색정보를 이용한 3차원 형상 측정

김정식*(충남대학교 기계공학과), 송창규(한국기계연구원), 주병권((주)인텍플러스),
홍준희(충남대학교 기계공학과)

The shape measurement of three-dimensional object by using color-coded information

J. S. Kim (Mechanical. Eng. Dept., CNU), C. K. Song (KIMM), B. K. Joo (INTEKPLUS),
J. H. HONG(Mechanical. Eng. Dept., CNU)

ABSTRACT

The purpose of this study is the real-time shape measurement of three-dimensional object by using color coded information. The paper relates to non-contact optical measurements of surface profiles or displacements, because of optical measurement systems are advantageous over using mechanical sensing, their relatively high speed and non-destructive capabilities. Therefore is particularly useful for three dimensional sensing which requires high horizontal and vertical resolution of measurements over a wide range thereof. Each a red, blue, green by using a inherence colors of hue value are good point.

Key Words : shape measurement(형상측정), optical measurement system(광학측정시스템) color-coded information (색 정보), hue(색 고유의 값),

1. 서론

산업기술의 발달에 더불어 각 분야마다 정밀한 부품이 요구된다. 기계가공분야는 정밀도와 대량 생산성을 꾀하면서 자동화 기술의 급진적인 발전이 이루어지게 되었고, 그와 더불어 정밀기계 부품의 품질 검사 및 개선 등을 위한 3차원 표면형상측정 기술의 필요성이 나날이 증대되고 있다. 특히 현대 산업의 생산체계에서 요구되는 3차원 형상측정 기술(3-D Profile Measurement Method)은 반도체 패턴 검사와 같은 수 nm의 마이크로영역에서 인체와 같은 수백 mm 영역까지 매우 광범위 하며, 이러한 3차원 형상 측정 기술은 과거에는 3차원 좌표측정기(Coordinate Measuring Machine : CCM)를 이용한 탐침 접촉을 통해 형상을 측정한 접촉 방법을 주로 사용하였다. 근래에는 광학적 원리를 바탕으로 단시간에 정밀 측정이 가능한 비 접촉 3차원 형상측정방법(Non-contacting 3-D Profile Measurement Method)이 활발히 연구되고 있다. 여기에는 피조 간섭계(Fizeau Interferometer), 충밀리기 간섭계(Lateral Shearing Interferometer, LSI), 백색광 간섭계(White-light Scanning Interferometer, WSI), 모아레(Moire) 방식 등이 있다. 이와 같은 빛의 가간섭성을 이용한 방식은 수 nm의 아주 좋은 수직 방향 분해능을 갖지만, 고분해능으로 대영역을 측정하기에는 한계를 지니고 있는 단점이 있다. 기존의 많이 사용되고 있는 3D 검사기술중 모아레(Moire) 방식은 각기 다른 위상을 가지는 4장의 격자 영상만으로 전체 FOV(Field of view) 면적내의 3D 데이터를 한번에 획득을 할 수 있으며 측정 효율이 높고 정확도 또한 우수한 편이다. 하지만, 위상을 얻기 위해 등속구동이 어려운 점이 있고 이에 따른 측정 속도가 느린 단점이 존재한다.

본 연구는 광학식 비 접촉 3차원 형상측정방법으로, 색 정보를 이용한 실시간 3차원 표면형상 측정장치에 관한 초기연구이다. 상세하게는 고안된 측정장치를 이용해서 높이 정보를 포함하는 색 정보를 임의의 물체에 투사하고, 상기 물체에 분포하는 색 정보를 감지하여 높이 정보를 실시간으로 측정을 하는 방법이다. 여기서 색은 고유의 휴(hue)값을 갖고

있고 Foveon X3 기술을 이용한 카메라가 3색으로 구분하여 획득을 함으로써 영상을 얻게 된다. 본 연구의 주요 목적은 실시간으로 측정물의 3차원 형상을 측정할 수 있는 측정 알고리즘을 제안하고, 색 정보를 이용한 새로운 측정시스템을 구성하여 검출수단의 설치위치를 측정물의 형태에 가장 최적의 위치에 설치함으로써 최적의 측정결과를 얻을 수 있도록 하는데 있다.

2. 광학계 장치 구성 및 측정 이론

2.1 측정 이론

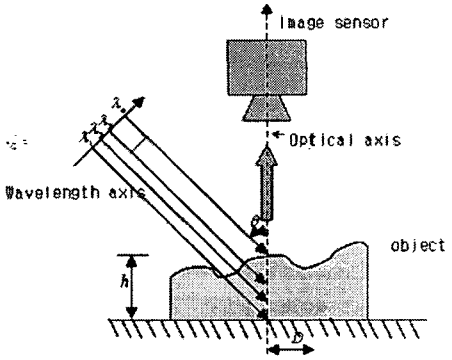


Fig. 1 Optical geometry of the measuring system

측정물의 임의 위치의 높이 정보를 추출하는 기본 원리를 Fig.1에서 간략히 설명한다. 그림을 보면 수십 um에서 수십 mm의 높이 분포를 가진 측정 물이 있고, 광축과 일정한 각도로 기울어진 다 파장을 갖는 빛을 물체에 수직광축과 θ의 각도로 측정 물에 조사하게 된다. 물체에 의해 반사된 빛이 영상센서로 획득하게 되고 여기서 실제 획득하게 되는 값은 붉은색(R) 초록색(G) 푸른색(B)의 분포 값이다. 여기서 본 논문에서는 R,G,B의 분포를 하나의 값으로 표현할 수 있는 휴(hue) 값을 적용한다.

본 연구에서는 측정물의 임의 위치의 높이 정보를 추출하는 데 휴(hue)값을 이용했다. Fig.1에서 일정한 폭을 통해 다 파장의 조명 광이 물체에 있어서 Z축상의 임의의 점 P에 조사된다고 하면 이점에서의 색 분포는 다음과 같이 표현된다.

$$P = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{1}$$

식(1)에서 R,G,B 는 컬러영상센서를 이용하여 획득하는 점P에서의 붉은색, 초록색, 푸른색의 광강도(Intensity) 값이다. 점 P와 동일한 광 강도를 가지는 색 점(achromatic point) A는 다음과 같이 표현된다.

$$A = \begin{pmatrix} i \\ i \\ i \end{pmatrix} \qquad i = (R+G+B)/3 \tag{2}$$

여기서 붉은색은 다음과 같이 표현된다.

$$R = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{3}$$

식(1)-(3)을 이용하여 점 P에서의 휴 값 H는 다음과 같이 표현된다.

$$H = \cos^{-1}\left[\frac{< P-A, R-A >}{(\,|P-A|\,)(\,|R-A|\,)}\right] \tag{4}$$

<>는 스칼라 곱(scalar product)를 의미한다.

상기 P점에서 계산된 휴 값 H와 물체의 높이 Z는 식(5)의 함수관계로 표현된다.

$$Z = f(H) \tag{5}$$

함수형태에는 조명광 형태, 사용파장영역, 측정물체의 상태 및 실험치에 따라 일차식 혹은 다항식으로 표현될 수 있으며, 식(5)에서 확인 할 수 있듯이 물체의 높이는 단지 휴 값에 의해 결정 되며, 각도에 대해 어떠한 제한 조건도 없다는 것을 확인 할 수 있다.

조사하는 광원으로는 여러 개의 단일 파장 광을 합성하여 사용하거나 텅스텐 할로겐램프와 같은 일반적인 백색광을 무지개 색과 같이 분리하여 사용할 수 있다.

2.2 시스템의 구성

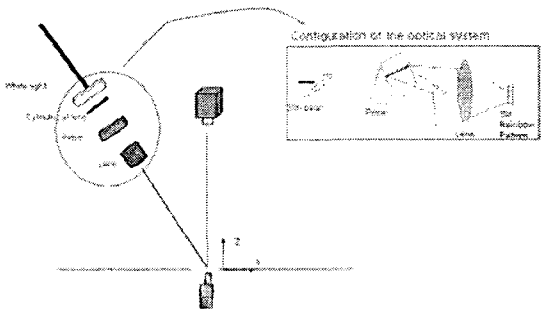


Fig. 2 Configuration of the optical system

광학 측정 시스템의 구성도와 실험 장치의 전체 구성을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 광원으로는 할로겐램프를 이용하였고, 빛의 산란을 위해서 프리즘

을 사용 하였으며, 두개의 조명 렌즈(illumination lens)가 빛을 모아 측정 대상물에 조사가 된다. 카메라는 한비전(Hanvision)사의 Foven X3 기술을 이용한 HVDUO10M을 사용하였으며, 이미지 처리를 위해 프레임그레버(Frame grabber)는 Matrox사의 Metero-II/Camera link를 사용하였다.

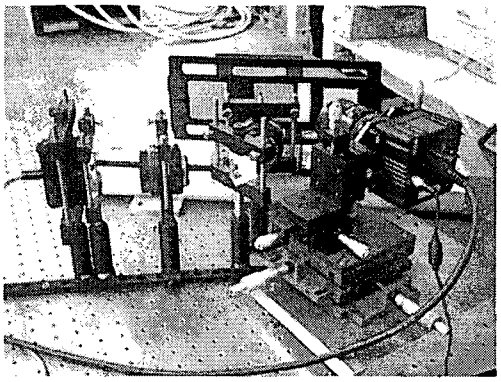


Fig. 3 Experimental Setup

소프트웨어는 측정 결과를 한눈에 볼 수 있게 제작 되어있다. 프리즘 광학계를 이용해 빛을 조사하면 측정대상물이 이동하고, 그 영상이 카메라를 통해 받아들여져서 측정된 화면과 그 영상을 바탕으로 위상 값을 나타냄과 동시에 삼차원 영상을 볼 수 있게 구성이 되어있다.

2.3 시스템의 장점 및 작동 원리

프리즘 광학계를 이용한 표면형상의 작동 원리는 다음과 같다. Fig.2를 보면 일차로 할로겐램프에서 나온 빛이 원기둥렌즈(Cylindrical lens)를 통과하면서 분산되는 역할을 한다. 이 렌즈는 사용하지 않을 경우 영상에 파이버가 나타나는 형상이 생김을 확인할 수 있었다. 다음으로 분산된 빛을 첫 번째 조명렌즈가 일차로 모아서 프리즘에 쏘아지게 된다. 프리즘을 통과한 빛은 또 한번 분산이 되고 분산된 빛은 R,G,B로 나타나게 된다. 그 빛을 이차로 조명렌즈가 모아서 측정 표면에 조사를 한다. 이러한 빛은 카메라가 3색으로 구분하여 영상을 받아들이면서 측정이 진행이 되는데, 카메라는 라인(line)형과 면적(area)형 두 가지 모두 측정을 할 수 있는 기능이 있다. Fig.4을 보면 측정 결과를 얻는 과정을 나타낸 것이다. 라인(line)형으로 측정하기 위해 우선 면적(area)형에서 조사된 빛을 실시간으로 받아들이면서 라인이 어디에 위치하고 있는지를 알아보게 된다. 그 후에 라인형으로 변환을 하여 측정표면과 위상, 삼차원 화면까지 한번에 얻을 수 있게 된다.

Fig.5의 구상도에서 색 정보를 이용한 3D 검사 기술은 미러 위상이동이 되어 있는 세가지 격자무늬를 이용하기에 위상이동을 위해 정지 할 필요가 없고, 등속 구동으로 스캔이 가능함을 나타낸다. 또한, 본 연구는 높이 측정에 필요한 3장의 영상을 동시에 얻을 수 있기 때문에 검사 효율이 높고 등속 구동이 가능하므로 검사 속도의 극대화를 도모할 수가 있다.

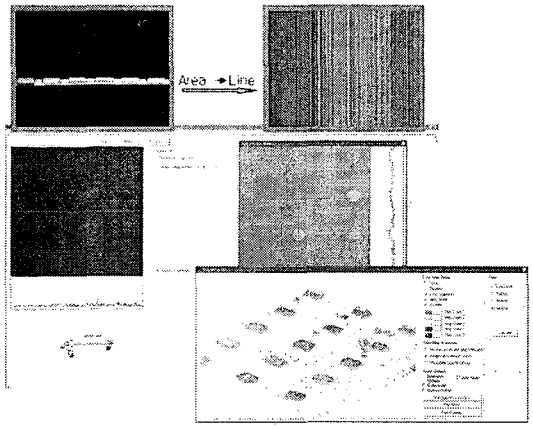


Fig.4 The Image Processing

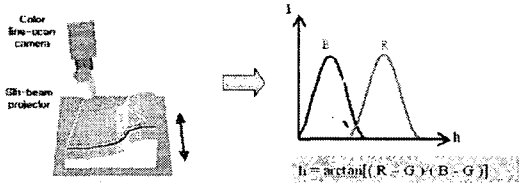


Fig. 5 Color-coding basic concept

3. 실험결과

크게 두 방향으로 초점을 맞춰서 실험을 진행하였다. 첫째, 표면 반사도에 따른 불균일성, 둘째는 빔 폭을 조절해 가며 교정단차 측정을 했다.

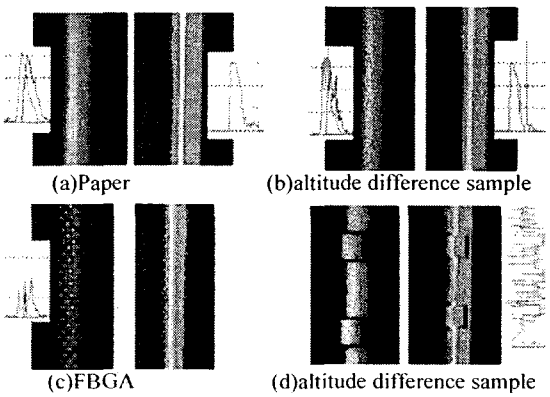
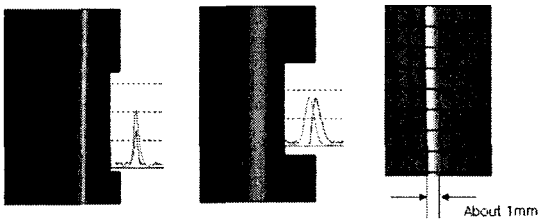


Fig. 6 Surface reflection measurement result

Fig.6이 표면반사도에 따른 각 시편의 레인보우(Rainbow) 영상과 위상을 나타내는 것이다. 표면반사도의 불균일성에 의해 교정데이터가 달라지는 경우가 생기므로 측정을 진행 할 때는 물체의 반사도에 맞게 빛의 광량과 카메라 게인(gain)을 조절할 필요가 있다.



(a)300um (b)500um (c)1mm

Fig. 7 Rainbow pattern

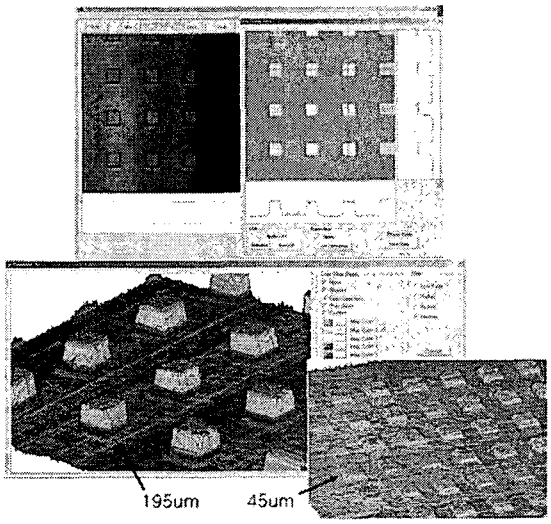


Fig. 8 Measurement result

Fig.7은 조명 렌즈를 이용하여 빔 폭을 조절하며 진행한 실험이고, Fig.8은 라인 스캔(line scan) 카메라를 이용하여 측정을 진행한 것이다. 측정된 시편은 업체에서 제공한 것으로 40um와 195um의 교정단차를 가지고 있는 시편이다. Fig.7에서 300um이상 좁아지면 레인보우 패턴(rainbow pattern)의 파장이 서로 혼합되어 다시 백색광이 되는 현상이 발생하고, 500um로 빔 폭을 줄인 경우 측정은 가능하지만 레인보우 패턴이 약간 혼합되는 면이 있어 정밀한 측정에 부적합한 면을 볼 수 있었다. 1mm의 빔 폭으로 실험을 하였을 때는 Fig.8와 같이 195um, 40um 교정단차 측정이 가능 하였다. 이는 프리즘에 빛이 입사될 때 입사각이 모든 빛에 대하여 수평이 아님으로 1mm 이상의 레인보우 패턴 일 때 프리즘을 통과한 빛의 파장이 혼합되지 않고 원만한 패턴(pattern)을 얻을 수 있기 때문이다.

4. 결론

본 연구는 색 정보를 이용한 실시간 3차원 표면형상 측정 장치에 관한 것으로 프리즘 광학계를 제안, 구성하였다. 광학계를 이용하여 색 정보를 받아 물체의 높이 측정을 위하여 소프트웨어를 제작하였다.

광학적 측정 방법이기에 표면 반사도에 따른 영향이 발생은 하나 그에 맞춰 빛의 광량과 카메라 게인을 조절하면 측정이 가능함을 알 수 있다. 조명렌즈를 이용하여 빔 폭을 조절해서 실험을 진행한 결과 1mm의 빔 폭에서 원하는 패턴을 얻을 수가 있었다. 업체에서 제공한 시편을 가지고 측정을 진행 했을 때 195um 교정단차 시편 측정이 가능했으며, 40um의 교정단차까지도 측정이 가능했다.

이렇게 개발된 시스템은 물체의 표면형상 측정에 있어 등속 구동이 가능하므로 검사 속도가 높아 효율을 극대화 시킬 수 있는 장점이 있다.

참고문헌

1. Weiyi Liu, Zhaoqi Wang, Guoguang Mu and Zhiliang Fang "Color-coded projection grating method for shape measurement with a single exposure" Applied Optics, Vol.39, No.20, pp. 3504-3508, 2000

2. Gerd Hausler and Dieter Ritter "Parallel three-dimensional sensing by color-coded triangulation" Applied Optics, Vol. 32, No. 35, pp. 7164-7169

3. H. Fan, H. Zhao, and Y. Tan, "Automated three-dimensional surface profilometry using dual-frequency optic fiber phase shifting method" Opt. Eng. 36, pp. 3167-3171, 1997

4. S. Tang and Y. Hung, "Fast profilometer for the automatic measurement of 3-D object shapes" Applied Optics, Vol 29, No. 19, pp. 3012-3018, 1990

5. Liu, W.-y. ; Yu, D.-y ; Hou, Q.-h. "3-D Dynamic Object Shape Measurement by Using Color-coded Method" Optoelectronics Laser, Vol. 13, No. 2, pp. 169-172, 2002.