

오목거울을 이용한 3차원 형상측정을 위한 모아레 영상 획득 방법

윤두현 · 김학일[†]

인하대학교 자동화공학과

☎ 402-751 인천광역시 남구 용현동 253번지

(2008년 6월 23일 받음, 2008년 8월 4일 수정본 받음, 2008년 8월 19일 게재 확정)

일반적으로 NA(Numerical aperture)가 큰 렌즈를 사용하면 획득된 영상의 품질이 좋아진다. 오목거울은 NA가 크면서 직경이 크게 제작하는 비용이 저렴하다. 본 논문에서는 3차원 형상 측정용 모아레 영상의 품질향상을 위해 NA가 큰 대구경 오목거울을 이용한 방법을 제안하고 구현하였다. 오목거울은 빛을 반사하는 면이 오목한 거울로써, 가까운 거리에 있는 물체를 볼 때, 물체와 모양은 같고 크게 보이는 것이 특징이다. 보통의 경우, 작은 것을 크게 보거나 빛을 모으는데 이용한다. 오목거울의 집광 특징은 볼록거울과 방향만 다를 뿐 동일한 역할을 하고, 수 미터 직경의 대구경으로 제작하기 용이하며, 대구경이면서 0.8~2의 높은 NA를 갖는 오목거울을 구현하기 용이하다. 오목거울의 볼록 렌즈와 동일한 집광 특징을 이용하여 망원경 등의 반사경으로 많이 이용하고 있다. 3차원 영상 획득 방법을 위해 필요한 장치는 광을 출사하는 광원, 광원으로부터 출사된 광을 집광하기 위한 집광렌즈, 집광렌즈를 통해 집광되어 입사되는 광을 투과시키는 격자, 격자로부터의 출사 광을 평행광으로 출사하는 영사렌즈, 영사렌즈의 평행광을 반사시켜 전량의 광을 측정대상물 쪽으로 출사하는 오목거울 그리고 측정 제품으로부터 반사된 반사광을 획득하는 CCD 카메라를 포함한다. 대구경 오목거울로 NA값을 변화시켜서 표면의 굴곡이 심한 납땀의 영상을 획득하여 품질향상 정도를 평가하였다. NA가 0.15~0.8까지 변화했을 때 영상 내 밝은 부분과 어두운 부분의 차이가 46~1.33배로 변화하여 NA를 높이면 영상의 품질이 향상됨을 알 수 있었다.

주제어: Concave mirror, Large aperture lens, Small aperture lens

I. 서 론

$$NA = n \times \sin(\mu) \tag{1}$$

일반적으로 모아레 측정 방법은 자유곡면형태의 3차원 형상을 측정하는 기술로써, 3차원 측정기를 사용하여 비접촉식으로 곡면상의 각 점의 밝기변화를 측정하여 전체 곡면형상을 한번에 측정하는 방식이다.^[1-3] 일반적인 영상 획득 장치는 고체 촬상소자를 이용하여 대상물체의 영상을 획득하는 장치를 일컫는다. 고체 촬상소자는 반도체화하고 집적화한 촬상소자로서 고체 촬상디바이스 또는 촬상관에 대응하여 촬상관이라고도 한다. 고체 촬상소자의 일종인 CCD(Charge Coupled Device)는 CCD 스캐너 또는 디지털 카메라나 비디오 카메라의 고체 촬상소자로 응용되고 있다.^[4-6] 기존의 연구에서는 측정물체의 표면 반사도가 높고 표면 굴곡이 클 경우 측정물체에서 표면반사 된 빛이 촬상소자쪽으로 입사되지 않는 경우가 발생하여 어둡게 보이는 일종의 음영 영역이 발생한다. 이런 경우에 대구경의 렌즈를 사용하여 측정물체 전체에 광을 조사할 수 있지만 가격이 비싸기 때문에 쉽게 적용하기가 어려운 문제를 가지고 있다.^[7]

NA는 식 (1)과 같이 정의되고, n 은 빛이 대물렌즈로부터 대물렌즈와 관찰 대상물 사이에 존재하는 매질로 입사될 때의 굴절률이다. 공기 중에서의 n 값은 1.0으로 근사할 수 있고, μ 의 최대값은 90도로 한정된다. NA가 증가함에 따라 대상물체로 입사되는 각도의 범위가 넓어지면 대상물체로 입사되는 빛의 입사각도가 커지는 효과가 동반되므로 낮은 NA의 광학계에서는 어둡게 보이던 굴곡부분이 높은 NA의 광학계에서는 밝게 보이는 효과가 유발된다.

그림 1은 결상부의 대물렌즈에서 빛이 출사되어 관찰 대상으로 전달되는 그림을 나타낸 것이다. 결상부에서 배율을 증가시키에 따라 관찰 대상으로부터 반사되어 나오는 빛의 양이 배율의 제공에 비례하여 줄어들기 때문에 배율의 변화에 따라 다량의 빛이 관찰 대상으로 조사되도록 하기 위해서 NA를 크게 하여 관찰이 용이한 구조로 되어 있다.

NA 값의 변화에 따른 가시성에 대한 측면에서 볼 때, 관찰 대상물의 표면 굴곡에 의한 기울기를 θ (광축에 수직한 면 기준)라고 했을 때,

$$\theta < \mu \tag{2}$$

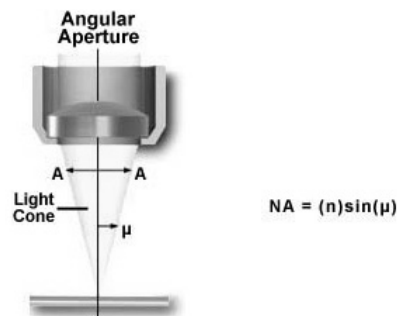


그림 1. Numerical aperture의 정의.

[†]E-mail: hikim@inha.ac.kr

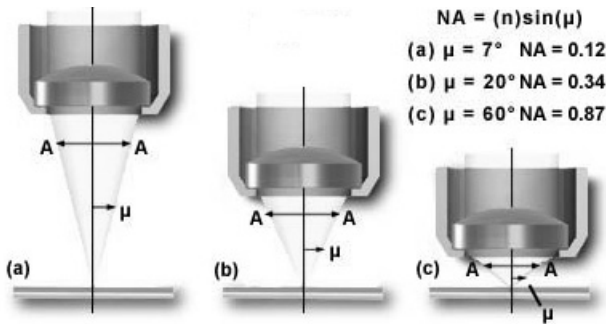


그림 2. Numerical aperture에 따른 입사각의 변화.

식 (2)와 같은 관계에 있는 표면의 굴곡은 표면에서 정반사가 발생하여 대물렌즈로 재입사되는 빛의 경로가 존재하므로 가시성이 확보된다. 표면의 반사도가 높지 않은 대상물의 경우에는 대상물체의 표면에서 물체반사가 발생하므로, 재입사되는 빛의 경로가 확보되지 않아도 표면의 관찰이 일정수준 가능하지만, 표면반사도가 높아서 격면반사(Specular reflection)를 하는 대상물체의 경우 재입사되는 빛의 경로가 확보되지 않으면 표면이 어둡게만 보일 뿐 표면 관찰이 불가능해진다.

이렇게 NA값이 큰 조사 광학계를 구현하면 관찰 대상물의 표면굴곡에 의해 어둡게 보여서 노이즈가 증가하거나 관찰이 불가능한 대상물도 관찰이 가능하게 하는 효과를 유발할 수 있다. 그림 2는 NA값에 따른 빛의 입사각도의 예시를 나타내었다.

본 연구에서는 기존의 영상 획득 장치에 소구경 렌즈와 대구경 오목거울을 이용함으로써, 대구경 렌즈의 성능과 동일한 효과를 얻을 수 있는 방법을 제안한다. 일반적인 오목거울은 실제 물체를 더 크게 보이게 하고 빛을 한 점으로 모으는 역할을 하며, 작은 것을 크게 보려고 할 때 많이 사용된다. 오목거울은 광을 집광하는 방향만 다를 뿐 볼록렌즈와 동일한 역할을 한다. 이러한 이점을 통해 물체의 밝기를 밝게 하여, 특정 영역의 밝기를 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 소구경 렌즈와 대구경 오목거울을 이용한 영상획득 장치를 구현하여, 3차원 형상 정보에서 보다 나은 품질의 raw영상/phase영상을 획득하는 방법으로 영상계에 NA값이 높은 오목거울을 배치하는 것을 제안하였다. 성능은 뛰어나지만, 비싼 가격 때문에 실질적으로 사용하기 어려운 대구경 렌즈를 대신하여 대구경 오목거울을 사용하여 결과를 비교하였다. 또한, 오목거울을 사용하여 NA값을 변화시켜가며 영상의 결과를 측정하였다. 대구경 렌즈를 대신하여 대구경 오목거울을 사용함으로써 3차원 측정용 영상의 품질을 높일 수 있었고, 영상의 밝기를 향상시킬 수 있었다.

II. 오목거울을 이용한 3차원 형상측정을 위한 영상 획득 방법

본 논문에서는 기존의 영상 획득 장치의 문제점을 해결할

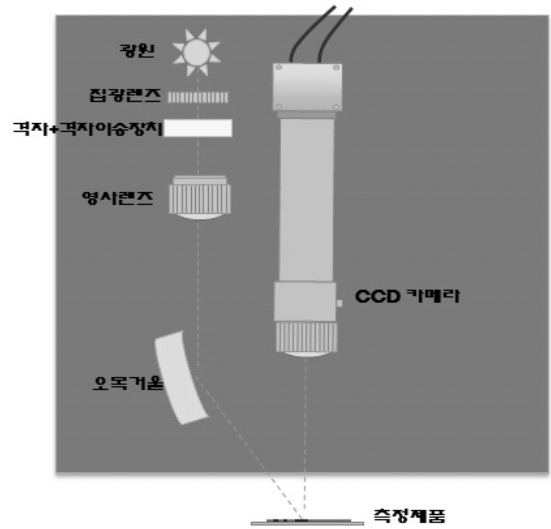
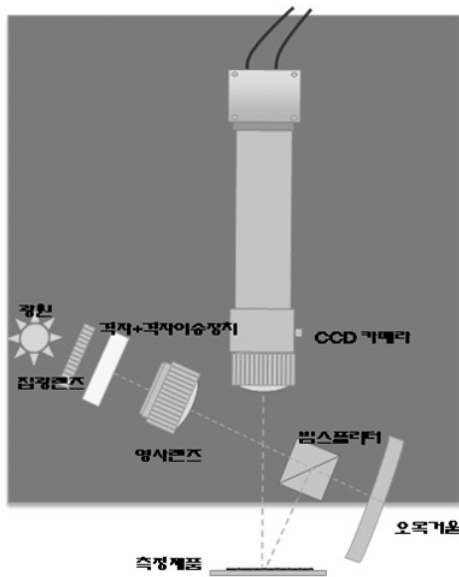


그림 3. 제안된 오목거울을 사용한 구조.

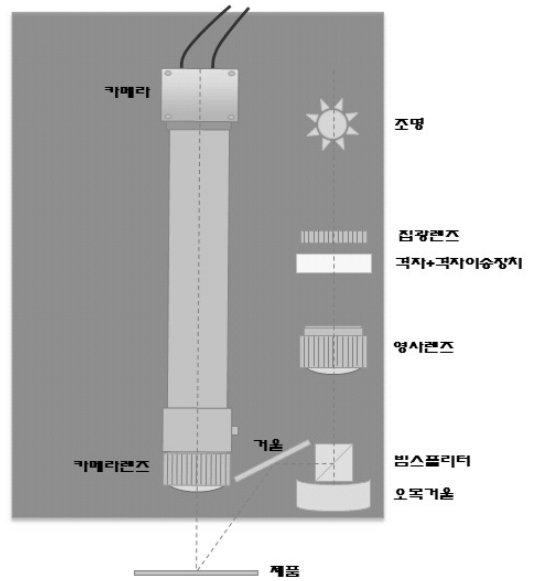
수 있도록 소구경 렌즈와 대구경 오목거울을 사용하여 대구경 렌즈를 사용한 것과 같은 효과를 내는 오목거울을 이용한 3차원 형상측정을 위한 영상 획득 방법을 제안한다. 대구경 렌즈를 사용하면 획득된 영상의 화면이 전체적으로 밝아지고 외곽의 어두운 부분을 없앨 수 있는 장점이 있기에 소구경 렌즈의 구면에 오목거울을 사용하여 광량을 최대한 입사시켜 동일한 성능을 낼 수 있다. 그림 3은 오목거울을 사용한 3차원 영상 획득 방법에 대한 구성을 보여 준다. 이를 위해 제안하는 영상 획득 방법은 측정대상물에서 반사되는 광으로부터 영상을 획득하기 위해서 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

1. 광을 출사하는 광원, 출사된 광을 집광하기 위한 집광렌즈, 입사되는 광을 투과시키는 격자, 출사광을 평행광으로 출사하는 영사렌즈, 전량의 광을 측정대상물 쪽으로 출사하는 오목거울 그리고 반사광을 획득하는 CCD 카메라 포함
2. 오목거울은 입사 광이 측정대상물 쪽으로 반사되지 않아 측정대상물로부터 CCD 카메라에 입사되는 광량이 감소되지 않도록 할 것
3. 오목거울과 측정대상물 사이에 광 경로 변경수단을 더 포함
4. 광 경로 변경수단은 빔 스플리터
5. 광 경로 변경수단은 빔 스플리터와 반사거울

위의 특징들로 제안한 구조는 그림 3과 같으며, 본 논문의 방법을 통해 그림 4와 같이 변형되어 사용할 수도 있다. 그림 3의 구조를 보면 광원으로부터 출사된 출사광은 집광렌즈를 통해 집광되어 격자로 입사된다. 여기서 격자는 격자 이동수단에 의해 화살표에 표시된 방향으로 상하 이동이 가능하다. 격자로 입사된 광은 격자를 통과하고 영사렌즈는 격자



(a) 오목거울을 이용한 3차원 영상 획득 방법의 구성도(1)



(b) 오목거울을 이용한 3차원 영상 획득 방법의 구성도(2)

그림 4. 오목거울을 이용한 3차원 영상획득 방법의 추가 예.

로부터 입사되는 광을 입사하여 평행광으로 오목거울 쪽으로 출사한다. 오목거울은 영상렌즈로부터 입사되는 평행광을 입사하여 오목한 구면에 반사시켜 측정대상물 쪽으로 반사하고, CCD 카메라는 측정대상물로부터 반사되는 광을 입사하여 영상을 획득하게 된다. 이 구성에서는 Off-axis 오목거울을 사용하기 때문에 광량의 손실 없이 격자무늬를 영상할 수 있지만 오목거울의 각도 조절이 미세하게 어긋나도 대상물체에 결상된 격자무늬의 영상에 Blurr가 발생하기 쉬운 단점이 있다.

오목거울은 오목한 구면을 통해 입사되는 광을 반사하므로 보다 많은 광량을 반사시킬 수 있으며, 측정대상물에 반사되는 전량의 광을 포커싱 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 4의 (a)는 그림 3과 동일한 기능을 수행하며, 차이점은 동

일한 구성에 Off-axis 오목거울 대신에 On-axis 오목거울을 사용하고 빔 스플리터를 추가로 구성한 것이다. 빔 스플리터는 영상렌즈로부터 입사되는 평행광을 투과하여 오목거울로 출사하고, 오목거울로부터 반사된 반사광을 측정대상물 쪽으로 반사시킨다. 빔 스플리터는 오목거울을 통해 입사되는 절반의 광을 측정대상물로 반사시키는 것으로 광 경로를 변경하는 역할을 한다. 그림 4의 (b)는 (a)의 구성에 빔 반사거울을 추가한 예로, 빔 반사거울은 빔스플리터로부터 입사되는 반사광을 측정대상물로 반사시키는 것으로 광 경로를 변경하는 역할을 한다.

그림 5는 측정 대상물체의 표면에 굴곡이 있어서 렌즈의 광축과 측정 대상면의 법선축이 θ 만큼 기울어졌을 때, 영상계에 대구경 렌즈를 사용한 경우와 소구경 렌즈를 사용한 경

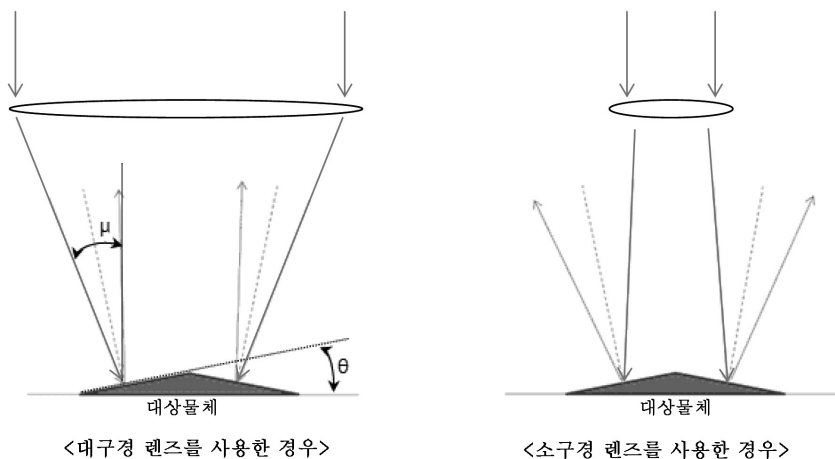


그림 5. 오목거울의 사용 유무에 따른 비교.

우를 비교한 그림이다. 대상물체의 모양이 오목하거나 볼록한가에 상관 없이 표면의 기울기가 $\theta < \mu$ 인 조건만 만족하면 카메라로 입사되는 광경로가 확보되므로 굴곡부분의 영상획득이 가능해진다. 따라서 대구경 렌즈를 사용하면 대상물 표면에 더욱 다양한 각도의 광입사 경로가 생기므로 표면에 굴곡이 있더라도 소구경 렌즈를 사용한 경우보다 더욱 균일한 밝기를 갖는 영상을 획득할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 그림 3에 설명된 구조에서 오목거울이 사용되었을 때의 영상계를 표현하였다. 측정물체와 오목거울과 광 경로를 보여 준다. 조명원으로부터 오목거울로 입사된 빛이 오목거울에서 반사되어 측정대상물에 입사된 후 카메라 쪽으로 입사된다. 오목거울을 사용했기 때문에 대상물체보다 큰 직경의 오목거울을 사용하면 소구경렌즈와 오목거울의 거리 설정에 따라 그림 5에서 설명한 것처럼 대상물체의 표면굴곡으로 인한 음영을 없애면서 오목거울로 입사되는 광량 전부가 대상물체에 입사되어 카메라의 결상에 사용되는 것이

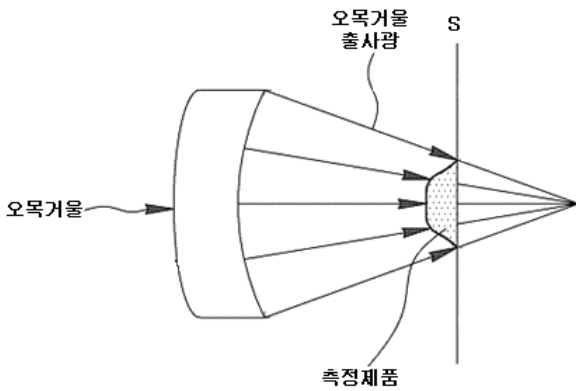


그림 6. 제안한 방법에 적용된 오목거울과 광 경로.

가능하다.

그림 7은 그림 3에 설명된 구조에서 기존의 연구들과 같이 오목거울을 사용하지 않고 평면거울을 사용할 때의 영상계를 표현하였다. 측정물체와 평면거울과 광 경로를 보여 준다. 조명원으로부터 평면거울로 입사된 빛이 평면거울에서 반사되어 측정대상물에 입사된 후 카메라 쪽으로 입사되는 광은 실선으로 표시하고, 카메라 쪽으로 입사되지 않는 광은 점선으로 표시하였다. 측정대상물의 크기가 사용된 소구경 렌즈의 직경보다 같거나 크면 그림 3에서 설명된 음영을 제거할 수가 없다.

따라서, 평면거울을 사용하는 경우에 측정대상물로부터 반사되는 반사광의 전량이 CCD로 입사되지 못하므로 획득된 영상의 전체적인 이미지가 어두워 진다. 또한, 그림 6의 경우 측정대상물이 원형이므로 기준면을 기준으로 오목거울의 반대쪽에는 그림자 영역이 발생할 수 있으며, 오목거울로부터 반사된 반사광은 기준면을 기준으로 평면거울의 반대쪽에는 모두가 그림자영역이 된다. 이로 인해 평면 거울과 오목거울의 사용여부에 따라 측정대상물로부터 입사되어 CCD에 입사되는 반사광의 광량의 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 8은 대구경의 렌즈와 소구경의 렌즈의 영상 측정을

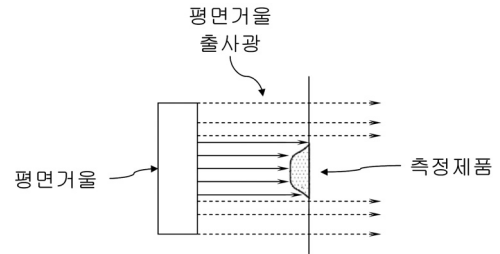
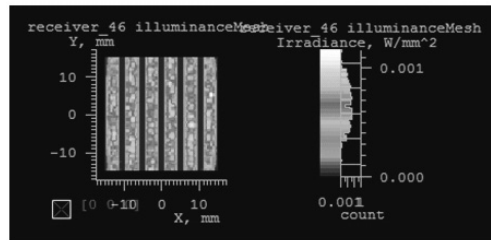
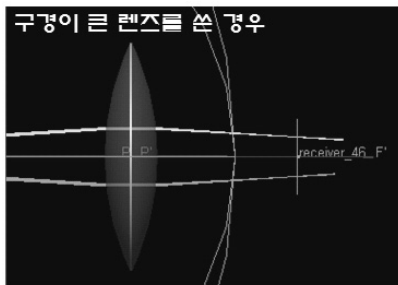
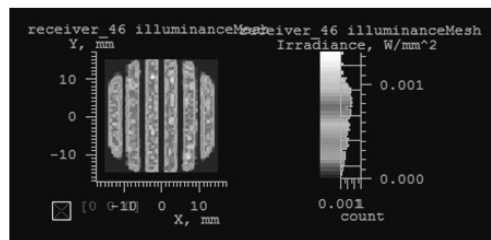
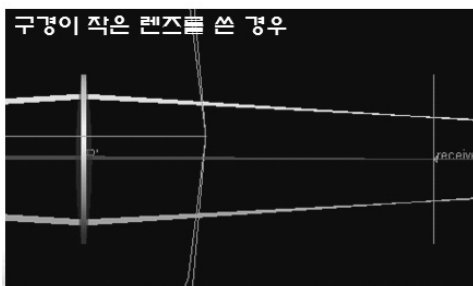


그림 7. 제안한 방법에 적용된 평면거울과 광 경로.



<격자가 영상된 이미지>



<격자가 영상된 이미지>

그림 8. 대구경 렌즈와 소구경 렌즈의 비교 결과.

컴퓨터 시뮬레이션 한 결과를 비교한 그림이다. 대상물에 격자를 영상을 입사하여 입사되는 광 밀도를 나타낸 그림이다. 격자가 영사된 이미지를 보면 대구경 렌즈를 사용했을 경우, 소구경 렌즈를 사용한 경우에 비해 전체적인 이미지의 밝기가 밝아 졌으며, 영상의 외각까지 전체적으로 균일한 밝기를 나타냄을 확인할 수 있었다. 대구경의 렌즈를 사용했을 때의 성능과 소구경 렌즈의 성능이 확연히 차이가 나는 것을 알 수 있다.

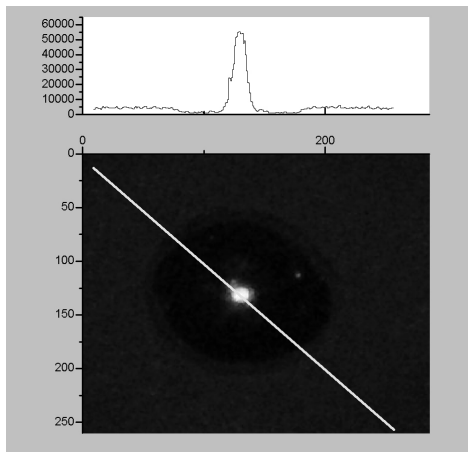
III. 실험결과 및 고찰

본 장에서는 오목거울을 이용해 3차원 영상 획득 방법의 성능을 평가하기 위해 몇 가지의 실험을 하였다. 먼저 대구경 렌즈와 소구경 렌즈를 사용했을 때의 영상 측정의 결과를 비교하였다. 실험을 통해, 동일한 영상에 대해 대구경 렌즈를 사용했을 때와 소구경 렌즈를 사용했을 때의 결과 영상을 확인하였다. 이를 통해 영상의 노이즈 변화를 비교하였다.

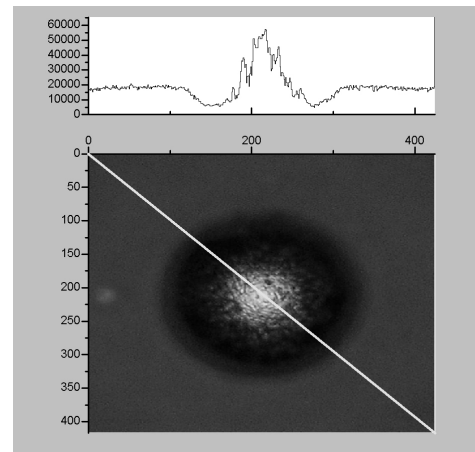
그림 9는 FC-CSP 제품의 Round bump와 SR(Solder resist)를 NA를 변화시키며 촬영한 영상이다. NA값의 변화에 의한

밝기분포를 Profile로 나타내었다. Round bump는 지름 100 μm 내외의 납으로 만든 구이다. 대상물의 크기가 작기 때문에 현미경으로 영상획득을 대신할 수가 있었다. 사용된 현미경은 Olympus사의 BX51이며 사용된 배율은 각각 10X, 20X, 30X, 50X이다. 영상 내의 밝은 부분과 어두운 부분의 밝기 비를 다음과 같이 각각 $C1 = (\text{SR 표면 밝기}) / (\text{경사부 밝기})$, $C2 = (\text{볼 정상 밝기}) / (\text{경사부 밝기})$ 로 정의되고, 영상 내에서의 영역별 밝기편차를 나타낸다. C1, C2가 커지면 영역별로 밝기의 차이가 커지므로 밝은 부분이 측정될 수 있도록 빛의 양을 설정하면 어두운 부분의 측정이 측정 불가능해지고, 또한 반대의 경우도 발생하게 되므로 C1, C2값은 작아질수록 대상물체를 측정하기 용이하다. 조사광학계의 NA값이 클수록 C1, C2가 작아지므로 대상물체의 표면에 격면반사와 굴곡이 있는 경우에도 측정능력이 대폭 향상됨을 의미한다. NA가 0.46인 경우는 일반적인 Confocal현미경들이 사용하는 범위에 해당한다. 그림 10은 NA값에 따른 C1, C2의 변화를 나타내는데, NA값이 증가함에 따라 측정능력이 급격히 향상됨을 알 수 있다.

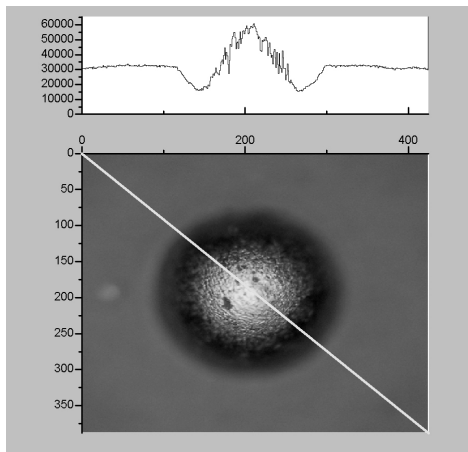
그림 11에는 그림 12의 영상획득에 사용된 FC-BGA제품의



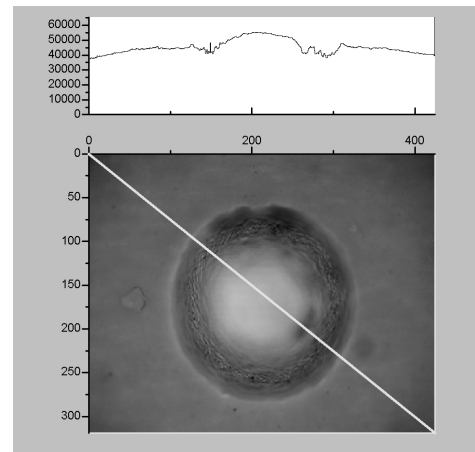
(a) N.A = 0.15, Contrast 1 = 4.11배, Contrast 2 = 46.88배



(b) N.A = 0.3, Contrast 1 = 2.82배, Contrast 2 = 8.23배



(c) N.A = 0.46, Contrast 1 = 2.00배, Contrast 2 = 3.62배



(d) N.A = 0.8, Contrast 1 = 1.07배, Contrast 2 = 1.33배

그림 9. N.A. 값에 따른 굴곡부위의 가시성.

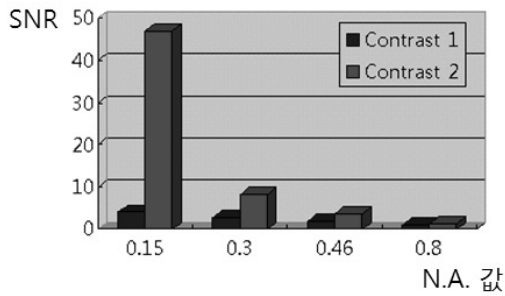


그림 10. N.A. 값에 따른 굴곡부위의 Contrast 변화.

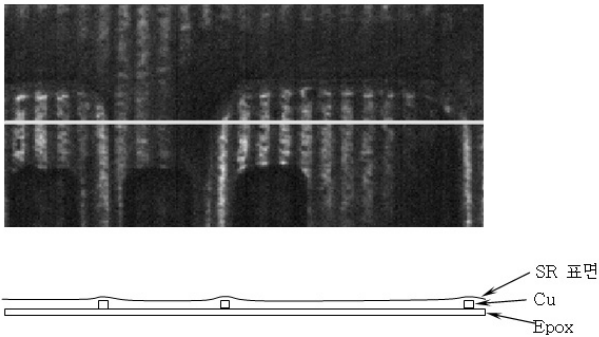
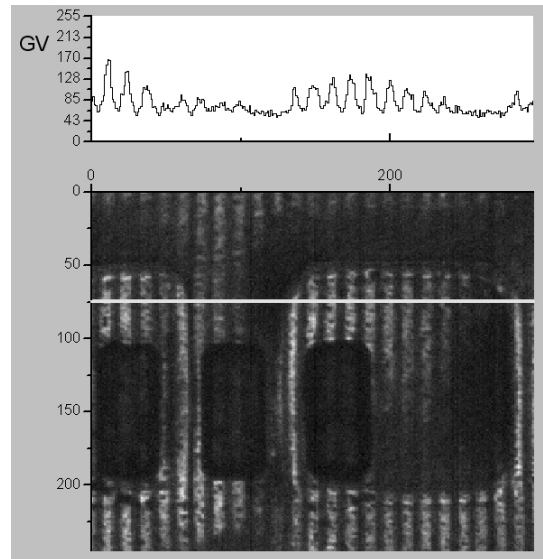


그림 11. FC-BGA의 두께분포.

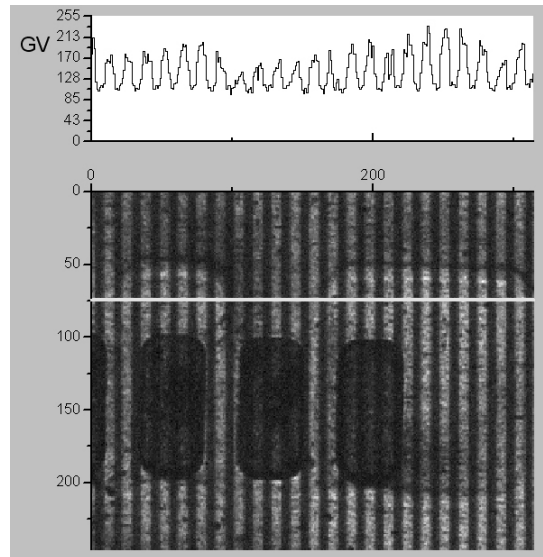
위치에 따른 두께분포를 나타내는 그림이다. 그림 12에서는 그림 11의 SR표면에 해당하는 부분이 영상획득된다.

그림 12는 렌즈 구경에 따른 raw 영상의 Profile을 나타낸 그림이다. 그림 11(a)는 소구경 렌즈를 사용하여 카메라의 광축과 8° 기울여서 초점거리 80 mm 렌즈를 Working distance 545 mm에서 영사한 영상이고, 그림 11(b)는 초점거리 80 mm 렌즈와 지름 150 mm, NA 1인 대구경 오목거울로 카메라의 광축과 8° 기울여서 Working distance 145 mm에서 영사한 영상이다. 소구경 렌즈를 사용한 격자 영상의 Contrast는 0.019~0.415이고 전체적으로 어두운 반면, 대구경 오목거울을 사용한 격자 영상의 Contrast는 0.17~0.35이면서 전체적으로 밝다.

여기서 Contrast는 $\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ 로 정의한다. 소구경 렌즈와 대구경 렌즈의 영상을 Dark current noise가 5 GV인 8비트 카메라를 통해 영상 획득을 할 경우 각 영상에서 가장 밝은 부분의 밝기를 255 GV로 설정하면, 소구경 렌즈의 영상에서는 Contrast가 가장 낮은 부분의 밝기진폭을 GV로 환산하면 $\frac{0.019}{0.415} \times 255 = 11.6$ GV이므로 SNR(Signal to noise ratio)는 $\frac{11.6}{5} = 2.32$ 가 되고, 대구경 렌즈의 영상에서는 Contrast가 가장 낮은 부분의 밝기진폭을 GV로 환산하면 $\frac{0.17}{0.35} \times 255 = 123.8$ GV이므로 SNR은 $\frac{123.8}{5} = 24.76$ 이 된다. 두 영상에서의 SNR은 소구경, 대구경이 각각 2.32, 24.76이다. 3차원 측정에서 측정치의 오차를 유발하는 요소는 많이 있지만 영상의 품질에



(a) 소구경 렌즈를 사용한 격자 영상(contrast=0.019~0.415)



(b) 대구경 오목거울을 사용한 격자 영상(contrast= 0.17~0.35)

그림 12. 테스트 결과 raw 이미지 Profile 비교.

의한 오차율만을 고려한다면 대구경 렌즈를 사용한 경우가 소구경 렌즈를 사용한 경우에 비해 오차율이 5배 향상됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 3차원 오목거울을 이용한 영상 획득 방법을 설계하고 구현하였다. 비싼 가격으로 인해 사용이 쉽지 않지만 성능이 좋은 대구경 렌즈와 같은 성능을 얻기 위해서 제안하였으며, 성능 평가를 위해 첫 번째 실험은 NA를 변경했을 때의 영상의 차이를 비교하였다. NA가 0.15인 경우에는 영상내의 밝은 부분과 어두운 부분의 차이가 46배였지만, NA가 0.8일 때는 30%정도의 밝기 차이가 발생하여 NA값의 증가

에 따라 밝기차이가 급격히 작아지는 것을 알 수 있었다.

두 번째 실험으로는 소구경 렌즈를 사용한 경우와 소구경 렌즈/대구경 오목거울을 동시에 사용했을 때의 결과를 비교하였다. 그 결과, 오목거울을 배치하였을 때의 영상이 많이 밝게 나타나는 것과 영상 내 밝기분포가 작아지면서 대상물체 표면 굴곡으로 인한 음영지역이 사라지는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 소구경 렌즈와 오목거울을 사용함으로써, 영상획득을 위한 광량을 최대한 확보하고 제품 표면의 윤곽에 따른 음영을 제거함을 확인하였다. 또한 소구경 렌즈와 대구경 오목거울을 동시에 사용하여 저렴하게 대구경 볼록 렌즈를 대체할 수 있는 장점이 있다. 결과적으로 대구경 오목거울을 사용하면 3차원 영상획득을 위한 영상의 품질이 전체적으로 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Colin A. Walker, "A Historical Review of Moire Interferometry," *Experimental Mechanics*, Oct 1993.
- [2] Daniel Meadows, W. O. Johnson, and J. B. Allen, "Generation of Surface Contours by Moire Patterns," *Applied Optics*, Vol. 9, No. 4, pp. 942-947, April 1970.
- [3] Daniel Malacara, Manuel Servin, and Zacaías Malacara, "Interferogram Analysis for Optical Testing: second edition," *Taylor & Francis*, 2005.
- [4] Brian Curless, "Siggraph 2000 Courses on 3D Photography," *Siggraph 2000*, New Orleans, Louisiana, July 2000.
- [5] Eugene Hecht, "OPTICS: fourth edition", *Addition Wesley*, 2002.
- [6] P. HARIHARAN, "Optical Interferometry: second edition," ELSEVIER Academic press, 2003.
- [7] Yinyan Wang and Patrick Hassel, "Measurement of thermally induced warpage of BGA packages/Substrates using phase stepping shadow Moire," 1997 IEEE/CPMT Electronic packaging technology conference.

Image Enhancement for 3D Shape Measurement Using Large Aperture Projection System

Doo-Hyun Yoon and Hakil Kim[†]

School of Information and Communication Engineering, Inha University 253, YongHyun-Dong, Nam-Gu, Incheon 402-751, Korea

[†]*E-mail: hikim@inha.ac.kr*

(Received June 23, 2008; Revised manuscript August 4, 2008; Accepted August 19, 2008)

In general, a lens with large NA makes image quality better. There are many kinds of cheap concave mirrors with large aperture and NA. This paper presents a method that uses a large aperture projection imaging system to enhance the image used for 3D shape measurement. This method makes it possible to enhance reflection uniformity on the object surface and increases SNR (Signal to Noise Ratio). Using a large aperture lens, it is possible to obtain a brighter image, reducing the shading nature in the image boundary, and enhancing the reflection uniformity even on woven surfaces. Because of the exorbitant cost of a large aperture projection lens larger than 150 mm in diameter, a refractive lens was exchanged with a concave mirror resulting in the same optical effect. In experiment, changing NA 0.15~0.8, image contrast was enhanced from 46 to 1.33. Incidentally, the effect of the concave mirror was tested successfully through the experiment.

OCIS codes: (150.0150) Machine vision; (000.2170) Equipment and techniques; (070.6020) Signal processing; (100.6950) Tomographic image processing; (110.0110) Imaging systems.