論文2003-40SC-2-1

Metal Mask 검사시스템

(Inspection System for The Metal Mask)

崔 敬 鎭 *, 李 鎔 賢 **, 朴 鍾 國 *

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

요 약

본 논문에서는 ASC(Area Scan Camera)를 이용한 비전시스템과 belt type xy-table을 사용하여 metal mask의 홀 생성유무 검사시스템을 개발하고, 적용할 수 있는 알고리즘을 소개한다. Metal mask의 전체 영역을 일정한 크기의 검사영역으로 분할한다. 각각의 검사영역의 크기는 ASC의 FOV(Field of View)와 동일하다. 이때 belt type xy-table에서 발생하는 위치오차를 고려하여 일정영역을 중첩하여 분할한다. 검사블록에 대한 카메라이미지는 gerber 파일을 이용하여 생성한 기준이미지와 비교된다. 검사장치에 장착된 metal mask의 회전각도를 계산하기 위하여 존재하는 가장 큰 홀에 대한 카메라이미지를 획득하고, 홀의 수평 에지를 추출한 후 직선의 방정식을 이용한다. Belt type xy-table의 backslash와 같은 기계적 결함에 의해 기준이미지와 카메라이미지에 존재하는 홀 사이에는 위치오차가 존재한다. 두 이미지를 일치시키기 위해 각 이미지에 존재하는 홀의 무게중심점을 이용한 HT(Hough-Transform)을 사용하여 위치오차정보를 추출하고, 기준이미지의 중심점을 이동시킨다. 각각의 이미지에 존재하는 홀에 대한 무게중심점, 면적, 가로길이, 세로길이 등의 정보를 레이블링을 통하여 구한다. 두 이미지에 존재하는 홀의 무게중심점과 면적을 이용하여 홀의 생성유무를 판단한다. 그리고 실제로 시스템을 제작하여 위 알고리즘을 적용한다.

Abstract

We develop an experimental system to inspect a metal mask and, in this paper, introduce its inspection algorithm. This system is composed of an ASC(Area Scan Camera) and a belt type xy-table. The whole area of the metal mask is divided into several inspection blocks. The area of each block is equal to FOV(Field of View). For each block, the camera image is compared to the reference image. The reference image is made by gerber file. The rotation angle of the metal mask is calculated through the linear equation that is substituted two end points of horizontal boundary of a specific hole in a camera image. To calculate the position error caused by the belt type xy-table, HT(Hough-Transform) using distances among the holes in two images is used. The center of the reference image is moved as much as the calculated position error to be coincided with the camera image. The information of holes in each image, such as centroid, size, width and height, are calculated through labeling. Whether a holes is made correctly by laser machine or not, is judged by comparing the centroid and the size of hole in each image. Finally, we build the experimental system and apply this algorithm.

Keywords : inspection system, machine vision, hough-transform, position error, xy robot

* 正會員, 慶熙大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering Kyunghee Univ.)
** 正會員, 江南大學校 知識情報工學部
(Faculty of Electronic engineering & Computer sicence, Kangnam University)
接受日字:2002年9月24日, 수정완료일:2003年2月11日

Ⅰ. 서 론

현재 SMT In line 시스템은 각각의 공정을 수행하기 위한 시스템과 공정에서 발생하는 오류를 검사하기 위한 시스템으로 구성된다. 각각의 공정을 수행하기 위한

시스템에는 Solder Cream Printer, Chip Mounter, Reflow 등이 있고, 발생된 오류를 검사하는 시스템으로는 PCB Board 검사장비, Solder Cream Print 검사장비, 부품실장검사장비, 납땜검사장비 등이 있고, 아직까지도 이에 대한 많은 연구와 개발이 진행되고 있다.

SMT In Line system에서 발생되는 오류를 조사한 결과 64%-70%가 Solder Cream Print 과정에서 발생한 것이며, 그 원인은 다음 두 가지이다. 첫 번째는 사용되는 metal mask의 제조불량이다. metal mask는 레이저를 이용하여 얇은 스테인리스 필름을 가공하여 제조한다. 이때 레이저의 갑작스러운 출력약화로 인해 홀이 생성이 되지 않게 되고, 이는 solder cream 프린트할 때 오류를 발생시킨다. 두 번째는 프린트할 때 발생하는 문제점으로 solder cream에 의해 홀이 막히는 현상 등이 발생하는 경우이다.

Metal mask의 제조상태를 검사하는 장비의 개발은 국내에서는 이루어지지 않은 상태이며, 최근에 독일 LPKF사와 미국의 ScanCAD사에서 검사 장비를 개발한 상태이다. 이들 검사장비의 기본 특징은 높은 위치 정밀도를 위해 고정밀 ball screw를 이용한 xy-table을 사용하고 있다. 또한 수십~수백 μm 단위의 홀을 측정하기 위해 다수의 고해상도 line scan 카메라를 사용하였다. 이러한 장비의 구성은 metal mask 전체를 한 번에 검사할 수 있어 검사시간이 짧다는 장점이 있으나, 장비구성이 복잡하며 가격이 높다는 단점이 있다. 또한 여러 개의 line scan 카메라에 의해 획득된 카메라이미지와 기준이미지를 일치시키는 작업 등 작업자에 의해 검사의 많은 과정이 수동으로 이루어진다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점은 실제로 산업현장에 적용하는데 어려움으로 작용하고 있다. 이러한 문제점으로 인해 metal mask 제조업체에서 제조된 mask를 육안으로 검사하고 있는 실정이다. 따라서 metal mask 제조업체에서 쉽게 적용가능한 저가형이며 보다 작업이 편리한 검사시스템의 개발이 요구된다.

시스템을 단순 저가형으로 구성하기 위해 고가의 고해상도의 line scan 카메라를 다수 사용하는 대신 하나의 640×480 해상도의 ASC(Area Scan Camera) 카메라를 사용한다. 또한 고정밀 ball screw를 이용한 xy-table을 대신하여 저정밀 belt type xy-table을 사용한다. 이러한 장비의 구성으로 전체 시스템 가격을 상당히 낮출 수 있다. ASC를 사용할 경우 FOV(Field of View)로 제한된 영역만을 검사할 수 있기 때문에 전체 검사영역을 일정한 크기로 분할하고, ASC를 각 검사영역의 중앙에 위치시켜 해당 영역을 검사한다. 이때 저정밀 belt type xy-table을 사용할 경우 검사영역으로 카메라 이동시 정확히 중앙에 위치시키기 어렵다는 문제점, 즉 위치오차가 발생한다는 것이다. 따라서 발생한 위치오차를 계산하여 보정하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 저정밀 belty type xy-table에서 발생되는 위치오차를 HT를 이용하여 계산하는 알고리즘을 제안한다. 검사영역에 대한 카메라이미지와 기준이미지에 존재하는 홀들의 무게중심 사이의 거리 $\triangle x, \triangle y$를 구하고, HT에 적용하여 발생된 위치오차를 구하여 기준이미지를 재 생성한다. 홀의 생성유무를 판단하는 기준은 실제 작업현장에서 사용되는 규칙을 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 ASC를 사용함에 의해 검사영역이 FOV로 제한되므로 전체 검사영역을 분할하는 방법에 대해 설명한다. Ⅲ장에서는 시스템에 장착된 metal mask의 기울어짐을 보정하기 위해 기울어진 각도를 계산하는 방법에 대해 설명한다. Ⅳ장에서는 두 이미지에 존재하는 홀의 무게중심점을 이용한 HT에 의해 위치오차 정보를 추출하고 보정하는 방법에 대해 설명한다. Ⅴ장에서는 보정된 기준 이미지와 카메라이미지에 대해 정의된 판단규칙에 적용함으로써 홀의 생성유무를 판단한다. Ⅵ장에서는 구성된 시스템과 검사과정을 설명하며, 시스템 calibration을 수행하고, 실험결과를 통해 제안된 알고리즘을 검증한다.

Ⅱ. Metal Mask와 검사영역분할

Metal mask는 PCB solder cream을 프린트하기 위해

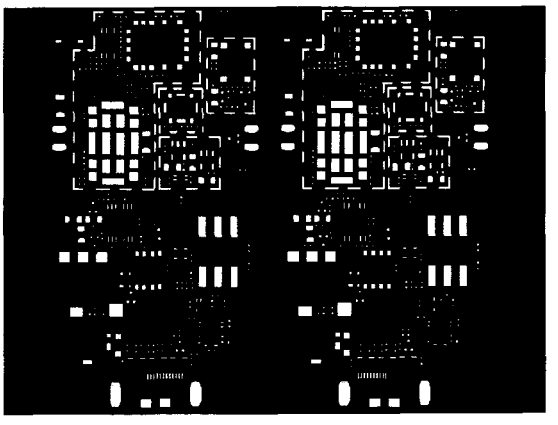


그림 1. Metal mask
Fig. 1. Metal mask.

레이저를 이용해 얇은 스테인리스를 가공한 것으로 <그림 1>과 같다.

여기서 가공되는 홀의 크기는 부품제조기술의 발달과 레이저 기술의 발달로 수십 μm까지 가능하며, metal mask의 크기는 사용되는 PCB 기판의 크기에 따라 수십-수 cm에 이른다. Metal mask의 제조상태, 즉 생성되지 않은 홀을 검출하는 시스템은 다른 검사장비처럼 오류가 자주 발생하는 어느 특정 영역에 대해서만 검사를 수행하는 것이 아니라 어느 위치에서 오류가 발생했는지는 레이저가공기의 상태에 따라 달라지므로 metal mask의 전체를 검사해야 한다. 이러한 넓은 영역 전체에 대해 미세한 홀을 검사하기 위해 line scan 카메라를 이용할 경우 전체 검사영역을 한번에 검사할 수 있다는 장점을 가지지만 다수의 고해상도 line scan 카메라가 요구되는 단점을 가지고 있다. 그에 반해 ASC를 이용할 경우 <그림 2>와 식 (1)에 의해 정해진 FOV의 영역에 대한 검사만 가능하다.

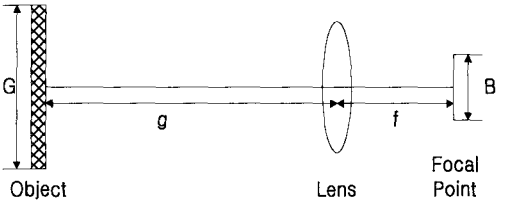


그림 2. Camera, Lens, Object의 상호관계
Fig. 2. Relationship between camera, lens and object

$$G \times f = g \times B \tag{1}$$

여기서 G는 FOV, f는 forcal length, g는 working distance, B는 CCD sensor size 이다. 따라서 metal mask 전체를 일정크기의 검사블록으로 분할할 필요가 있고, 이로 인해 line scan 카메라 보다 검사시간이 많이 걸린다는 단점이 있으나, 다른 검사장비와는 달리 metal mask 검사에서 검사시간은 커다란 비중을 차지하지 않는다는 특징이 있다. 또한 한 개의 저해상도 ASC만 이용하여 시스템을 구성할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 전체 검사영역을 <그림 3>과 같이 일정크기의 검사블록으로 분할한다. 이때 belt type xy-table을 이용할 경우 backslash, 모터해상도 등과 같은 기계적인 결함에 의해 위치오차가 발생하고 이로 인해 검사되지 않는 홀이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 카메라를 검사영역의 중심점으로 이동시 발생할 수 있는 위치오차를 고려하여 검사영역의 일정 영역을 중첩하여 분할한다.

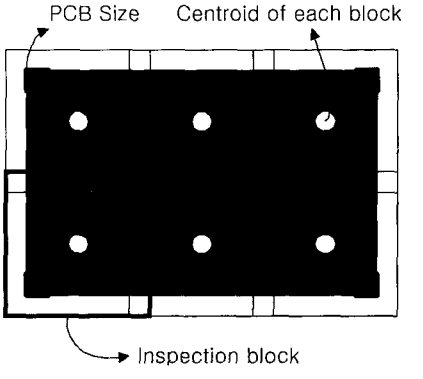


그림 3. 검사영역분할
Fig. 3. Division of metal mask into inspection blocks.

Ⅲ. 회전정보추출

Metal mask 제조시 시스템 특성상 작업자에 의해 일정크기로 잘려진 스테인리스 필름을 수동으로 제조장비에 장착된다. 또한 이를 검사장비에 다시 수동으로 장착한다. 이때 발생하는 문제점은 <그림 4>와 같이 스테인리스 경계면과 제조된 면은 정확히 수평, 수직이 이루어지지 않는다는 것이다.

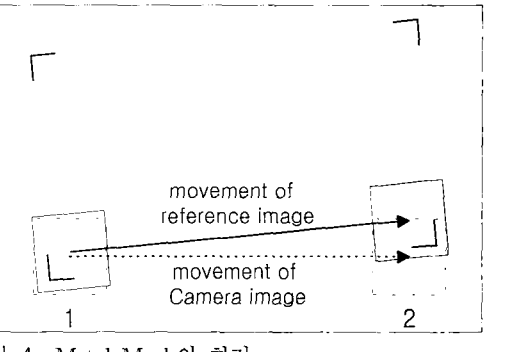
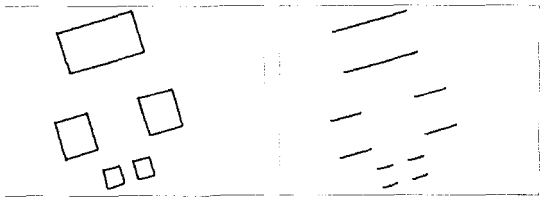


그림 4. Metal Mask의 회전
Fig. 4. Rotation of metal mask.

회전이 발생한 경우 <그림 4>에서 1의 위치에서는 기준이미지와 카메라이미지가 거의 일치하지만 2의 위치에서 기준이미지와 카메라이미지의 중심점의 위치사이에 오차가 존재한다. 이는 카메라 이미지에 존재하는 홀 또한 회전되어진 상태로 나타나며, 또한 2의 위치에

서 검사되지 않는 홀이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 카메라의 이동방향과 기준이미지의 이동방향, 즉 제조영역의 수평경계선을 일치시켜야 할 필요가 있다. 이를 위해서 metal mask의 회전정보를 얻어야만 한다. 물체의 회전정보를 획득하는 방법으로는 물체의 관성모멘트를 이용하여 물체의 경사도 및 중심을 찾는 방법[1,5]과 물체의 방향과 위치를 구하기 위해 x축, y축, y=x 에 대해 투사를 이용한 방법이 있다[1,6]. 또 다른 방법으로는 소자의 윤곽선을 찾은 후 각 윤곽선에 대하여 HT를 하여 파라미터 영역에서 가장 빈도수가 큰 셀을 찾아 방향을 결정하는 방법이 있다[2,3]. 이때 회전정보를 획득하기 위해 가장 많이 이용되는 특징이 물체의 코너점이다. 그러나 코너점을 이용할 경우 문제는 정확히 코너점을 찾아야 한다는 것이고, 이미지에 존재하는 각각의 홀의 코너점을 정확히 찾아내는 데는 많은 처리과정을 거쳐야 한다는 단점을 가지고 있다. 또한 이러한 방법은 물고기, 나뭇잎, 자동차 등과 같이 복잡한 곡률을 가지는 물체의 방향을 구하기 위한 방법으로 사용된다[4]. 따라서 본 논문에서는 직선의 기울기를 이용하고자 한다. 가장 큰 홀에 대한 카메라이미지를 획득한 후 홀의 수평성분만을 분리하여 시작점과 끝점을 찾아내어 직선의 방정식을 이용하여 기울기를 계산한 다음 그 각도만큼 metal mask를 회전시켜 줌으로써 제조영역의 수평경계선과 카메라의 이동방향을 일치시킨다. 이진화된 이미지로부터 x축에 대한 Sobel 마스크를 사용하여 수평성분만을 검출하며, 이는 <그림 5>와 같다. 그러나 이 과정에서 수직성분에 대한 정보도 약간 나타나게 된다. Sobel 연산자의 단점은 경계면에서 두 개의 선으로 나타난다는 것과 이것이 일정 영역으로 표현된다는 것이다. 따라서 세선화 과정을 거침으로서 수평선 성분만 추출한다.



(a) (b)

그림 5. metal mask 회전정보 추출
(a) 에지정보 추출 (b) 수평성분 추출

Fig. 5. Extraction of rotation in metal mask.
(a) Edge extraction (b) Horizon extraction

이미지에 존재하는 모든 직선에서 가장 긴 직선을 선택하여 양 끝점의 위치 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$를 찾아내고, 이것으로부터 metal mask의 회전각도 θ는 직선의 기울기이며 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V}{H}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right) \tag{2}$$

Ⅳ. 위치오차보정

분할된 검사영역의 중심점으로 카메라를 이동시키기 위해 xy-table을 사용한다. 일반적으로 사용되는 xy-table 이송장치는 ball screw를 이용하는 것과 belt를 이용하는 것이 있다. ball screw는 고정밀도의 위치결정을 요하는 경우에 사용되며 대부분의 비젼시스템을 이용한 검사장비와 제조장비에서 사용되고 있다. belt를 이용하는 것 또한 많은 장비에서 사용되고 있으나 ball screw 보다 위치정밀도는 떨어지는 단점을 가지고 있는 반면 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 belt type xy-table을 구성하고자 한다. 이 경우 문제점은 검사하고자 하는 영역으로 이동시 backslash와 모터 최소이동거리 등에 의해 발생하는 위치오차이다. 현재 모터 드라이브 기술의 발달로 모터와 드라이버에서 발생하는 오차는 존재하지 않으므로 무시할 수 있으나, backslash와 같은 hard-nonlinearity에 의한 오차는 무시할 수 없을 뿐 아니라 발생된 오차를 보정하기는 어려운 일이다. 또한 이동시 기계적으로 오차를 포함하고 있으므로 보정을 하더라도 이미 오차가 포함되어 있는 것으로 신뢰할 수 없는 것이다. 이러한 기계적 결함에 의해 발생되는 오차를 포함하고 있는 시스템을 사용할 경우 카메라이미지는 원래의 검사블록의 위치와 다르게 되고, 이러한 이미지를 그대로 사용할 경우 기준이미지와는 다른 이미지가 생성되며 따라서 홀의 생성유무를 판단하는데 있어 많은 문제점을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 두 이미지를 정확히 일치시키기 위해 두 이미지 사이의 오차 Δx와 Δy를 이미지에 존재하는 홀의 위치를 이용한 HT를 사용하여 구한다. 이 오차를 이용해 카메라를 이동시키는 것이 아니라 기준이미지의 중심점의 위치를 변화시킨다.

검사블록의 실제 이미지를 얻은 후 이진화 과정을

거친다. 레이블링을 통하여 이미지에 존재하는 홀에 대한 중심점의 위치, 면적, 가로세로길이에 대한 정보를 획득한다. 홀의 중심점은 무게중심으로 식(3)에 의해 정의된다.

$$CX_n = \frac{1}{m_i}\sum_{i\in n} x_i$$
$$CY_n = \frac{1}{m_i}\sum_{i\in n} y_i \quad n = 1,2,\ldots,k \qquad (3)$$

CX_n, CY_n는 홀의 무게중심점이며, n은 레이블링에 의해 할당된 번호이며, m_i은 각각의 홀을 구성하는 픽셀의 개수, x_i, y_i는 픽셀의 위치이다. 위치오차가 존재할 경우 카메라 이미지와 기준이미지는 <그림 6>과 같이 나타낼 수 있다.

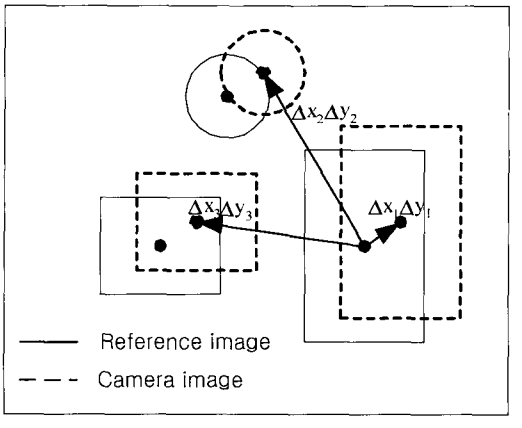


그림 6. 위치오차
Fig. 6. Position error of hole.

여기서 실선은 기준이미지에 존재하는 홀을 나타내며, 점선은 카메라이미지에 존재하는 홀을 나타낸다. 기준이미지에 존재하는 특정홀에 대해 카메라이미지에 존재하는 홀 사이의 거리 Δx_i , Δy_i를 계산하여 hough space에 축적시킨다. 이 과정을 기준이미지에 존재하는 모든 홀에 대해 수행한 결과, Hough space에서 Δx_1 , Δy_1의 값이 가장 많은 빈도수를 가지게 되고 위치오차를 수정하기 위한 값으로 사용하여 기준이미지의 중심위치를 이동시켜 새로이 생성하면, 카메라 이미지와 일치하는 기준이미지를 얻게 된다. 이를 위한 알고리즘은 <그림 7>과 같다. <그림 8>은 위의 알고리즘을 적용한 예이다. <그림 8(a)>와 <그림 8(b)> 사이에 존재하는 위치오차는 <그림 8(c)>와 같다. 이 두 이미지에 존재하는 홀 사이에는 상당한 위치오차를 가지게 되고, 이 경우 홀의 중심점 위치와 면적을 이용하여 홀의 생성유무을 판단하는데 있어 문제점을 가지고 있다. <그림 7>에서의 알고리즘을 적용하여 위치오차를 보정한 결과는 <그림 8(d)>와 같고 두 이미지에 존재하는 홀의 위치오차는 개선된 것을 알 수 있다. 이에 대해 판단규칙에 의해 생성되지 않은 홀을 검출한다.

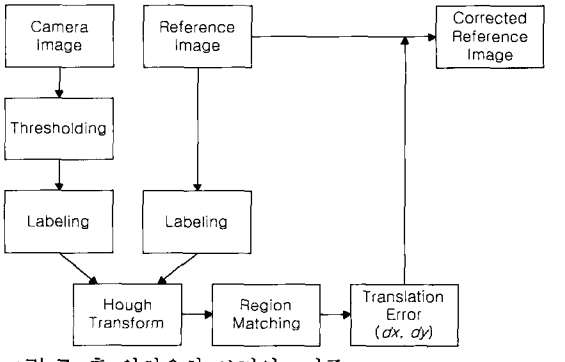


그림 7. 홀 위치오차 보정알고리즘
Fig. 7. Position error correction algorithm.

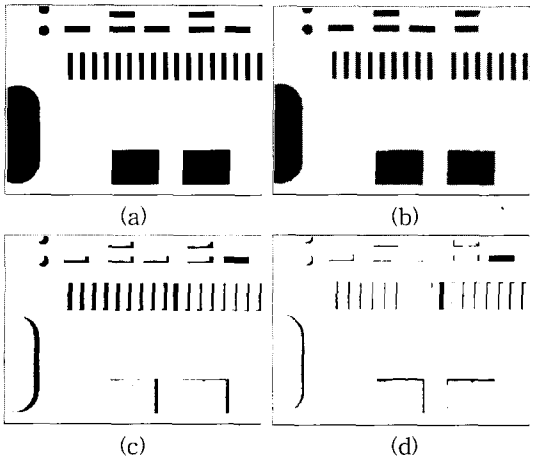


그림 8. HT을 이용한 위치오차 보정
(a) 기준이미지 (b) 카메라 이미지
(c) 위치오차 보정전 위치오차
(d) 위치오차 보정후 위치오차
Fig. 8. Position error correction using HT.
(a) Reference image (b) Camera image
(c) Position error before correction
(d) Position error after correction

V. 미생성 홀 검출

Metal mask 는 레이저를 이용하여 얇은 스테인리스

를 가공하여 제조한다. 이때 발생되는 오류는 레이저의 갑작스러운 출력약화로 인해 홀이 생성되지 않는 것이다. 본 논문에서는 생성되지 않은 홀을 검출하는 것을 목적으로 한다. 수정된 기준이미지에 대해 레이블링을 통하여 홀에 대한 정보를 얻어내고, 카메라 이미지와 수정된 기준이미지에 존재하는 홀의 무게중심점, 면적을 이용하여 홀의 생성유무를 판단한다. 홀의 생성유무 판단은 식 (4)의 판단규칙에 의해 수행된다.

정상판별조건

$$\text{조건 1} : \sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2} < T$$

$$\text{조건 2} : (S_1/S_2) \times 100 > 85(\%) \qquad (4)$$

여기서 (x_1, y_1)은 기준이미지에서의 홀의 위치이고 S_1은 그 홀의 면적, (x_2, y_2)는 카메라이미지에 존재하는 것 중 (x_1, y_1)에 가장 가까운 홀의 위치이고 S_2는 그 홀의 면적이다. 조건 1은 위치오차가 임계치 T 보다 작음을 검사하기 위한 것으로 Hough 변환 후 존재하는 위치오차를 고려한 것으로 이는 실험적으로 결정한다. 조건 2는 조건 1에서 찾은 홀이 위치상으로는 이웃해 있으나 이물질에 의해 막혀있는 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 생성되지 않은 것, 즉 에러로 판단한다.

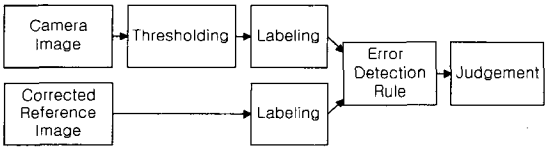


그림 9. 에러검출과정
Fig. 9. Error detection process.

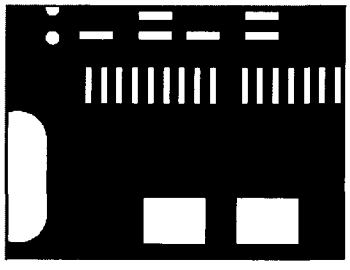


그림 10. 에러검출
Fig. 10. Judgment of error.

이 판단조건을 카메라이미지와 수정된 기준이미지에 대해 수행하며, 과정은 <그림 9>와 같다. <그림 10>은 <그림 8>의 (a)와 (b)에 판단규칙을 적용한 결과로, 두 개의 에러가 정확이 검출되었음을 알 수 있다.

VI. 실 험

1. 시스템 구성

본 논문에서 사용된 시스템은 <그림 11>과 같다. 검사장비의 기본형태는 belt type xy-table을 사용하였으며, 이를 이용해 ASC를 이동시키기 위해 AC servo 모터와 controller board를 사용하였다. Metal mask에 대한 카메라 이미지를 얻기 위해 흑백 ASC와 Metrox사의 MeteorII Grabber 보드를 사용하였다. 비젼시스템의 구성요소의 사양은 <표 1>과 같다. Belt type xy-table에서 발생된 위치오차에 의해 검사되지 않는 홀이 발생되는 것을 방지하기 위해 검사영역분할시 중첩시킨 영역의 크기는 60 픽셀로 약 1mm이다. 미생성 홀을 검출하기 위한 전체적인 검사알고리즘은 <그림 12>와 같다.

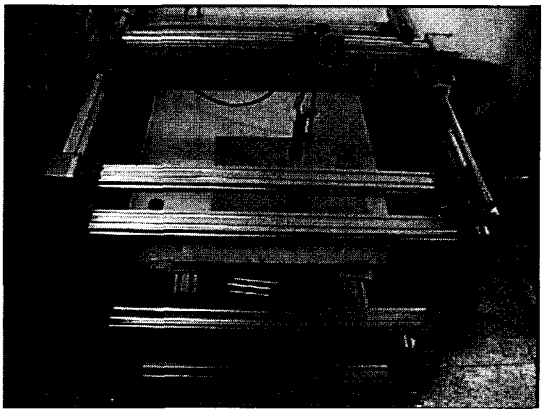


그림 11. Belt type xy-table
Fig. 11. Belt type xy-table.

표 1. 비젼시스템 구성요소
Table 1. Component of vision system.

CCD Sensor Size	B	7.95mm ×6.45mm
FOV	G	10.963mm × 8.223mm
Forcal Length	f	35mm
Working Distance	g	48.256mm

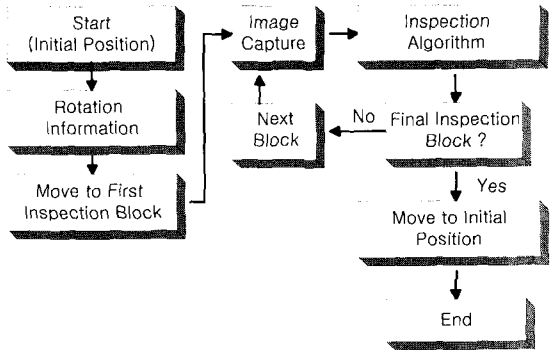


그림 12. 전체검사과정
Fig. 12. Inspection process.

2. Camera Calibration

시스템의 정도를 정확히 파악하는 것은 측정 시스템에서 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 초정밀 Calibration Plate를 사용하여 LPP(Length Per Pixel)을 정의한다. 초정밀 Calibration Plate는 <그림 13>과 같고, 4개의 원에 대해 측정을 수행하였다. Calibration Plate에 대한 이미지를 획득한 후, 이진화를 수행하고, 레이블링을 통해 각 원의 지름에 해당하는 픽셀수를 측정한 결과는 <표 2>와 같다. 이를 이용해 LPP를 계산하였고, 식 (5)에 의해 평균 LPP를 계산결과는 17.126 μm이다.

$$LPP = \frac{\sum_{n} \frac{Actual\ Diameter}{Nmber\ of\ Pixel}}{n} \quad (5)$$

여기서 n 은 측정된 홀의 개수이다.

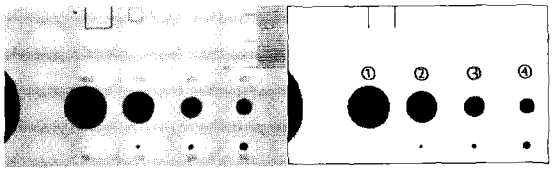


그림 13. 초정밀 Calibration Plate
Fig. 13. High precision calibration plate.

이를 이용하여 metal mask상의 임의의 홀을 선택하여 크기를 측정한 결과는 <표 3>과 같다. 본 논문에서는 픽셀의 크기 측정시 허용오차를 20μm으로 설정하였으므로 크기 측정시 발생한 오차는 수용할 수 있는 것으로 판단된다.

표 2. 초정밀 Calibration Plate를 이용한 LPP 정의
Table 2. LPP definition with calibration plate.

	1	2	3	4
Actual Diamete (μm)	1600	1200	800	600
Number of Pixel	94~95	70	46~47	35
Length per Pixel (LPP)(μm)	17.021 ~ 16.842	17.143	17.391 ~ 17.021	17.143

표 3. 홀의 크기측정
Table 3. Size measurement of hole.

	Hole Size (mm)	Pixel Number	Calculation by LPP(mm)	Error (mm)
Width	1.89992	112	1.91811	0.01819
Height	4.29996	252	4.31575	0.01597

3. 회전정보추출

카메라 이미지에 존재하는 홀들의 수평성분중 가장 긴 선의 양 끝점을 식 (2)에 대입하여 회전각도를 계산한다. 그 결과는 <표 4>와 같고, 발생된 오차는 적용분야에 있어 비교적 크며, 이에 대한 연구가 더 필요하다.

표 4. Metal Mask 회전각도 측정
Table 4. Rotation of metal mask.

Degree	Measured Value (Degree)	Error in Degree
0.0	0.000	0.000
0.5	0.790	0.210
1.0	1.185	0.185
1.5	1.580	0.080
2.0	1.974	0.036
5.0	5.123	0.123
10.0	9.849	0.151

4. 위치오차 보정

두 이미지사이의 차이는 belt type xy-table에 의해 발생한다. 본 논문에서는 각 이미지에 존재하는 홀의 무게중심을 이용한 HT를 사용하여 위치오차를 계산하고, 이를 이용하여 기준이미지를 수정함으로써 카메라 이미지와 일치시킨다. 위치오차를 보정하기 전과 후의 두 이미지의 일치도를 검사하기 위해 Correlation coefficient를 계산하였다. Correlation coefficient는 식

(6)에 의해 정의된다. 식 (6)에서 r은 Correlation coefficient, $f_1(x,y)$과 $f_2(x,y)$는 각각 카메라이미지와 기준이미지, $\overline{f_1}$과 $\overline{f_2}$는 각 이미지의 평균 강도이다.

$$r=\frac{\sum[f_1(x,y)-\overline{f_1}][f_2(x,y)-\overline{f_2}]}{\{\sum[f_1(x,y)-\overline{f_1}]^2 \quad \sum[f_2(x,y)-\overline{f_2}]^2\}^{1/2}} \quad (6)$$

Correlation coefficient가 크면, 두 이미지의 일치도가 높은 것을 의미하며, 작으면, 낮은 것을 의미한다. <그림 14>에서 파란선은 위치오차 보정전 , 붉은선은 위치오차 보정후 두 이미지에 대한 Correlation coefficient이다. 그림에서 보듯이 앞서 제시된 위치오차보정알고리즘에 의해 위치오차가 수정되었음을 알 수 있으며, 각각의 평균은 0.68과 0.95이다. <그림 14>에서 r 이 아주 작은 블록은 생성되지 않은 홀이 존재하는 블록에 해당한다.

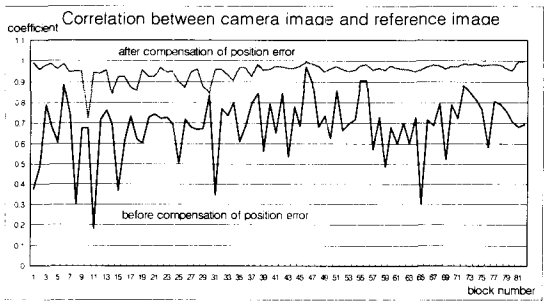


그림 14. Correlation coefficient
Fig. 14. Correlation coefficient.

5. 에러검출

3종류의 metal mask에 대해 동일한 실험을 하였고 그 결과는 <표 5>와 같다.

표 5. 검사결과
Table 5. Inspection result of metal mask.

샘플 번호	검사 홀 갯수	검출해야 할 에러 갯수	검출한 에러 갯수
1	5596	12	10
2	1154	22	22
3	734	10	11

샘플 1에서 두 개의 차이가 발생한 것은 카메라의 FOV 보다 큰 홀의 검사시 발생한 문제점이다. 샘플 3에서 한 개의 차이가 발생한 것은 홀에 먼지가 끼어 있어 불량 생성된 것으로 판단된 것으로 오인한 것은 아니다.

여기서 EDR(Error Detection Rate)을 식 (7)과 같이 정의하고, 평균 EDR을 구한 결과 0.057%로 만족할 만한 결과를 얻었다.

$$EDR = \frac{|\text{검출한 에러 갯수} - \text{검출해야 할 에러 갯수}|}{\text{검사 홀 갯수}} \quad (7)$$

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 Area Scan 카메라와 Belt를 이용한 xy-table을 이용하여 metal mask의 제조상태 즉 미생성 hole을 검출할 수 있는 시스템을 개발하고, 알고리즘을 소개하였다. metal mask의 제조상태를 비교·검사하기 위해 metal mask 제조시 사용되는 gerber file을 이용해 기준이미지를 생성하였다. metal mask에 대한 실제 이미지를 얻기위해 Area Scan 카메라를 이용하였고, metal mask 전체를 FOV(Field Of View)에 의해 정해진 크기의 검사영역으로 분할한다. 이때 xy-table에서 위치오차가 있는 경우 검사되지 않는 홀이 발생하는 경우가 있으므로 xy-table의 위치오차를 고려하여 검사영역의 일정크기를 중복시켰다. 시스템에 장착된 metal mask의 기울어짐을 보정하기 위해 특정 홀에 대한 카메라이미지를 획득하고 홀의 수평 외곽선에 대해 직선의 방정식을 이용해 기울어진 각도를 검출하여 metal mask를 회전시켰다. Belt type xy-table을 이용한 시스템 구성하여 카메라를 검사영역의 중심점으로 이동시 Backslash, 모터해상도 등에 의한 위치오차를 보정하기 위해 두 이미지에 존재하는 홀의 중심점을 이용해 HT에 의해 위치오차 정보를 추출하여 기준이미지의 중심점의 위치를 수정하여 새로운 기준이미지를 생성함으로써 두 이미지를 일치시켰다. 일치된 카메라이미지와 기준이미지에 대해 레이블링을 통해 존재하는 홀에 대한 중심점의 위치, 가로세로길이, 면적에 대한 정보를 획득하고, 이를 이용하여 홀의 생성유무를 판단하였다. 최종적으로 시스템을 구성하고 알고리즘을 적용하여 만족한 만한 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

[1] Guk Chan Cha, Il Su Park, and Jong Soo Choi, "A Study on The Real-Time Processing of The Position Matching and Inspection Algorithm in SMT", *Journal of The KITE*, Vol. 29-B, No. 1, pp. 76~84, 1992.

[2] Hong Kyu Chung and Rae Hong Park, "Detection of Orientation and Position of the SMD and PCB", *Journal of The KITE*, Vol. 31-B, No. 3, pp. 281~291, 1994.

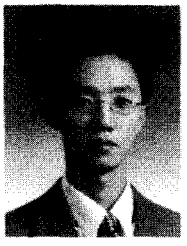
[3] Jun-Sik Kwon, Jong-Soo Choi, "Positioning and Inspection of SMD : Comparison of Morphological Method and Hough Transform Method", *Journal of The KITE*, Vol. 32-B, No. 1, pp. 73~84, 1995.

[4] Du-Ming Tsai, "An improved generalized Hough Transform for the recognition of overlapping objects", Image and Vision *Computing*, Vol. 15, pp. 877~888, 1997.

[5] Rafael C.Gonzales and Richard E.Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.

[6] Ramesh Jain and Rangachar Kasturi and Brian G.Schunck, *Machine Vision*, McGRAW-HILL, 1995.

저 자 소 개



崔 敬 鎭(正會員)

1969년 7월 7일생. 1996년 경희대 전자공학과 졸업(학사). 동대학원 석사(1998). 동대학원 박사과정(현재), <주관심분야 : 비선형이론, Machine Vision, Microprocessor 응용, 구륜이동로봇>

李 鎔 賢(正會員)

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

朴 鍾 國(正會員)

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