

# 저정밀 X-Y 로봇을 이용한 검사 시스템의 변형된 Hough 변환을 이용한 위치오차보정

## Correction of Position Error Using Modified Hough Transformation For Inspection System with Low Precision X-Y Robot

최 경 진\*, 이 용 현, 박 종 국

(Kyung-Jin Choi, Young-Hyun Lee, and Chong-Kug Park)

**Abstract** : The important factors that cause position error in X-Y robot are inertial force, frictions and spring distortion in screw or coupling. We have to estimate these factors precisely to correct position errors, Which is very difficult. In this paper, we makes systems to inspect metal stencil which is used to print solder paste on pads of SMD of PCB with low precision X-Y robot and vision system. To correct position error that is caused by low precision X-Y robot, we defines position error vector that is formed with position of objects that exist in reference and camera image. We apply MHT(Modified Hough Transformation) for the aim of determining the dominant position error vector. We modify reference image using extracted dominant position error vector and obtain reference image that is the same with camera image. Effectiveness and performance of this method are verified by simulation and experiment.

**Keywords** : X-Y table, position error, modified hough-transform, metal stencil, inspection

### I. 서론

X-Y 로봇을 이용한 응용분야는 밀링, 선반 등과 같은 제조장비뿐만 아니라 각종 검사시스템 등 다양하다. X-Y 로봇의 동작은 적용분야에 의해 궤도추적(Trajectory Tracking)과 PTP(Point-To-Point) 동작으로 구분된다. 궤도추적은 주어진 궤적에 따라 부하를 이동시키는 목적으로, 밀링, 선반 등에서 사용된다. PTP 동작은 한 지점에서 다른 지점에서의 이동을 목적으로 하며 이때 이동궤적은 중요하지 않으며 특정 위치를 지정하여 검사하는 대부분의 검사시스템에서 사용한다. X-Y 로봇을 이용하여 부하를 이동시킬 때 위치오차의 발생원인은 부하에 따른 관성과 마찰[1]-[3], 커플링과 볼 스크루의 비틀림 스프링 현상[4], 백래시(Backlash)[5]-[8] 등이다. 따라서 위치오차에 대한 보정을 위해서는 발생원인들에 대한 정확한 매개변수의 추정과 보정이 이루어져야 하며, 이를 위한 다양한 기법이 소개되었다. 그러나 매개변수는 부하에 따라 변하므로 정확한 모델을 구성하는 것은 매우 어려운 일이며, PID 제어기[1][4]를 이용할 경우 부하에 따른 매개변수 변동에 유연하게 대처하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 이에 따라 적응 제어기[2][3][5][7][9], 퍼지 제어기[6], 강건 제어기[10] 등 다양한 제어기법이 소개되었다. 그러나 제안된 제어기에 의해서도 수십~수백 $\mu\text{m}$ 의 위치오차가 존재하며, 대부분 모의실험에 의한 결과로 실제 시스템에 적용[4][9][10]할 경우 오차는 수백 $\mu\text{m}$ ~수 $\text{mm}$ 로 증가하여 실제 적용이 어렵고 미약한

상태이다. 이는 사용되는 서보모터의 위치제어를 위해 사용되는 로터리 엔코더는 모터의 회전량에 의해 부하의 위치를 간접적으로 계산하는 것이므로 백래시와 비틀림 스프링 현상 또는 부하의 무게에 의한 축 변형 등과 같이 부하에서 발생하는 오차에 대한 보상은 한계를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 모터의 로터리 엔코더를 대신하여 리니어 엔코더를 장착한 리니어 모터를 사용하여 시스템을 제작하는 추세이나, 이는 시스템 가격의 상승요인으로 작용한다.

본 논문에서는 저정밀 X-Y 로봇과 비전시스템을 이용하여 PCB의 SMD 패드에 납을 도포하기 위한 메탈 스텐실 검사시스템을 구성하고, 검사영역으로 이동시 발생하는 위치오차를 위치오차벡터와 변형된 Hough 변환(MHT: Modified Hough Transformation)을 이용하여 보정하는 알고리즘을 제안하고 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 검사대상인 메탈 스텐실에 대한 소개와 검사시스템의 목적, 기준이미지 생성에 사용되는 거버 파일에 대해 설명한다. III장에서는 영상처리 방법에 대해 설명하고, 위치오차벡터의 정의 및 변형된 Hough 변환에 의한 위치오차 계산 알고리즘을 소개한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통한 제안된 알고리즘을 검증하고, 제작된 메탈 스텐실 검사시스템에 적용하여 효율성을 입증하며, V장에서는 결론을 맺는다.

### II. 메탈 스텐실과 검사시스템 구성

#### 1. 메탈 스텐실(Metal Stencil)

메탈 스텐실은 PCB의 SMD 패드에 납을 도포하기 위해 레이저를 이용하여 얇은 스테인리스 강판을 가공한 것으로 SMT In-Line 시스템의 납 도포기(Solder Printer)에서 사용된다. PCB 제작 시 사용되는 거버(Gerber) 파일을 수정하여

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2002. 12. 21., 채택확정 : 2003. 7. 3.

최경진, 박종국 : 경희대학교 전자공학과

(momo11@unitel.co.kr/ckpark@khu.ac.kr)

이용현 : 강남대학교 지식정보공학부(yhlee@kangnam.ac.kr)

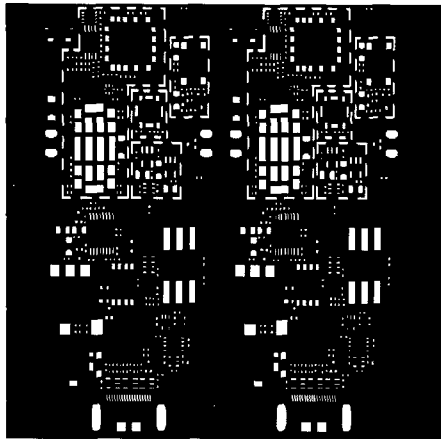


그림 1. 메탈 스텐실의 예.  
Fig. 1. Example of a Metal Stencil.

메탈 스텐실용 거버 파일을 생성한다. 이 파일은 RS-274X 포맷으로 되어 있으며, 각각의 홀의 위치, 크기, 모양의 정보로 구성되어 있다. 그림 1은 거버 파일을 이용하여 생성된 메탈 스텐실의 예로, 흰색은 레이저에 의해 가공된 홀이다. 이 홀을 통해 납이 통과하여 PCB의 SMD 패드에 도포된다. 기존의 다른 검사시스템은 작업자에 의해 수동으로 모든 검사 대상에 대한 데이터를 생성하거나 정상으로 생성된 샘플에 대한 이미지를 미리 획득·저장하여 사용한다. 본 논문에서는 거버 파일을 이용하여 검사영역에 대한 기준이미지를 생성한다.

2. 검사 목적

검사시스템의 검사 대상은 메탈 스텐실의 홀 가공 상태, 즉 생성유무, 불량생성(크기, 위치)을 판단하는 것이다. SMT in-Line 시스템의 각각의 공정에서 발생하는 불량을 조사한 결과 60% 이상이 납 도포와 관련을 가지고, 납 도포는 메탈 스텐실의 제조상태와 밀접한 관련을 가진다. 즉 정확한 위치에 정확한 크기의 홀이 가공되어 있어야 한다. 따라서 다음 조건 1과 조건 2의 검사 내용을 수행한다.

$$\text{조건 1 : } |x_1 - x_2| < T_1 \text{ and } |y_1 - y_2| < T_2$$

$$\text{조건 2 : } |1.0 - S_1/S_2| < R$$

여기서  $(x_1, y_1)$ 은 기준이미지에 존재하는 홀의 위치이고  $S_1$ 은 그 홀의 면적,  $(x_2, y_2)$ 는 카메라이미지에 존재하는 홀 중에서  $(x_1, y_1)$ 에 가장 가까운 홀의 위치이고  $S_2$ 는 그 홀의 면적이다. 조건 1은 위치오차가 임계치  $T_1, T_2$ 보다 작음을 검사하기 위한 것이고, 조건 2는 조건 1에서 찾은 홀이 위치상으로는 이웃해 있으나 이물질에 의해 막혀 있거나 불완전 생성된 홀 등 그 크기가 다른 홀 일 경우도 있으므로 동일한 크기의 홀인지를 검사하는 것이다. 이 두 조건을 모두 만족하면 홀은 정상으로 생성되어 있는 것이며, 어느 하나라도 만족하지 않으면 홀은 예러로 판단한다. 그러나 그림 2와 같이 검사영역에 대한 기준이미지와 카메라이미지 사이에 위치오차가 존재할 경우 위의 조건에 의한 정상적인 판단을 수행할 수 없다. 따라서 발생한 위치오차와 방향을 계산하여 보정해야 한다.

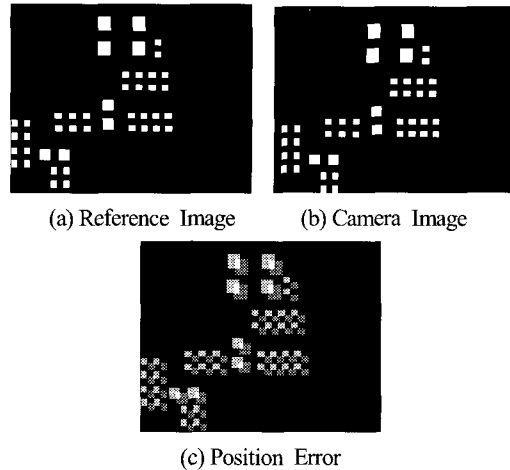


그림 2. 기준이미지와 카메라이미지의 위치오차.  
Fig. 2. Position Error between Reference Image and Camera Image.

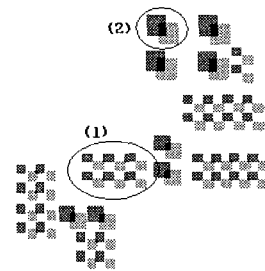


그림 3. 위치오차 특성.  
Fig. 3. Characteristic of Position Error.

III. 위치오차 계산 및 보정

그림 2(c)의 위치오차를 보정하는 문제는 템플릿(Template) 정합과 유사하다. 기존의 방법은 여러 개의 물체가 겹쳐 존재하는 이미지에서 주어진 하나의 물체를 찾아내는 것[11][12]으로, 위치보정은 물체의 무게중심점의 차이를 계산하여 이동시킨다. 맵(Map) 정합과 같이 기준이미지에 여러 정보가 존재하는 경우, 이미지에서 중요 요소(Principal Component)를 추출하여 사용한다[13]. 그러나 이러한 방법은 본 논문에서 사용되는 이미지에 적용하는데 있어 문제점을 가지고 있다. 이는 메탈 스텐실이 동일 크기의 홀이 일정한 간격으로 배치되는 부분이 상당히 많기 때문이다. 그림 3의 (1)부분에서는 하나의 카메라이미지에 존재하는 홀을 중심으로 기준이미지의 4개의 홀이 배치되어 있는 상태이다. 이 경우 어느 홀을 선택하여 위치오차로 정의할 것인가가 문제이다. 이러한 문제는 그림 3의 (2)부분을 선택하여 이용할 경우 쉽게 해결되나, 전체 이미지에서 어느 부분을 선택할지에 대한 정확한 규칙을 정의하기 힘들며 복잡한 알고리즘을 수행해야 한다.

따라서 본 논문에서는 홀의 무게중심점을 이용한 위치오차벡터를 정의하고, 변형된 Hough 변환을 사용하여 위치오차를 계산하여 보정한다. 위치오차 보정을 위한 알고리즘은 그림 4와 같다.

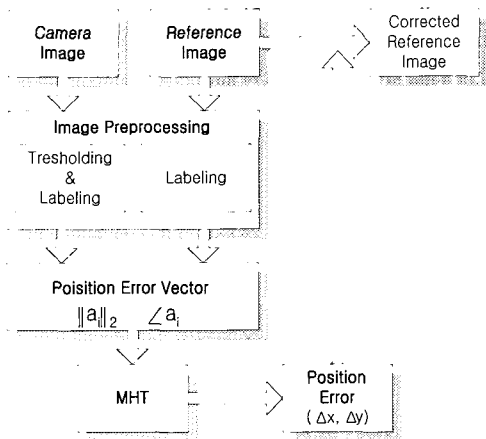


그림 4. 위치오차 계산 알고리즘.  
Fig. 4. Algorithm for Calculating Position Error.

1. 전처리과정

비전시스템의 구성은 흑백 CCD 카메라를 사용하였으며, 조명으로 형광등을 사용하였고 조명방식은 백라이트 방식을 사용하였다. 이와 같은 구성에 의해 카메라이미지는 그림 2(b)와 같이 홀에 대한 단순한 이미지를 획득할 수 있다. 카메라이미지에 대해서 이진화를 수행하고, 기준이미지와 카메라이미지에 존재하는 홀의 위치, 면적, 가로·세로 길이에 대한 정보를 레이블링 과정에서 획득한다. 홀의 위치는 무게중심으로 (1)에 의해 정의된다.

$$CX_n = \frac{1}{m_i \in n} \sum x_i, CY_n = \frac{1}{m_i \in n} \sum y_i \quad (1)$$

$$n = 1, 2, \dots, k$$

$CX_n$ 과  $CY_n$ 는 홀의 무게중심의 위치이며,  $n$ 은 레이블링에 의해 할당된 번호이며,  $m_i$ 는 각각의 홀을 구성하는 픽셀의 개수,  $x_i$ 와  $y_i$ 는 픽셀의 위치이다. 홀의 면적은 홀을 구성하는 픽셀의 개수, 홀의 가로길이는 홀을 구성하는 픽셀 중 가장 오른쪽과 왼쪽의 픽셀의 위치의 차, 세로길이는 가장 위쪽과 아래쪽 픽셀의 위치의 차로 정의된다.

2. 위치오차벡터 정의

검사영역에 대해 위치오차가 존재할 경우 카메라이미지와 기준이미지는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 그림 5에서 점선은 기준이미지에 존재하는 홀을 나타내며, 실선은 카메라이미지에 존재하는 홀을 나타낸다.

위치오차벡터는 기준이미지에 존재하는 특정 홀의 무게중심점과 카메라이미지에 존재하는 홀의 무게중심점을 잇는 벡터로 정의된다. 그림 5는 생성된 위치오차벡터를 표현한 그림이다.

3. 변형된 Hough 변환에 의한 위치오차계산

Hough 변환은 전처리된 에지 영상의 각 점에 대해서 특징을 찾고자하는 도형방정식, 즉 직선의 방정식 또는 원의 방정식으로 표현된 변환식을 이용하여 파라미터 값을 계산한 후 그 값에 대해 Hough 공간에 대응되는 빈의 값을 하나씩 증가시켜 누적된 값이 가장 큰 빈의 파라미터 값이 도형방정식의 파라미터로 선택되는 기법으로 일종의 좌표

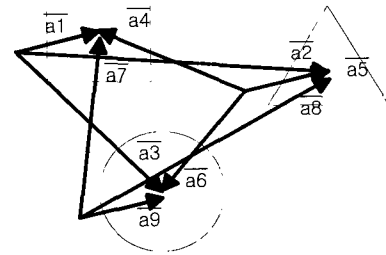


그림 5. 위치오차벡터.  
Fig. 5. Position Error Vectors.

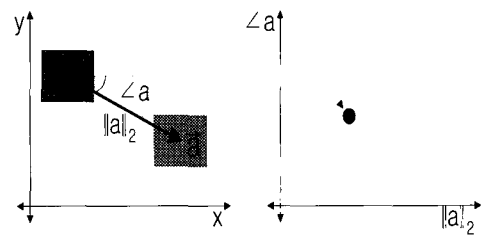


그림 6. Hough 공간으로의 매핑.  
Fig. 6. Mapping into Hough Space.

변환이다[14]. Hough 변환의 주된 용도는 이진화 후 물체의 외곽선을 검출[17]-[19]하는데 사용되며, 이를 통해 회전각도 추출[15][17][19], 변위계산[16][17]을 수행한다. 이와는 달리 Tsai[17]는 임의의 위치에 대한 물체의 외곽선 사이의 거리와 두 점을 잇는 벡터의 각도를 매개변수로 설정하고 GHT(Generalized Hough Transform)을 사용하였고, WEMN[20]는 물체의 분할선(Line Segment)의 크기변화를 위한 Scale Factor와 회전각을 매개변수로 Hough 변환을 사용하였다.

본 논문에서는 앞서 정의된 위치오차벡터의 크기와 각도를 매개변수로 설정하여 Hough 변환을 사용한다. 정의된 위치오차벡터는 그 크기와 각도를 갖는다. 직각좌표계에서의 위치오차벡터를 벡터의 크기  $a_i$ 와 각도  $\angle a_i$ 으로 정의된 Hough 공간을 구성하고 매핑 시키면 그림 6과 같이 Hough 공간에 하나의 점으로 표시된다.

앞서 정의된 모든 위치오차벡터의 크기와 각도를 Hough 공간에 누적시켜 가장 높은 빈도수를 가지는 빈에 해당하는 위치오차벡터를 선택하면 그림 7과 같다. 그림 7(b)의 Hough 공간은 위치오차벡터의 크기와 각도, 각 빈의 누적수로 구성된다. 구한 위치오차벡터를 이용하여 식(2)에 의해 위치오차  $\Delta x$ 와  $\Delta y$ 를 계산한다. 계산된 위치오차만큼 기준이미지의 중심위치를 이동시켜 새로이 생성하면, 카메라 이미지와 일치하는 기준이미지를 획득할 수 있다.

$$\Delta x = a_i \cos(\angle a_i), \Delta y = a_i \sin(\angle a_i) \quad (2)$$

IV. 실험결과

1. 모의실험결과

본 논문에서 제안된 알고리즘의 유효성을 입증하기 위해

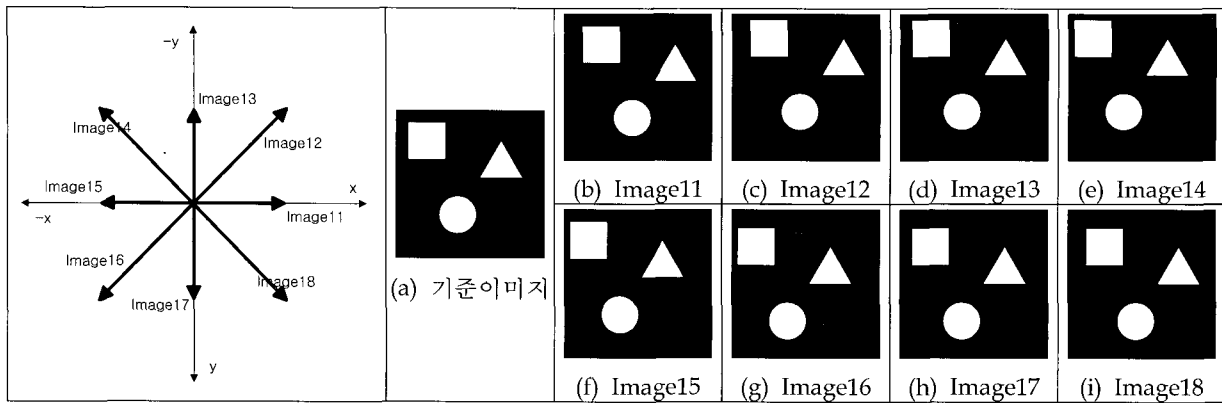


그림 8. 모의실험을 위한 기준이미지와 카메라이미지.

Fig. 8. Reference and Camera Images for Simulation.

표 1. 제안된 알고리즘에 의한 위치오차계산 모의실험 결과.

Table 1. Simulation Result of Position Error Using a Proposed Algorithm.

위치오차	실제 위치오차				선택된 위치오차벡터		측정 위치오차	
	mm		pixel		$a_{1,2}$	$\angle a_i(\text{radian})$	pixel	
카메라이미지	X	Y	X	Y			X	Y
(b)Image11	2.5	0.0	8	0	7.996380	0.000000	8	0
(c)Image12	2.5	-2.5	8	-8	11.308589	-0.785398	8	-8
(d)Image13	0.0	-2.5	0	-8	7.996380	-1.570796	0	-8
(e)Image14	-2.5	-2.5	-8	-8	11.308589	-2.356194	-8	-8
(f)Image15	-2.5	0.0	-8	0	7.996380	3.141593	-8	0
(g)Image16	-2.5	2.5	-8	8	11.308589	2.356194	-8	8
(h)Image17	0.0	2.5	0	8	7.996380	1.570796	0	8
(i)Image18	2.5	2.5	8	8	11.308589	0.785398	8	8

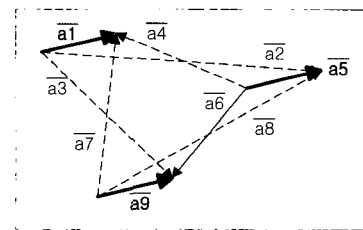
이미지를 제작하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 위한 기준이미지는 그림 8(a)와 같고, x축과 y축 방향으로 2.5 mm 이동시킨 비교이미지를 생성하였다. 이미지의 실제크기(AOI)는 60 × 60mm이고, 이미지의 크기는 192 × 192 픽셀이다. 따라서 LPP (Length Per Pixel)은 (3)에 의해 0.3125mm이고, 이동시킨 2.5mm는 8 픽셀에 해당한다.

$$LPP = \frac{\text{Actual Size of AOI}}{\text{The Number of Pixel of Image}} \quad (3)$$

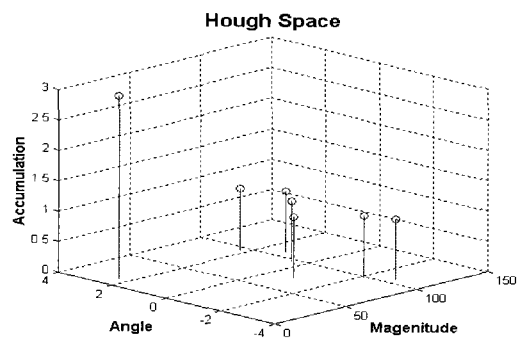
기준이미지와 각각의 비교이미지에 대해 제안된 알고리즘 적용하여 위치오차를 계산한 결과는 표 1과 같고, 실제 위치오차에 해당하는 픽셀수와 위치오차계산 알고리즘에 의해 계산된 위치오차에 해당하는 픽셀수가 동일함을 알 수 있다.

표 2는 위치오차를 보정하기 전과 후의 두 이미지의 일치도를 검사하기 위해 상관계수(Correlation Coefficient)를 계산한 것이다. 상관계수는 (4)에 의해 정의된다[21].

$$r = \frac{\sum [f_1(x, y) - \bar{f}_1][f_2(x, y) - \bar{f}_2]}{\{\sum [f_1(x, y) - \bar{f}_1]^2 \sum [f_2(x, y) - \bar{f}_2]^2\}^{1/2}} \quad (4)$$



(a) Extracted Position Error Vector



(b) Hough Space

그림 7. 추출된 위치오차벡터와 Hough 공간.

Fig. 7. Extracted Position Error Vector and Hough Space.

(4)에서  $r$ 은 상관계수,  $f_1(x, y)$ 와  $f_2(x, y)$ 는 각각 기준 이미지와 비교이미지,  $\bar{f}_1$ 과  $\bar{f}_2$ 는 각 이미지의 평균 강도(Average Intensity)이다. 상관계수는 0과 1사이의 값을 가지며 크면 두 이미지의 일치도가 높은 것을 의미하며, 작으면 일치도가 낮은 것을 의미한다.

표 2에서 알 수 있듯이 두 이미지에 존재하는 위치오차가 정확히 계산되어 재 생성된 기준이미지가 비교이미지와 높은 일치도를 보임을 알 수 있다

표 2. 상관계수.

Table 2. Correlation Coefficient.

카메라 이미지 \ 상관계수	위치오차 보정 전	위치오차 보정 후
Image11	0.754646	1.000000
Image12	0.609509	0.999748
Image13	0.744193	0.999748
Image14	0.611305	0.999432
Image15	0.755027	0.999708
Image16	0.609942	0.999432
Image17	0.744668	0.999748
Image18	0.610851	0.999748

2. 검사시스템 구성

검사 시스템의 재원은 표 3과 같다. 흑백 2차원 CCD 카메라를 사용하므로 검사영역은 AOI(Area Of Interest)로 제한된다. AOI의 크기는 해상도에 의해 그림 9와 식(5)에 의해 결정된다.

$$G \times f = g \times B \tag{5}$$

(5)에서  $G$ 는 AOI,  $f$ 는 Focal Length,  $g$ 는 Working Distance,  $B$ 는 CCD Sensor Size이다.

표 3. 검사시스템의 재원.

Table 3. Components of Inspection System.

Vision System	CCD Camera	Monochrome, 1300×1030, 2EA
	Lens	35mm
	Grabber	Metrox Meteor II-MC
	Illumination	Back-Light Fluorescent Light
X-Y Robot	Motor	Mitsubishi AC Servo Motor
	Controller	ADLINK PCI-8132(2축)

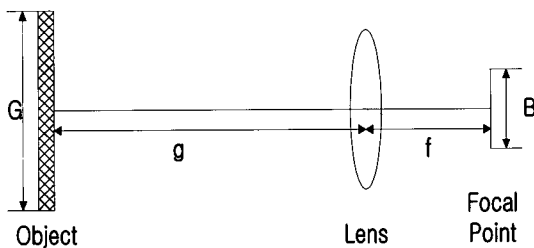
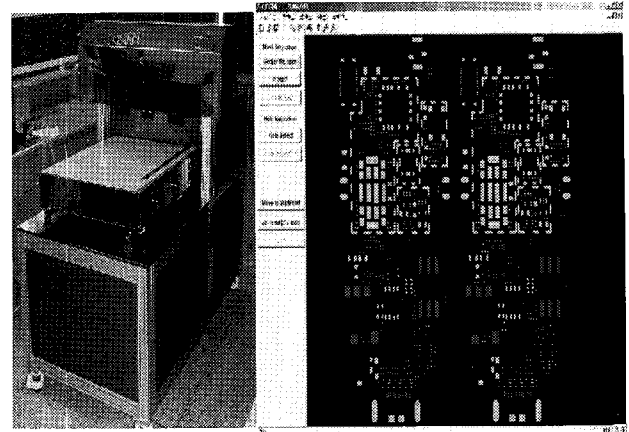


그림 9. Camera, Lens와 Object의 상호관계.  
Fig. 9. Relationship between Camera, Lens and Object.



(a)Inspection System (b)Inspection Program GUI

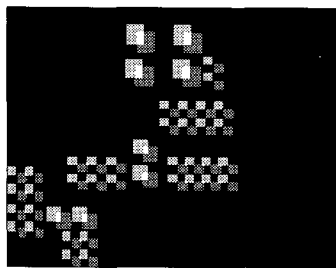
그림 10. 메탈 스텐실 검사 시스템과 검사 프로그램 GUI.  
Fig. 10. Metal Stencil Inspection System and its Graphic User Interface.

본 논문에서 구성된 시스템의 AOI는  $2.5 \times 2.0mm$ 이고, 해상도는  $19.5 \times 19.5\mu m$ 이다. XY 로봇에서 발생하는 위치오차는 실험결과 최대  $\pm 1.0mm$ 이다.

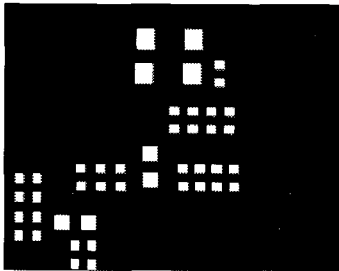
그림 10(a)은 메탈 스텐실 검사 시스템이고, 그림 10(b)은 검사 프로그램 GUI로 정상인 홀은 녹색, 에러인 홀은 빨간색으로 표시된다.

그림 11은 본 시스템에서 특정 검사영역에 대한 실험결과이다. 그림 11(a)은 위치오차 보정전 카메라이미지와 기준이미지의 위치오차를 보이고 있으며, 그림 11(b)은 제안된 위치오차 보정알고리즘에 의해 수정된 기준이미지와 카메라이미지의 차이를 보이고 있다. 그림 11(c)은 Hough 공간으로 위치오차벡터의 누적상태를 나타낸다. X축은 위치오차벡터의 각도, Y축은 위치오차벡터의 크기, Z축은 누적빈도수이다. 제안된 알고리즘에 의해 선택된 위치오차벡터는  $46.33 \angle 2.57$  이고, 계산된 위치오차 보정은 X축 방향으로 -39픽셀( $760.5\mu m$ ), Y축 방향으로 25픽셀( $487.5\mu m$ )이다. 상관계수는 위치오차 보정 전 0.075에서 보정 후 0.945로 향상되었음을 알 수 있고, 그림 11(b)에서도 확인할 수 있다. Hough 변환을 사용하는데 있어 단점은 하나의 검사영역에 존재하는 홀의 개수는 많게는 100개 이상이 존재하므로 계산시간이 많이 소요된다. 그러나 X-Y 로봇에서 발생하는 위치오차는 한정되어 있으므로 기준이미지의 특정 홀의 위치를 중심으로 반경 약  $2mm(100\text{픽셀})$  이내에 존재하고 면적이 70% 이상 일치하는 카메라이미지의 홀에 대해서만 위치벡터오차를 구성함으로써 계산시간을 줄일 수 있다.

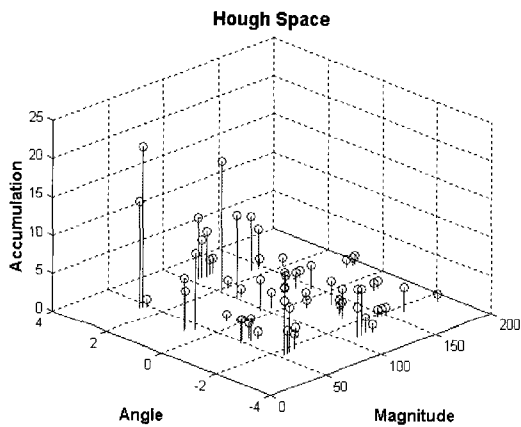
그림 12는 메탈 스텐실 샘플에 대해 각각의 검사블록에서의 위치오차 보정 전(점선)과 보정 후(실선)의 상관계수이다. 그림에서 보듯이 제시된 위치오차 보정 알고리즘에 의해 위치오차가 수정되었음을 알 수 있으며, 각각의 평균은 표 4와 같다. 그림 12의 (a)와 (b)에서  $r$ 이 아주 작은 블록은 에러가 존재하는 블록이다.



(a) Before Error Correction



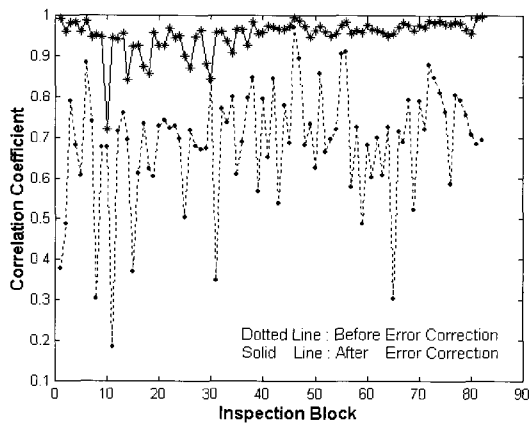
(b) After Error Correction



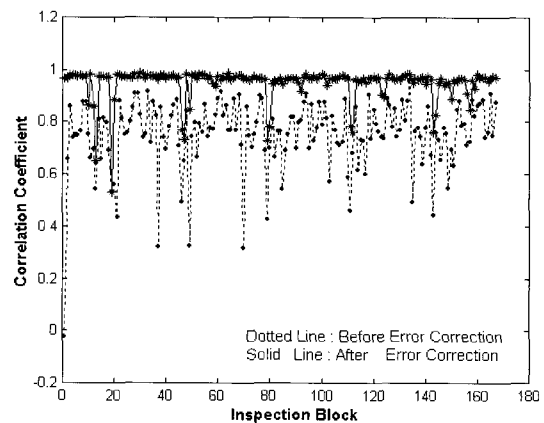
(c) Hough Space

그림 11. 제안된 알고리즘에 의한 위치오차 계산 및 보정 실험결과.

Fig. 11. Experimental Result using a Proposed Algorithm.



(a) Correlation Coefficient of Sample 1



(b) Correlation Coefficient of Sample 2

그림 12. 메탈 스텐실 샘플의 상관계수

Fig. 12. Correlation Coefficient of Metal Stencil Samples.

표 4. 상관계수의 평균

Table 4. Average of Correlation Coefficient

	Sample 1	Sample 2
Before Error Correction	0.686	0.753
After Error Correction	0.952	0.949

V. 결론

본 논문에서는 저정밀 X-Y 로봇과 비전시스템을 이용하여 PCB의 SMD 패드에 납을 도포하는데 사용되는 메탈 스텐실을 검사하기 위한 시스템을 구성하고, 검사블록으로 이 동시 발생하는 위치오차를 계산하여 보정하는 알고리즘을 제안하였다.

검사영역의 기준이미지와 카메라이미지에 존재하는 메탈 스텐실의 홀에 대한 위치, 크기 정보를 영상처리를 통해 획득한 후 위치오차벡터를 정의하고, 변형된 Hough 변환을 이용하여 가장 많은 빈도수를 가지는 위치오차벡터를 선택하고, 위치오차를 계산하여 기준이미지를 보정하였다. 또한 PCB 제작 시 사용되는 거버 파일을 이용하여 기준이미지를 생성하였다. 제안된 알고리즘을 제작된 메탈 스텐실 검사 시스템에 적용하여 효율성을 입증하였다.

영상처리를 이용하여 위치오차를 추출하고 보정함으로써 기존의 방법에서 사용한 매개변수, 즉 마찰, 관성, 백래시 등에 대한 정확한 매개변수 추정이나 정의가 필요하지 않으며, 이를 이용한 복잡한 제어알고리즘도 필요 없다. 또한 각각의 검사영역에 대해서 위치오차에 대한 보정이 수행되므로 로터리 엔코더 사용 시 위치추정을 위한 Dead-Reckoning 알고리즘의 단점인 누적오차에 대한 고려도 필요하지 않다. 따라서 위치오차 보정을 위한 알고리즘이 단순해지며, 시스템 구성 시 저정밀 X-Y 로봇의 사용이 가능함으로써 시스템 제작비의 인하를 기대할 수 있다. 또한 거버 파일을 이용한 기준이미지의 생성방법은 PCB관련 검사 시스템에 적용가능하다.

참고문헌

[1] W Li, M. Rehani, "Modeling and control of a belt-

- drive positioning table", *Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on Industrial electronics, Control, and Instrumentation*, vol. 3, pp. 1884~1989, 1996.
- [2] W. Li, X. Cheng, "Adaptive high-precision control of positioning tables-theory and experiments", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 265~270, 1994.
- [3] Z. Zhao, L. Cai "On the improvement of tracking performance of positioning tables", *Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on International Electronic, Control and Instrumentation*, vol. 3, pp. 1990~1995, 1996.
- [4] K. Lim, J-W Seo, and C-H Choi, "Position control of XY table in CNC machining center with non-rigid ballscrew", *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 1542~1546, 2000.
- [5] G. Tao and P. V. Kokotovic, "Adaptive control of systems with unknown output backlash", *IEEE Transaction on Automatic Control*, vol. 40, no. 2, pp. 326~330, 1995
- [6] K. T. Woo, L. X. Wang, F. L. Lewis and Z. X. Li, "A fuzzy system compensator for backlash", *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 181~186, 1998.
- [7] M. Grundelius and D. angeli, "Adaptive control of systems with backlash acting on the input", *Proceedings of the 35th Conference on Decision and Control*, pp. 4689~4694, 1996
- [8] T. Jukic and K. Peric, "Model based backlash compensation", *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 775~780, 2001.
- [9] S.-J. Huang and M-T. Yan, "The adaptive control for a retrofit traditional milling machine", *IEEE Transactions on Industry Application*, vol. 32, no. 4, pp. 802~809, 1996.
- [10] A. Hace, K. Jezernik, B. Curk and M Terbuc, "Robust motion control of XY table for laser cutting machine", *Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, vol. 2, pp. 1097~1102, 1998.
- [11] H.-C. Liu and M. D. Srinath, "Partial shape classification using contour matching in distance transformation", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 12, no. 11, pp. 1072~1079, 1990.
- [12] M.-H. Han, D. Jang and J. Forster, "Inspection of 2-D objects using pattern matching method", *Pattern Recognition*, vol. 22, no. 5, pp. 567~574, 1989.
- [13] Zhang, G. Jing, M. Hu, R chen, Zhaoyang, "A new image matching method based on principal component analysis", *Proceedings of SPIE*, vol. 4222, pp. 337~340, 2000.
- [14] H. K. Chung and R. H Park, "Detection of orientation and position of the SMD and PCB", *Journal of The KITE*, vol. 31-B, no. 3, pp. 281~291, 1994.
- [15] B.-J. You, Y. S. Oh and Z. N. Bien, "A vision system for an automatic assembly machine of electronic comppnents", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 37, no. 5, pp. 349~357, October, 1990.
- [16] L. Locchi, D. Mastrantuono, D Nardi, "A probabilistic approach to hough localization", *Proceedings of the 2001 IEEE Interantional Conference on Robotics and Automation*, pp. 4250~4255, May, 2001.
- [17] D.-M. Tsai, "An improved generalized hough transform for the recognition overlapping objects", *Image and Vision computing*, vol. 15, pp. 877~888, 1997.
- [18] E. R. Davies, MA, DPhil, CPhys, FInstP, "Application of the generalized hough transform to corner detection", *IEE Proceedings Computer and Digital Techniques*, vol. 135, Pt.E, no.1, pp. 49~54, 1988.
- [19] E. P. da Ssilva, A. gongaga, "Finding the position and area of an object in a visual inspection system", *2nd Workshop on Cybernetic Vision*, pp. 93~98, 1997.
- [20] W. Wen and A. Lozzi, "Recognition and inspection of manufactured parts using line moments of their boundaries", *Pattern Recognition*, vol. 26, no. 10, pp. 1461~ 1471, 1993.
- [21] R. Jain and R. Kasturi and B. G. Schunck, *Machine Vision*, McGRAW-HILL, pp. 295~297, 1995.



**최 경 진**

1969년 7월 7일생, 1996년 경희대 전자공학과 졸업(학사). 동대학원 석사(1998). 동대학원 박사과정(현재), 관심분야는 비선형이론, Machine Vision, 마이크로프로세서 응용, 구률허이동로봇.



**이 용 현**

1956년 2월 10일생. 1981년 성균관대 전자공학과 졸업(학사). 독일 RWTH Aachen(아헨공대) 전자공학과 학사(1986). 석사(1991) 및 박사(1995). 1998년~현재 강남대학교 교수.



**박 중 국**

1945년 2월 7일생. 1971년 서울대 물리학과 졸업(학사). 연세대 전기공학과 석사(1975) 및 박사(1979). 1980년~현재 경희대학교 교수. 현재 제어·자동화·시스템 공학회 부회장.