

# 회지형태학을 이용한 SMD의 검색 및 부화소단위 정렬

## (Inspection and Subpixel Alignment of SMD's Using Fuzzy Morphology)

丁鴻奎\*, 朴來弘\*\*

(Hong Kyu Chung and Rae-Hong Park)

### 要約

본 논문에서는 회지 형태학을 이용한 SMD의 검색 및 부화소단위 정렬 알고리즘을 제안하였다. 먼저 카메라 보정을 행하고 검색 알고리즘을 수행하여 회지 형태학에 의해 만들어진 ruler를 사용하여 리드의 휨, 구부러짐과 같은 결함을 판별한다. 그 후 불량인 SMD는 미리 정해진 위치에 놓여 있는지 판별된다. 제안한 부화소단위 정렬 알고리즘은 부화소 보간기법을 이용하여 고정밀도로 방향 및 위치를 추출한다. 이 알고리즘은 전처리 단계와 주처리 단계로 나뉘어지며, SMD의 모서리점과 대략적인 방향을 추출하며 보간을 통하여 부화소단위의 최종적인 파라미터가 얻어진다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 의하면 제안한 방법으로 고정밀도의 결과를 얻었으며, 이들은 빠르고 정밀한 자동 장착 시스템에 적용될 수 있다.

### Abstract

In this paper, inspection and subpixel alignment algorithms of SMD's (Surface Mounting Devices) using fuzzy morphology are proposed. First, camera calibration is performed and then the inspection algorithm detects defects such as lead bending and breaking using the ruler generated by fuzzy morphology. The SMD having no defects is tested whether it is mounted in the specified position or not. The proposed subpixel alignment algorithm detects accurately orientation and position using subpixel interpolation. It consists of two parts: preprocessing and main processing steps, in which corner points and coarse orientation of a SMD are detected, and interpolation is used to obtain final parameters with subpixel accuracy. The computer simulation shows that the proposed algorithms give more accurate parameters, and they can be applied to fast and accurate automatic surface mounting systems.

### 1. 서론

\*準會員, \*\*正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)

※ 본 연구는 제어계측 신기술연구센터의 연구비 지원에 의해 이루어졌음.

接受日字 : 1994年 1月 3日

SMT (Surface Mounting Technology)는 인쇄 회로 기판(PCB: Printed Circuit Board) 표면에 각종 전자부품을 장착하는 일련의 기술을 말한다. 표면 실장 기술은 부품의 리드 (lead)간의 거리를 줄일

수 있으며 실장 효율을 높일 수 있다. 표면 실장 기술에 사용되는 부품을 SMD (Surface Mounting Device)라 하며 전자 산업기술의 발달로 SMD의 고기능화, 소형 경량화 및 고집적화가 이루어지고 있다. 자동화 작업을 위해선 SMD의 결함 여부, 위치 및 방향을 자동적으로 판별하는 기능이 필요하며, 미리 정해진 정보와 다른편 제어 로봇트에 추출된 정보를 전달하여 SMD를 적절하게 처리하는 기능이 필수적이다.

시각 장치를 가진 SMD 장착 시스템에서는 영상처리 알고리즘을 적용하여 입력된 SMD에 관한 일련의 정보를 스스로 판별하고 인지하여 로봇트 시스템에 제어신호를 보내준다. 영상처리 알고리즘은 먼저 칩 자체의 불량 여부를 검색해야 한다. 즉, 리드끼리 붙어있는지, 리드가 구부러졌는지 혹은 잘렸는지를 검색해야 한다. 칩 자체의 검색이 끝나 불량이 아닌 SMD는 로봇트 시스템에 의해서 장착되는데, 이 때 로봇트 시스템의 미리 정한 좌표축의 원점에 SMD가 기울어지지 않게 정렬되어야 한다. 그렇지 못한 경우 이의 보정이 필요하다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 고정밀도의 알고리즘 개발에 중점을 두어 그레이 레벨(gray level) 영상을 취득하여 부화소 해상도의 SMD 불량 검색 및 정렬 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서는 먼저 렌즈의 왜곡에 대한 카메라 보정에 관하여 살펴본다. 즉 아주 정밀한 카메라로 작은 SMD의 영상을 취득하는 경우 카메라의 중심으로부터 멀어질수록 렌즈에 의한 왜곡은 심해진다. 이 때문에 원래 휘지 않은 SMD의 리드가 약간 휘어서 취득된다. 이러한 문제를 보정하기 위해서 본 논문에서는 SMD를 검색하기 전에 warping을 통한 카메라 보정을 하여 렌즈에 의한 왜곡의 영향을 줄였다.

그 후에 처리하는 과정은 SMD 검색 알고리즘으로 리드의 휨, 구부러짐, 잘려짐 등을 탐지한다. 기존의 검색 기법<sup>[2],[3]</sup>으로서 ruling 기법을 통해서 리드의 단면으로부터 리드의 유무를 구별하는 방법과 리드 부분의 기울기와 SMD 자체의 기울어진 각도와와의 차이에 의한 검색 방법이 있다. 또한 형태학적 연산을 통한 불량 유무 검색이 있다.<sup>[4]</sup> 기존의 방법에서는 검색 알고리즘을 위해서는 SMD의 기울어진 각도를 알아야 하기 때문에 불량이 심한 경우에는 먼저 각도를 추출하기 어려워 문제점이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 그레이 레벨 영상의 휘지 형태학 연산의 응용과 체인 코드로부터 기울어진 각도를 모르는 상태에서 불량을 판별하는 방법을 제안하였다. SMD 정렬 알고리즘은 정밀도의 향상을 위하여 그레이 레벨

영상을 취득하여 부화소로 해상도를 높였으며 전처리 과정과 주처리 과정으로 나누어 알고리즘을 개발하였다. 그림 1에 본 논문에서 제안한 알고리즘의 전체적인 흐름도를 보였다.

본 연구의 결과, SMD의 불량 검색을하는 알고리즘을 개발하여 리드의 구부러짐이나 휨 등을 탐색할 수 있었으며, 불량이 아닌 SMD에 회전이나, 위치 이동이 있을 때 이를 효율적으로 탐지함을 알 수 있었다. 개발된 알고리즘을 로봇트 시스템과 결합하여 일련의 SMD 검색 및 장착에 관한 시스템을 개발할 수 있을 것이다.

Ⅱ장에서는 본 연구에서 사용한 카메라 보정 방법에 대해서 논하고, Ⅲ장에서는 제안한 SMD 검색 기법에 관해 살펴보고, Ⅳ장에서는 부화소 단위의 SMD 정렬방법을 설명한다. Ⅴ장에서는 실험 결과를 보여주며, 마지막으로 Ⅵ장에서는 결론을 맺었다.

## Ⅱ. 영상 보정 기법

카메라 렌즈에 의한 왜곡은 카메라가 아주 작은 물체를 크게 취득하였을때 많이 나타나며, 카메라의 중심으로부터 멀어질수록 더 심해진다. 본 논문에서는 SMD의 검색 및 정렬을 하기전에 polynomial warping방법을 사용하여 영상을 보정하여 렌즈에 의한 왜곡을 줄였다.<sup>[5][6]</sup>

정상적인 영상 공간  $F(x, y)$ 에 어떤 외부의 왜곡이 존재할 때 카메라에 의해서 취득된 영상 공간을  $O(u, v)$ 라고 하면, 최종적인 보정 목표는  $O(u, v)$ 로부터 보정된 영상  $F_w(x, y)$ 를 얻는 것이다. 본 논문에서는 왜곡에 의한 매핑 함수를 식 (1)과 같이 2차의 다항식으로 설정하고 계수를 구하였다.

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 \\ v &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

일단 (1)식의 계수를 구하면 (1)식을 역으로 취하여 왜곡되지않은 영상을 구할 수 있다. 계수를 구하는 방법은 여러가지가 있으나 본 논문에서는  $F(x, y)$ 와  $O(u, v)$ 의 M개의 control point들을 미리 설정된 매핑함수에 넣고 이의 오차를 최소화하게 계수를 구하였다. 이를 벡터를 나타내면

$$u^T = [u_1, u_2, \dots, u_M] \quad (2a)$$

$$v^T = [v_1, v_2, \dots, v_M] \quad (2b)$$

과 같으며 구할 계수들을 벡터로 나타내면

$$a^T = [a_0, a_1, \dots, a_5] \quad (3a)$$

$$b^T = [b_0, b_1, \dots, b_5] \quad (3b)$$

### Ⅲ. SMD 검색 기법

과 같다. 이 때 mean square estimation error는 다음과 같이 정의된다.

$$E = (u - Aa)^T (u - Aa) + (v - Ab)^T (v - Ab) \quad (4)$$

여기서 A는

$$A = \begin{bmatrix} 1x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 \\ 1x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1x_M & y_M & x_M^2 & x_My_M & y_M^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이다.

이렇게 정의될 때 계수는 식(6)에 의해서 구한다.

$$a = (A^T A)^{-1} A^T u \quad (6a)$$

$$b = (A^T A)^{-1} A^T v \quad (6b)$$

Control point는 실험적인 방법에 의해서 구했으며 영상의 중심을 기준으로 4개의 사분면으로 나누고, 한쪽 사분면에 대해서만 계수를 구하여 대칭성을 이용하여 모든 영역에 대해서 적용하였다.

다음 과정은 식 (6)에서 구한 계수로 식 (1)에 대입한 후 그 역함수로부터  $F_w(x, y)$  를 구하는 과정이다. 식 (1)에서 구한  $x, y$ 는 실수이기 때문에 보간이 필요하다. 본 논문에서는 주변의 네개의 화소값들로부터 선형적으로 구하였다.

표 1. 실험 영상 세트

Table 1. Test image sets.

각도차 위치차	-5	-3	-1	기준	1	3	5	
( 2, 2)					(2)			A
( 2, 0)			(3)					B
( 2,-2)								C
( 0, 2)								D
기준				(1)	(4)			E
( 0,-2)		(5)						F
(-2, 2)								G
(-2, 0)								H
(-2,-2)						(6)		I
	a	b	c	d	e	f	g	영상 세트

기존의 방법에서는 검색 알고리즘을 위해서는 먼저 SMD의 기울어진 각도를 알아야 하는 단점을 보완하여 본 논문에서는 그레이 레벨 영상의 휘지 형태학 연산을 응용하여 체인 코드로부터 기울어진 각도를 모르는 상태에서도 불량을 판별하는 방법을 제안하였다. 제안한 불량 검색 알고리즘은 3단계의 검사를 수행한다. 첫번째는 리드 사이의 간격 검사를 하며, 두번째는 리드의 구부러짐 검사, 세번째는 리드의 길이 검사를 한다.

먼저 검색 알고리즘은 SMD의 기울어진 각도와 중심의 위치를 모르는 상태에서 리드의 위치를 찾아야 한다. 본 논문에서는 수학적 형태학의 한 종류인 휘지 형태학의 응용으로부터 리드의 위치를 추출했다. 불량인 경우 대부분 SMD의 몸통을 중심으로부터 안쪽 방향은 리드가 불량일 없으며 바깥쪽으로 갈수록 리드가 불량이기 때문에 휘지 closing을 적용한 후 안쪽 몸통 영역을 추출했다.

#### 1. 수학적 형태학을 통한 ruler 구성

본 논문에서 이용된 SMD영상은 그레이 레벨 영상인데 수학적 형태학을 이용하여 이진 영상으로 바꾼다. 그림 1의 알고리즘의 전체적인 흐름도를 보면 수학적 형태학의 일종인 휘지 형태학이 이용되는데, 휘지 형태학으로 이진화된 영상은 불량 검색 및 다음 단계인 SMD의 정렬 알고리즘에도 사용된다.

초기의 형태학은 이진형태학으로부터 시작되었으며, 이 방법은 연산처리 속도가 빠르나, 물체를 흑, 백으로 완벽하게 구별할 수 없는 단점이있어 이러한 단점을 극복하고자 그레이 레벨 형태학에 대하여 연구가 진행되었다. 물론 각 응용 분야에 따라 두가지 방법 모두 장, 단점이 있다. 최근에는 형태학을 휘지 이론과 접합하여 휘지 형태학이 제안되었다.<sup>[7]</sup> 휘지 형태학이란 휘지 집합의 멤버십(memberhip) 함수값에 의해서 영상 및 구성소를 휘지 집합으로 구성한 후 마찬가지로 휘지 집합 연산을 수행하는 방식이다. 이를 사용하면 이진화시 임계값을 줄 필요가 없으며 기존의 크리스프(crisp) 집합에서 발생할 수 있는 애매한 부분을 정량화했기 때문에 좀더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

이진 형태학의 기본 연산에는 dilation과 erosion이 있으며 이들의 물리적인 의미는 영상에서 각각 확장(expanding)과 축소(shrinking) 역할을하는 연산이다. 또한 이들의 조합으로 opening과 closing 연산이 있는데 이들은 원래의 영상을 평활화시키는

역할을 한다.<sup>[8]</sup>

다양한 물체의 표현을 위해서는 0이나 1로 구별되는 이진 시스템보다는 0과 1사이 값을 갖는 실수 표현이 필요하다. 이러한 표현을 위해서 회지 이론을 도입할 수 있다. 마찬가지로 디지털 영상의 경우, 만약 8비트(bit)로 양자화되었다면 0에서 255사이의 그레이 레벨을 정규화하여 0과 1사이의 멤버십 함수로 생각할 수 있다. 즉 영상은 유클리디안(Euclidean) 평면의 회지 부분집합으로 모델링되며 형태학적 연산은 회지 인덱스(index) 함수로 정의된다.

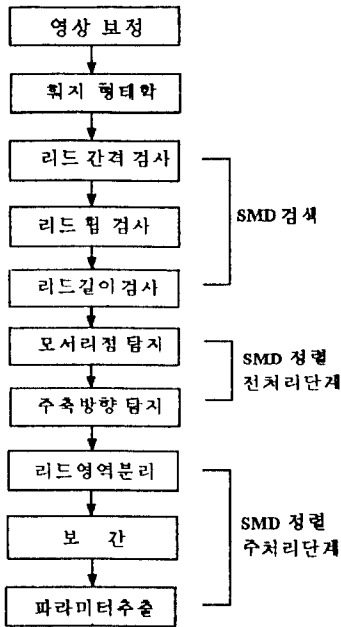


그림 1. 제안된 SMD의 검색 및 부화소 정렬 알고리즘의 흐름도

Fig. 1. Flowchart of the proposed inspection and subpixel alignment algorithms of SMD's.

회지 형태학은 이진 형태학으로부터 도출되었다. 집합간의 포함 관계를 나타내는 척도인  $M(X, Y)$ 는 X가 Y의 부분집합일 확률을 나타낸다. 여기서 X, Y는 회지 집합이며 M의 멤버십 함수로

$$\mu_{E(A,B)}(x) = M[T(B;x), A] \quad (7)$$

를 갖는 회지 erosion E를 정의할 수 있는데 여기서 T는 이동을 말하며,  $\mu$ 는 0에서 1사이의 실수값을 갖는 멤버십 함수이다. 여기서 A는 영상 집합을 나타내

며, B는 대칭인 구성소 집합을 나타낼 때 식 (7)을 바탕으로 기본적인 연산인 dilation D, opening O, closing C 연산을 정의하면

$$D(A, B) = E(A^c, B)^c \quad (8)$$

$$O(A, B) = D(A^c, B) \quad (9)$$

$$C(A, B) = E(D(A, B), B) \quad (10)$$

와 같다. 여기서  $A^c$ 는 회지 집합 A의 여집합으로  $A^c$ 의 멤버십함수는 1에서 A의 멤버 집합수를 뺀 것이다.

회지 집합 A, B에서 erosion 관계를 공식화하면

$$M(A, B) = \min_{x \in w} \min[\lambda_n(\mu_A(x)) + \lambda_n(1 - \mu_B(x))] \quad (11)$$

과 같다. 여기서 w은 연산을할 윈도우를 말하며,  $\lambda_n(x)$ 은  $1-x^n$ 이며 파라미터 n에 의해서 식이 달라진다. 그림 2는 (11)식을 3차원으로 표현한 것이다. 즉 영상 A의 멤버십 함수와 구성소 B의 멤버십 함수 사이의  $A \subset B$ 의 회지관계를 표현하는 것으로 B의 멤버십 함수가 A보다 크면 항상 1인 값을 가지며, 그렇지 않은 경우는 감소하는 추세를 가진다.  $\lambda_n(x)$ 에서 n은 1로 가정하였다. 그림 3은 위와 같은 회지 erosion을 영상에 적용한 경우를 그림으로 나타내었다.

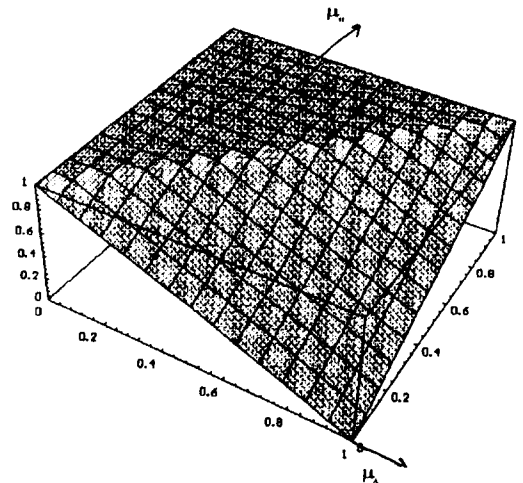
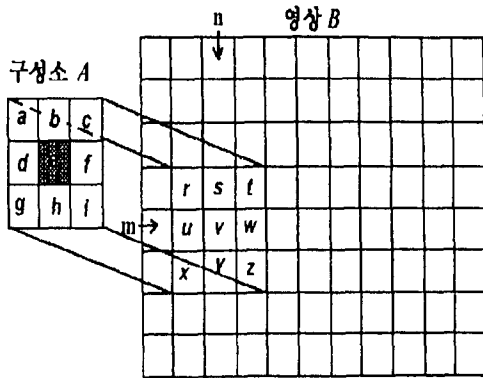


그림 2. 회지 erosion의 집합 관계

Fig. 2. Set relation of fuzzy erosion.

위와 같은 수학적 형태학의 closing연산을 SMD영상에 적용하면 리드가 정상적인 경우에는 SMD의 리



$$\mu_{E(A,B)}(m,u) = \min\{ \{a,r\}, \{b,s\}, \{c,t\}, \{d,u\}, \{e,v\}, \{f,w\}, \{g,x\}, \{h,y\}, \{i,z\} \}$$

$$\text{단 } \{a,r\} = \min[1, \lambda_a(a) + \lambda_r(1-r)]$$

그림 3. 휘지 erosion  
Fig. 3. Fuzzy erosion.

드들이 모두 메워진다. 한편 리드가 잘리거나 많이 휘 경우에는 closing 연산을 통해서도 리드사이가 메워지지 않는다. 이러한 성질을 이용하여 불량 검색에 이용되기도 한다. 본 논문에서는 그레이 레벨 영상을 취득하였기 때문에 그레이 레벨을 기반으로 한 휘지 형태학의 closing 연산을 적용하여 리드 사이를 메웠다. 그 후 closing된 영상을 x, y축에 투영하여 대략적인 중심의 위치를 찾는다. 그 후 대략적인 중심의 위치로부터 상, 하, 좌, 우의 4방향으로 각각 SMD의 리드와 만날때까지 화소를 탐색한다. SMD는 기계적으로 고정되어 있기 때문에 과도하게 기울어져 있지 않다고 가정하였다. 본 논문에서 실험한 영상은 ±5도내에서 기울어져 있으므로 4방향으로 탐색하면 4방향 리드의 안쪽면을 만나게 된다. 그 후 안쪽면을 따라가면서 양 끝의 모서리점을 추출하고, 그 점들로부터 직사각형을 만든다.

2. Ruling을 통한 리드 간격 검사

위의 방법에 의하여 ruler가 구성되면 리드 사이의 간격을 검사하기 위하여 ruling을 행한다. 본 논문에서는 SMD의 리드가 바깥쪽으로 나가면서 휘거나 없어지는 것을 검사하기 위하여 앞에서 구한 직사각형의 ruler를 형태학적 연산인 dilation을 하여 점점 바깥쪽으로 확대하면서 ruler를 움직였다. 한 ruler에 대해서 리드 단면의 그레이 레벨로부터 각 리드의 중심을 추출한 다음 그 간격을 임의로 설정된 임계값  $t_1$ 보다 크거나, 또 다른 임계값  $t_2$ 보다 작을 때 불량

으로 판단하였다. 이러한 dilation 연산을 여러번 수행하여 각각 리드의 간격을 검사하였다. 본 논문에서는 구성소의 크기는 한화소씩 검사하기 위해서 3×3을 취했으나, 만일 이보다 더 크게 설정하면 리드의 간격을 띄어서 검색을 한다. 또한 리드의 끝까지 검사하기 위해 실험적으로 dilation을 여러번 수행하여 ruler를 움직였다. 본 논문에서 실험적으로 구한 dilation의 횟수는 9번이었다.

3. 리드의 기울어짐 검사

리드가 부분적으로 휘거나 조금 기울어진 경우는 위의 리드 간격 검사에서 불량으로 판별이 되지 않는 경우가 있다. 본 논문에서는 리드 간격 검사에서의 9번의 dilation을 할 때 각각 리드의 중심의 위치를 구하여 그들간의 최소 자승법에 의한 기울기와 그때의 오차를 계산한다. 그 후 오차가 임계치  $\epsilon_1$ 보다 큰 경우, 그리고 구한 각도가 ruler인 직사각형의 한 변의 기울어진 각도에 90을 더한 값과의 차이의 절대값이 임계치보다 큰 경우에는 불량으로 판단하였다.

4. 리드의 길이 검사

리드가 늘려서 길어진 경우 위와 같은 방법으로는 불량을 구별할 수 없다. 이러한 경우를 고려하여 체인 코드를 구하여, 이로부터 불량여부를 판단하였다. 체인 코드는 물체의 윤곽을 표현하는 방법으로 8방향 화소에 대하여 구하여 그 길이가 임계치보다 큰 경우에 대해서 불량으로 판단하였다.

IV. 부화소 단위의 SMD 정렬 기법

III장에서 불량이 없는 SMD는 장착되기 전에 기울어진 각과 중심의 위치가 미리 설정해 놓은 값과 다를 경우 이의 보정이 필요하다. 이런 방법을 정렬 기법이라고 하며 최근의 반도체 제조기술의 발달로 SMD의 리드 간격이 좁아지고 있기 때문에 정렬 알고리즘도 고정밀도를 요한다. 본 논문에서는 이에 따라 그레이 레벨 영상을 취득하여 보간한 후 부화소 단위의 SMD 정렬 알고리즘<sup>[6]</sup>을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 두단계의 과정을 거치는데 전처리 과정은 검색 단계에서 사용한 휘지 형태학과 직선 근사화 방법을 적용하여 대략적인 방향정보를 얻고, 주처리 단계에서 보간 기법과 모멘트 (moment) 방법을 통하여 SMD의 방향 및 중심을 추출한다.

1. 전처리 단계

본 절은 전처리단계에 관한 설명으로, 수학적 형태

학, 모서리점 찾기, 위치 추출 과정을 통하여 SMD의 기울어진 대략적인 각도를 추출한다. 본 논문에서 사용한 SMD의 종류는 최근에 많이 쓰이는 4면에 모두 리드가 있는 QFP (Quad Flat Package)형 SMD이다.

표 2. 전처리 단계의 결과

Table 2. Results of preprocessing (unit: degree).

실험 영상	기울어진 각도
1	-0.2214
2	0.7052
3	-1.2312
4	2.4435
5	-2.7036
6	4.3794

1) 모서리점 찾기

회지 형태학의 closing연산을 거친 SMD영상에서 일종의 특징점을 추출하기 위해서 SMD 리드의 꺾인 부분인 모서리점을 찾는 과정을 수행한다. 먼저 외곽선의 화소들을 따라가며 체인 코딩한다. 그 후에는 체인 코드로부터 모서리점을 찾는다. 그 방법은 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 체인코드 사이의 벡터 각도의 변화를 탐지하여 SMD의 모서리를 추출하였다.<sup>[11], [12], [13]</sup>

2) 방향 결정

이 단계는 모서리점으로부터 전처리 단계의 대략적인 기울어진 방향각을 결정하는 단계이다. 앞 단계의 결과로 SMD의 4면에 대해 각각 4개의 모서리점의 좌표가 추출되었다. 여기서 주축의 방향은 길이가 긴 쪽에 해당되므로 모서리점 좌표 사이의 거리를 계산하여 긴쪽 두개를 택하여 그들의 위치로부터 4개의 최종적인 기울어진 각도를 구하여 이를 평균하여 사용한다. 그림 4(a)에 추출된 모서리점을 보였으며 그림 4(b)에 추출된 모서리점중 긴 변에 해당하는 곳을 A, B, C, D, E, F, G, H로 표기하여 나타내었다. 식 (12), (13)은 전처리 단계의 최종 결과인 기울어진 각도를 내는 과정을 식으로 표기한 것이다.

$$\theta_i(A, B) = \tan^{-1} \frac{|y_1 - y_2|}{|x_1 - x_2|}, \text{ 단 } A: (x_1, y_1), B: (x_2, y_2) \quad (12)$$

$$\theta = \frac{\theta_i(A, B) + \theta_j(C, D) + \theta_k(E, F) + \theta_l(G, H)}{4} \quad (13)$$

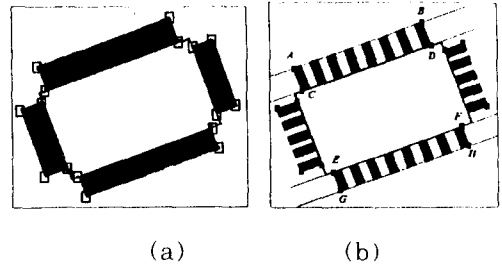


그림 4. SMD 정렬 알고리즘

(a) 모서리점 추출 (b) 방향각 결정

Fig. 4. SMD alignment algorithm

(a) Detection of corner points. (b) Detection of orientation.

2. 주처리 단계

본 논문에서는 정밀도를 높이기 위해서 부화소로 해상도를 증가시켜서 중심의 위치와 기울어진 방향을 추출하였다. 본 절에서는 SMD의 리드 분리, 보간, 파라미터 추출기법을 살펴본다.

1) 리드 분리

본 논문에서는 전처리 단계에서 구한 정보를 이용하여 리드를 분리한다. 영상전체를 보간하면 계산시간이 증가하기 때문에 리드를 분리한 후 분리된 각 영역에 대해서만 보간한다. 즉 각 리드에 대해서 둘러싸는 최소의 사각형을 구하고 그 사각형 내부에 대해서만 개별적으로 보간한다. 최소의 사각형을 구하는 방법은 전처리 단계에서 구한 기울어진 각도와 모서리점을 사용하는데 이 방법은 각 4면에 대해서 모서리점으로 둘러싸는 사각형에서 투영을 이용하여 리드 별로 분리한다. 여기서 분리된 리드는 기울어진 영상일 경우 최소 사각형 내부에는 배경도 일부 포함된다.

2) 보간

본 논문에서는 각 리드 영역별로 분리된 영상에 대해서 다항식 보간 기법을 사용 하였다. 그 이유는 보간되는 영상의 화소의 크기가 보통 가로가 5~6 화소이며, 세로가 10~12화소 정도로 매우 작고 리드 분리 과정을 거쳤기 때문에 에지와 같은 고주파 성분이 많이 포함되어 있지 않기 때문이다. 다항식 보간 기법은 어떤 보간될 영상자체를 다항식으로 표시하고 그 계수를 결정하는 방법이다. 본 논문에서는 영상의 값  $f(x, y)$ 을 식 (14)와 같이 3차 다항식으로 표시하고 10개의 계수  $c_{ij}, 0 \leq i+j \leq 3$ , 를 결정하였다.<sup>[13]</sup>

$$f(x, y) = c_{00} + c_{10}x + c_{01}y + c_{11}xy + c_{20}x^2 + c_{02}y^2 + c_{212}x^2y + c_{12}xy^2 + c_{30}x^3 + c_{03}y^3 \quad (14)$$

계수를 구하는 과정은 알고있는 영상의 값과 그 좌표를 대입하여 행렬식을 만든 후 역함수를 구하여 푸는데 이 방법은 영상자체가 작을 때 오차가 적다. 일단 계수가 구해지면 부화소의 값을 쉽게 얻을 수 있다. 즉 k배의 해상도를 얻고자 할 때는 1/k의 간격으로 재표본화하여 보간한 값을 사용하는데 본 논문에서는 k를 8로 설정하고 실험하였다. 그림 5는 SMD의 리드중 한개로, 분리된 영역을 보간하여 계산된 계수로 부터 연속적인 값을 그려 3차원적으로 보인 것이다.

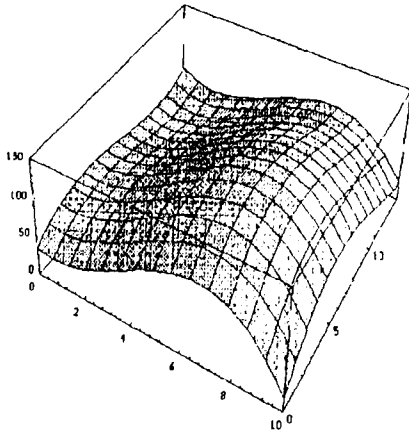


그림 5. 리드의 추출 및 보간  
Fig. 5. Separation and interpolation of a lead.

표 3. 주처리 단계의 최종 결과 (단위: 좌표, 도)  
Table 3. Final results of mainprocessing (unit: coordinates, degree).

실험 영상	중심의 위치	기울어진 각도
1	(285.00, 215.99)	-0.2083
2	(311.08, 240.75)	0.6315
3	(310.01, 214.23)	-1.1093
4	(284.97, 215.55)	2.6117
5	(285.76, 194.77)	-2.9751
6	(259.47, 194.53)	4.4703

3) 최종 파라미터 결정

보간단계에서 찾은 10개의 계수값으로부터 각 리드 영역에서 모멘트 방법<sup>14)</sup>을 이용하여 리드의 중심을 추출한다. 중심을 구하는 방법은 일반적으로 이진화 영상일 경우 모멘트에 의한 방법을 많이 사용하는데 본 논문에서는 그레이 레벨을 고려한 모멘트 방법을

사용하였다. 중심 위치  $(x_0, y_0)$ 는

$$x_0 = \frac{\sum_x \sum_y x f(x,y)}{\sum_x \sum_y f(x,y)}, \quad y_0 = \frac{\sum_x \sum_y y f(x,y)}{\sum_x \sum_y f(x,y)} \quad (15)$$

에 의해 구한다. 여기서  $f(x,y)$ 는 보간된 영상의 그레이 레벨을 나타낸다.

이러한 방법으로 모든 리드에 대해서 중심을 구한 후 이 중심을 직선 근사화함으로써 최종적인 SMD의 기울어진 각도를 구한다.

최종적인 중심의 위치는 장축에서 근사화된 직선 2개로부터 기울기가 같으며 거리가 반이 되는 직선을 찾으며, 단축에 대해서도 마찬가지로 새로운 직선을 찾은 후, 그 교차점으로 중심의 위치를 결정했다.

표 4. 추출된각도 (단위: 도, 기준세트: d)  
Table 4. Detected orientation (unit: degree, reference set: d).

영상 세트	평균	표준편차
a	4.7574	0.0221
b	2.8284	0.0173
c	0.9030	0.0264
d	0.0000	0.0300
e	-0.9072	0.0173
f	-2.8150	0.0244
g	-4.7471	0.0233

V. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 수행한 실험은 40MIPS의 워크스테이션에서 C언어로 구현하였으며 실험에 사용한 SMD 영상은 전방 조명으로 SMD의 바닥면을 위로 하여 취득했으며 취득된 실험 영상의 크기는 640×480이다. 취득된 SMD는 QFP형으로 리드의 개수는 80개이며, 실제 부품의 크기는 가로, 세로 각각 24mm, 18mm이다. 영상 입력 후 보정, 검색, 정렬 과정을 수행하는데 걸리는 시간은 12초였다.

먼저 영상 보정에 관한 실험으로 카메라의 렌즈에 의한 왜곡을 최소화 하기 위한 nonlinear warping을 수행하였다. 계수를 구하기 위한 control point는 36개를 구하여 사용했으며 그림 6(a)와 6(b)는 각각 원영상과 warping한 영상을 나타내고 있으며, 그림

6(c)와 6(d)는 각각 직교하는 grid를 가진 영상과 이를 warping한 결과를 나타내고 있다. 이러한 방법으로 렌즈에 의한 왜곡을 줄여 다음 단에서 수행할 검색 및 정렬 기법에서 발생할 수 있는 오차를 줄였다.

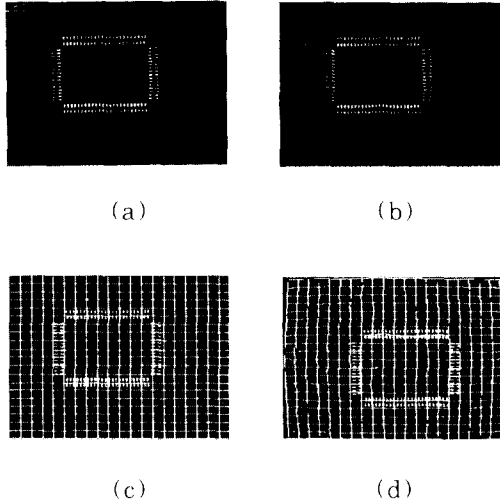


그림 6. 영상 보정 (a) 원 영상, (b) warp된 (a) 영상, (c) (a)에 grid를 추가한 영상, (d) warp된 (c)영상

Fig. 6. Image calibration. (a) Input image, (b) Warped image of (a), (c) Input image with grid, (d) Warped image. of (c).

다음은 검색 알고리즘을 수행한다. 검색 알고리즘을 위한 SMD 영상은 리드가 휘거나 또는 리드 자체가 잘린 경우나 리드가 눌러 길어진 경우를 고려하여 실험 영상을 취득하였으며 그림 7에 실험 영상 예를 보였다.

그림 8에는 리드 사이의 간격을 검사하는 실험에서 SMD의 리드의 한 단면도이다. 그림 8(a)는 불량 없는 경우이며 그림 8(b)는 불량인 경우이며 화살표로 불량인 곳을 표시했다. 그림 9에는 본 논문에서 제안한 검색 기법으로 불량을 검사하여 불량인 곳을 판정한 결과이다. 여기에 ▲ 표시된 부분이 리드사이의 간격 검사 단계에서 불량으로 추출된 리드를 가리키며 ■ 표시된 리드가 구부러져 있는 영역이며 ≡ 표시된 부분은 체인 코드의 길이, 즉 리드의 길이가 길어서 발생한 불량부분이다. 실험 결과에 의하면 제안한 알고리즘으로 불량인 곳을 정확히 찾아냈음을 알 수 있다.

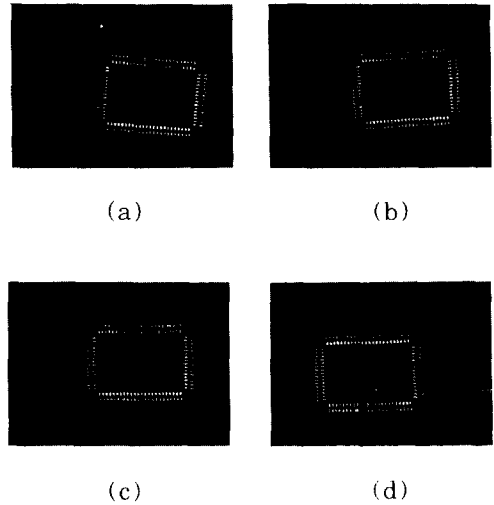


그림 7. 검색 실험 영상 (a) 실험 영상 1 (b)실험 영상 2 (c)실험 영상 3 (d) 실험 영상 4  
Fig. 7. Test images for inspection (a) Test image 1, (b)Test image 2, (c)Test image 3, (d) Test image 4.

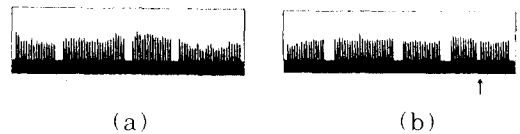
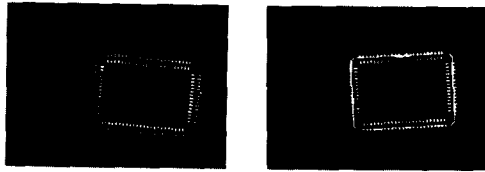


그림 8. SMD lead의 단면도 (a) 불량인 없는SMD, (b) 불량인 있는 SMD  
Fig. 8. Profiles of an SMD lead (a) SMD with no defects, (b) SMD with defects.

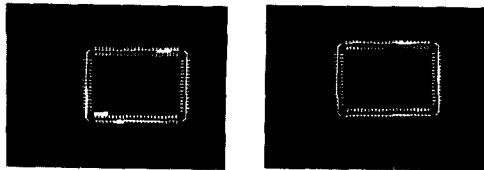
정렬 알고리즘의 실험을 위해서 0.01mm의 정밀도를 갖는 Mitsutoyo사의 x-y table에 의하여 기준영상의 표로부터 임의의 각도로 회전하고, 위치 이동하여 취득한 실험 영상을 사용하였다. 즉 각도에 대해서는 기준영상에 대해 ±5도, ±3도, ±1도도 돌렸으며, 위치는 기준영상에 대해 편차 (2, 2), (2, 0), (2, -2), (0, 2), (0,-2), (-2, 2), (-2, 0), (-2,-2) (단위 : mm)를 주어 취득한 7×9 = 63개의 영상을 표 1에 실험 세트와 함께 보였다. 그림 10은 본 논문에서 실험한 63개의 영상중 6개를 예로 보여 준다. 영상 (b), (c), (d), (e), (f)는 실험 영상 (a)를 기준으로 각각 1도, -1도, 3도, -3



도. 5도를 돌렸으며, 위치를 각각 (2, 2), (2, 0), (0, 0), (0, -2), (-2,-2) (단위: mm)만큼 이동시킨 후 취득한 영상이다.



(a) (b)



(c) (d)

그림 9. 검색 결과

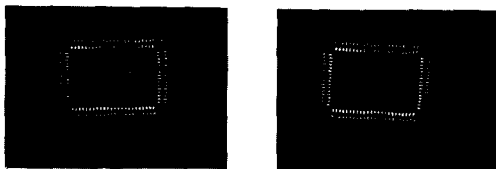
- (a) 실험 영상 1 (b) 실험 영상 2
- (c) 실험 영상 3 (d) 실험 영상 4

Fig. 9. Inspection results.

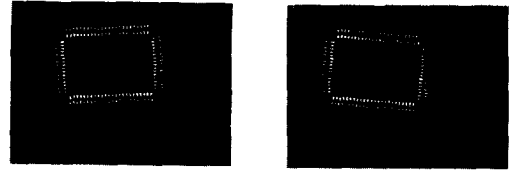
- (a) Test image 1. (b) Test image 2.
- (c) Test image 3. (d) Test image 4.



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

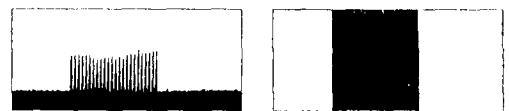
그림 10. 정렬 실험 영상

- (a) 실험 영상 1 (b) 실험 영상 2
- (c) 실험 영상 3 (d) 실험 영상 4
- (e) 실험 영상 5 (f) 실험 영상 6

Fig. 10. Test images for alignment

- (a) Test image 1. (b) Test image 2.
- (c) Test image 3. (d) Test image 4
- (e) Test image 5 (f) Test image 6.

휘지 형태학의 closing을 적용하였는데 dilation할 때의 구성소는 5×5의 멤버십 함수는 0.7로 수행하였으며 erosion할 때는 3×3의 1.0의 멤버십 함수를 사용하였다. 이 파라미터는 실험적으로 가장 이진화가 잘 될 수 있도록 선택한 것이며 여기서 사용된 멤버십 함수보다 작은 값을 사용할수록 배경 부분이 0이 아닌 값을 가진다. 그림 11은 휘지 형태학의 결과를 보여준다. 그림 11(a)는 실험 영상 1인 그림 10(a)의 108번째 행의 단면도이다. 즉 108번째 행은 SMD의 리드부분에 해당되는데 리드부분의 그레이 레벨 값이 높고, 그 주변에는 그레이 레벨 값이 낮은 것을 볼 수 있다. 이를 휘지 closing한 결과를 그림 11(b)에 보였는데 리드가 있는 부분의 그레이 레벨 값이 255에 가까워졌고 그 주변 값들은 그레이 레벨 값이 0이 되었다. 이렇게 휘지 형태학을 사용하면 임계값을 주지 않고도 효과적으로 SMD의 리드 사이를 메울 수 있다.



(a) (b)

그림 11. 휘지 형태학의 결과

- (a) 실험 영상 1의 단면도
- (b) 휘지 closing 결과

Fig. 11. Results of fuzzy morphology

- (a) Profile of the test image 1.
- (b) Result of fuzzy closing.

그림 12는 회지형태학의 closing연산후 그 영상을 체인코딩하여 모서리점을 찾은 결과를 보여주는데 × 표시가 있는 곳이 SMD 리드에서의 모서리점이다.

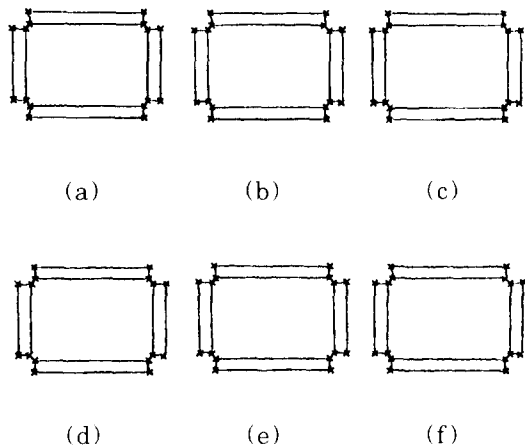


그림 12. 체인 코딩 및 추출된 모서리점

- (a) 실험 영상 1 (b) 실험 영상 2
- (c) 실험 영상 3 (d) 실험 영상 4
- (e) 실험 영상 5 (f) 실험 영상 6

Fig. 12. Chain coding and detected corner points  
(a) Test image 1, (b) Test image 2,  
(c) Test image 3, (d) Test image 4,  
(e) Test image 5, (f) Test image 6.



그림 13. 리드 분리 (a) 원 영상 (b) 리드 중심  
Fig. 13. Lead separation (a) Input image,  
(b) Center of a lead.

이렇게 모서리점을 찾은 후 이들로부터 SMD의 중심의 위치와 기울어진 각도를 추출하는데, 표 2는 추출된 각도를 보이고 있으며 각도의 기준은 수평방향이다. 표 3에는 주처리단계에서 구한 부화소 해상도의 결과를 보여준다. 부화소 해상도로 실험한 영상은 8배 보간하여 추출된 결과이다. 실험 결과를 보면 전처리 단계의 값에 비해 주처리 단계에서 구한 값이 부화소단위로 구했기 때문에 정밀한 결과를 나타낸다. 그림 13은 리드 분리 및 중심추출의 실험을 보여주는 것으로 그림 13(a)는 추출되기전의 원 영상이며 그림 13(b)는 리드를 분리하고 모멘트 방법을 통하여 추출된 각 리드에

사각형을 씌워 표시하고 있으며 각 리드에 중심에 흰점은 계산된 중심의 위치를 나타낸다. 리드들의 중심부분에 추출된 중심의 위치가 있는 것을 알 수 있다.

표 5. 추출된 위치 이동 파라미터 (단위: mm 기준 세트: E)

Table 5. Detected translation parameters (unit: mm, reference set: E).

영상 세트	평균		표준편차	
	x	y	x	y
A	2.11	2.07	0.0583	0.0583
B	2.04	0.10	0.0644	0.0655
C	2.09	-2.17	0.0616	0.0600
D	0.20	2.02	0.0670	0.0640
E	0.00	0.00	0.0583	0.0057
F	-0.17	-2.12	0.0300	0.0624
G	-2.03	2.04	0.0684	0.0670
H	-2.08	0.04	0.0641	0.0058
I	-2.03	-2.24	0.0642	0.0641

본 논문에서는 부화소 해상도의 결과를 구하기 위하여 63개의 실험 영상 모두에 대해서 실험하였다. 표 4와 5에는 영상 세트별 각도와 위치의 평균 및 표준 편차를 나타내었는데 평균값은 기준 영상에 대한 상대적인 값이다. 실험 영상이 기계적인 장치에 의하여 취득하였기 때문에 표 4의 기준 영상과 상대적인 각도차이는 실험 세트 a, b, c, e, f, g별로 각각 5, 3, 1, -1, -3, -5도를 나타내야 하지만 실험 결과는 그렇지 못하였다. 이 원인은 기계적 장치에 의한 오차나 취득된 영상의 화소값이 조명 등에 의하여 달라지기 때문이다.

표 6. 부화소단위의 정렬 알고리즘에 의하여 추출된 방향 (단위: 도)

Table 6. Detected orientation by the sub-pixel alignment algorithm (unit: degree).

방법	부화소 단위		화소 단위	
	추출된 각도	상대적 차이	추출된 각도	상대적 차이
5	4.7805	4.9888	4.7803	4.9886
3	2.7864	2.9947	2.8364	3.0447
1	0.8011	1.0094	0.8114	1.0197
기준 영상	-0.2083	0.0000	-0.2083	0.0000
-1	-1.2442	1.0359	-1.3552	1.1469
-3	-3.2260	3.0177	-3.2402	3.0319
-5	-5.2236	5.0153	-5.2344	5.0261

다음은 본 논문에서 개발한 알고리즘의 효율성과 정확성을 검증하기 위해서 소프트웨어적으로 기준 영상인 실험 영상 11(a)를 5, 3, 1, -1, -3, -5도 회전시켜서 개발한 알고리즘을 적용하여 보았다. 표 6에 나타난 것처럼 정확히 회전된 각도를 찾아내는 것을 알 수 있었으며, 보간하지 않고 화소단위의 결과와 보간하여 부화소 단위의 결과를 비교할 때 보간한 결과가 좀 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 SMD의 장착과정에 있어서 요구되는 그레이 레벨 SMD 영상의 비전 알고리즘을 개발하였다. 먼저 카메라 렌즈의 왜곡에 의한 영상보정을 하고 SMD의 리드가 불량인지를 판단한다. 본 논문에서는 수학적 형태학 연산의 응용을 통하여 리드사이의 간격, 구부러짐, 길이 등을 추출하여 미리 설정된 값의 범위안에 들어오지 않으면 불량으로 판단하는 알고리즘을 제안하였다. 그 후 불량이 아니라고 판단된 SMD 영상으로부터 부화소 단위로 회전각 및 중심의 위치를 찾는다.

본 논문에서 제안한 부화소 단위 정렬 알고리즘은 휘치 형태학과 체인코드로부터 SMD의 대략적인 위치와 각도를 추출하고, 각각 리드영역을 추출하여 보간한 후, 부화소 해상도로 모멘트 방법에 의하여 정밀한 중심위치를 추출하였다. 이러한 위치값을 직선 근사화에 의해서 최종 보정 파라미터를 구했다. 전산모의 실험결과 부화소 단위의 결과가 화소 단위의 결과에 비해 고정밀의 결과를 얻을 수 있었다. 추후 과정은 3차원적인 리드 검색 및 부화소 알고리즘의 계산량 감축을 위한 연구이다.

## 감사의 말씀

본 논문의 실험을 위해서 실험영상을 제공해주신 금성 산전 연구소 조 태훈 박사님과 진 기수 박사님께 감사드립니다.

## 參考文獻

[1] L. F. Pau, *Computer Vision for Electronics Manufacturing*, Plenum Press, pp. 176-183, 1988.  
 [2] 전 병환, 윤 일동, 김 용환, 황 신환, 이 상욱, 최 중수, "SMT 자동화를 위한 시각 시스템의 실시간 구현," 전자공학회논문지, 제 27권,

제 6호, pp. 129-138, 1990년 6월  
 [3] 차 국찬, 박 일수, 최 중수, "SMT에서 정합 및 부품검사 알고리즘에 관한 연구," 전자공학회논문지-B, 제 29권 B편, 제 1호, pp. 76-84, 1992년 1월  
 [4] 우 상찬, 권 준식, 장 태규, 최 중수, "수학적 형태론에 의한 SMD위치 및 불량검색," 제 5회 신호처리 합동학술대회 논문집, pp. 617-621, 1992년 9월  
 [5] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, 2nd ed., pp. 112-120, John Wiley & Sons, Inc., 1991.  
 [6] G. Wolberg, *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press Monograph, pp. 61-67, 1990.  
 [7] D. Sinha and E. R. Dougherty, "Fuzzy mathematical morphology," *J. Visual Communication Image Representation*, vol. 3, pp. 286-302, Sep. 1992.  
 [8] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, vol. I, pp. 157-255, Addison-Wesley Pub. Co., 1992.  
 [9] 정 홍규, 박 래홍, "부화소 해상도를 이용한 SMD의 위치 및 방향 탐지," 제 6회 신호처리 합동학술대회 논문집, pp. 674-677, 1993년 9월  
 [10] H. K. Chung and R.-H. Park, "Vision based orientation and position detection of IC's and PCB's," in *Proc. SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XII: Algorithms and Techniques*, vol. 2005, pp. 106-117, Boston, Mass., Sep. 1993.  
 [11] H. K. Chung and R.-H. Park, "Orientation and position detection of surface-mounted devices and printed circuit boards using the high-resolution fuzzy Hough transform," *Optical Engineering*, vol. 33, no. 6, pp. 2079-2082, June 1994.  
 [12] 정 홍규, 박 래홍, "SMD 및 PCB의 방향과 위치탐지," 전자공학회 논문지-B, 제 31권 B편, 제 3호, pp. 80-90, 1994년 3월  
 [13] P. J. Besl, *Surface in Range Image Understanding*, pp. 309-310, Springer-Verlag, 1988.

[14] B. K. P. Horn, Robot Vision. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 46-61, 1988.

---

著 者 紹 介

---

丁 鴻 奎(準 會 員) 第 29卷 B編 第 10號 參照  
현재 삼성전자 근무중

朴 來 弘(正 會 員) 第 23卷 第 6號 參照  
현재 서강대학교 전자공학과 교수