

# 카메라를 이용한 ALC 블록의 치수계측 및 불량검사 자동화 시스템 개발

김성훈, 허경무, 김장기  
단국대학교 전자컴퓨터공학부  
전화 : 041-550-3548 / 핸드폰 : 016-588-3064

## Development of Automatic Measurement and Inspection System for ALC Block Using Camera

Seoung-Hoon Kim, Kyung-Moo Huh, Jang-Ki Kim  
Dept. of Electronics & Computer Engineering, Dankook University  
E-mail : zrostate@hanmail.net

### Abstract

This paper presents a computer image processing system, which measures the thickness of the ALC block and inspects the defect on a real-time basis. The Image processing system was established with a CCD camera, an image grabber, and a personal computer without using assembled measurement equipment. The image obtained by the system was analyzed by a devised algorithm, specially designed for the enhanced measurement accuracy. For the realization of proposed algorithm, the pre-processing method that can be applied to overcome uneven lighting environment, and threshold decision method, and subpixel method are developed. From the experimental results, we could find that the required measurement accuracy specification is sufficiently satisfied using our proposed method.

### I. 서론

기존 ALC 블록의 계측에 대한 분석은 중간 단계와 검사단계에서의 각종 치수계측 및 보안을 기존의 일반 게이저 등으로 일일이 측정하여 수행하고 있는바 육안

에 의한 주관적인 형태로 이루어지고 있으므로, 사람의 수작업에 의존할 수밖에 없고, 이에 따라 작업시간의 증대뿐만 아니라 일정 샘플만을 검사 할 수밖에 없는 점 등 측정 데이터의 부정확성 및 정밀도가 부족하며 서로 다른 분석자 사이에 의견이 같지 않을 수도 있고, 또한 같은 분석자도 반복 분석하였을 때 서로 다른 결과를 나타낼 수 있다. 그러므로 계측에 대한 분석의 객관성과 재현성을 높이기 위해서는 컴퓨터에 의한 분석방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서 제안하는 방법은 정확성은 향상되면서 고가의 특수한 장비 없이 개인용 컴퓨터와 CCD 카메라를 이용하여 치수계측 및 불량검사를 할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한, 고가의 장비를 갖추지 못하는 곳에서 유용하게 쓰일 수 있도록 조명 조건을 일반적인 환경으로 설정하고 실험을 진행하였으므로 별도의 장치가 필요치 않다. 고성능의 하드웨어 장비가 아닌 일반적으로 사용되는 개인용 컴퓨터와 CCD 카메라를 이용하여 자동으로 블록간의 상하 경사도, 두께의 불균일성, 그리고 불량품 여부를 판별 할 수 있도록 하기 위해 입력이미지에서 블록에 대한 에지만을 추출하여 보정작업을 거쳐 8개의 에지추출 쌍을 이용하여 블록의 두께와 경사도를 찾아낼 수 있었으며, Dilation과 Erosion 기법을 이용해 파손부위를 판별 해낼 수 있는 시스템을 개발하였다.

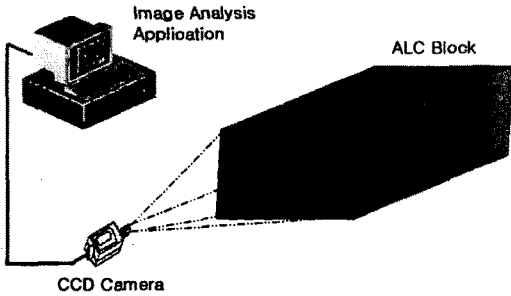


그림 1. 이미지 획득을 위한 시스템 구성

$$Level = \frac{1}{i} \sum_{k=1}^i \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

여기에서 Level은 이미지상의 물체의 평균 그레이 레벨[0~255]을 나타내고, 가공물체의 보다 정확한 윤곽선 검출을 위해 필요하다. 그리고,  $i$ 는 가공 물체의 픽셀의 수,  $R, G, B$ 는 가공 물체의 픽셀들의 R, G, B 레벨값을 나타낸다.

## II. 입력 영상의 전처리 과정

본 장에서는 입력 이미지를 고주파 필터를 이용하여 더 날카로운 영상으로 보정하고, 입력 이미지의 다양한 밝기에 적용하기 위한 문턱값을 결정하고 기존 마스크 기법을 변형하여 기존 소벨 마스크 보다 나은 에지를 추출한 후 세선화를 적용하기 위한 전처리 과정을 보여준다.

### 1. 고주파 필터

본 실험에서 쓰인 가공 물체를 세워놓고 위에서 이미지를 입력받은 경우 잘못된 초점으로 인해 물체의 아랫부분의 영상이 흐리게 나오게 된다. 이를 고주파 강화 필터를 이용하여 보정하였다. 일반적인 고주파 강화 마스크는 표 1에 보이는 바와 같이 -1로 둘러싸여 있고, 중앙 위치에 9가 놓여진다.

표 1. 고주파 강화 마스크

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

고주파 강화 필터링이 영상안의 고주파 성분을 강화하기 때문에 출력영상은 더 날카로운 영상이 되고 시각적으로는 더 좋은 영상을 생성한다[1].

### 2. 문턱값 결정

픽셀의 R, G, B 레벨 값은 색상 정보뿐만 아니라 빛의 휘도까지 포함하고 있기 때문에 입력 이미지는 조명의 상태에 큰 영향을 받는다. 이 점을 보완하기 위하여 이미지 입력 과정에서 얻은 이미지로부터 조명상태를 파악한다. 그레이 레벨로 변환하여 색상 성분을 없애고 조명의 휘도 정보를 찾아낸다.[2]

표 2. Level 값에 대한 문턱값

레벨값	문턱값
90 이하	60
90 ~ 100	65
100 ~ 110	70
110 ~ 120	75
120 ~ 140	80
140 ~ 160	85
160 이상	90

### 3. 편미분 연산자

영상에서 기울기를 그래디언트(gradient) 라고 하는데 영상에서 그래디언트의 크기를 구하면 윤곽선을 구할 수 있게 된다. 1차 미분 또는 2차 미분 파형에서 본 것과 같이 밝기의 차가 급격히 변화하는 곳에서 그래디언트의 크기가 크게 나타남을 알 수 있었다. 그래디언트의 크기를 구하는 방법은 다음과 같다. 우선 식(2)를 이용해 먼저 기울기 벡터를 구한다. 그리고, 식(3)으로 벡터의 크기를 구한다. 여기서 영상  $f(x,y)$ 의 위치  $(x,y)$ 점이다. 이때 식(4)와 같이 간단히 하여 사용하기도 한다.

$$\nabla F = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla F) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (4)$$

이 식은 계산량도 적고 직관적인 판독이 가능하므로 민감한 경우의 에지 검출이 아니라면 프로그래밍 하는데 매우 편리하다. 다음으로 그래디언트의 방향 역시 중요한 값인데, 방향 값은 영상 안의 여러개의 윤곽선들 중에서 윤곽선을 구분하는 기준이 된다. 즉 방향값이 서로 같은 윤곽선은 하나의 윤곽선으로 구분되어진다. 그래디언트의 방향값은 식 (5)에 의해서 구해진다.

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_y}{G_x} \right) \quad (5)$$

식 (2)와 식 (3)에서 주의해야 할 점은 영상의 특징은 좌

표평면인 2차원 형태를 갖기 때문에 X축과 Y축으로 각각 미분해주어야 한다.

4. 에지검출에 있어서 기존 마스크기법의 변형

소벨 마스크는 연산 후 문턱값을 이용하여 잡음을 제거할 수는 있으나, 잡음에 민감한 특성은 해결하면서, 원하는 윤곽선은 정확히 얻어내야만 한다. 본 논문에서는 소벨 마스크를 기반으로 캐니 마스크를 변형한 마스크 기법을 사용하였다.

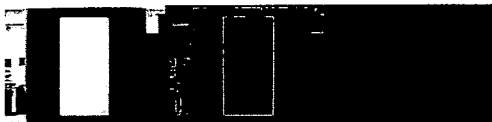
소벨 에지 검출기는 비선형 에지 검출 기법이다. 소스 이미지로  $a \in \mathbb{R}$ 이 주어지고  $a_0, a_1, \dots, a_7$  은  $(i,j)$ 의 8개의 이웃한 픽셀 값을 뜻하며 다음과 같다. 소벨 에지의 크기  $m \in \vec{R}^x$  는  $m(i,j) = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$  으로 주어진다. 여기서 식 (6)과 식 (7)에 의해서 그라디언트 디렉션 이미지 d 는 식 (8)로 주어진다.

$$u = (a_5 + 2a_6 + a_7) - (a_1 + 2a_2 + a_3) \quad (6)$$

$$v = (2a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + 2a_4 + a_5) \quad (7)$$

$$\vec{d}(i,j) = \arctan\left(\frac{u}{v}\right) \quad (8)$$

소벨 마스크를 기반으로 John Canny는 에지 검출을 위한 방법들을 정의하였고, 그 방법들을 달성하기 위한 최적의 방법을 설명하였다[3]. SNR(signal noise ratio)의 값은 잡음에 대한 출력신호의 비율 (오차율)이며 가능한 커야한다. 왜냐하면 많은 신호와 적은 잡음이 필요하기 때문이다. 위치추정값(localization)은 실제 에지로부터 위치된 에지까지의 거리의 역수이며, 이 값 또한 가능한 한 커야하는데, 이것이 의미하는 것은 거리가 가능한 작아야 한다는 것을 의미한다.[4] 그림 2의 실험 결과에서 알 수 있듯이 계산적인 접근을 채택한 캐니 에지 검출방법을 변형한 제안된 방법에서는 단일 에지에 대해서 중복 응답을 보이지 않기 때문에 false-positive 현상이 나타나지 않음을 알 수 있다. 우리는 소벨 마스크를 기반으로한 canny의 에지 검출 방법을 변형시켜 사용하였다. 그림 2에 기존의 소벨 마스크 기법과 본 논문에서 제안한 문턱값을 이용한 변형된 마스크 기법을 비교하였다. 그림 2의 (a) 는 카메라에서 입력받은 그레이 스케일의 640x480 픽셀 사이즈의 실제 영상이며, 우측의 (b) 는 소벨 마스크 기법을 사용하여 얻은 영상이고, 맨 우측의 (c) 는 변형된 마스크 기법이다.



(a)실체영상 (b)소벨마스크 (c) 제안하는 마스크

그림 2. 소벨 마스크와 제안된 마스크 기법과의 비교

5. 에지 추적을 이용한 잡음 제거

본 방법에서 잡음과 그림자로 인한 불필요한 잡음 에지와 윤곽선을 제거할 필요가 있다. 그림 3에 보이는 바와 같이 실험에서 외측원의 윤곽선을 이용해서 얻어진 중심을 기준으로 360도 탐색하여 처음 검색된 그레이 레벨값 255의 픽셀을 제외하고 이후 레벨값 255가 검색되면 3X3블록을 이용하여 시계방향으로 에지를 추적하여 검색되는 레벨값 255를 레벨 0으로 변환한다.



그림 3. 세션화 영상과 잡음 제거후의 영상

III. 치수계측과 불량검사를 위한 알고리즘

본 장에서는 ALC 블록의 치수계측을 향상시키기 위해 카메라에 의한 곡률을 효과적으로 보정하는 기법과 8개의 에지쌍을 이용한 경사도 및 두께측정 방법, 형태학적 기법을 이용한 파손 및 균열 측정 방법을 제안한다.

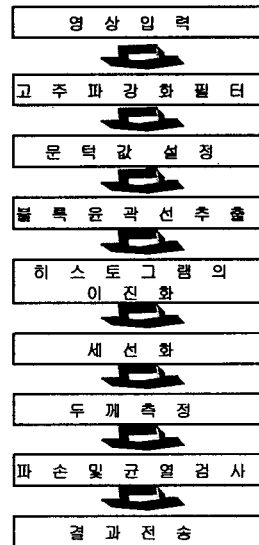


그림 4. 치수계측 및 불량검사 알고리즘의 흐름도

### 1. Morphology를 이용한 파손 및 균열 검사

영상에 담긴 내용 중에서 그 모양을 분석하여 정량적으로 나타내기 위해서는 수학적 기법의 하나인 morphology적 기법을 이용하기도 하는데 Machine Vision 분야에서도 이러한 관심 있는 영역을 찾아내기 위해서는 시스템적으로 사전에 알고 있는 지식을 사용해서 해결하여야 하는데, 본 논문에서는 그중 Dilation 기법과 Erosion 기법을 반복 적용시키는 방법을 이용해 파손 및 균열 부위를 검출하였다. ALC 블록의 경우 파손 부위나 균열부위의 경우 블록 재료의 특성들로 인해 그 표면이 매우 거칠게 된다. 이러한 재료의 특성은 불량부위에 있어서 특히 조명에 민감하게 반응하여 파손부위에 대해서 조명의 산란이 많이 관찰되었다. 따라서 우리는 실험을 통하여 이진화된 영상에 Dilation 연산을 반복 실행시켜 파손부위에 대한 유사 화소들을 병합시킨 후 다시 Erosion 연산을 반복적용시킴으로서 파손부위가 병합된 단일 화소 영역으로 결합되게 하여 결합부위의 정량적 검사가 가능하도록 제안하였다.

#### 1. Binary Dilation

Binary image는 0과 1로 구성되므로 1값으로 가진 좌표의 Set 으로 표시할 수 있다. 즉 이미지 I를 집합으로 보고 좌표  $(m, n)$ 에서의 값이 1인 좌표의 집합을 식(9)과 같이 나타낼 수 있다

$$I = \{(m, n) | i(m, n) = 1\} \quad (9)$$

이때  $setI$ 의  $setX$ 에 의한 dilation은  $I \oplus X$ 로 표시하며 식(10)과 같다.

$$I \oplus X = \{j | j = i + x, i \in I, x \in X\} \quad (10)$$

여기서 X는 Structure element라 하는데, 예를 들어  $X = \{(0, 0), (0, 1)\}$ 인 경우에는 식(11)과 같다.

$$I \oplus X = (I + \{(0, 0)\}) \cup (I + \{(0, 1)\}) \quad (11)$$

이를 개념적으로 설명하면 X에 포함된 좌표만큼 I를 선형 이동한 영상들의 합집합이다. 영상에서 한 부위에서 전부 1인데 한 화소만 영상 잠음으로 추정되는 0 이라면 이 기법을 사용해서 잠음을 제거할 수 있을 것이다[5]. 또한 물체내의 작은 내부 공간이나 단일 화소 너비의 틈새 제거 또는 논문에서 제안하는 바와 같이 파손 부위에 대한 영상적 잠음들을 병합시킴으로써 블록의 파손 부위에 대한 정량적 검사가 가능하도록 할 수도 있다.

#### 2. Binary Erosion

Dilation에 반대되는 기법으로, 영상을 물체가 있는 영역과 배경영역으로 구성되는 것으로 생각하면, dilation

기법은 물체영역을 넓히는 것이며, erosion은 물체영역을 줄이면서 역으로 배경영역을 넓히는 것이다. 즉, 영상을 0값을 가진 좌표의  $set$ 으로 생각하고 dilation을 하는 것과 마찬가지로 개념이다. 그렇지만 일단은 dilation에서 정의한 그대로 1값을 기준으로 해서  $setI$ 의  $setX$ 에 의한 erosion은  $I \ominus X$ 로 표시하며 식(12)과 같다.

$$I \ominus X = \{j | (X)j \subseteq I\} \quad (12)$$

즉, X를 j만큼 선형 이동한 구조가 I에서 발견되면 1이 되며 그러한 j의 집합이 된다. 위 두 기법을 반복적으로 적용하여 흑색 배경에서 백색 물체를 일정하게 크기를 감소시켜 블록의 윤곽선은 변하지 않게 되면서 파손 및 균열 부위의 정량적 검사를 가능하도록 제안한 결과 이미지가 그림 5 과 같다.

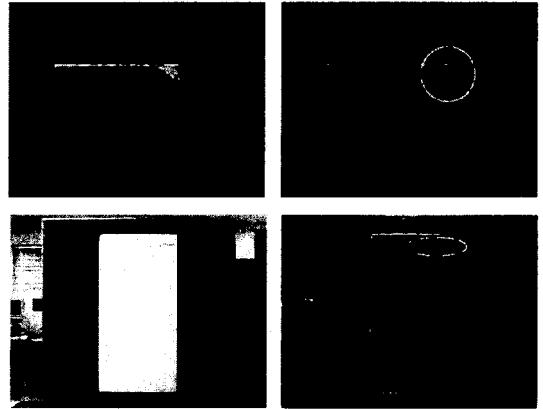


그림 5. 블록 파손 및 균열 검출 영상

### 2. 두께 측정을 위한 8개의 에지쌍

영상 내에서의 압출된 블록의 두께는 영상의 최소단 위인 픽셀의 갯수로 측정하고 이로부터 실제 블록의 두께를 길이 단위인 mm으로 환산하였다. 블록과 CCD 카메라 간의 거리와 줌렌즈의 배율은 픽셀 갯수당 두께 길이가 0.1565mm/pixel 이 되도록 고정하였다. 작업환경에 따라 조명이 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 조명에 민감하지 않는 두께 측정 알고리즘을 제안하였다. 블록간의 상하 경사도, 두께의 불균일성은 ALC블록의 품질에 가장 중요한 요소이므로 치수계측의 정밀도를 높이기 위해 그림 6.에서 보는 바와 같이 상하 좌우 각각에 대해 8개의 에지쌍을 배열하여 각 에지의 두 점을 잇는 직선을 블록 외곽의 에지로 결합함으로써 검출된 에지의 신뢰도를 높였으며 경사도 및 두께의 불균일성을 검사할 수 있도록 제안하였다. 일반적으로 수평 또는 수직 방향으로의 에지검출을 수행

하는 경우 작업환경에 따라 블록표면에 곡률, 분진이나 요철에 대해 에지결정에 있어서 에지 결정점의 불균일과 조명에 의한 음영 등으로 인한 에지치 않은 측정불량이 시행되게 된다. 본 논문에서는 이러한 작업 현장에서 야기되는 조명조건의 불규칙한 변화와 공장 내의 분진, 기계진동 등으로 인한 파손이나 이물질의 점착 등으로부터 영향을 최소화 시키고, 상하 경사도 측정의 기준이 되는 향상된 수평 수직 에지 검출 알고리즘을 제안하였다.

각 블록의 네 개의 모서리 점을 기준으로 수평 방향이 에지에 해당하는 왼쪽면과 오른쪽면 각각의 상위와 하위 영역에 두개의 에지검출점을 배열하여 이 에지쌍이 이루는 직선을 에지로 설정하므로써 요철에 의한 측정불량을 최소화 시켰으며, 이를 기준으로 수직방향에 해당되는 윗면과 아랫면에도 역시 에지쌍 검출 알고리즘을 적용시킴으로써 각 에지쌍이 이루어 내는 직선에 대해 수직, 수평방향으로의 에지검출이 보다 정확하게 수행되므로 경사도측정 역시도 그 정확도가 향상되는 결과를 보였다..

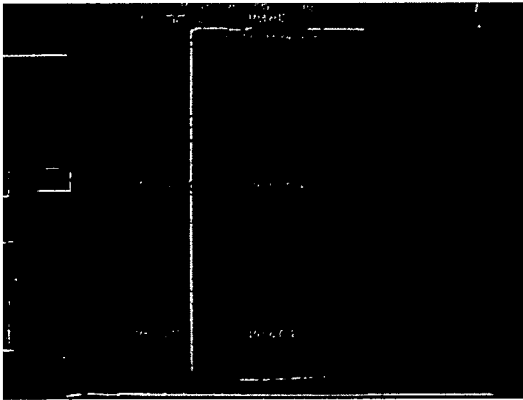


그림 6. 8개의 에지쌍 배열 형태

### 3. 카메라의 곡률보정에 의한 치수오차 보정

카메라의 오차보정은 카메라의 광학적 특성과 내부 구조 특성을 나타내는 내부인자(internal parameter)와 어떤 특정한 물체 좌표계(world coordinate system)를 기준으로 하여 카메라의 3차원적 위치 및 방향을 나타내는 외부인자(external parameter)를 결정하는 과정을 일컫는다[6][7]. 오차보정을 수행하는 일차적 목적은 카메라를 통하여 입력된 대상물에 대한 영상의 컴퓨터2차원 영상좌표계(2-D image coordination)와 실제 물체가

존재하고 있는 물체좌표계와의 관계를 설정하기 위한 것으로서 영상처리기법을 이용하여 길이나 깊이 등의 정량적 측정이 필요할 때 필수적으로 요구되는 과정이

다. 그 이유는 카메라오차보정 과정이 수행되지 않으면 영상좌표계의 값과 물체좌표계값이 서로 일치하지 않는 결과를 초래하여 영상처리기법을 사용하여 정량적인 측정시 그 결과와 그 물체의 실제 측정치와 차이가 발생하기 때문이다.

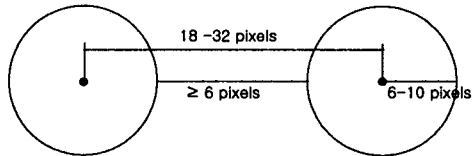


그림 7. 그리드(Grid) 설계를 위한 기본 원칙

입력영상으로는 그림 7과 같이 그동안 문헌에서 많이 다루어진 동일한 평면위에 있는 원으로 본 연구에서는 실세계 좌표값을 미리 알고 있는 21x28개의 원을 이용하였다. 그림 8.에서 보이는 바와 같이 각 원의 지름은 12pixels이고 점들 간의 간격은 22pixels이다. 그리고 21x28개의 기준점들은 크기와 모양이 같고 기준점들 간의 간격은 12pixels로 구성하였다. 실험은 곡률이 보정된 이미지로부터 그 패턴을 추출해내어 입력된 영상에 그 패턴만을 적용시킴으로써 보정된 이미지를 추출해 내었다.[8]

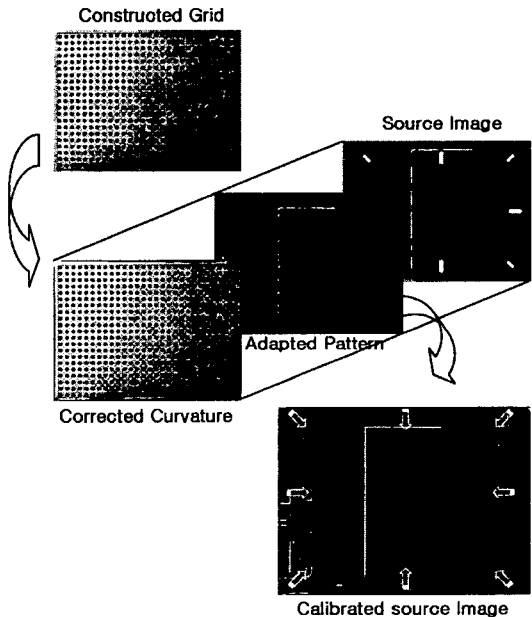


그림 8. 카메라 곡률보정을 위한 프로세서

## IV. 실험결과 및 고찰

**실험 영상의 측정 한계치**

본 실험에서는 카메라와 가공 물체 사이의 거리를 180cm로 고정하고 실험을 진행하였다. 가공 물체의 영상으로부터 얻은 픽셀단위의 ALC 블록 측정 결과를 거리의 단위인 mm나 cm로 표현하기 위해서는 첫째, 거리는 고정시키고 가공물체를 측정하거나, 둘째, 가공물체의 크기를 알되 거리를 자유롭게 움직일 수 있는 전제를 만족해야 한다. 본 실험에서는 다양한 가공물체의 두께 측정을 고속-자동화 하기 위하여 전자의 방법을 선택하였다. 실험에서 쓰인 이미지의 해상도는 10x480 픽셀을 사용하였다. 180Cm의 거리에 카메라를 고정시킨 후 입력받은 이미지의 가로x세로의 최대 길이는 100Cmx75Cm였다. 그러므로 픽셀당 0.1565Cm를 할당하게 된다. ALC블록 두께를 픽셀단위의 결과를 얻은 후 식 (13)을 통해 환산할 수 있으며, 기존의 인디케이터를 이용한 결과값과 실험에서 얻어진 결과를 비교하였다.

$$\text{픽셀의 개수} \times 0.1565 \text{ Cm} = \text{실제거리} \quad (13)$$

**치수계측 실험 결과**

길이를 측정하기 위해서는 표준이 되는 정확한 자가 요하지만 실제로는 획득하기가 용이하지 않기 때문에 이미 공장에서 수작업 하여 얻은 합격제품의 최소들의 평균치를 표준값으로 하고 이를 표준 길이로 교하였다. 기존 수동 인디케이터 방법으로는 0.5mm 상의 측정단위를 얻기 힘든 반면 본 논문에서 제안하는 방법으로 더욱 개선된 결과를 빠른 시간에 얻을 수 있었으며, 기존의 수작업에 의한 측정결과 값 실험결과와의 오차범위는 0.05mm 정도로 나타났다. 실험결과에서는 전 처리과정에서 그림자 영역에 대한 판선이 약간의 차이를 보였으나 윤곽선이 손실되지 않았으므로 세션화 후 결과는 거의 같았으며, 조명조에 대해 공장의 환경을 고려해 일반조명을 사용하였

**3. ALC 블록의 실 계측 값**

	Image1	Image2	Image3	Image4	Image5
A	29.90	29.90	29.80	30.00	29.80
B	29.85	29.90	29.85	29.90	29.75
C	59.90	59.90	59.90	60.00	59.85
D	59.90	59.90	59.90	60.00	59.85

(A, B: Position X, C, D: Position Y)

표 4. 곡률을 가진 입력영상을 이용한 치수계측값

	Image1	Image2	Image3	Image4	Image5
A	30.70	30.71	30.66	30.80	30.64
B	30.69	30.72	30.71	30.74	30.65
C	61.26	61.31	61.28	61.46	61.25
D	61.27	61.30	61.29	61.47	61.24

(A, B: Position X, C, D: Position Y)

표 5. 곡률보정영상의 치수계측값

	Image1	Image2	Image3	Image4	Image5
A	29.85	29.86	29.77	29.94	29.80
B	29.80	29.87	29.82	29.85	29.77
C	59.89	59.90	59.87	60.05	59.84
D	59.85	59.89	59.81	60.03	59.83

(A, B: Position X, C, D: Position Y)

표 6. 실 계측값에 대한 곡률영상의 계측값 비교

	Image1	Image2	Image3	Image4	Image5	Avg.	Std.
A	-0.80	-0.81	-0.86	-0.80	-0.84	-0.82	0.02
B	-0.84	-0.82	-0.86	-0.84	-0.90	-0.85	0.03
C	-1.36	-1.41	-1.38	-1.46	-1.40	-1.40	0.03
D	-1.37	-1.40	-1.39	-1.47	-1.39	-1.40	0.03

(A, B: Position X, C, D: Position Y, Avg: 평균, Std:표준편차)

표 7. 실 계측값에 대한 곡률보정영상의 계측값 비교

	Image1	Image2	Image3	Image4	Image5	Avg.	Std.
A	0.05	0.04	0.03	0.06	0.00	0.03	0.02
B	0.05	0.03	0.03	0.05	-0.02	0.02	0.02
C	0.10	0.00	0.03	-0.05	0.01	0.01	0.05
D	0.05	0.01	0.09	-0.03	0.02	0.02	0.04

(A, B: Position X, C, D: Position Y, Avg: 평균, Std:표준편차)

**V. 결론**

본 논문에서 제안한 ALC블록 자동측정을 위한 알고리즘은 크게 전 처리 과정과 에지 쌍에 의한 측정으로 나뉘는데, 전 처리과정에서는 히스토그램의 이진화 기법과 세션 화를 이용해 보다 정확한 측정이 될 수 있도록 하였으며, 두께측정 과정에서는 본 논문에서 3가지 방법이 새로이 제안되었다. 본 논문에서 제안한 문턱값 자동 선택을 이용한 마스크 기법으로 일반적인 마스크 기법에 비해 보다 나은 윤곽선 검출을 시행할 수 있었으며, 블록을 수작업으로 측정하는 방법에 비해 이미지 한 장만으로 제안한 측정방법을 이용해 평균 0.6초 이내로 결과를 얻을 수 있었고 기존

의 수동식의 측정자가 0.05Cm의 측정단위 한계를 갖는데 비하여, 픽셀당 측정값이 0.1565Cm, 실험결과의 측정단위가 0.01Cm 로서 수동에 비해 상당히 향상되었으며 평균 0.6초의 시간에 약 98% 이상의 정확성을 얻을 수 있었다. 기존 방법에 비해 자동화, 고속화 효과를 기대할 수 있다. 또한, 기존 영상처리기법 중 통계적 모멘트를 사용한 경우 어느 정도 에지가 보장되어 있는 경우는 매우 유용한 방법이라 할 수 있으나, 그러나 노이즈가 많은 경우와 에지의 누실이 비교적 큰 본 실험의 경우에는 본 논문에서 제안한 에지쌍 측정 방법보다 결과가 좋지 않았다. 그러나, 측정부위에 일정한 조명을 주지 않았으므로 생기게 되는 에지 누실이 50%이상일 경우 이미지 보정작업의 한계가 있었다.

pp965-980, 1992.

- [8] "Matrox Inspector User Guide", version4, Matrox Electronic System Ltd. 2002.

### 참고문헌

- [1] Eugene Fink and Michael Heath, "Image-Processing Projects for an Algorithms Course" International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Volume 15, Issue 5, August 2001, Pages 859-868
- [2] A.M.Darwish and A.K. Jain, "A Rule Based Approach for Visual Pattern Inspection" IEEE Trans, on pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.1, Jan. 1998
- [3] Lijun Ding and Ardeshir Goshtasby, "On the Canny edge detector" Pattern Recognition, Volume 34, Issue 3, March 2001, Pages 721-725
- [4] Ardeshir Goshtasby and Hai-Lun Shyu "Edge detection by curve fitting, Image and Vision Computing" Science Direct Volume 13, Issue 3, April 1995, Pages 169-177
- [5] Alan Watt, Fabio Policarpo "The Computer Image" ADDISON-WESLEY, 1998.
- [6] 이문규, 이정화, "2차원 영상의 좌표보정을 위한 카메라 오차보정", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회. 1997. 포항공과대학교
- [7] 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,