

## 위상측정법을 이용한 LED Package의 3차원 형상 측정

구자명 · 조태훈\*

한국기술교육대학교 전기전자공학과, \*한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

### 3-D Measurement of LED Packages Using Phase Measurement Profilometry

Ja-Myoung Koo and Tai-Hoon Cho\*†

Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Korea University of Technology and Education

\*School of Computer Engineering, Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

LEDs(Light Emitting Diodes) are becoming widely used and increasingly in demand. Quality inspection of the LEDs has become more important. Two-dimensional inspection systems are limited in inspection capability, so three-dimensional(3-D) inspection systems are needed. In this paper, a cost-effective and simple 3-D measurement system of LED packages using phase measuring profilometry(PMP) is proposed. The proposed system uses a pico projector to project sinusoidal fringe patterns and to shift phases instead of piezocrystal. It was evaluated using extremely accurate gauge blocks, yielding excellent repeatability of about 12  $\mu\text{m}$ (3- $\sigma$ ). 3-D measurements of various LED packages were performed to demonstrate the applicability and efficiency of the proposed system.

**Key Words** : LED inspection, 3-D measurement system, phase measurement profilometry, PMP

#### 1. 서 론

기술 발전으로 LED(Light Emitting Diode)는 점점 소형화되고 가격이 낮아지면서 최근 LCD TV, 실외 광고판, BLU(Back Light Unit), 자동차 시장 등에서 활용도가 높아졌다. 특히, 백색 LED의 생산이 본격화되면서 모든 조명의 광원으로 LED가 자리 잡아가고 있다[1]. LED의 시장 규모 및 수요가 증가하면서 LED 검사 시스템도 중요해지고 있다. 현재 대부분의 LED 검사 시스템은 2차원 데이터만을 이용한 방법으로 검사할 수 있는 범위가 제한되어 있다. LED의 3차원 형상 측정으로 수지의 적정량, 칩의 높이 등 다양한 검사 방법이 요구되고 있다.

광학을 이용한 3차원 형상 측정 방법은 편리성과 측정 대상에 손상을 입히지 않고, 복잡한 형상의 경우에도 측정이 용이하여 활발히 연구되어 산업화되고 있다[2, 3]. 광학을 이용한 방법 중 PMP(Phase Measuring Pro-

filometry: 위상측정법)는 측정범위가 제한적이지만, 조밀한 3차원 데이터를 고속으로 정밀하게 얻을 수 있어서 검사 시스템에 많이 사용되고 있다[4-7]. PMP는 위상이 이동된 여러 장의 정현파 프린지 패턴(sinusoidal fringe pattern)을 측정 대상에 투영하고, 카메라를 통해 투영된 패턴영상을 획득한다. 획득된 정현파 프린지 패턴 영상은 측정 대상의 높이에 의해 왜곡이 발생하고 이를 분석하여 3차원 데이터를 얻는 방법이다.

본 논문은 PMP를 이용한 LED package의 3차원 형상 측정 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 피코 프로젝터(pico projector)를 이용하여 정현파 프린지 패턴을 투영하고 위상을 이동시킨다. 제안시스템은 PZT(piezocrystal) 또는 검사용 LCD 프로젝터를 이용한 기존의 시스템 보다 저렴하고, 구성이 단순하다[4-6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 PMP원리에 대해서 설명하고, 3장에서 LED package의 3차원 형상 측정 시스템 및 방법을 제안한다. 4장에서는 게이지 블록을 이용하여 제안한 시스템의 성능을 평가하고, LED package의 3차원 형상 측정결과를 보여준다. 5장에서

†E-mail : thcho@kut.ac.kr

결론 및 기대효과를 논한다.

## 2. PMP의 원리[8]

PMP를 이용한 3차원 형상 측정의 기하학은 그림 1처럼 프린지 패턴을 투영하는 프로젝터와 투영된 영상을 획득하는 카메라 그리고 대상물체로 구성되어 있다. 정현파와 프린지 패턴이 투영된 영상은 식(1)처럼 표현된다.  $a(x,y)$ 는 배경(background intensity),  $b(x,y)$ 는 프린지 변조(fringe modulation),  $\varphi(x,y)$ 는 위상 값을 나타낸다.

$$I(x,y) = a(x,y) + b(x,y)\cos\varphi(x,y) \quad (1)$$

PMP에서 위상 계산 방법은 정현파와 프린지 패턴의 위상이 등 간격으로 이동된 여러 장을 이용한다.  $2\pi/N$ 만큼 위상이 이동된 정현파와 프린지 패턴을 투영하고 이때 획득된 영상이  $I_1, I_2, \dots, I_N$  이면, 위상은 식(2)처럼 계산된다.

$$\varphi(x,y) = \tan^{-1} \left( \frac{\sum_{n=1}^N I_n(x,y) \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right)}{\sum_{n=1}^N I_n(x,y) \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)} \right) \quad (2)$$

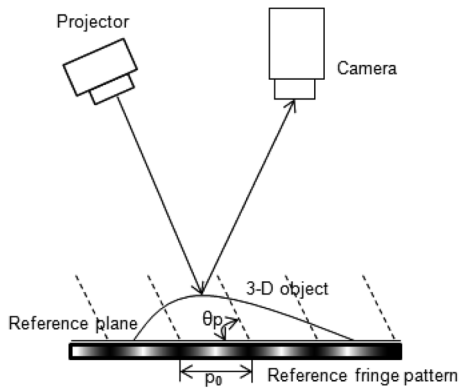


Fig. 1. Optical geometry of the phase measuring method.

기준면과 대상물체에 대해서 식(2)를 이용하여 위상을 계산하고, 식 (3)처럼 기준면과 대상물체의 위상차를 계산한다.  $\varphi_s$ 는 기준면의 위상 분포를,  $\varphi_o$ 는 대상물체의 위상 분포를 나타낸다.

$$\Delta\varphi(x,y) = \varphi_o(x,y) - \varphi_s(x,y) \quad (3)$$

위상차는 식(4)를 이용하여 대상물체의 높이로 변환된다.  $h(x,y)$ 는 대상 물체의 높이 분포,  $p_0$ 는 정현파와 프린지 패턴이 투영된 주기,  $\theta_p$ 는 정현파와 프린지 패턴이 투영된 각도를 나타낸다.

$$h(x,y) = \frac{p_0}{2\pi} \tan\theta_p \Delta\varphi(x,y) \quad (4)$$

## 3. 제안하는 3차원 형상 측정 시스템

### 3.1. 제안한 시스템의 구성

본 논문에서 정현파와 프린지 패턴을 투영하고 위상을 이동시키기 위해 피코 프로젝터를 이용한 시스템을 제안한다. 기존의 PZT 또는 검사 전용 LCD 프로젝터를 이용한 3차원 형상 측정 시스템은 제작 비용이 많이 들고, 복잡해지는 문제점이 있다. 제안한 피코 프로젝터를 이용한 시스템은 제작 비용이 저렴하고, 시스템 구성이 단순하다. 제안한 시스템의 구현된 모습은 그림 2와 같고, CCD 카메라, 피코 프로젝터, 기준면으로 구성되어 있다. 시스템에 사용된 자세한 사양은 표 1과

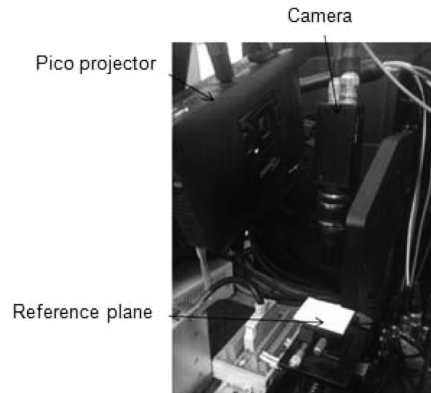


Fig. 2. The proposed system.

Table 1. Specifications of the implemented system.

Component	Model	Specifications	
Camera	teli cs8420	Resolution	768×582
Frame Grabber	Meteor2-MC/4	Mode	RS-170A
		Resolution	640×480
Lens	Computar	Focal length	25 mm
		Aperture	F1.4
		Extension Ring	7 mm
Pico Projector	Optoma PK301	Output Resolution	640×480/ 854×480
		Input Resolution	640×480~ 1280×800
		Projection Distance	0.2 m~5 m

같다. 피코 프로젝터의 광축과 기준면과의 각도는 70도 정도이다. 카메라의 FOV(Field of View)는 23 mm × 17 mm, 피코 프로젝터의 투사 면적(Projection area)은 카메라의 FOV보다 3배 정도 더 큰 면적으로 75 mm × 50~60 mm이다. 피코 프로젝터의 가장 짧은 투사 거리(Projection distance)는 0.2 m로 투사 면적을 더 작게 하기 위해 투사 거리를 좁히면, 초점이 흐려져 정확한 정현파 프린지 패턴 영상의 투영이 어렵다. 기준면은 FOTOWAND사의 화이트 보드(white board)를 이용하였다.

**3.2. LED package의 3차원 형상 측정 과정**

제안하는 LED package의 3차원 측정 과정은 크게 두 단계로 나누어 진다. 첫 번째 단계는 시스템 캘리브레이션(system calibration)으로 2장에서 설명한 정현파 프린지 패턴이 투영되는 각도, 주기는 시스템의 비선형적인 요소로 인하여, 실험적인 방법을 통해 시스템 파라미터(system parameter)를 계산한다. 두 번째 단계는 기준면 위에 측정할 대상의 LED package를 올려놓아 위상 분포를 계산하고, 기준면의 위상과 시스템 파라미터를 이용하여 LED package의 높이를 계산하는 단계이다. 자세한 과정은 다음과 같다.

● 시스템 캘리브레이션 단계

1. 정현파 프린지 패턴 생성 : 식(5)과 같이 정현파 프린지 패턴 영상을 생성한다.

$$I_n(x,y) = A + B \cos\left(\frac{2\pi}{P}x + \frac{\pi}{2}n\right), n=0,1,\dots,N \quad (5)$$

A는 배경, B는 정현파 진폭,  $\frac{\pi}{2}n$ 은 이동된 위상 값, P는 생성 주기를 나타낸다.

2. 정현파 프린지 패턴 투영 및 영상 획득 : 피코 프로젝터를 통해 생성한 정현파 프린지 패턴  $I_0, I_1, \dots, I_N$ 를 순서대로 투영하고 카메라를 통해 영상을 획득한다.
3. 기준면 위상 계산 : 투영된 영상을 이용해 식(2)처럼 위상 값을 계산한다.
4. 시스템 파라미터의 계산 : 위상과 높이의 관계는 식(6)을 이용하여 나타내고, 시스템 파라미터  $m(x,y), n(x,y)$ 는 Guo방법으로 계산한다[9].

$$h(x,y) = \frac{\Delta\phi(x,y)}{m(x,y) + n(x,y)\Delta\phi(x,y)} \quad (6)$$

● LED package 측정 단계

1. LED package 위상 계산 : 기준면 위에 측정할

LED package를 올려놓고, 시스템 캘리브레이션 2, 3단계를 반복하여 LED package 위상 분포를 계산한다.

2. 위상차 계산 : 기준면과 LED package의 위상차는 식(3)를 이용하여 계산하고, 3×3 미디언 필터 (median filter)를 1회 적용하여 노이즈를 제거한다.
3. 위상차를 높이로 변환 : 위상차는 식(6)을 이용하여 LED package의 높이로 변환한다.

**4. 실험 결과**

**4.1. 제안한 시스템의 성능 평가 결과**

제안하는 시스템의 성능 평가 및 시스템 캘리브레이션을 위해 Mitutoyo사의 등급  $0(\pm 0.12 \mu\text{m})$ 인 게이지 블록(gauge block) 위에 기준면을 올려놓아 실험하였다. 피코 프로젝터의 입력 해상도는 1280×800, 출력 해상도는 640×480으로 설정하였다. 생성된 정현파 프린지 패턴의 주기는 12픽셀(pixel)로, 투영될 때의 주기는 0.8 mm에 해당되고, 측정 범위는 2.1 mm 정도이다. 실험에 사용한 위상 이동 횟수는 씩 5번을 이동시켜 계산하는 식(7)를 사용하였다[10].

$$\phi(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{I_1(x,y) - I_3(x,y)}{2I_2(x,y) - I_4(x,y) - I_0(x,y)}\right) \quad (7)$$

시스템 파라미터인 식(7)의  $m(x,y), n(x,y)$ 는 1, 1.5, 2(mm)인 게이지 블록을 이용하여 계산하였다. 1.25 mm인 게이지 블록 위에 기준면을 올려놓아 그림 3과 같이 9개의 점들에 대해 30회 반복 측정하였다. 측정 결과는 표 2와 같고 정확도는 식(8)과 같이 계산하였다. 측정 결과 제안한 시스템의 표준편차의 평균은 0.0041 mm 이고, 최대 정확도 오차는 0.0141 mm이다. 검사 전용 LCD 프로젝터를 이용한 시스템과 비슷한 성능을 보인다[4,5].

$$\text{Accuracy} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} (h_i - h_{true}) \quad (8)$$



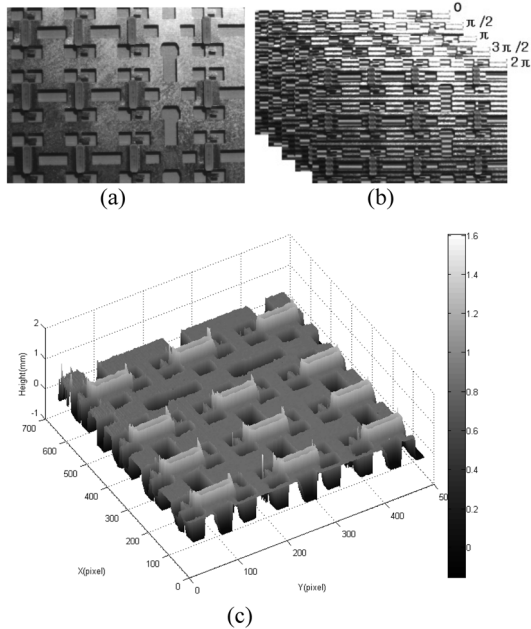
Fig. 3. Measured points.

**Table 2.** Measurement repeatability and accuracy for the 1.25mm gauge block.

Point Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean
Mean(mm)	1.2587	1.2566	1.2469	1.2486	1.2641	1.2578	1.2435	1.2569	1.2561	1.5041
Standard deviation (mm)	0.0040	0.0034	0.0052	0.0045	0.0032	0.0045	0.0049	0.0037	0.0032	0.0041
Accuracy(mm)	0.0087	0.0066	-0.0031	-0.0014	0.0141	0.0078	-0.0065	0.0069	0.0061	0.0043

#### 4.2. LED package의 3차원 형상 측정 결과

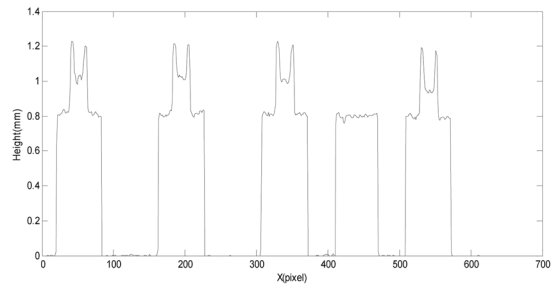
제안한 시스템을 이용하여 그림 4(a)와 같은 LED package를 측정하였다. 실험 조건은 4.1절과 동일하며, 시스템 캘리브레이션에 사용한 게이지 블록은 1, 1.25, 1.5, 2(mm)이다. 정현파와 프린지 패턴이 투영된 후 카메라를 통해 획득된 영상은 그림 4(b)와 같다. 제안한 방법으로 측정된 LED package의 3차원 높이 데이터는 그림 4(c)와 같다.



**Fig. 4.** (a) LED packages. (b) Projected fringes on the packages. (c) 3-D surface profile of the packages.

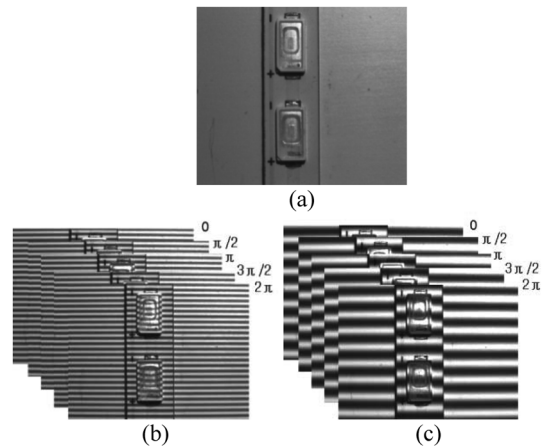
측정 결과를 자세히 보기 위해, 측정된 3차원 높이 데이터에서 y좌표 280에서 X축방향으로 샘플링(sampling)하였다. 샘플링된 결과는 그림 5와 같으며, 리드 프레임의 높이는 0.8 mm, LED package 둘레는 1.2 mm, 내부는 1 mm로 실제 높이와 매우 근접하다.

또한, 제안한 시스템을 그림 6(a)와 같은 LED BLU package의 측정에 적용하였다. LED BLU package의 최대 높이는 대략 2.7 mm로 시스템의 측정 범위를 넘



**Fig. 5.** A 1-D profile of the LED packages.

어간다. 정현파와 프린지 패턴의 주기를 크게 하면 측정 범위는 증가하지만 정확도가 감소한다. 본 논문에서는 정확도를 유지하면서 측정 범위를 증가시키기 위해 이중 파장법을 이용하였다[11, 12]. 정현파 생성 주기가 12픽셀인 경우와 36픽셀인 경우에 각각 LED BLU package에 투영한 후 카메라를 통해 획득된 영상은 그림 6(b), (c)와 같다. 정현파와 프린지 패턴의 생성 주기가 36픽셀인 경우 투영된 주기는 2.0 mm이며, 측정 범위는 5.2 mm 정도이다. 시스템 캘리브레이션에 사용된 게이지 블록은 1, 1.5, 2, 2.5, 3(mm)이다.



**Fig. 6.** (a) LED BLU packages. (b) projected fringes on LED BLU packages(period : 12 pixels). (c) projected fringes on LED BLU packages(period : 36 pixels).

그림 7은 LED BLU package의 측정된 결과를 보여 준다. 그림 7(a)는 정현파 프린지 패턴의 주기가 36픽셀인 영상만을 이용하여 위상을 측정한 후 LED BLU package의 높이를 측정한 결과이다. 그림 7(b)는 정현파 프린지 패턴의 주기가 12, 36픽셀의 영상을 이용하여 이중 파장법으로 위상을 측정한 후 LED BLU package의 높이를 측정한 결과이다. 그림 7(a)는 주기가 커지면서 정확도가 낮아져 LED BLU package의 둘레는 균일하지만 주기적으로 울퉁불퉁하게 측정된 것을 확인할 수 있다. 그림 7(b)는 정현파 프린지 패턴의 주기가 12픽셀인 경우의 정확도를 유지한 상태로 측정되어 LED BLU package의 둘레가 균일하게 측정된 것을 확인할 수 있다. 단점으로, 이중 파장법은 정현파 프린지 패턴을 투영하고 카메라로 영상을 획득하는 과정이 늘어나 측정 시간이 증가된다. 측정 결과를 자세히 보기 위해 그림 7(b)의 LED BLU package 높이 데이터의 y좌표 200에서 X축방향으로 샘플링하였

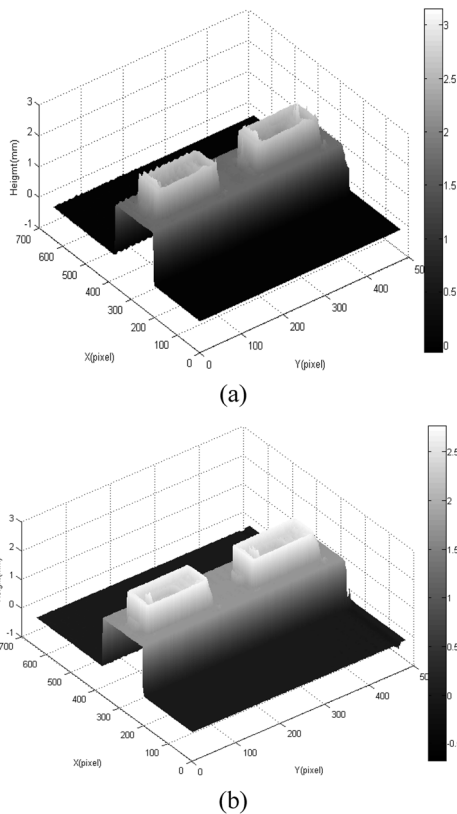


Fig. 7. (a) 3-D surface profile of the LED BLU packages (one-frequency method). (b) 3-D surface profile of the LED BLU packages(two-frequency method).

다. 샘플링 결과는 그림 8과 같으며, 리드 프레임의 높이는 1.71 mm, LED package 둘레는 2.65 mm, 내부는 2.14~2.22 mm로 실제 높이와 매우 근접하다.

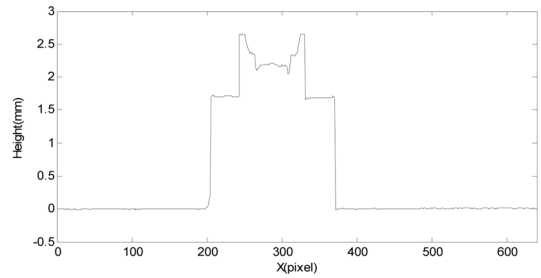


Fig. 8. A1-D profile of a LED BLU package.

### 5. 결 론

본 논문에서 PMP방법을 이용한 LED package의 3차원 형상 측정 시스템을 제안하고, 실험을 통해 제안한 시스템의 성능을 평가하였다. 제안한 시스템은 기존의 검사를 위한 3차원 형상 측정 시스템보다 저렴하고, 간단하면서도 높은 정확도를 유지하는 것을 보였다. 또한, 제안한 시스템을 이용하여 LED/BLU package를 성공적으로 측정하는 결과를 보여주었다.

제안한 3차원 형상 측정 시스템을 이용하여 측정된 LED/BLU package의 3차원 높이 데이터로 다양한 검사를 할 수 있으며, LED/BLU package뿐만 아니라 다양한 반도체 부품 측정에 이용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 안선영, “반도체 광원(LED) 시장 동향 및 전망,” 정보통신산업진흥원 학술정보 주간기술 동향, 1234호, 2008.
2. F. Chen, G. M. Brown, and M. Song, “Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods,” *Opt. Eng.*, Vol. 39, No. 1, pp.10-22, 2000.
3. S.S. Gorthi and P. Rastogi, “Fringe projection techniques: Whitherwe are?,” *Opt Lasers Eng.*, vol. 48, no. 2, pp. 133-140, 2010.
4. H. N. Yen and D. M. Tsai, “A fast full-lled 3D measurement system for BGA coplanarity inspection,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 24, pp. 132-139, 2004.
5. H. Yen, D. Tsai, J. Yang, “Full-eld 3-D measurement of solder pastes using LCD-based phase shifting techniques,” *IEEE Trans. Electronics Packaging Manu-*

- facturing*, vol. 29, no. 1, pp. 50-57, 2006.
6. D.Hong, H.Lee, M.Y.Kim, H. Cho, J. Moon, "Sensor fusion of phase measuring profilometry and stereo vision for three dimensional inspection of electronic components assembled on printed circuit boards," *Appl. Opt.*, Vol, 48, No. 21, pp 4158-4169, 2009.
  7. T. Hui, G. K. Pang, "Solder paste inspection using region-based defect detection," *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 42, pp. 725-734, 2009.
  8. V. Srinivasan, H. C. Liu, M. Halioua, "Automated phase-measuring prolometry of 3-D diffuse objects," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 18, pp. 3105-3108, 1984.
  9. H. Guo, M. Chen, P. Zheng, "Least-squares tting of carrier phase distribution by using a rational function in prolometry fringe projection," *Opt. Lett.*, Vol. 31, No. 24, pp. 3588-3590, 2006.
  10. P. Hariharan, B. F. Oreb, and T. Eiju, "Digital phase-shifting interferometry: A simple error-compensating phase calculation algorithm," *Appl. Opt.*, vol. 26, pp. 2504-2506, 1987.
  11. H. Zhao, W. Chen, Y. Tan, "Phase-unwrapping algorithm for the measurement of three-dimensional object shapes," *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 20, pp. 4497-4500, 1994.
  12. J. Li, L. G. Hassebrook, C. Guan, "Optimized two-frequency phase-measuring-prolometry light-sensor temporal-noise sensitivity," *J .Opt. Soc. Am. A.*, Vol. 20, No. 1, pp. 106-115, 2003.
- 
- 접수일: 2011년 1월 5일, 심사일: 2011년 1월 20일,  
 게재확정일: 2011년 2월 28일