

논문 2009-46SC-6-3

# 대비 향상을 사용한 지그 플레이트 홀 군집의 Vision 검사 방법 개발

## ( Vision Inspection Method Development of Jig Plate Hole Cluster Using Contrast Enhancement )

박 세 혁\*, 한 광 희\*, 강 수 민\*, 허 경 무\*\*

(Se-Hyuk Park, Kwang-Hee Han, Su-Min Kang, and Kyung-Moo Huh)

## 요 약

영상 처리의 목표는 관찰자를 위하여 영상의 시각적인 측면을 개선하는 것이다. 히스토그램은 디지털 영상 처리의 기초 자료로 사용될 수 있는 중요한 도구이다. 그러므로 히스토그램을 효과적으로 관리하는 것은 디지털 영상 처리에 있어 매우 중요하다. 현재 머신 비전 검사 시스템은 여러 외관 검사 분야에서 사용되어지고 있다. 하지만 머신 비전 시스템에 의한 외관 검사 결과는 작업장의 조명에 의한 영향을 많이 받는다. 본 논문에서는 이러한 영향을 극복하기 위한 방법으로 히스토그램 변환을 이용해서 머신 비전 검사의 정확성을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 영상 내에서 개선이 필요한 영역에 대한 히스토그램 변환을 수행함으로써, 이들 영역의 특징들을 향상 시키는 효과를 거둘 수 있다. 본 논문에서 제안된 방법은 지그 플레이트의 외관 검사를 통해 검증하였다.

## Abstract

The goal of image processing is to improve the visual appearance of images for human viewers. The histogram is an important tool which can be used as basic data of digital image processing. Therefore, to effectively manage a histogram in digital image processing is very important. Currently machine vision systems are used in many appearance inspection fields instead of inspection by human. However, the appearance inspection result by machine vision system is mainly influenced by illumination of workplace. In this paper, we propose a histogram transform method for improving accuracy of machine visual inspection. The enhancement effect of area feature is obtained by performing proposed histogram transformation in area that needs improvement. The proposed algorithm is verified by appearance inspection of jig plate samples.

**Keywords :** Histogram transformation, Illumination, Accuracy, Inspection

## I. 서 론

각종 전자 부품과 제품의 외관 검사는 사람의 시각에 의해 이루어져 왔다. 이러한 외관 검사는 거의 모든 전자 제품 및 부품에 적용되고 있다. 또한 크기가 미세하

고 복잡한 구성을 가지고 있는 전자 제품 일수록 외관 검사의 중요성은 크다고 할 수 있을 것이다. 크기가 미세하고 복잡한 구성을 가지고 있을수록, 제조 공정에서 불량품이 만들어 질 가능성이 높기 때문이다. 이렇게 미세하고 복잡한 구성을 가지고 있는 전자 제품의 외관을 사람의 시각에 의해 검사한다면, 개인의 상태에 따라서 검사의 신뢰성에 문제가 생길 수 있다. 공장 자동화 및 정밀 산업의 발달로 감시, 계측, 인식, 제어 등의 무인화 및 정확도가 요구됨에 따라 카메라를 이용하여 생산 제품의 영상을 얻은 후, 이 영상을 비교, 분석하는

\* 학생회원, \*\* 정회원, 단국대학교 전자전기공학과  
(Dept. of electronics and electrical Eng., Dankook University)

※ 이 연구는 2009년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

접수일자: 2009년2월16일, 수정완료일: 2009년10월26일

비전 시스템 장비는 이런 요구 사항을 만족시킬 수 있는 장비로 자리 잡고 있다. 따라서 현재 사람에 의한 외관 검사 대신 머신 비전에 의한 검사 방법이 광범위하게 적용되고 있으며, 사람의 시각에 의해 검사가 수행됐을 때 발생할 수 있는 많은 문제점들이 머신 비전 환경에서는 발생하지 않고 있다. 결과적으로 전자 제품의 신뢰성 및 생산성이 향상되고 있는 것이다. 하지만 자동화된 머신 비전에 의한 검사는 작업장의 환경, 특히 조명에 아주 큰 영향을 받고 있다. 영상은 대상 물체의 광학특성, 표면의 상태와 광원의 종류와 모양, 조명 방법, 광학계의 구조, 센서의 특성 등의 복잡한 상호 작용으로부터 발생하는 광휘에 의해 만들어진다. 미세한 조명의 변화는 머신 비전 시스템에 입력되는 이미지의 픽셀 값 변화로 나타나고, 이런 이미지를 분석하는 비전 시스템은 불량 판정의 오류를 일으킬 수밖에 없는 것이다. 이에 본 논문에서는 검사 환경에 영향을 받지 않고 일정한 검사 결과를 얻을 수 있는 비전 검사 시스템을 만들기 위해, 히스토그램 변환과 언샤프닝을 사용한 영상 개선 기법을 제안하였고, 지그 플레이트 홀 군집의 비전 검사를 통해 제안된 기법을 검증하였다.

## II. 기존의 검사 방법

에지(Edge)는 디지털 영상 처리에서 가장 기본이 되는 요소이다. 따라서 에지를 검출하고 이를 관리하는 것은 영상 분석에서 매우 중요하다. 에지는 입력 영상에 대한 많은 정보들을 가지고 있다. 에지는 물체가 어디에 있으며, 물체의 모양과 크기, 텍스처의 상태가 어떠한지를 말해준다. 에지 추출은 영상 분석에서 가장 많이 사용되는 연산 중 하나이다. 거의 대부분의 머신 비전 검사 시스템에 사용되는 분석 방법은 에지 기반 방법이다. 본 논문에서는 검사하기 위해 카메라로 캡처된 이미지

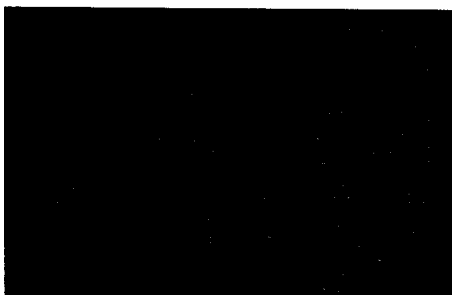


그림 1. 검사 대상 지그 플레이트  
Fig. 1. The jig plate which is used to inspection.

를 Input image라고 정의했다. 만약 조명의 변화 등 외적 요인에 의해서 Input image의 에지가 변한다면 머신 비전 시스템은 검사 오류를 일으킬 것이다.

그림 1은 외관 검사에 사용된 지그 플레이트의 Input image이다. 기존 검사 방법에서는 지그 플레이트 Input image의 에지를 추출한 후 버퍼에 저장한다. 그리고 검사 대상인 지그 플레이트의 홀(Hole) 개수와 크기를 측정 한 후, 개수와 크기의 이상 유무를 판별 한다. 이러한 기존의 검사 방법은 조명 변화 등에 의해서 검사 대상 이미지의 에지가 변한다면, 정확한 오류 검출을 할 수 없는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 기존 검사 방법의 단점을 보완하고자, 히스토그램 변환과 언샤프닝을 사용한 영상 개선 알고리즘을 제안한 것이다.

## III. 지그 플레이트 홀 검사 시스템

그림 2는 지그 플레이트 홀 외관 검사 시스템의 전체 흐름도이다. 지그 플레이트 홀 검사 시스템에서 검사할 구체적 내용은 지그 플레이트 홀의 개수와 크기이다. 홀의 개수 불량 검출은 연결된 에지를 이용하여 홀 검출을 하고, 그 수를 산출한다. 또한 홀의 크기 불량 검사에서는 홀의 센터를 이용하여 홀의 크기를 측정하는 방법으로 외관 불량을 검사 하였다.

그림 3 (a)는 홀로 인식되는 에지를 나타내며, 그림 3 (b)는 홀의 크기를 측정하는 방법을 그림으로 나타낸 것이다.

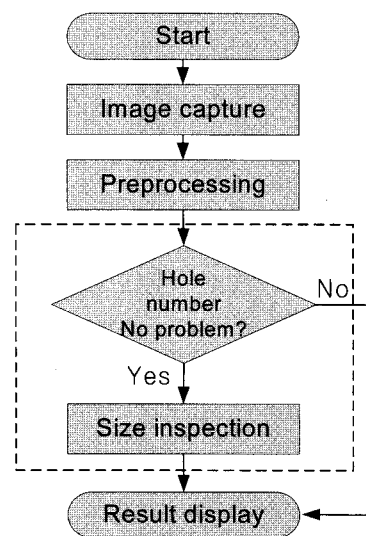


그림 2. 지그 플레이트 외관 검사시스템 흐름도  
Fig. 2. Jig Plate appearance inspection system flow chart.

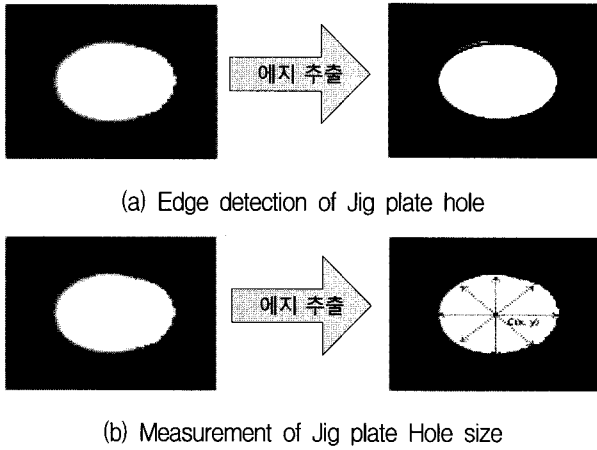


그림 3. 홀 검출과 크기 측정 모델의 예  
Fig. 3. The examples of Hole detection and size measurement.

#### IV. 제안하는 외관 검사 방법

##### 1. 히스토그램의 개요

히스토그램은 영상의 중요한 정보를 가지고 있는 자료이며, 영상의 명암 값 프로필을 보여주기 위해 사용되는 도구이다. 영상의 밝기가 어느 특정한 범위에 집중되는 경우 영상에 포함된 정보, 경계선이나 특징 등을 구분해내기 어렵게 된다. 이런 경우 집중되어 있는 밝기의 범위를 각 화소가 가질 수 있는 최대의 범위로 확장시켜 특징들이 살아나게 만드는 기법을 명암 대비 향상 기법이라 한다. 즉 영상의 어두운 영역 혹은 밝은 영역 내부의 밝기 차이를 크게 벌려 주어 영상 내의 관심 영역을 선명하게 하거나 명암 값을 재분배하여 화질을 개선시키는 영상 처리 기법이다. 즉, 영상의 디지털화 작업에서 구성된 명암 값의 분포를 이용하여 영상을 분석할 수 있으며 좋지 않은 명암도 값을 가진 영상을 향상시킬 수 있다<sup>[1-3]</sup>. 또한 처리된 영상이 우리가 바라는 히스토그램의 형태로 명시할 수 있는 것은 때때로 매우 유용하다<sup>[4-5]</sup>. 즉 머신 비전 시스템에서 조명의 변화 등 외적 요인에 의한 영상 변화는 히스토그램의 변화로 수치화 할 수 있고, 이렇게 변화된 히스토그램을 우리가 원하는 형태로 지정한다면 미세한 변화에 대응할 수 있는 검사 시스템을 구성할 수 있다. 히스토그램 변환을 수행하기 위해서는 우선 영상의 히스토그램의 정규화를 수행해야 한다. 우리는 디지털화된 이미지를 사용하기 때문에 히스토그램의 정규화는 쉽게 구할 수 있다. 식 (1)을 사용하여 Input image의 히스토그

램 정규화합 연산을 수행한다.

$$s_k = \sum_{i=0}^k I(r_i) \tag{1}$$

식 (1)에서  $I(r)$ 는 Input image의 히스토그램이고,  $s_k$ 는 정규화합 히스토그램을 의미한다. 이러한 히스토그램 처리 방법은 전체 영상에 걸쳐 명암도 분배에 근거한 변환 함수를 이용하여 화소들을 변화시킨다는 의미에서 영상의 전체적인 처리기법이다. 이 전체적인 접근법은 영상의 전반적인 개선에는 유용하지만 작은 영역의 세밀한 부분을 개선시키는 것이 필요한 경우에는 적절히 대응할 수 없다<sup>[6-7]</sup>. 이에 본 논문에서는 국부적 히스토그램 변환 기법을 제안하였다.

##### 2. 평균과 표준 편차를 사용한 영상 개선

본 논문에서는 Input image 화질 향상 목적을 위해 히스토그램의 평균과 표준 편차를 고려하였다. Reference image 전체에 대해 측정된 히스토그램 평균과 표준 편차는 Input image 밝기와 대비의 조정에 매우 유용한 기준이다. Input image의 국부적인 향상에서 평균과 표준 편차는 미리 정의된 영역 내의 영상 특징에 따른 변화를 만들기 위한 기준으로 이용된다.

$$ms_{x,y} = \sum_{(s,t) \in s_{x,y}} r_{s,t} I(r_{s,t}) \tag{2}$$

$$\sigma^2 s_{x,y} = \sum_{(s,t) \in s_{x,y}} [r_{s,t} - ms_{x,y}]^2 I(r_{s,t}) \tag{3}$$

식 (2)에서  $s_{x,y}$ 는 영상 내 좌표  $(x, y)$ 에 중심을 둔 명시된 크기의 부분 영상이고,  $m$ 은 평균 명암도,  $r_{s,t}$ 는  $(x, y)$ 의 이웃하는 좌표  $(s, t)$ 에서의 명암도이다.  $I(r_{s,t})$ 는 그 명암도에 대응되는 부분 영상의 정규화된 히스토그램 성분이다. 식 (3)은 영역  $s_{x,y}$ 내 화소들의 명암도 표준 편차를 나타낸다. 이 기준을 이용하여 Input image 내의 점  $(x, y)$ 에서 부분 영상 평균 명암도를 Reference image 전체 영상 평균 명암도와 비교하여 처리 후보를 결정한다. 또한 저대비를 갖는 부분 영역의 향상을 위해 Input image 부분 영상의 표준편차를 Reference image 전체 표준 편차와 비교하여 대비 향상을 위한 후보가 될 수 있는 지를 결정한다.

$$e(x,y) = H \cdot f(x,y) \tag{4}$$

In case,  $ms_{xy} \leq k_0M_G$

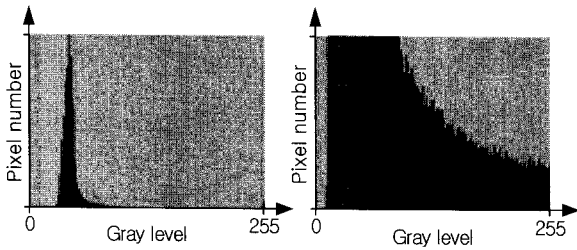
$$k_1D_G \leq \sigma s_{xy} \leq k_2D_G$$

$$e(x,y) = f(x,y) \tag{5}$$

In case, *otherwise*

식 (4)와 (5)는 영상 개선을 위한 후보를 결정하는 방법을 나타낸다. 식 (4)에서  $H$ 는 상수,  $k_0, k_1, k_2$ 는 1보다 작은 상수이고,  $k_1 < k_2$  이다.  $M_G$ 는 Reference image 전체 평균 명암도,  $D_G$ 는 Reference image 전체 평균 표준편차를 나타낸다.  $f(x, y)$ 와  $e(x, y)$ 는 Input image의 화소 값과 그 좌표에서 대응되는 향상된 화소 값을 나타낸다.

그림 4는 제안하는 국부적 히스토그램 변환의 적용 전과 후를 나타낸다. 히스토그램은 각 픽셀들의 영상 내부 위치 정보를 갖고 있지 않다<sup>[8~9]</sup>. 따라서 이미지 사이즈가 커지면 히스토그램 연산의 정확도가 상당히 떨어지는 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 Reference image 전체 평균 영상 명암도와 표준 편차를 Input image 3×3 영역 부분 영상의 평균 명암도와 평균 표준 편차를 비교하



(a) Conventional histogram (b) Improved histogram

그림 4. 히스토그램 개선 결과  
Fig. 4. The improved result of Histogram.

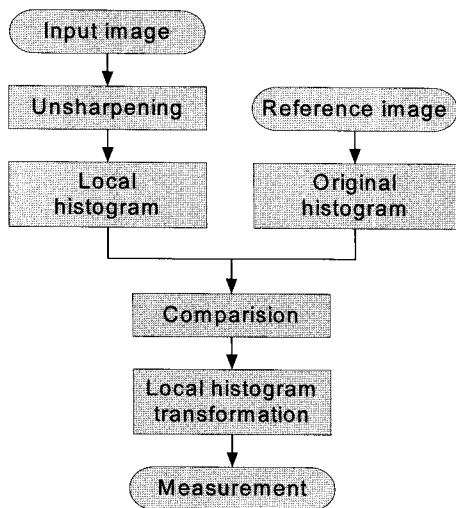
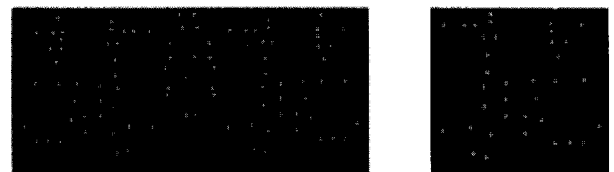


그림 5. 제안한 알고리즘의 흐름도  
Fig. 5. The flow of Proposed Algorithm.

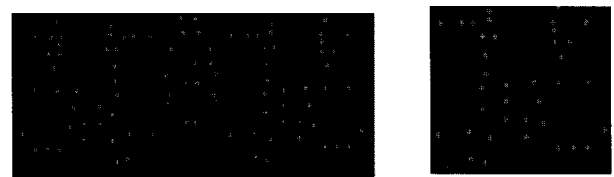
여 연산을 수행하는 히스토그램 변환 기법을 제안한 것이다. 또한 검사 대상인 지그 플레이트의 홀이 작은 공간에 매우 밀집해 있는 특성상, 영상 내 에지 구분을 명확하게 하기 위하여 언샤프닝 알고리즘을 사용하였다. 언샤프닝은 Input image에서 저주파 필터링을 거친 영상과의 차를 통해 얻을 수 있다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 전체적인 흐름을 나타내고 있다. Input image는 카메라를 통해서 캡처한다. 그 다음 Input image에서 저주파 필터링된 영상을 빼서 에지 구분을 명확히 하고, 양자화 에러를 가지고 있는 히스토그램 고유 특성<sup>[10~11]</sup>을 극복하고자, 국부적 히스토그램 변환을 수행 한다.

### V. 실험

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위해서 지그 플레이트 홀 외관 검사를 실시하였다. 즉 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우의 비전 검사 정확도를 측정 및 비교, 분석하였다. 실제 지그 플레이트 홀에는 이상이 없지만, 검사 대상체의 군집 특성에 따라 지그 플레이트 홀의 외관 문제가 있는 것으로 판단할 때를 검사 어려울로 정의하고, 제안한 알고리즘을 검증한 것이다. 지그 플레이트 홀 검사 시스템에서 검사할 구체적 내용은 지그 플레이트 홀의 개수와 크기이다. 이러한 외관 불량 검사에서는 영역의 경계를 추적하여 연속 체인정보를 얻고 그 수를 산출하여 원형도를 측정하는 방법으로 외관 불량



(a) Inspection result of existing method



(b) Inspection result of proposed method

그림 6. 기존 방법과 제안하는 방법의 검사 결과 비교  
Fig. 6. Performance comparison of the conventional method with the proposed method.

을 검사하였다<sup>[12]</sup>.

그림 6은 본 논문에서 기존 검사 방법과 제안하는 검사 방법의 검사 결과를 비교한 것이다. 기존 검사 방법에서 홀의 간격이 밀집해있는 경우, 2개의 홀을 하나의 홀로 인식하거나 인식하지 못하는 것을 그림 6 (a)를 통해 볼 수 있고, 제안하는 방법을 사용하여 검사한 경우에는 이러한 문제점이 개선된 것을 그림 6 (b)를 통해 볼 수 있다.

표 1. 지그 플레이트 샘플

Table 1. Jib plate samples.

Sample	지그 플레이트 크기	홀 개수
①	45×34[mm]	600
②	45×34[mm]	700
③	45×34[mm]	800
④	45×34[mm]	1000
⑤	45×34[mm]	1200

표 2. 샘플 ① 비전 검사 어려움

Table 2. Sample ① vision inspection error rate.

Sample ①	검사 어려움[%]	
	기존 검사 방법	제안하는 검사 방법
1	2	1
2	3	0
3	4	2
4	2	1
5	4	2

표 3. 샘플 ② 비전 검사 어려움

Table 3. Sample ② vision inspection error rate.

Sample ②	검사 어려움[%]	
	기존 검사 방법	제안하는 검사 방법
1	2	0
2	2	0
3	4	0
4	4	1
5	3	0

표 4. 샘플 ③ 비전 검사 어려움

Table 4. Sample ③ vision inspection error rate.

Sample ③	검사 어려움[%]	
	기존 검사 방법	제안하는 검사 방법
1	1	1
2	3	2
3	1	0
4	2	1
5	3	1

표 1은 실험에 사용된 지그 플레이트의 종류를 보여주고 있다. 5개의 지그 플레이트 샘플이 사용됐고, 샘플 ①, ②, ③, ④, ⑤에는 각각 600개, 700개, 800개, 1000

표 5. 샘플 ④ 비전 검사 어려움

Table 5. Sample ④ vision inspection error rate.

Sample ④	검사 어려움[%]	
	기존 검사 방법	제안하는 검사 방법
1	2	1
2	4	2
3	3	2
4	6	3
5	5	2

표 6. 샘플 ⑤ 비전 검사 어려움

Table 6. Sample ⑤ vision inspection error rate.

Sample ⑤	검사 어려움[%]	
	기존 검사 방법	제안하는 검사 방법
1	4	1
2	3	1
3	7	3
4	5	3
5	6	2

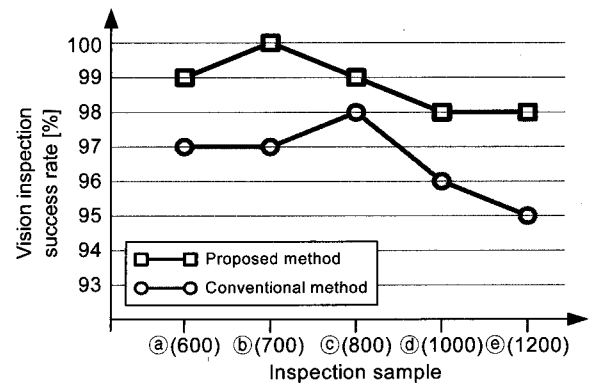


그림 7. 실험 결과

Fig. 7. The result of experiment.

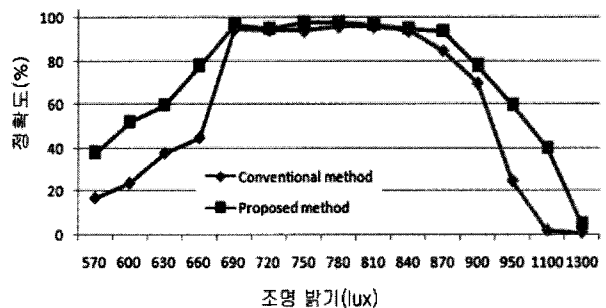


그림 8. 조명 환경에 따른 검사 정확도

Fig. 8. Accuracy according to illumination environment.

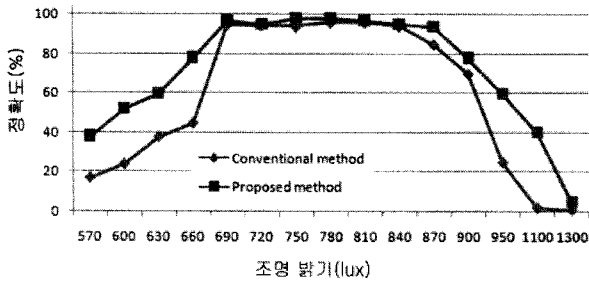


그림 8. 조명 환경에 따른 검사 정확도  
Fig. 8. Accuracy according to illumination environment.

개, 1200개의 홀이 있다.

표 2는 샘플 ㉔의 검사 에러율, 표 3은 샘플 ㉕의 검사 에러율, 표 4는 샘플 ㉖의 검사 에러율, 표 5는 샘플 ㉗의 검사 에러율, 표 6은 샘플 ㉘의 검사 에러율을 보여주고 있다. 측정된 결과, 기존 검사 방법에서는 평균 3.4%, 본 논문에서 제안한 검사 방법을 적용했을 경우는 평균 1.2%의 검사 에러율을 볼 수 있었다. 특히 국부적 히스토그램 변환 기법을 적용한 검사에서는 매우 밀집해있는 검사 대상에 대해서도 거의 일정한 검사 에러율을 보였다.

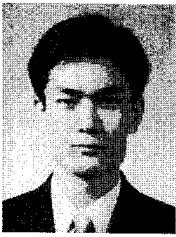
### VI. 결 론

본 논문에서는 국부적 히스토그램 변환 기법을 사용해서 지그 플레이트 미세 홀 군집 영상의 화질을 개선함으로써, 비전 검사의 정확도를 높일 수 있는 기법을 제안 하였다. 즉 주파수 영역이 아닌 공간 영역에서의 간단한 조작을 통해서 검사 에러율을 낮출 수 있는 기법을 제안한 것이다. 히스토그램 연산의 경우, 각 픽셀의 영상 내 위치 정보를 가지고 있지 않는 히스토그램 고유의 특성을 극복하고자, Input image 3x3 영역 부분 영상의 국부적 평균 명암도와 평균 표준 편차를 Reference image 평균 명암도와 표준 편차와 비교하여 히스토그램 연산을 수행하였고, 그 결과 향상된 비전 검사 에러율을 볼 수 있었다. 그리고 차후 각 픽셀의 영상 내 위치 정보를 포함하는 히스토그램 변환 알고리즘을 개발하면, 좀 더 정확한 연산을 할 수 있을 것이다. 결과적으로 이 알고리즘을 실제 생산 현장의 각종 전자 부품 및 제품의 비전 검사에 적용할 경우, 전자 제품 및 부품의 검사 품질과 생산성 향상을 기대할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Randy Crane "A Simplified Approach To Image Processing" pp. 85-184.
- [2] Tamal Bose, Francois Meyer, "Digital Signal and Image Processing", John Wiley & Sons, pp. 599-612, 2003.
- [3] Maria Petrou and Panagiota Bosdogianni "Image Processing", pp. 265-282.
- [4] Weng, J, Cohen, P. and Herniou, M, "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.10, pp. 965-980, 1992.
- [5] Scott E Umbaugh, Ph.D, "Computer Vision and Image Processing", Prentice Hall PTR, pp. 197-218, 1998.
- [6] 허경무, 박세혁, 강수민, "멱함수 변환과 히스토그램 지정을 사용하여 정확도를 향상시킨 Vision 검사 방법 개발," 전자공학회 논문지, 제44권 SC편 제5호, pp11-17, 2007, 9.
- [7] 강수민, 한광희, 허경무, "미세 탐침의 비전 자동 검사 시스템 개발," 전자공학회 논문지, 제45권 SC편 제6호, pp16-25, 2008, 11.
- [8] Forsyth, David A, "Computer Vision : A Modern Approach", Prentice Hall, pp. 175-186, 2003.
- [9] Wesley E .Snyder and Hairong Qi "Machine Vision", CAMBRIDGE, pp. 312-325, 2004.
- [10] Roberto Cristi, "Modern Digital Signal Processing", Thomson-Brooks/Cole, pp. 213-226, 2003.
- [11] CHChen & PSP Wang, "Pattern Recognition and Computer Vision" 3rd ed, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, pp. 445-480, 2005.
- [12] "Matrox Inspector User Guide", version4, Matrox electronic System Ltd. 2002.

저 자 소 개



박 세 혁(학생회원)  
 1998년 단국대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2000년 단국대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2005년~현재 단국대학교 전자컴퓨터공학과 박사 과정 재학 중

<주관심분야 : 3차원 디스플레이, 로봇트 제어, 검사 자동화, Machine Vision, Image Processing, 시스템 제어>



한 광 회(학생회원)  
 2006년 단국대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2008년 현재 단국대학교 전자공학과 석사과정 재학 중

<주관심분야 : 시스템제어, 로봇제어, 3차원 Display, Vision>



강 수 민(학생회원)  
 2004년 단국대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2006년 현재 단국대학교 전자공학과 석사 졸업  
 2007년 현재 단국대학교 전자공학과 박사과정 재학 중

<주관심분야 : 시스템제어, 로봇제어, 3차원 Display, Vision>



허 경 무(정회원)  
 1979년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.  
 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1993년~현재 단국대학교 전자공학과 교수,  
 단국대학교 전자부품 검사자동화 지역혁신센터 (RIC)소장,  
 대한전자공학회 시스템및제어 소사이어티 부회장  
 <주관심분야 : 시스템 제어, 머신 비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습 제어>