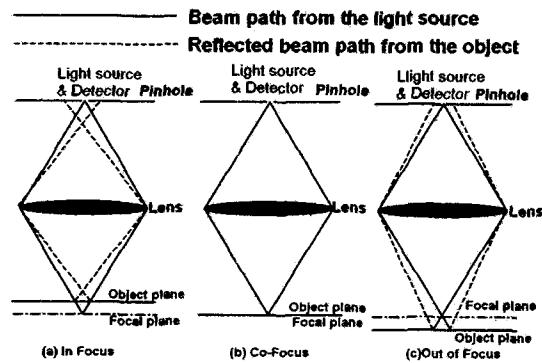


Fig. 1 The confocal principle

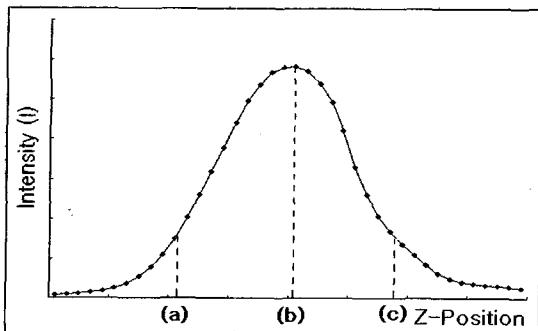


Fig. 2 The intensity variation in the general CFM according to the position of the object

2. 측정 시스템의 원리와 구성

2.1 공초점 원리

공초점 현미경은 Fig. 1에서 보이는 것처럼 광원에서 나온 광을 집속 렌즈를 통해 시료 표면에 조사하고, 시료 표면에서 반사되어 나오는 광의 세기 변화를 광 검출기로 검출하여 전기적 신호로 변환해서 표면 정보를 획득하는 구조를 가지고 있다. Fig. 1의 (a)와 (c)는 물체 표면이 초점 평면과 어긋나 있어서 물체 표면에서 반사되는 광의 일부만이 편홀을 통해서 광 검출기에 검출된다. 반면에 Fig. 1 (b)의 경우, 물체 표면이 초점 평면과 일치하여 반사된 광의 전부가 편홀을 통하여 광 검출기에 검출된다. 그래서, 물체를 Fig. 1 (a)의 위치에서 (c)의 위치까지 이동시키면서 광 검출기로 반사되는 광을 검출해 보면 Fig. 2와 같은 광 강

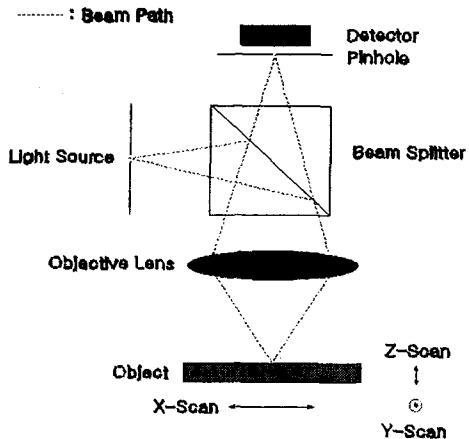


Fig. 3 The scanning type confocal microscope

도 분포 곡선을 얻을 수 있다. 즉, Fig. 2의 그래프에서 곡선의 최고점이 바로 물체 표면과 초점 평면이 일치하는 위치를 나타내는 것이다.^{1,3,4}

이러한 원리를 이용하는 공초점 현미경은 일반적인 광학 현미경으로는 관측할 수 없는 시료 표면의 거칠기나 높이의 변화를 3 차원 영상으로 얻을 수 있는 장점이 있다.⁵

2.2 공초점 현미경의 종류

공초점 현미경은 그 작동 방식에 따라 스캔 방식, 회전원판 방식 그리고 마이크로 렌즈 배열 방식으로 구분할 수 있다.

2.2.1 스캔 방식

Fig. 3은 가장 일반적인 스캔 방식의 공초점 현미경으로 입사광 또는 물체를 3 축 방향으로 움직이며 물체의 표면 정보를 얻는 방식이다.¹ 이러한 방식은 검출기에 나타나는 신호가 물체의 한 점에 대한 것이기 때문에, 물체의 3 차원 영상을 얻기 위해서는 물체를 상하(Z-Scan), 좌우(X-Scan) 그리고 전후(Y-Scan)의 3 축 방향으로 이동시킬 수 있는 Stage가 필요하다. 또한 물체의 이동신호와 영상신호를 합성하기 위한 알고리즘이 필요하다. 이와 같은 스캔 방식의 공초점 현미경은 물체의 이동 시에 발생하는 진동과 Stage 자체의 이동 오차 등의 오차요인이 있기는 하지만, 측정 정밀도가 우수하고 측정 영역의 크기에 제한이 없이 측정이 가능하며 측정점의 개수를 조절함으로써 측정 분해능 또한 조절할 수 있는 장점이 있다.^{1,2}

2.2.2 회전원판 방식

일반적으로 Fig. 4 와 같은 구조로 구성되는 회전원판(Nipkow Disk) 방식의 공초점 현미경은 일정한 패턴으로 $20 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ 정도의 직경을 갖는 구멍이 뚫린 Nipkow Disk 를 이용하여 물체 표면의 실시간 측측이 가능하도록 한 것이다.³ 광 분할기를 지나온 평행광은 회전하는 Nipkow Disk 에 입사 되고, 이중 소량의 광이 Nipkow Disk 가 갖고 있는 구멍을 통하여 대물렌즈에 입사된다. 물체에서 반사된 광은 다시 Nipkow Disk 를 향하게 되고, 그들 중 초점면에서 반사된 광만이 원판의 구멍을 다시 통과하여 CCD에 도착하게 된다. 이 과정에서 대물렌즈에 의해 확대된 물체의 영상은 Nipkow Disk 면에 맷히게 되고 카메라는 줌렌즈를 통하여 Nipkow Disk 면에 맷힌 시료의 확대된상을 다시 확대하여 보게 된다. 이때, Nipkow Disk 를 CCD 카메라의 영상 획득 속도보다 훨씬 빠르게 회전시키면 물체의 표면 전체를 한번에 측정할 수 있게 된다. 일반적으로는 2400 rpm 이상의 속도로 회전시키며 물체는 Z 축 방향으로 일정한 간격으로 이동하도록 하여 각 Z 좌표점의 2 차원 영상들을 모두 저장한 뒤, 이들을 조합하여 3 차원 영상을 도출하게 된다. 이러한 방식에서 주의할 것은 대물렌즈의 수차, 특히 색수차에 의한 영향을

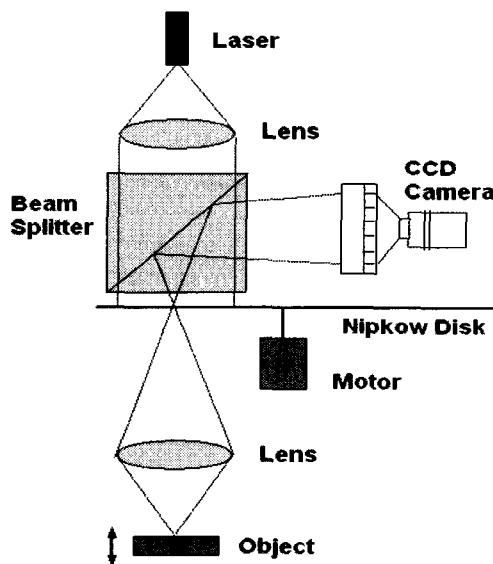


Fig. 4 Nipkow disk type confocal microscope

최소화하기 위해서 단색광의 광원을 사용하여야 한다는 것과 Nipkow Disk 의 제작 시에 구멍들의 회전 궤적이 겹쳐지지 않도록 구멍의 크기와 위치를 결정하여야 한다는 것이다.³

2.2.3 마이크로렌즈 배열 방식

일반적으로 Fig. 5 와 같은 구성을 갖는 마이크로렌즈 배열 방식은 규칙적으로 배열된 마이크로렌즈를 사용하는 방법으로, Nipkow Disk 방식과 마찬가지로 물체 표면을 실시간으로 측정할 수 있는 방법이다. 하지만, Nipkow Disk 방식과는 달리 어떠한 형태의 스캔 과정이 포함되지 않고 광의 손실 또한 없다는 특징이 있다.⁵ 광경로를 살펴보면 광원으로부터 나온 광이 확산된 후에 평행광으로 변환되어 광학용 거울과 광분할기를 거친 후에 마이크로렌즈 배열을 통해서 측정 대상물의 표면에 조사된다. 그리고 물체로부터 반사된 광은 다시 마이크로렌즈 배열과 광 분할기를 통하여 렌즈와 펀홀을 통하여 CCD Camera 에 입사하게 된다. 여기서, Nipkow Disk 방식과 마찬가지로 대상 물체를 Z 방향으로 일정 간격으로 이동하도록 하여 각 Z 좌표값에 대한 영상을 얻은 후에 CCD 카메라의 각 픽셀에 대한 표면 정보를 계산하여 3 차원 영상으로 조합하는 과정을 갖는다. 이 방식은 측정 분해능이나 측정 정밀도가 마이크로렌즈의 크기 등에 의해 좌우되는 단점이 있지만 측정 속도면에서 우수한 성능을 보이고 사용이 간편하여 반도체 패키지 등의 검사에 많이 사용되고 있다.

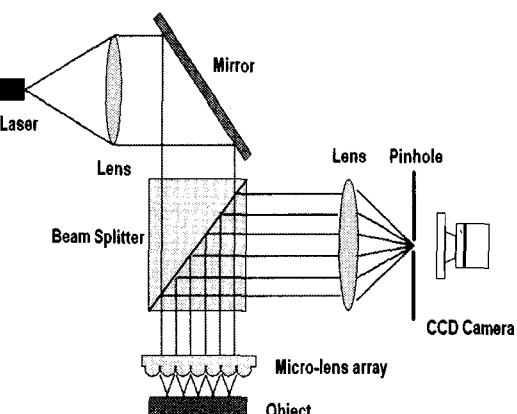


Fig. 5 Microlens array type confocal microscope

2.3 측정 시스템의 구성

본 연구에서는 기존의 공초점 현미경 방식보다 레이저 광의 효율을 증대시키고 측정시간을 단축시키기 위해서 시스템을 구성하였다.

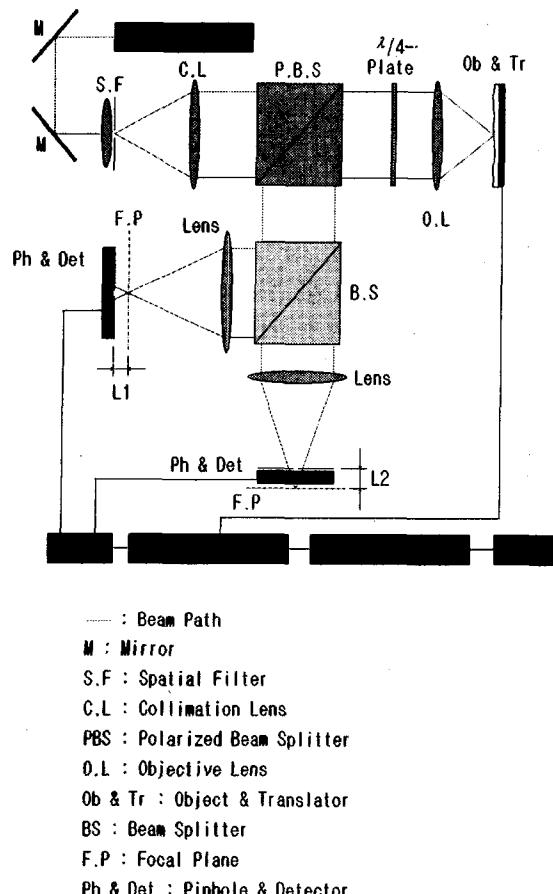


Fig. 6 The diagram of the advanced CFM

Fig. 6 의 시스템 구성도를 살펴보면, 광원으로부터 나온 레이저는 공간 필터(spatial filter)를 통과하면서 확대되고 시준 렌즈(collimation lens)를 지나면서 평행하게 진행하게 된다. 그리고, 편광 광 분할기(polarized beam splitter)에서 s 편광된 광은 반사되어 소멸되고, p 편광된 광은 그대로 진행하여 $\lambda/4$ -plate 와 대물 렌즈를 거쳐 물체까지 진행하게 된다. 물체에서 반사된 광은 다시 편광 광 분할기에 도달하게 된다. 하지만 이 과정에서 $\lambda/4$ -

plate 를 두 번 통과하면서 p 편광된 광이 다시 s 편광된 광으로 바뀌게 된다. 그래서 물체로부터 반사된 광이 편광 광 분할기를 투과하지 않고 반사하여 광 분할기로 진행하게 된다. 다시 광 분할기에서 두 개의 광으로 갈라져서 각각 렌즈와 핀홀(pinhole) 등을 통해 두개의 광 검출기에서 각각 검출하게 된다.

위의 시스템 구성에서 기존의 공초점 현미경 방식과 같이 편광 광 분할기 대신 일반 광 분할기를 사용하였을 경우, 레이저 광의 많은 양은 시준렌즈 다음에 위치하고 있는 광 분할기를 두 번 거치게 되는 동안 반사 또는 투과되면서 소멸되어 시스템에 사용된 레이저가 가진 출력의 $1/4$ 밖에 사용할 수 없으므로, 본 연구에서는 위의 시스템 구성에서 설명했던 것처럼 편광 광 분할기와 $\lambda/4$ -plate 를 시스템에 적용하여 빛의 편광성질을 적절히 이용함으로써 레이저 출력의 $1/2$ 정도까지 시스템에 사용할 수 있도록 하였다.

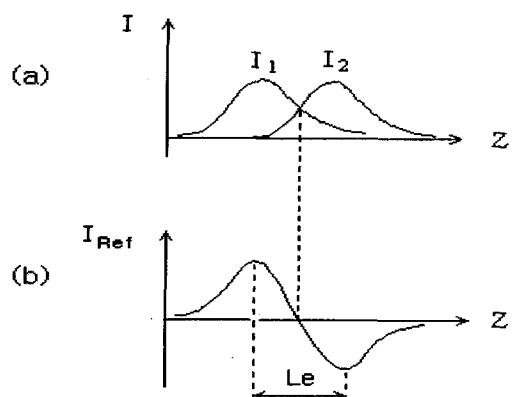


Fig. 7 The intensity variation in the advanced CFM

Fig. 7(a)의 I_1 과 I_2 는 Fig. 6 의 시스템 구성도에서 보면 렌즈의 초점거리를 중심으로 서로 반대 방향의 같은 거리에 위치시킨 두 개의 광 검출기로 입력되는 신호이다. 측정시간 및 피측정물체의 표면정보로 인식되는 Gaussian 분포의 최고점을 결정해야 하는 모호성을 개선하고 측정면적 전체에 대한 X,Y,Z 방향의 스캔 중에서 Z-방향의 스캔을 피측정물체의 한 점에 국한시켜 측정시간을 단축하기 위해 본 연구에서는 두 개의 채널에서 I_1 과 I_2 의 두 개의 신호를 얻어 이용하는 2 채널

방식을 고안하여 시스템에 적용하였다. I_1 과 I_2 는 피측정물체의 한 점에 대해 렌즈의 초점거리 안쪽과 바깥쪽으로 각각 같은 거리만큼 떨어진 광검출기에서 얻어지는 신호이므로 Fig. 7(a)에서와 같이 측정점의 초점거리에 해당하는 값을 중심으로 Z 축 상에서 서로 대칭되어 나타난다. 따라서 두 신호 I_1 과 I_2 의 교차점은 기존의 공초점 현미경 방식(1 채널)에서 한 개의 가우시안 분포 형태의 최고점에 해당하는 값이 되며 경사가 완만한 가우시안 분포 형태의 신호에서 최고점을 결정해야 하는 모호성을 제거하였다. 뿐만 아니라, 이러한 2 채널 방식의 사용은 Z 축 방향에 대한 스캔은 측정 시작점에만 실시하여 I_1 과 I_2 의 교점에 상응하는 Z 값을 기준으로 하고 그 외의 나머지 모든 점들의 높이 정보값(Z 값)에 대해서는 X, Y 방향만의 스캔을 실시하여 시작점에서 얻어진 값에 대한 각 교점들의 Z 축 상의 상대적인 분포를 통해 구할 수 있으므로 모든 점에 대해 Z-방향에 스캔이 필요했던 기존의 공초점 현미경 방식에 비해 측정시간을 단축시킬 수 있게 하였다. 이와 같은 2 채널 방식은 먼저, 피측정물체의 한 점에 대한 Z-방향 스캔을 통해서 Fig. 7 (b)와 같은 레퍼런스(Reference)를 얻어야 한다. 레퍼런스 I_{Ref} 를 얻는 방법은 다양하지만, 본 연구에서는 다음과 같은 식을 제안하여 레퍼런스 I_{Ref} 를 얻는데 사용하였다.

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

위 식(1)에 의해 얻어진 I_{Ref} 를 그래프로 나타낸 것이 Fig. 7 (b)이다. 이 그림에서 Le 로 표시된 구간은 이 측정 시스템의 Z-방향 측정 가능 범위를 나타낸다. 이 Le 구간은 사용되는 렌즈의 초점거리에 따라, 렌즈의 초점 평면과 펀홀과의 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_{Ref} 를 얻어 $I_{Ref} = I_{xy}$ 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.

3. 실험 내용 및 결과

본 연구는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 그 중 첫번째는 표면형상측정을 위한 공초점 현미경 시스템을 구성하고 실제 물체의 표면을 측정함으로써 그 성능을 입증하는 것이고, 두 번째는 이 측정 시스템의 분해능에 영향을 주는 요소를 알아보고, 분해능을 향상시키기 위한 것이다.

먼저, 첫번째 연구를 위해서 시편을 자체 제작하였다. 약 0.3 mm 정도의 단차를 갖는 금속성 시편을 두 개 제작하여 하나는 무광 백색 도료를 도장하였고, 나머지 하나는 유광 백색 도료를 도장하였다. 또, 0.1 mm 와 0.03 mm 의 단차를 갖는 알루미늄 시편을 제작하여 그 표면을 Polishing 처리하여 실험에 사용하였다. 마지막으로 백원 짜리 동전의 뒷부분을 유광 백색 도료를 도장하여 실험 시편으로 사용하였으며 그 결과가 Fig. 8-Fig. 16 에 나타나 있다.

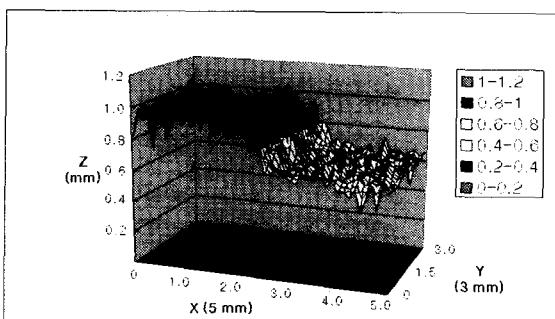


Fig. 8 Experimental results of the lustrousless painted object

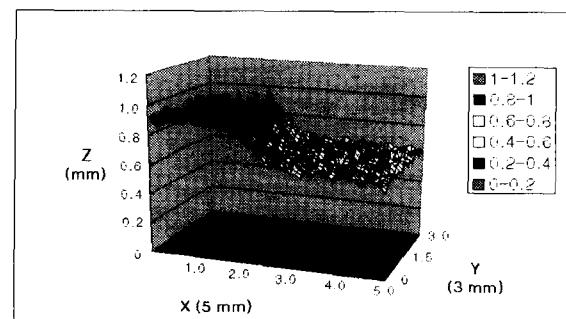


Fig. 9 Experimental results of the lustrous painted object

Fig. 8 은 프리머(primer)제의 무광 백색 도료를 도장한 0.3 mm 단차의 시편을 측정한 결과이고 Fig. 9 는 액상제의 유광 백색 도료를 도장한 시편의 측정 결과이다. 측정은 시편의 전체에 대해서 수행하지 않고 단차가 위치한 부분을 중심으로 일부분만을 측정하였다. 그 측정 범위는 5 mm(X) × 3 mm(Y)이었고, 분해능은 0.1 mm(X) × 0.1 mm(Y)이었다. 이 두 결과에서 보듯이 시편의 표면에 심한 fluctuation 이 나타나고 있다. 이것은 물체 표면의 거칠기에 의한 결과라기보다는 도료의 입자 크기에 의한 영향으로 보여진다. 이것은 착색될 시, 가는 모래 입자 형태로 굳어지는 프리머제의 무광 도료의 입자크기가 액상의 유광 도료보다 크기 때문에 Fig. 8 에서 Fig. 9 보다 fluctuation 이 심하게 나타난 것을 보면 추측 가능하다. 이러한 오차를 제거하기 위해서 Smoothing 처리한 결과가 Fig. 10 과 Fig. 11 에 나타나 있다.

Smoothing 처리에는 여러 가지 알고리즘이 사

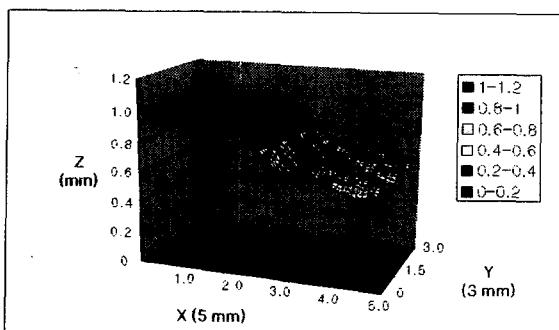


Fig. 10 3×3 Smoothed results of the lustrousless painted object

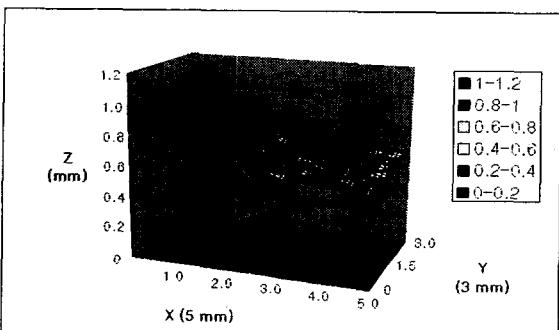


Fig. 11 3×3 Smoothed results of the lustrous painted object

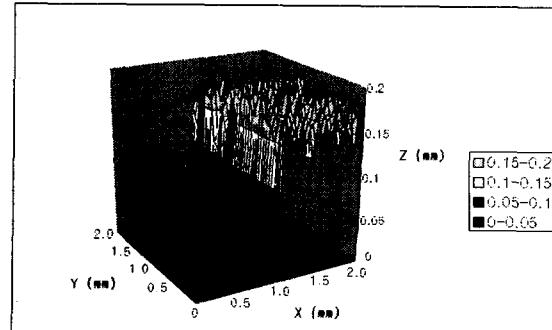


Fig. 12 Experimental results of the specimen with 0.1 mm height step

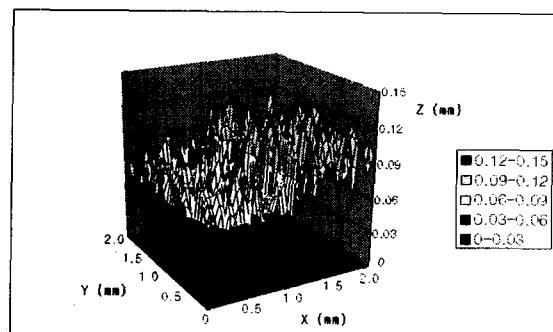


Fig. 13 Experimental results of the specimen with 0.03 mm height step

용되고 있지만 여기서는 가장 이해하기 쉬운 평균 smoothing 처리 방법을 사용하였다. 이러한 smoothing 처리 과정은 오차를 줄이기도 하지만 측정 대상물의 표면 정보 또한 상실시키기 때문에 smoothing 영역을 3×3 의 작은 영역으로 설정하여 수행하였다.

Fig. 12 와 Fig. 13 은 표면을 polishing 처리한 0.1 mm 와 0.03 mm 의 단차를 갖는 알루미늄 시편의 측정결과를 나타낸 것이다. 이번 실험도 마찬가지로 시편 전체를 측정하지는 않고 표면 중에서 단차가 위치한 부분을 중심으로 일부분만을 측정하였다. 그 측정 범위는 2 mm(X) × 2 mm(Y)이었고, 분해능은 0.05 mm(X) × 0.05 mm(Y)이었다. 이 결과에서도 그 표면에 fluctuation 이 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 앞선 결과와는 달리 이것은 공초점 현미경이 피측정물체의 한 점에 집광되어 다시 반사된 레이저 광의 강도값을 환산하여 측정하고자 하는 물체의 형상정보로 인식하

는 방식이므로 광학적으로 표면이 거친 물체의 경우, 물체 표면에서의 난반사 등을 통해 검출기에

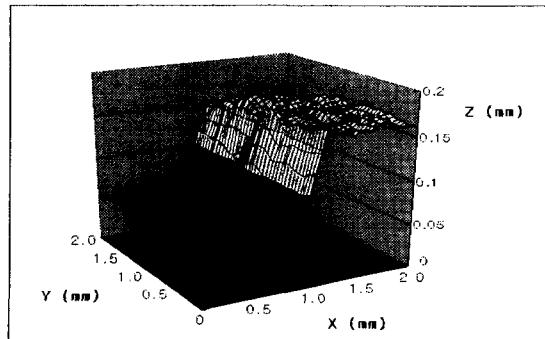


Fig. 14 Experimental results of the specimen with 0.1 mm height step

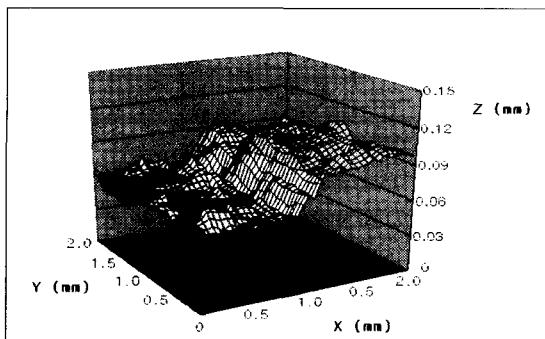


Fig. 15 Experimental results of the specimen with 0.03 mm height step

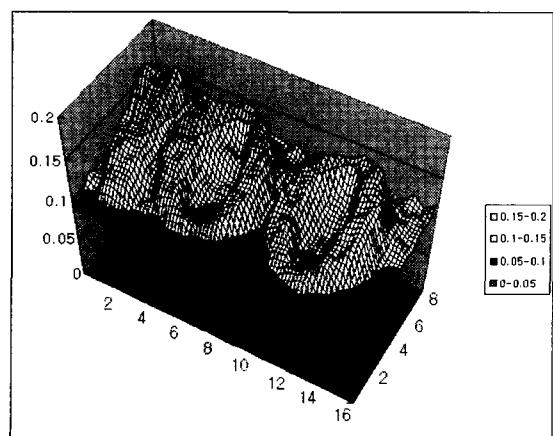


Fig. 16 Smoothed results of the Korean coin

입력되는 신호에 개입된 오차의 양이 더 높아지는 원인으로 볼 수 있다. 이러한 fluctuation은 피측정물체의 표면이 거칠수록 더욱 심해지며 fluctuation의 영향을 줄이기 위해 5×5 의 창 크기로 smoothing 처리를 한 결과가 Fig. 14 와 Fig. 15에 나타나 있다. Fig. 16은 유광 백색 도료를 도장한 백원 짜리 동전의 뒷면을 측정한 결과이다. 역시 도료의 영향으로 발생한 fluctuation을 제거하기 위해 smoothing 처리한 결과로 측정 영역의 크기는 “100”이라는 숫자가 쓰여진 곳을 중심으로 16 mm(X) \times 8 mm(Y)이었다.

본 연구의 두 번째 부분은 이 측정 시스템의 분해능에 관한 것으로 대물 렌즈의 초점거리, 대물렌즈에 입사되는 시준광의 크기 그리고 사용되는 핀홀의 크기 등이 분해능에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이 중에서 대물렌즈에 입사되는 시준광의 크기가 분해능에 미치는 영향과 핀홀의 크기가 미치는 영향에 대한 실험을 일차적으로 수행하였다. 그 영향의 정도를 정량적으로 알아보기 위해서 표면이 아주 매끄러운 광학용 거울 (Surface quality: $<1\text{ \AA}$ ngstrom RMS)을 line scan 하여 얻은 결과와 그 결과를 최소자승법을 이용하여 line fitting 한 결과를 얻어 그 두 결과 사이의 표준편차를 구하여 분해능의 척도로 사용하였다.

먼저, 대물렌즈에 입사되는 시준광의 크기가 분해능에 미치는 영향을 알아보기 위해서 시준광의 크기가 5 mm인 경우와 20 mm인 경우에 대해서 실험을 수행하였다. 이때 핀홀은 공통적으로 $25\text{ }\mu\text{m}$ 를 사용하였다. Fig. 17 과 Fig. 18은 각각에 대한 측정 결과와 line fitting 결과를 나타내고 있다. 그리고 각각의 표준편차를 구해보면 5 mm의 입사광을 사용하였을 경우에는 $0.8813\text{ }\mu\text{m}$ 이었고, 20 mm의 입사광을 사용하였을 경우에는 $0.2657\text{ }\mu\text{m}$ 로 입사광의 크기가 클수록 그 분해능이 향상되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 렌즈의 초점거리와 초점거리에 집광된 레이저 광의 크기와 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 왜냐하면 초점거리에 집광된 레이저 광의 크기는 시준된 광의 크기가 작아질수록 초점거리 주변과 초점거리에서의 값이 점점 비슷해지게 되어 결과적으로, 시준된 레이저 광이 정확한 초점거리에 상에 있는 피측정물체에서 반사되지 않고 초점거리 주변에서 반사되어 나온 것이라도 검출된 광강도값은 초점거리에서 반사된 값과 같게 될 것이기 때문

이다. 따라서 시준광의 크기가 5mm 인 경우와 20mm 인 경우, Z-방향 분해능에 관한 실험에서 광의 크기가 더 큰 20mm 에서 더 좋은 분해능을 가지게 되는 것으로 생각된다.

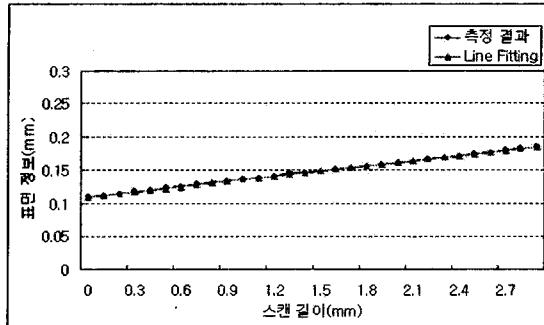


Fig. 17 Experimental results for the 5 mm dia. beam

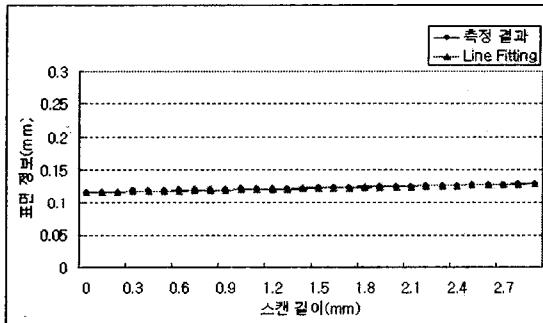


Fig. 18 Experimental results for the 20 mm dia. beam

Table 1 Experimental results by the beam size

Diameters of Laser beam	The Standard Deviation	The Range of Measurement
5 mm Beam	0.8813 μm	0.5 mm
20 mm Beam	0.2657 μm	0.25 mm

또, 펀홀의 크기가 분해능에 미치는 영향을 알아보기 위해서 25 μm 와 10 μm 그리고 5 μm 등 세가지 펀홀에 대해서 실험을 수행하였다. 이때 대물렌즈에 입사되는 광의 크기는 공통적으로 20 mm 이었다. Fig. 19 와 Fig. 20 그리고 Fig. 21 은 각각의 펀홀 크기에 대한 실험 결과와 line fitting 결

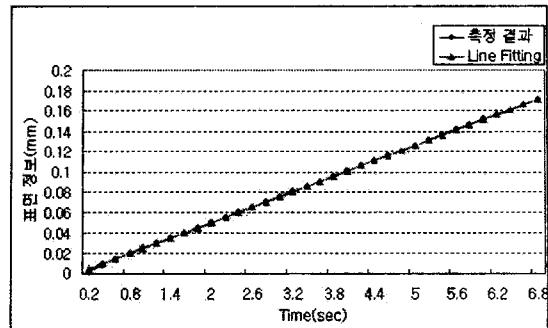


Fig. 19 Experimental results for the 25 μm pinhole

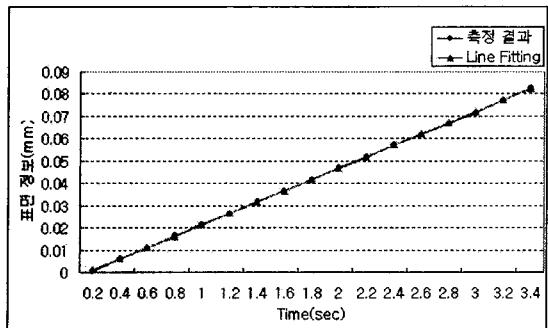


Fig. 20 Experimental results for the 10 μm pinhole

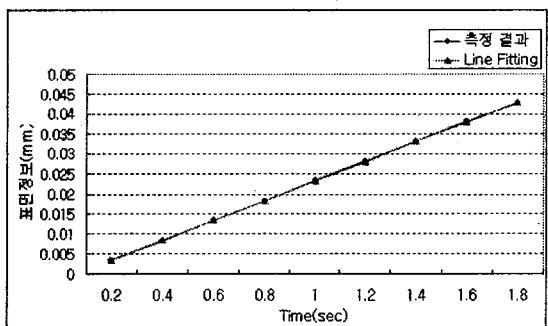


Fig. 21 Experimental results for the 5 μm pinhole

과를 나타내고 있다. 그리고 각각의 표준편차를 구해보면 5 μm 펀홀의 경우에는 0.1529 μm 였고, 10 μm 펀홀의 경우에는 0.3171 μm, 마지막으로 25 μm 펀홀의 경우에는 0.6072 μm 이었다. 이를 볼 때 펀홀의 크기가 작을수록 시스템의 분해능이 향상됨을 알 수 있다. 그리고, 그에 따라 Z-방향의 측정 가능 범위는 줄어드는 것을 알 수 있다. Table 2 는 펀홀의 크기에 따른 분석 결과를 나타

내고 있다.

Table 2 Experimental results by the pinhole size

Diameters of Pin-hole	The Standard Deviation	The Range of Measurement
25 μm	0.6072 μm	0.2 mm
10 μm	0.3171 μm	0.1 mm
5 μm	0.1529 μm	0.05 mm

4. 결론

본 연구에서는 3 차원 형상 측정을 위해 사용되고 있는 다양한 측정 방법의 장단점과 공초점 현미경에 대해서 살펴보았다. 여기서, 기존의 스캔 방식 공초점 현미경 보다 광의 효율을 증대시키고 측정 소요 시간을 단축시킬 수 있는 2 채널 스캔 방식 공초점 현미경을 개발하였는데, 먼저, 편광 광 분할기와 $\lambda/4$ -Plate를 적용하여 레이저 출력의 1/4 밖에 사용할 수 없었던 기존의 방식에서 1/2 까지 사용할 수 있도록 하였으며, 또한 X,Y,Z 방향에 대한 스캔 과정이 모두 필요했던 기존의 방식에서 Z-방향에 대한 스캔 과정이 필요하지 않은 2 채널 방식을 고안하여 피측정물체의 모든 점에 대한 Z-방향의 스캔 시간을 줄일 수 있는 시스템 및 그에 필요한 소프트웨어를 개발하였다. 또, 측정 시스템의 Z-방향의 분해능에 영향을 미치는 요소를 예측하고 이것을 증명하기 위한 실험을 수행하였다. 요약해 보면, 대물렌즈에 입사되는 시준광의 크기 5mm 인 경우 측정결과와 line fitting 과의 표준 편차가 0.8813 μm 이었고 20mm 인 경우 0.2657 μm 로 시준광의 크기가 클수록 분해능이 향상되는 것을 볼 수 있었으며 사용되는 핀홀의 크기를 5 μm , 10 μm , 25 μm 로 달리하여 line fitting 과의 표준편차를 구해본 결과, 각각 0.1529 μm , 0.3171 μm , 0.6072 μm 로 핀홀 크기가 작을수록 분해능이 높아지는 것을 확인하였다. 하지만, 분해능이 좋아짐과 동시에 측정 가능한 범위가 줄어들기 때문에 측정 대상에 적절한 시스템을 구성하여 사용해야 할 것이며 여기에 더하여 시준광의 크기 및 핀홀의 크기와 X-Y-방향의 측정 분해능과의 관계에 대한 정량적인 분석을 통하여 시스템의 적용분야 및 한계성을 규명하는 것이 필요하다.

구성한 시스템 역시 스캔 방식을 완전히 벗어나지는 못하여 측정에 많은 시간이 소요되는 것이 사실이다. 따라서, 스캔 과정이 포함되지 않은 회전원판 방식이나 마이크로렌즈 배열방식에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Hamilton, D. K., Wilson, T., "Three-Dimensional Surface Measurement Using the Confocal Scanning Microscope," Applied Physics B, Vol. 27, pp. 211-213, 1982.
- Downs, M. J., McGivern, W. H., Ferguson, H. J., "Optical System for Measuring the Profiles of Super-smooth Surfaces," Precision Engineering, Vol. 7(4), pp. 211-215, 1985.
- Tiziani H. J. and Uhde, H. M., "Three-dimensional Image Sensing by Chromatic Confocal Microscopy," Applied Optics, Vol. 33, No. 10, pp. 1838-1843, 1994.
- Ganesha Udupa, Singaperumal, M., Sirohi, R. S., Kothiyal, M. P., "Characterization of Surface Topography by Confocal Microscopy," Meas. Sci. Technol. 11, pp. 305-314, 2000.
- Tiziani, H. J. and Uhde, H. M., "Three-dimensional Analysis by a Microlens-array Confocal Arrangement," Applied Optics, Vol. 33. No. 4, pp. 567-572, 1994.