

# 비전을 이용한 SMD부품의 위치 및 자세 계측 High accuracy measurement of the position and orientation of SMD VR by Computer Vision

김 병업\*, 송 재용\*, 장 경영\*\*, 한 창수\*\*, 박 종현\*\*, 이 영민\*\*\*

- \* 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과 대학원
- \*\* 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과
- \*\*\* 삼성전자 생산기술센터 자동화 연구소

### Abstract :

Computer vision is applied to measure the position and orientation of the SMD on 8mm Camcorder PCB and advanced image processing algorithms for high accuracy and real time processing are proposed. Illumination conditions are optimized for the best image formation and a set of LEDs is used as economic illuminator, which is regarded as a summation of many point sources. Concrete optical system is constructed and the performance of the proposed algorithm is verified by several experiments.

Keywords : VR(Variable Resistance), Reflectance Characteristics, Feature Analysis, 위치(Center Position), 자세(Orientation)

## 1. 서론

전자제품의 다기능화, 고성능화, 집적화에 따라 완제품의 검사조정 공정은 점차 복잡해지고 소요되는 시간이 많이 걸리는 공정으로, 이에따른 자동화가 절실히 요구되는 부분이다. 특히, 기존의 PCB 상태에서 기판의 불량 유무를 판별하는 1단계의 검사과정과는 달리 완제품상태에서 제품의 기능 및 안정성등을 검사하고, 이에따르는 조정과정을 수행해야하는 2단계의 과정을 필요로 한다<sup>[1][2][3]</sup>. 일반적으로 완제품 상태에서 조정이 가능한 부품은 VR(Variable Resistance)로 이 VR에 대한 조정을 자동화하기 위하여는 VR의 정밀한 위치(Center Position) 및 자세(Orientation)의 인식이 필수적이다. 이를 위하여 최근 컴퓨터 비전 기술을 많이 이용하고 있다. 그런데, SMD 부품의 경우 VR이 매우 소형이고, 또한 표면이 경면이므로 CCD 카메라 등을 이용하여 획득한 화상의 품질이 조명상태와 잡음에 크게 영향을 받으므로 보다 세심한 주의와 기존 알고리즘의 개선이 필요하다. 그리고, 이러한 대상 부품은 매우 소형이고 일반적으로 VR 표면이 성형과정에서 불규칙하게 형성되면서 PCB면과의 높이차가 거의 없으며 또한, 경면이므로 반사성분이 매우 강한 Specular Spike 성분과 Specular Lobe 성분이 주성분을 이루고, 따라서 CCD상에서 형성되는 이미지는 그다지 선명하지 않고 이미지의 찌그러짐 및 VR주위의 여러 노이즈 요소들이 개입을 하게된다. 이러한 노이즈 요소들은 납땀과 같은 경면으로, 원천적으로 VR면과 거의 같은 반사특성을 가지기 때문에 이미지 형성 과정에서 조명의 특성을 변화시킨다고 하여도 이미지상에서 제거가 불가능하다는 특성이 있다. 따라서 이러한 특성을 제거하는 것은 불가능하더라도

VR과 그 주위 및 내측의 노이즈를 분리시키는것은 가능하므로 이러한 특성을 이용하여 조명을 설계하고 이미지를 획득한 다음 이 데이터를 컴퓨터가 처리할 수 있는 알고리즘을 개발하여 원하는 정보를 정확히 추출할 수 있어야한다<sup>[4]</sup>. 그러므로 본 연구에서는 이렇게 형성된 PCB의 이미지를 처리하여 VR의 중심 및 자세를 정확하게 예측하고 제어부가 조정과정을 수행할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 이미지를 목적에 부합한 상태로 획득할 수 있는 이미지 획득부를 구성하여 PCB상의 가변저항의 반사특성에 따라서 형성된 이미지를 대상으로하는 전처리 알고리즘을 개발하고, 그에따른 효율적인 영상해석 알고리즘을 제안, 제안된 알고리즘의 효율성을 검증하는것을 목적으로 한다. 연구 방법으로는 PCB상에 부품들이 장착된 상태에서 완제품 상태 바로전에 VR을 대상으로 조명에 따른 반사특성 실험, 획득된 이미지의 처리 알고리즘 개발 및 적용 그에 따른 계산 결과에 대한 성능평가를 하는 것으로 한다. 이렇게 개발된 알고리즘은 기존의 PCB 검사조정과 아울러 SMD화하는 PCB상에서의 부품들이, 조립된 상태에서 검사조정을 자동화하여 수행해야하는 여러 제품들에 적용이 가능하므로 그에 따른 산업 현장에서의 실질적인 적용 효과를 가질수 있다고 생각된다.

## 2. 비전시스템의 구성

(1)대상 SMD VR의 형태 분석

SMD VR의 형태는 Fig.1과 같다.

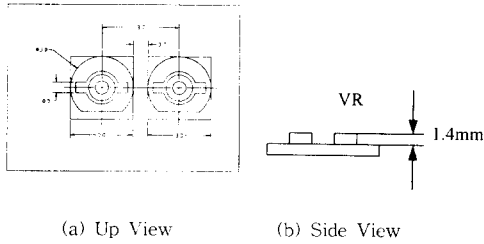


Fig.1 Surface formation of SMD VR

VR은 엄밀히는 2차원적으로 평평하다고 생각할 수 없으나 PCB로부터의 높이차가 Table.1에서와 같이 VR 주위 및 VR 내측요소에 대하여 1.4mm 이내로 매우 작으므로 평평한 표면으로 가정된 2차원적인 이미지를 받아들이는 것으로 생각할 수 있다. 단, 이렇게 2차원적으로 가정되기 위해서는 VR 주위의 납땜 및 연결 line 및 다른 부품과 분리되어 구별되는 것을 전체로 하여야 하는데, 이것은 뒤에서의 실험에서 검증되었다.

Table.1 Height from PCB surface

	반사면	VR 표면과의 높이차
납땜	경면	1.3mm
VR 표면	경면	1.4mm
VR 내측요소	경면	1.3mm
코팅재	Lambertian 면	0.1mm

(2) VR의 반사특성

물체의 광 반사 특성은 광원에 따라서 달라진다. 즉, 입사광의 파장이 달라지면 반사율도 달라진다. 그러므로, 비전 시스템에 사용될 광원을 선정할 때는 빛의 파장 변화에 따른 대상 물체의 반사특성을 알아야 한다. Fig.1의 VR 표면은 재질이 납과 같은 금속성이며 반사특성은 납과 비슷하다. 납은 반사특성으로서 가시광선 영역에서 거의 동일한 수준의 반사율을 가진다. 반면 PCB면은 Epoxy, Polyimide, PSR 등의 여러가지 코팅재질로 피막이 형성된다. 이러한 코팅재료는 전체적으로 본래의 색인 청색이나 녹색(파장 400nm~580nm)영역에서 큰 내부반사를 가지며 800~850nm이상의 장파장대에서 매우 높은 반사율을 가진다<sup>[3][5]</sup>. 따라서 이러한 코팅 물체와 VR 표면을 구별하기 위해서 장파장의 적색광(600nm 이상)을 띠는 초고휘도 LED를 조명원으로 선정하였다. 또한 납이 VR 표면과 거의 비슷한 반사특성을 가진다 해도 VR과 납의 분리는 납의 반사면적이 매우 작으므로 VR 표면과 납땜의 분리에 있어서 문제가 되지 않는다. 그러므로, 조명광의 파장은 적절하게 선택되었음을 알 수 있다.

(3) 비전 시스템의 구성

비전시스템의 구성은 Fig.2와 같다.

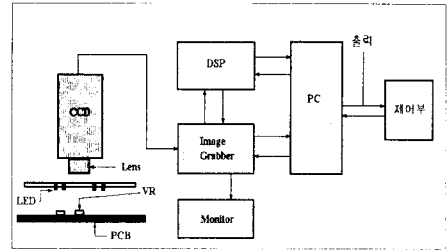


Fig.2 Schematic diagram of vision system

Vision System은 CCD 카메라 및 광학 렌즈부, 영상획득용 Image Grabber, 실시간 처리를 위한 DSP, 데이터 처리 및 인터페이스를 위한 PC, 화상 출력을 위한 모니터로 구성된다. 구체적인 구성의 사양은 Table.2에서와 같다.

Table.2 Component of vision system table

	사 양	비 고
CCD	삼성항공	
카메라	16mm, ×2(2)	
조명부	초고휘도 LED	적색광(파장 : 600nm 이상 )
	내원 : 16개	
	외원 : 24개	
이미지 획득부	DataTranslation社 DT2867-LC	640×480×8bit×2 frame
이미지 처리부	Frame Grabber가 획득한 이미지의 처리.	PC 486-66
DSP	DataTranslation社 DT2878	

(4) 최적조명 설계

대상물체에 대한 최적한 이미지를 얻을 수 있는 비전 시스템의 조명 장치부를 설계하기 위해서는 입사광의 입사각과 센서의 관측각의 변화에 따른 대상 물체의 반사 특성에 대한 평가를 통하여 조명의 높이 및 조명광의 입사각, 조명광의 밝기, 조명광의 파장등을 결정하여야 한다. 이를 위하여 입사광의 각도와 높이를 변화시켜 가며 획득한 화상의 품질을 평가하였다. 품질의 평가기준으로서는 VR 표면과 VR 내측요소의 분리성과 VR 표면과 주위의 납땜 이미지의 분리성으로 하였다. 조명을 수평상태로 유지하면서 PCB로부터의 높이를 60~90mm까지 변화시키면서 반사특성을 파악한다. 설계된 조명은 경면과 내부반사면(Lambertian 표면)의 구분이 뚜렷하므로, VR 경면과 납땜 경면의 구분 및 VR 경면과 VR 내면과의 분리성을 향상시키는 것이 조명설계의 목적이 된다. 따라서 조명은 코팅 물체와 VR표면을 구분할 수 있는 가시광선 영역의 적색(파장이 600nm 이상)을 띠는 초고휘도 LED를 Fig.3과 같이 환형테로 2줄 배치하여 구성하였다. 조명의 균일도를 좋게하기 위하여 일반적

으로 환경태의 배치를 많이 이용하며 실제적으로 균일한 LED 조명의 분포를 가지도록하는 목표에 적합하다고 할 수 있다. 조명을 고정하는 Fixture는 조명원의 높이를 조절하므로써 VR 표면에 대한 입사각을 조절하는 효과를 가지도록 설계되었다. 그러므로 높이 H를 변화하는것으로 입사각이 조정되는 효과를 얻을 수 있다.

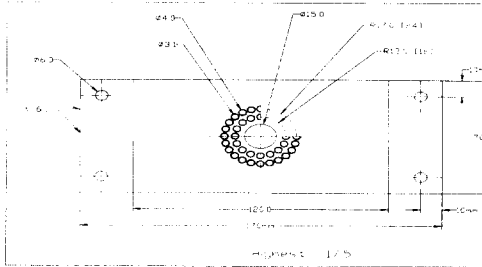


Fig.3 Arrangement of LED illuminator

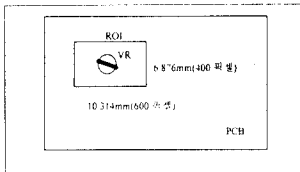


Fig.4 Formation of ROI

이때 형성되는 이미지의 ROI는 Fig.4에서와 같이  $6.876 \times 10.314\text{mm}^2$  ( $400 \times 600$ )의 면적에 해당한다. 이 면적은 렌즈의 직경보다 훨씬 작으므로 Lens geometry에 의해서 발생하는 여러 오차들은 단순한 2차원 평면에 대한 이미지의 해석이라고 생각할 수 있기 때문에 본 연구에서는 광학적인 calibration을 고려하지 않았다. 그리고, 조명이 외부 조명에 대해서 강인함을 가져야 하겠지만 현재로서는 일반적인 경우인 형광등 빛에 노출된 상태에서 이미지를 획득하여 처리하는 것을 전제로 한다.

### 3. 이미지처리

전체적인 이미지의 처리과정은 Fig.5와 같다. 검사조정에 대한 영상 처리용 전용 알고리즘은 크게 Image grabber의 Buffer부터 데이터를 읽어들이는 이미지획득부, 이미지의 개선을 위한 전처리 부, 위치와 각도를 추출하기 위한 Feature Analysis 부, 그리고 제어부의 콘트롤을 위한 광학적 및 부품의 형상에 따른 보정을 수행하는 Calibration 부로 나눌 수 있다.

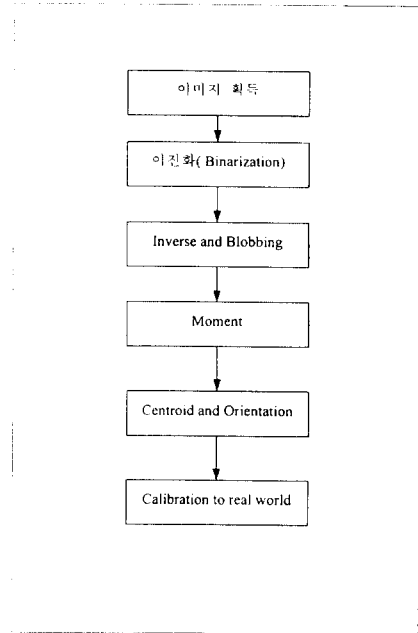


Fig.5 Image Processing Flow chart

#### 3.1 전처리부

##### (1) 적응적 이진화(Adaptive Binarization)

이미지 처리 계산량을 감소시키기 위해서는 적절한 문턱값을 설정하여 이미지를 이진화하는 것이 필요하다. 이 때 문턱값은 대상물체 또는 화질에 따라 적응적으로 설정되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 히스토그램을 이용하여 윈도우(Windowing)된 VR 이미지의 Gray Level을 밝은 것부터 순차적으로 축적하고 이 값이 이미 알고있는 VR 표면의 면적에 해당될 때의 Gray Level을 이진화의 문턱값으로 선택하는 적응적 설정 방법을 적용하였다.

##### (2) 선지식(Priority knowledge)를 이용한 윈도우(Windowing)

본 연구에서 제안하는 비전시스템은 궁극적으로는 조정 Station의 Head 부분에 장착될 것이며, 대부분의 경우 조정 대상 부품의 대략적인 위치가 인식되어져 있다. 따라서 일단 CCD를 이용하여 획득된 영상프레임에서 VR의 위치는 어느 정도 편차범위내에서 중앙에 위치하게 될 것이며, 데이터 처리는 VR을 포함한 주변일부로 제한하여도 무방하다. 즉, 조정 Station의 위치정밀도와 부품의 장착 위치 정밀도 범위를 사전에 알고 있다면 이것을 이용하여 해당부분에만 Windowing을 해줌으로써 처리해야할 데이터의 수를 감소시키고 계산량을 대폭 줄일 수 있어 실시간 처리의 실

현에 보다 유리할 것이다. 본 연구에서는 사용된 PCB의 경우 VR 부품의 장착오차가  $\pm 0.5\text{mm}$  이내이며, 조정 Station의 최대 위치오차  $\pm 0.1\text{mm}$ 를 고려하여 앞에서 이야기 한 픽셀 해상도에 대응시켜 이미지의 윈도우잉(windowing)영역을  $220 \times 220$ 으로 설정하였다.

### (3) Blobbing

획득된 이미지상에서 어떠한 것이 대상부품이라는 것을 컴퓨터에 인식시키는 극복적인 region growing으로 이치화 된 이미지에서 대상주위에 여러가지 형성되는 불규칙한 blob들을 제거하고 대상이 되는 부품만의 면적을 계산하여 그 크기에 따라 대상 부품만을 추출하는 과정이다. Blobbing 알고리즘은 참고문헌 [7]에서 제시되었다. 제시된 알고리즘으로 부터 획득한 이미지를 Blobbing한 후에, 면적 정보에 의해 VR내측을 추출한 결과는 Fig.6과 같다.

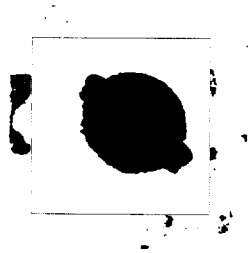


Fig.6 Image after Blobbing Process

## 3.2 Feature Analysis 알고리즘

전처리 과정을 통해 추출된 Object의 형상에 대하여 중심 및 자세정보를 추출하는 과정이다. 일반적으로 모든 형상에 적합하게 적용할 수 있는 일괄적인 알고리즘이 없는 상태이므로 대상이 가진 형상에 따라 유동적인 알고리즘의 적용이 바람직하다. 본 연구에서는 추출되는 VR의 내측 요소가 어느 정도 대칭성이 확보된 상태이며, VR상에 비이드가 삽입되는 부분이 Orientation에 대한 정보를 충분히 가지고 있기 때문에, 처리속도가 빠른 Moment법을 사용하기로 하였다<sup>[2][6]</sup>. Boundary를 추출하여 경계 요소에 대한 정보로부터 중심과 Orientation을 추출할 수 있겠으나 그렇게 하기 위해서는 VR 표면 이미지의 찌그러짐이나 Noise 요소들이 평활화되어야하므로 실제적으로 Boundary 추출을 통한 이미지의 분석은 많은 어려움이 있다. 그리고 패턴 매칭법과 같은 방법은 일단 이미지의 크기가 처리 시간에 무관하지 않은 경우에 해당하므로, Hardware적인 전처리 모듈이 구성되지 않은 상태에서는 현재, 형성된 VR의 이미지가 너무 크고 제어부가 원하는 resolution을 만족시키기 위해서

는 형성된 이미지에 대한 데이터량이 많기 때문에 상당히 많은 시간이 소요될것으로 생각된다. 또한 VR의 orientation이 가변적이므로 이러한 매칭법은 알고리즘 자체가 오차요인을 내포하고 있으므로 본 연구의 대상인 VR에 대해서는 적합하지 않다.

## 4. 실험

### 4.1 구성된 카메라부의 ROI 에 따른 이미지의 Pixel Resolution의 해석

#### (1) ROI(Region of Interest in Real World's coord.) 분석

VR의 조정시 제어부가 구현해야하는 위치 정밀도는  $\pm 0.05\text{mm}$ 이며 자세 정밀도는  $\pm 1.0$ 도를 목표로 하였다. 따라서 ROI에 따른 픽셀 정밀도는 그 이하로 조정되어 이미지 획득부가 구성되어야 한다. 그리고 동시에 VR 2개가 한 프레임에 들어갈 수 있도록 ROI를 선택하였다. 자세 정밀도는 삽입될 비드가 PCB에 손상을 주지 않고 VR에 삽입될 수 있도록 설정되었다. 이미지를  $480 \times 640$ 으로 형성하였을때에 위의 조건들을 만족시키는 상태에서의 정확한 Pixel당의 실제거리를 구하기 위해서 2가지 방법을 적용하였다. 그 방법은 일반적인 자를 대상으로하여 이미지를 획득하고 line scan하여 이 데이터를 처리하였다. 첫째는 시각적으로 평균치를 계산하는 방법이고 둘째는, 자의 눈금의 반복패턴을 FFT하여 Peak Frequency를 구하는 것이다.

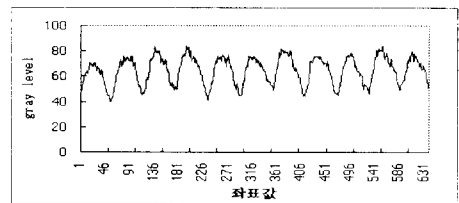


Fig.7 Horizontal Gray level distribution over horizontal line of scale

먼저, 시각을 이용한 방법을 이용하는 경우 반복패턴이 Fig.7과 얻어졌으므로 골의 평균치를 구하면 각각의 픽셀 resolution은  $0.0169\text{mm}$ 가 된다. 또한, FFT를 이용하는 경우, Fig.7의 일반적인 자에 대하여 자의 눈금을 line scan하여 얻은 512개의 데이터를 푸리에 변환하여 파워스펙트럼을 구한뒤 피크 주파수(peak frequency)를 구하고, 이것들을 평균하여 픽셀해상도를 구할 수 있다. Fig.8과 같이 일반적인 자의 눈금 패턴을 FFT했을때 주파수는  $9\text{Hz}$ 로 픽셀의 해상도에 대한 결과는 다음과 같다.

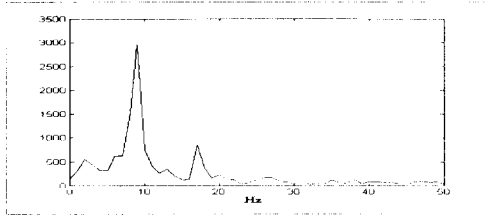


Fig.8 FFT result of sclae pattern in Fig.7

Peak Frequency를 계산하기위해서  $\Delta t$ 를 1 pixel로 하면

$$f = \frac{f_{max}}{\frac{t}{2}} \times N_{Jf} \quad (1)$$

여기서  $f_{max}$  : 0.5

$t$  : Sampling Pixel(512개)

$N_{Jf}$  : Data number at peak frequency

의 관계가 있으므로 픽셀 resolution은  $0.01758 \cdot 0.00098\text{mm}$ 가 된다. 따라서, 일반적인 자에 대한 반복 패턴을 분석한 결과 각 픽셀의 resolution은  $0.017\text{mm}$ 로 하는것이 적절함을 알 수 있다. 계산된 ROI는 일반적인 경우에 비해서 매우 작음을 알 수 있고 ROI를 작아지면 픽셀 정밀도를 높일수 있으나 처리하여야 할 이미지의 크기가 커지는 결과를 수반하므로 계산 시간의 증가를 의미한다. 따라서, 계산 시간의 실시간화는 알고리즘의 개발 및 DSP를 이용하므로써 구현될 수 있으므로 정밀도에 초점을 맞추어 ROI를 구성하였다.

## 4.2 조명특성에 따른 반사특성의 실험

조명 파라미터로는 조명의 파장, 밝기, 조명과 대상 표면의 높이, 입사각 및 반사각 등이 있으며 최적의 조건을 만족시키는 값을 찾기 위하여 여러가지 실험을 행하였다. 조명은 내측에 16개, 외측에 24개의 LED를 환형태로 배치하였다. 그리고 관측각은 0도로 고정하므로 조정할 수 있는 파라미터는 입사각으로 선정하였다.

본 실험에서는 조명의 수평을 유지하여 base로부터의 높이를  $60\text{mm} \sim 90\text{mm}$ 로 변화시켜 VR의 표면과 내측의 비드가 삼입될 Concave가 분리되는 상태일때의 파라미터를 결정하였다. VR의 곡면에 대한 내부반사는 측정할 수 없었으며, Fig.10 (b)에서와 같이, 실험결과 base로부터의 높이 H가  $80 \sim 85\text{mm}$ 일때 내측이 VR표면과 구별됨을 알 수 있다. 즉, 데이터를 2진화하여 VR 표면을 관찰한 결과  $65\text{mm}$ 에서는 VR표면의 외측요소가 선명하나 VR표면이 내측요소와 분리가 잘 되지 않았으며  $90\text{mm}$  이상일 경우에는 VR 표면에 대한 조명의 밝기가 어두워지기 때문에 VR 표면의 넓이가 너

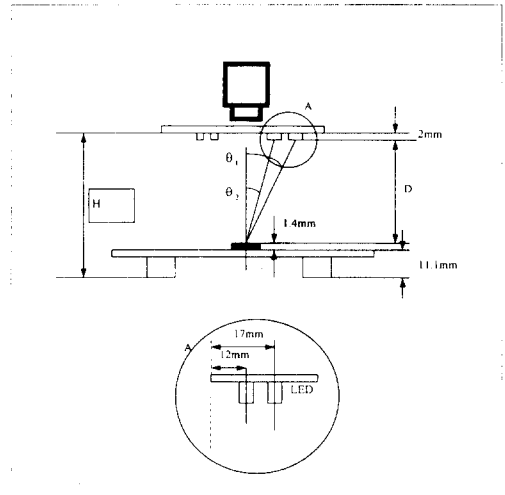
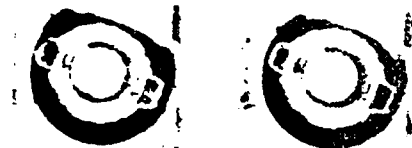


Fig.9 Parameter H,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$

무 좁아져 VR 표면의 이미지가 open되는 결과를 나타낸다. 따라서 관측각이 고정된 상태에서 입사각이  $9.67^\circ \sim 14.57^\circ$  일때의 결과가 가장 좋을 수 있다.



(a) H = 65mm (b) H = 85mm  
Fig.10 VR surface image at specific height, H

Table.3 Incident angle change by height H

Base로부터 조명원까지의 높이 (H)	조명원의 로부터 VR 내측조명에 외측조명에 표면까지의 높이(D)		
	따른 입사 각( $\theta_1$ )	따른 입사 각( $\theta_2$ )	
60mm	45.4mm	14.81°	20.53°
65mm	50.4mm	13.39°	18.64°
70mm	55.4mm	12.22°	17.06°
75mm	60.4mm	11.24°	15.72°
80mm	65.4mm	10.40°	14.57°
85mm	70.4mm	9.67°	13.58°
90mm	75.4mm	9.04°	12.71°

## 5. 이미지 처리 결과

동일한 PCB 상의 VR 2개에 대해서 이미지를 처리한 결과를 Table 4. 와 Fig.11에 나타낸다.

Table 4. Image processing result

	Xcentroid	Ycentroid	Orientation	판정
VR1	318.65	208.36	-28.208°	Good
VR2	319.06	196	-39.705°	Good

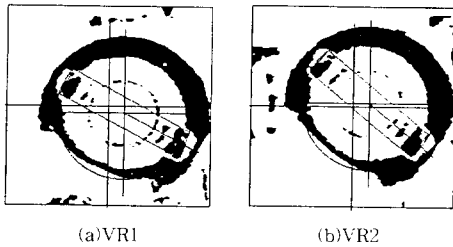


Fig.11 Calculated result of VR's center and orientation

두 경우 모두 매우 만족할만한 결과를 나타내었다. 또한, 외부광원(형광등에 노출)에 대한 알고리즘의 적용결과를 확인한바 매우 강한 결과를 나타내었다.

## 6. 결론

SMD화 PCB기판의 VR을 자동적으로 검사조정하기 위한 Vision System을 구성하였으며 주어진 대상물(가변저항)에 대한 반사특성으로 부터 조명 파라미터들을 결정하였다. 그리고 Moment법을 이용하더라도 전처리과정에서 효율적인 처리를 수행하므로써 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로 VR의 위치와 Orientation을 계산한 결과로부터 제안된 알고리즘의 효율성을 확인할 수 있었다.

## 7. 참고 문헌

- [1] 世戸 繁男, "フレキシブル 自動検査・調整 システム"松下 通信工業.
- [2] 성 효경, "비전 센터링 유닛의 개발", 1994, 경북대 전자기술 연구소
- [3] 노 병옥, "PCB 패턴의 고속정밀 Vision검사 시스템 개발", 1994, 전자부품 연구소
- [4] Shree K. Nayar, "Shape Recovery using physical Models of Reflection and Interreflection", Carnegie Mellon University, 1991
- [5] Yasuhiko Hara, Hideki Doi, Koichi Karasaki, Tadashi Iida, "A System for PCB Automated Inspection Using Fluorescent Light", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol.10, No.1, Jan, 1988
- [6] 이문호, "퍼스컴을 이용한 영상처리" (기다리 출판사)
- [7] Louis J. Galbati, JR "Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals", Prentice-Hall

- [8] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown "Computer Vision", Prentice-Hall
- [9] Harley H. Ballard, Arthur R. Weeks "Computer Imaging Recipes in C", Prentice-Hall
- [10] Ioannis Pitas "Digital Image Processing Algorithms", Prentice-Hall