

카메라를 이용한 ALC 블록의 치수계측 및 불량검사 자동화 시스템 개발

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

허경무, 김성훈
(Kyung Moo Huh and Seoung Hoon Kim)

Abstract : A system design technique of automatic thickness measurement and defect inspection system, which measures the thickness of the ALC(Autoclaved Lightweight Concrete) block and inspects the defect on a real-time basis is proposed. 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 this system was analyzed by a devised algorithm, specially designed for the enhanced measurement accuracy. For the realization of the proposed algorithm, the preprocessing method that can be applied to overcome uneven lighting environment, an enhanced edge decision method using 8 edge-pairs with irregular and rough surface, the unit length decision method in uneven condition with rocking objects, and the curvature calibration method of camera using a constructed grid are developed. The experimental results, show that the required measurement accuracy specification is sufficiently satisfied using our proposed method.

Keywords : image processing, thickness measurement, defect inspection, edge decision, curvature calibration

I. 서론

기존 ALC 블록의 계측에 대한 분석은 중간 단계와 검사 단계에서의 각종 치수 계측 및 보안을 기존의 일반 계측기 등으로 일일이 측정하여 수행하고 있는 바 육안에 의한 주관적인 형태로 이루어지고 있으므로, 사람의 수작업에 의존할 수밖에 없고, 이에 따라 작업시간의 증대뿐만 아니라 일정 샘플만을 검사할 수밖에 없는 점 등 측정 데이터의 부정확성 및 정밀도가 부족하며, 서로 다른 분석자 사이에 의견이 갈지 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 고성능의 하드웨어 장비가 아닌 일반적으로 사용되는 개인용 컴퓨터와 CCD 카메라를 이용하여 치수계측 및 불량검사를 할 수 있는 방법을 제안하였다. 입력영상의 전처리과정을 통해 파손부위를 판별하고 동시에 블록간의 상하 경사도, 두께의 불균일성, 그리고 불량품 여부를 판별할 수 있도록 하기 위해 입력이미지에서 블록에 대한 에지만을 추출하여 보정작업을 거쳐 8개의 에지추출 쌍을 이용하여 블록의 두께와 경사도를 찾아낼 수 있었으며, morphology적 기법을 이용해 파손부위를 판별해낼 수 있는 시스템을 개발하였다. 제안한 자동 측정 알고리즘을 통해 평균 0.8초의 시간에 약 99% 이상의 정확성과 조명조건이 밝을 때와 어두울 때에 관계없이 일정한 실험결과를 얻을 수 있었다.

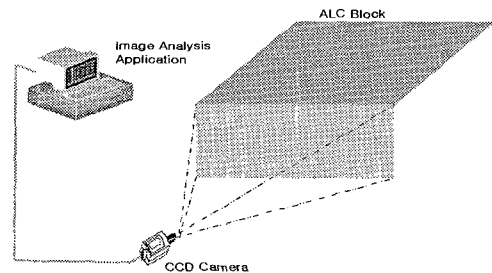


그림 1. 이미지 획득을 위한 시스템 구성.

Fig 1. Outline of an image acquiring system.

II. 입력 영상의 전처리 과정

본 장에서는 입력 이미지를 고주파 필터를 이용해 더 날카로운 영상으로 보정하고, 입력 이미지의 다양한 밝기에 적응하기 위한 문턱값을 결정하고 기존 마스크 기법을 변형하여 기존 소벨 마스크보다 나은 에지를 추출하기 위한 전처리 과정을 보여준다.

1. 고주파 필터

고주파 강화 필터링은 입력 영상에서의 잘못된 초점에 의해 흐려진 부분을 영상내의 저주파 성분은 손대지 않고, 고주파 성분을 강화함으로써 출력영상을 더 날카롭고 시각적으로 더 좋은 영상으로 만든다.[1].

2. 문턱값 결정

본 실험을 위해 그림 1.과 같이 구성된 시스템으로부터 입력된 칼라 영상에서 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 입력이미지로부터 색상 성분을 없애고 조명의 휘도 정보를 찾아낸다[2].

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

Level은 이미지상의 물체의 평균 그레이 레벨[0~255]을 나타내고, i 는 가공 물체의 픽셀의 수, R, G, B 는 가공 물체의 픽셀들의 R, G, B 레벨 값을 나타낸다. 다음의 표 1은 본 실험에서 사용되어진 이미지들의 레벨값에 따라 최적화된 문턱값을 나타낸 것이다.

표 1. Level 값에 대한 문턱값.

Table 1. Threshold value of level.

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

3. 히스토그램의 평활화

명암 값의 분포가 한쪽으로 치우치거나 균일하지 못한 영상은 히스토그램의 평활화 처리에 의해 명암값의 분포를 균일화시킴으로서 영상을 향상 시킬 수 있다. 따라서 평활화를 수행한 히스토그램은 보다 균일한 분포를 가지게 되며 다음과 같은 3단계를 거친다.

- 히스토그램을 이용한 명도값의 빈도수를 계산한다.
- 구한 빈도수를 이용하여 축척 히스토그램 값을 구하고 정규화시킨다.
- 정규화된 축척 히스토그램을 그레이 레벨값으로 매핑한다.

(2)는 축척 히스토그램의 정규화 식이다.

$$k_i = \frac{g_{max}}{n_i} H(i) \quad (2)$$

여기에서 n_i 는 영상에서의 픽셀의 총 갯수(256x256)이고, g_{max} 는 명도의 최대값(256)이며, $H(i)$ 는 위에서 구한 축척 히스토그램이다.

4. 편미분 연산자

영상에서 기울기를 그래디언트(gradient)라고 하는데 이 크기를 구하면 윤곽선을 찾을 수 있게 된다. 1차 미분 또는 2차 미분 과정에서 본 것과 같이 밝기의 차가 급격히 변화하는 곳에서 그래디언트의 크기는 크게 나타나게 되며, 그래디언트의 크기는 (3), (4)를 통해 구하여진다. 여기서 영상 $f(x, y)$ 의 위치가 (x, y) 점이다. (5)와 같이 간단히 하여 사용하기도 하는데 이 식은 계산량도 적고 직관적인 관독이 가능하므로 민감한 경우의 에지 검출이 아니라면 프로그래밍 하는데 매우 편리하다.

$$\nabla F = \begin{matrix} G_x \\ G_y \end{matrix} = \begin{matrix} \frac{\delta f}{\delta x} \\ \frac{\delta f}{\delta y} \end{matrix} \quad (3)$$

$$\nabla f = mag(\nabla F) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

$$\nabla f \approx G_x + G_y \quad (5)$$

다음으로 그래디언트의 방향 역시 중요한 값인데, 방향값은 영상 안의 여러개의 윤곽선들 중에서 윤곽선을 구분하는 기준이 된다. 즉 방향값이 서로 같은 윤곽선은 하나의 윤곽선으로 구분되어진다. 그래디언트의 방향값은 (6)에 의해서 구해진다.

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (6)$$

5. 에지검출에 있어서 기존 마스크기법의 변형

잡음에 민감한 특성은 해결하면서, 원하는 윤곽선을 정확히 얻어내기 위해 본 논문에서는 소벨 마스크를 기반으로 캐니 마스크를 변형한 마스크 기법을 사용하였다. 기존의 에지 추출방법은 소벨마스크나 캐니 검출필터를 그대로 사용하였으나, 본 논문에서는 기본적으로 Canny 에지검출 방법을 사용하되 이미지의 그레이레벨값을 고려한 문턱값을 적용하여 노이즈를 억제하고 에지검출의 효율성을 높이고 록 하였다.

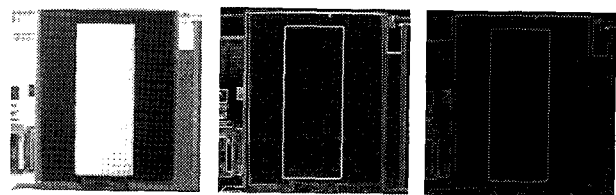
소벨 에지 검출기는 비선형 에지 검출 기법으로써 소스 이미지로 $a \in R$ 이 주어지고, a_0, a_1, \dots, a_7 은 (i, j) 의 8개의 이웃한 픽셀값을 뜻하며 다음과 같다. 소벨 에지의 크기 $m \in R^x$ 은 $m(i, j) = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ 로 주어진다. 여기에서 (7)과 (8)에 의해서 그래디언트 디렉션 이미지 d 는 (9)로 주어진다.

$$u = (a_5 + 2a_6 + a_7) - (a_1 + 2a_2 + a_3) \quad (7)$$

$$v = (2a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + 2a_4 + a_5) \quad (8)$$

$$\vec{d}(i, j) = \tan^{-1} \left(\frac{u}{v} \right) \quad (9)$$

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. 위치 측정값(localization)은 실제 에지로부터 위치된 에지까지의 거리의 역수이며, 이 값 또한 가능한 커야 하는데, 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.



(a)실제 영상 (b)소벨 마스크 (c)제안하는 마스크
그림 2. 소벨 마스크와 제안된 마스크 기법과의 비교.

Fig 2. Comparison between sobel mask and the proposed mask.

6. 에지 추적을 이용한 잡음 제거

그림 3에 보이는 바와 같이 실험에서 블록 윤곽선의의 잡음과 그림자로 인한 불필요한 잡음 에지와 윤곽선을 제거하기 위해 지정된 레벨 이상의 문턱 값을 넘는 부분을 외곽선의 시작이라고 가정하고 선정된 픽셀을 중심으로 놓고 3X3 박스의 픽셀을 조사하여 박스 안에 3개 이상의 픽셀이 존재할 때만 윤곽선의 동일선상에 있는 점으로 선정하도록 하여, 노이즈를 이미지상에서 식별될 수 있는 또 다른 외곽선으로 오판하지 않도록 하였다.

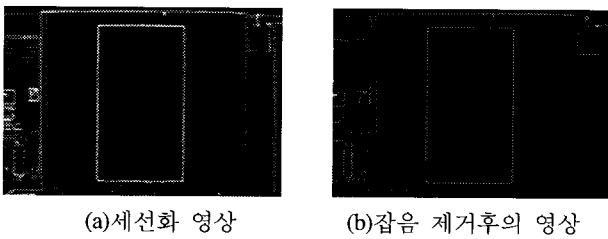


그림 3. 세선화 영상과 잡음 제거후의 영상.
Fig 3. Thinning image and noise reduced image.

III. 치수계측과 불량검사를 위한 알고리즘

본 장에서는 ALC 블록의 치수계측을 향상시키기 위해 카메라에 의한 곡률을 효과적으로 보정하고 형태학적 기법을 이용한 파손 및 균열 측정 방법과 8개의 에지 쌍을 이용한 경사도 및 두께측정 방법을 제안한다.

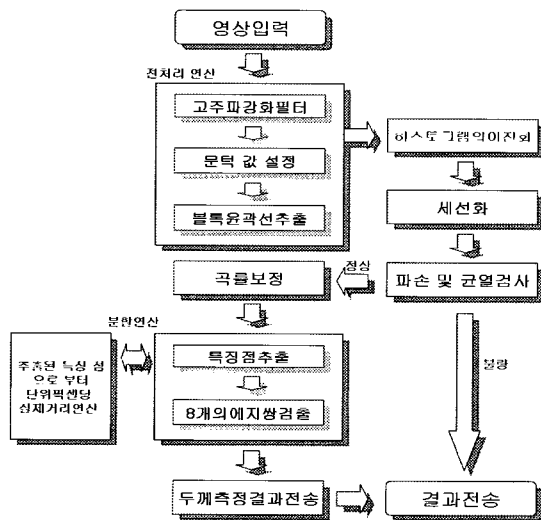


그림 4. 치수계측 및 불량검사 알고리즘의 흐름도.
Fig 4. Flowchart of measurement and defect inspection.

1. Morphology를 이용한 파손 및 균열 검사

영상에 담긴 내용 중에서 그 모양을 분석하여 정량적으로 나타내기 위해서는 수학적 기법의 하나인 morphology적 기법을 이용하기도 하는데, 본 연구에서는 그중 이진팽창(Binary dilation)기법과 이진부식(Binary erosion)기법을 반복 적용시키는 방법을 이용해 파손 및 균열 부위를 검출하였다. ALC 블록의 경우 재료의 특성으로 인해 그 표면이 매우 거친 성질을 띄게 되며, 이러한 특성은 불량 부위에 있

어서 특히 조명에 민감하게 반응하게 되어 파손 및 균열부위에 대해서 조명의 산란이 특히 많이 관찰되었다. 따라서 우리는 실험을 통하여 이진화된 영상에 팽창연산을 반복 실행시켜 파손부위에 대한 유사 화소들을 병합시킨 후 다시 부식연산을 반복적용시킴 으로서 파손부위가 병합된 단일화소 영역으로 결합되게 하여 결합부위의 정량적 검사가 가능하도록 제안하였다.

1.1. 이진팽창과 이진부식

영상을 물체가 있는 영역과 배경 영역으로 구성되는 것으로 생각하면, 팽창기법은 물체 영역을 넓히는 것이며, 부식기법은 물체 영역을 줄이면서 역으로 배경 영역을 넓히는 것이다. 이진영상에서 한 부위에서 전부 1인데 한 화소만 영상 잡음으로 추정되는 0이라면 이 기법을 사용해서 잡음을 제거할 수 있을 것이다[5]. 또 한 물체내의 작은 내부 공간이나 단일 화소 너비의 틈새 제거 또는 본 논문에서 제안하는 바와 같이 파손 부위에 대한 영상적 잡음들을 병합시킴으로써 블록 파손 부위의 정량적 검사가 가능하도록 할 수도 있다.

1.2. 파손 및 균열부위의 정량화

본 장에서는 영상 데이터의 경계값(threshold) 처리를 통해 불량판별의 검출방법에 있어서 정량적인 값을 설정함으로써 그 판별기준을 객관화하는데 중점을 두었다.

경계값 처리란 (10)에 나타낸 바와 같이 입력 영상의 각 화소에 대해서 명도가 일정값 이상의 경우에 대응하는 출력 영상의 화소값을 '1'로서 그이외의 경우는 '0'으로 하는 것이다. 여기서, $f(x, y)$, $g(x, y)$ 는 각각 영상처리 전후의 (x, y) 에 있는 화소의 농도 값을, t 는 경계값을 나타낸다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (10)$$

현재 작업공정상에 있어서의 균열 및 파손 검사에 대한 그 기준은 대단히 모호하다. 실제로 파손에 대해서는 10x10x6cm 이상의 영역이 검출될 때를, 균열에 대한 검사의 경우 60cm의 거리에서 시각상으로 그 균열이 인지 가능한 경우 그 블록에 대해 불량판단을 결정하고 있다. 이러한 경우는 검사자의 시력이나 건강상태에 따라 그 판별에 대한 여부는 상당부분 변하게 된다.

영상에서 1픽셀의 간격이 0.2469cm의 픽셀폭을 가지게 되는데 대략 검사자의 시각으로 60cm 거리에서 균열이 검출되기 위해서는 약 0.1cm 이상의 특이점이 관찰되어야 시각으로 확인이 가능하였다. 따라서 본 실험에서는 약 0.1cm 이상이 되는 균열을 검출해 내기 위해서 입력영상에 대해 경계값을 변화시켜가며 1 픽셀 내에서 유사점이 관찰될 수 있는 경계값을 산출하였으며, 실험을 통해 결정된 경계값인 $t = 85$ (그레이레벨:0~255)를 기준으로 이 경계값 이상의 유사 픽셀을 균열검출의 기준으로 설정하였다.

이 과정에서 파손 및 균열에 대해서 두 경우 모두 검색된 유사영역이 이루는 픽셀의 수를 계산하여 이 군집이 이루는 픽셀수가 블록의 외곽선으로부터 12픽셀($\approx 3\text{cm} = 12\text{픽셀} \times 0.2469\text{cm}$)이상이 계속하여 검색될 경우를 파손 및 균열로 결정하여 검출하였다.

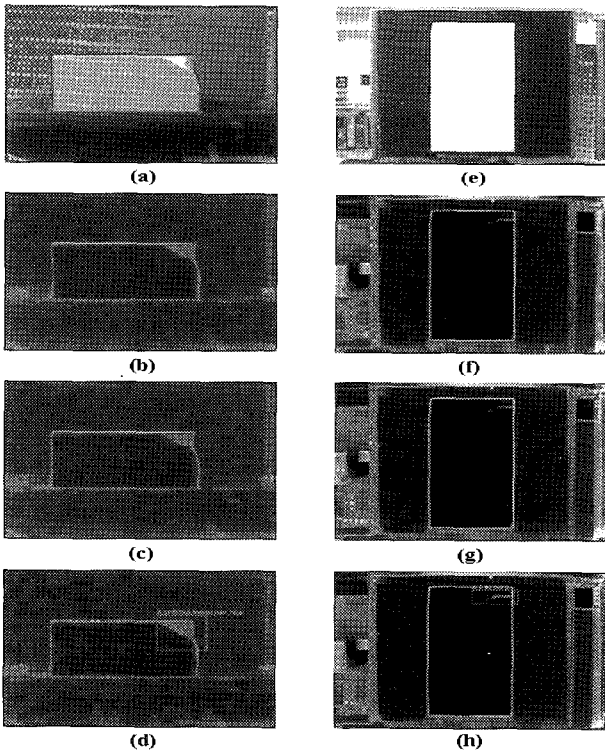


그림 5. 블록 파손(a,b,c,d) 및 균열 검출(e,f,g,h) 영상.
Fig 5. Images of broken and cracked region of ALC block.

그림 5에서 보이는 바와 같이 입력된 영상으로부터 전처리 과정을 거쳐 (b), (f)의 형태학적 기법에 의해 블록의 균열 및 파손 부위를 검출하고 (c), (g)의 히스토그램의 평활화 과정을 거친 후 (d), (h)의 결과 영상에서 보는 바와 같이 유사영역을 검출해 내게 된다.

2. 두께 측정을 위한 8개의 에지쌍

영상 내에서의 압출된 블록의 두께는 영상의 최소단위인 픽셀의 갯수로 측정하고 이로부터 실제 블록의 두께를 길이 단위인 cm으로 환산하였다. 블록과 CCD 카메라 간의 거리와 줌렌즈의 배율은 픽셀 갯수당 두께 길이가 0.2469cm/pixel이 되도록 고정하였으며 작업환경에 따라 조명조건이 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 조명에 민감하지 않는 두께 측정 알고리즘을 제안하였다.

블록간의 상하 경사도, 두께의 불균일성은 ALC 블록의 품질에 가장 중요한 요소이다. 일반적으로 수평 또는 수직 방향으로 에지검출을 수행하는 경우 작업환경에 따라 블록 표면의 곡률, 분진이나 요철로 인해 에지결정에 있어서 결정점의 불 균일과 조명에 의한 음영 등으로 인한 예기치 않은 측정불량이 시행되게 된다. 본 논문에서는 이러한 작업 현장에서 야기되는 조명조건의 불규칙한 변화와 공장 내의 분진, 기계진동 등으로 인한 파손이나 이물질의 점착 등으로부터 영향을 최소화시키고, 상하 경사도 측정의 기준이 되는 향상된 수평 수직 에지 검출 알고리즘을 제안하였다.

치수계측의 정밀도를 높이기 위해 그림 6에서 보는 바와 같이 블록이 이루는 수직, 수평방향의 윤곽선에 대해 이미 지상에 수직, 수평 각각 4개의 분할된 영역에 대해 각각 4쌍의 에지검출점을 배열하여 각 에지쌍이 이루는 직선을 에

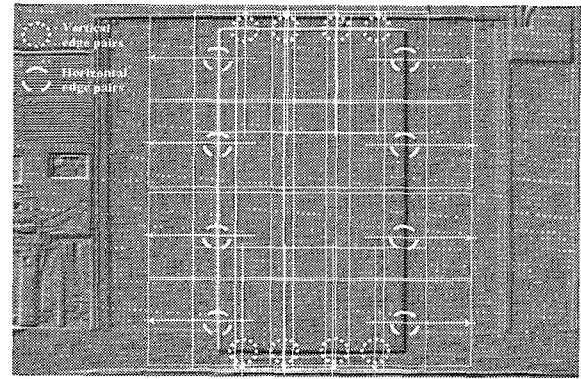


그림 6. 8개의 에지쌍 배열 형태.
Fig 6. Pattern of an arrayed 8 edge pairs.

지로 결정하게 함으로써 검출된 에지의 신뢰도를 높였으며, 이로써 단일에지를 통해 검출되는 기존의 에지검출 기법에 비해 요철 등으로 인한 측정면의 불규칙에 의한 측정불량을 최소화 시켰으며, 경사도 및 두께의 불균일성을 검사할 수 있도록 제안하였다.

3. 카메라의 곡률보정에 의한 치수오차 보정

카메라의 오차보정은 카메라의 광학적 특성과 내부구조 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 일차적인 목적은 카메라를 통하여 입력된 대상물에 대한 영상의 컴퓨터 2차원 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 과정이다.

위의 방법들을 정리해보면 그림 7에서 보인 바와 같이 미리 작성된 그리드이미지를 통해 곡률을 가진 영상을 입력 받아 그리드의 각점을 이미 알고 있는 실제 좌표계로 재배치함으로써 곡률이 보정된 이미지를 얻어내게 된다. 이러한 방법은 본 실험과 같은 구조적으로 취약한 공정 환경에서와 같이 카메라를 정밀하게 위치시키지 않더라도 어떤 위치에서나 그리드의 입력 이미지만으로 카메라의 렌즈에 의한 곡률을 보정할 수 있다.

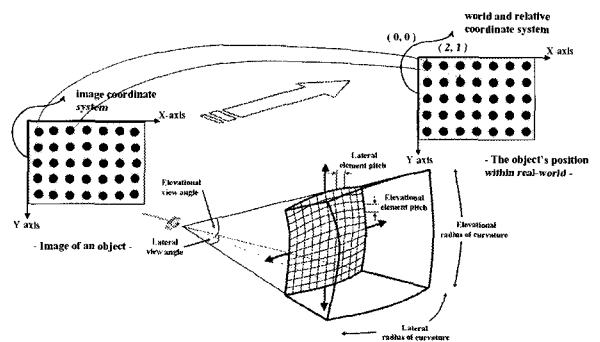


그림 7. 2차원 영상 좌표계의 실제 좌표계로의 보정.
Fig 7. Correction of 2-D image coordinate system to world coordinate system.

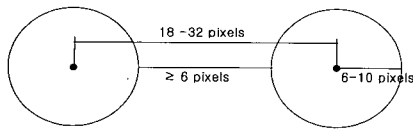


그림 8. 그리드 설계를 위한 기본 원칙.
Fig. 8 General rules for constructing a grid.

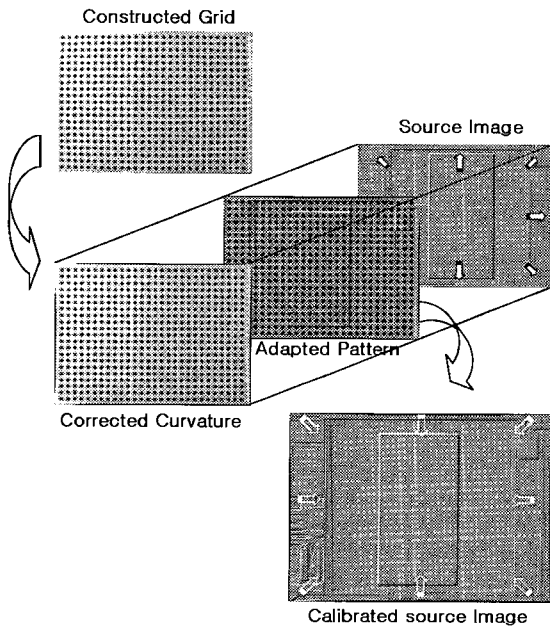


그림 9. 카메라 곡률보정을 위한 프로세스.
Fig 9. Camera curvature calibration process using a constructed grid.

본 연구에서는 곡률보정에 대한 정보를 잃지 않으면서도 계산량은 최소화 하여 빠른 연산결과를 도출해 낼 수 있도록 그리드 설계에 대한 실험적 근사치를 그림 8에서와 같이 제시하였다. 각 원의 지름은 12 픽셀이고 점들 간의 간격은 22 픽셀이다. 그리고 21x28 개의 기준점들은 크기와 모양이 같고 기준점들 간의 간격은 12 픽셀로 구성하였다.

그림 9는 제시한 원칙을 통해 설계된 그리드를 통해 얻어낸 보정패턴을 입력된 영상에 마스크 처리시킴으로서 보정된 이미지를 추출해 내는 과정을 나타낸다.

4. 진동을 고려한 단위길이 결정

샘플취득에 있어 취득조건들의 균일성을 유지하는 것은 전체 개발과정동안에 주목되는 부분이다. 좋은 샘플집합은 비전시스템이 이미지에 대해서 요구할 객체들의 전체적인 범위를 가장 큰 것에서부터 가장 작은 것까지, 최상의 것에서부터 최악의 것까지 확장할 수 있다. 게다가 집합에 있는 샘플들은 캘리브레이션(calibration)되어야 한다. 본 실험의 경우 실제의 ALC 블록 생산과정중에 발생하는 진동에 의한 카메라와 피사체간의 거리오차에 대해서 유연하게 대처할 수 있도록 이미지로부터 특징점을 추출하여 미리 계산된 특징점의 길이 d 에 대한 비례값 β 를 (11)과 같이 단위픽셀에 대한 단위길이에 곱하여 입력된 블록 영상에 적용함으로써 피사체의 흔들림에 의한 치수오차를 (12)와 같이 보정하였다.

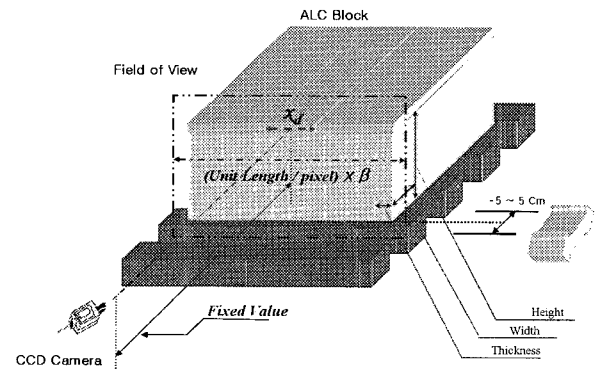


그림 10. 진동을 고려한 단위길이 결정.
Fig 10. Determination of unit length in uneven condition with rocking objects.

$$\beta = X_d / d \tag{11}$$

$$Unit\ length / Unit\ pixels = 0.2469\ cm \times \beta \tag{12}$$

본 실험에서는 실제 제작공정상의 조건을 감안하여 그림 9에서 보이는 블록상판의 특징점으로 이루어진 거리를 비례값 β 로 설정하였다.

IV. 실험 결과

1. 단일블록에의 적용실험

본 실험에서는 실제 ALC 블록의 제작공정을 감안하여 카메라와 가공 물체 사이의 거리를 300cm로 고정하고 실험을 진행하였다. 가공 물체의 영상으로부터 얻은 픽셀단위의 ALC 블록 측정 결과를 거리의 단위인 mm나 cm로 표현하기 위해서는 첫째, 거리를 고정시키고 가공물체를 측정하거나, 둘째, 가공물체의 크기를 알되 거리를 자유롭게 움직일 수 있는 전제를 만족해야 한다. 본 실험에서는 다양한 가공물체의 두께측정을 고속, 자동화하기 위하여 전자의 방법을 선택하였다. 실험에서 쓰인 이미지의 해상도는 640x480 픽셀을 사용하였다. 실제 블록의 생산 공정을 감안하여 300cm의 거리에 카메라를 고정시킨 후 입력받은 이미지의 가로와 세로의 최대 길이는 158cm와 118cm였다. 그러므로 한 픽셀당 0.2469cm를 할당하게 된다. ALC블록의 두께는 픽셀단위의 결과로 산출하여 얻은 후 (13)을 통해 환산할 수 있으며, 기존의 인디케이터를 이용한 결과값과 실험에서 얻어진 결과를 비교하였다.

$$픽셀의\ 개수 \times 0.2469\ cm = 실제거리 \tag{13}$$

1.1. 단일블록에 대한 균열 및 파손 검사 실험

본 실험에서는 1 픽셀의 간격은 0.2469cm 의 픽셀 폭을 가지게 되는데 대략 검사자의 시각으로 60cm 거리에서 균열이 검출되기 위해서는 약 0.1cm 이상의 특징점이 관찰되어야 시각으로 확인이 가능하다. 따라서 그 판별기준을 앞서 설명한 그레이레벨의 경계 값 설정을 통하여 $t = 85$ (그레이레벨)이상, 약 0.1cm 이상의 부분이 검출될 때를 불량으로 판별하여 그 기준을 객관화, 정량화하는데 중점을 두었으며, 그 결과가 그림 11(d)와 그림 11(h)에서 보이는 것과 같이 정미한 균열(균열폭 : 0.1mm, 균열거리 : 7Cm) 및 파

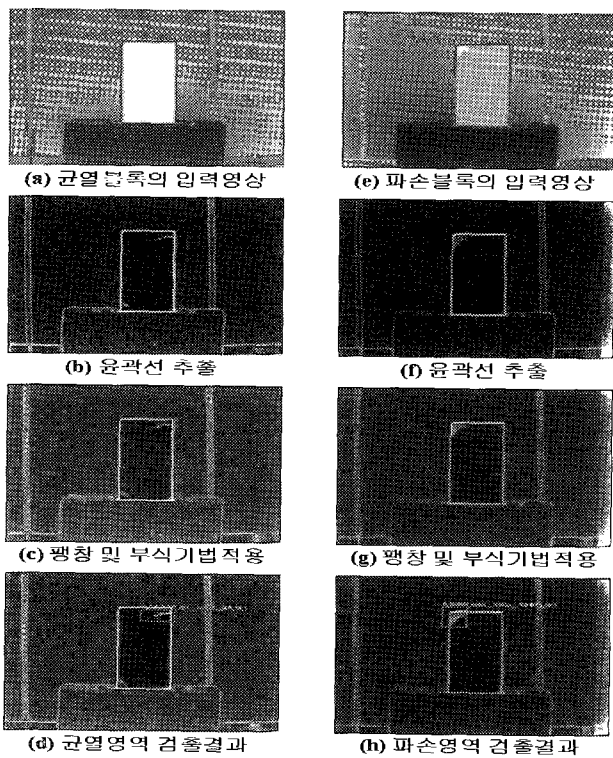


그림 11. 단일블록에 대한 균열(a,b,c,d) 및 파손(e,f,g,h) 검사.
Fig 11. Detection of cracked and broken region in a single block.

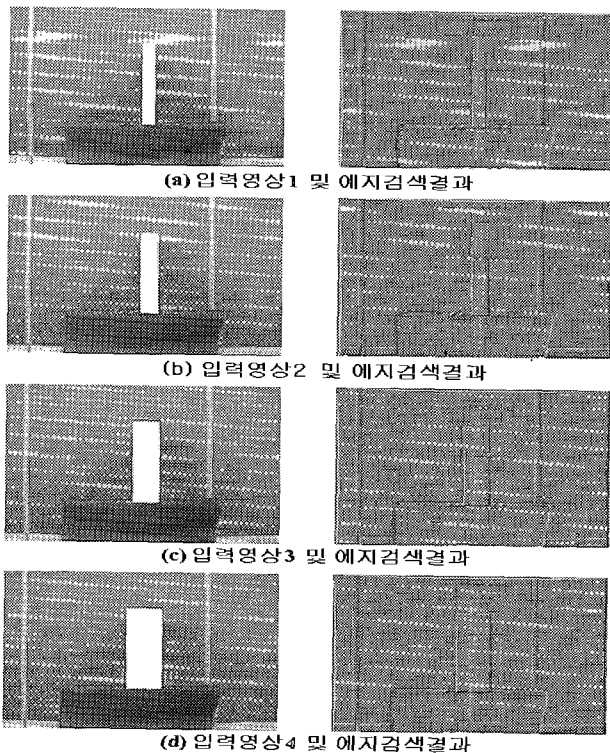


그림 12. 단일블록에 대한 치수계측 검사.
Fig 12. Automatic measurement process for a single block.

손(4x6x5Cm크기의 파손)에서도 손실 없이 검출되어짐을 확인 할 수 있었다.

표 2. ALC 블록의 실 계측값.

Table 2. Actual measurement data of ALC block.

	입력영상1	입력영상2	입력영상3	입력영상4
W	7.7	10.3	15.1	20
W'	7.6	10.3	15.1	20
H	59.5	59.5	59.5	59.4
H'	59.4	59.5	59.5	59.4

(W, W': 블록 넓이 H, H': 블록 높이 입력영상1-4:실험대상)

표 3. 곡률을 가진 입력영상을 이용한 치수계측값.
(괄호안은 실제값과의 오차임)

Table 3. Automatic measurement data of input image with curvature.

	입력영상1	입력영상2	입력영상3	입력영상4
W	8.03 (-0.33)	10.62 (-0.42)	15.7 (-0.60)	20.75 (-0.75)
W'	8.00 (-0.40)	10.66 (-0.36)	15.64 (-0.54)	20.75 (-0.75)
H	61.20 (-1.70)	61.2 (-1.70)	61.21 (-1.71)	61.03 (-1.63)
H'	61.16 (-1.76)	61.22 (-1.72)	61.22 (-1.72)	61.05 (-1.65)

(W, W': 블록 넓이 H, H': 블록 높이 입력영상1-4:실험대상)

표 4. 곡률보정영상의 치수계측값.
(괄호안은 실제값과의 오차임)

Table 4. Automatic measurement data of curvature calibrated image.

	입력영상1	입력영상2	입력영상3	입력영상4
W	7.75 (-0.05)	10.19 (0.01)	15.13 (-0.03)	20.01 (-0.01)
W'	7.71 (-0.11)	10.25 (0.05)	15.07 (0.03)	19.97 (0.03)
H	59.38 (0.12)	59.36 (0.11)	59.44 (0.06)	59.24 (0.16)
H'	59.29 (0.11)	59.41 (0.09)	59.43 (0.07)	59.26 (0.14)

(W, W': 블록 넓이 H, H': 블록 높이 입력영상1-4:실험대상)

1.2. 단일블록의 치수계측 실험

길이를 측정하기 위해서는 표준이 되는 정확한 자가 필요하지만 실제로는 획득하기가 용이하지 않기 때문에 이미 공장에서 수작업 하여 얻은 합격제품의 실측값을 표준값으로 설정하고 이를 제안하는 알고리즘을 통해 자동 계측된 값과 비교하였다.

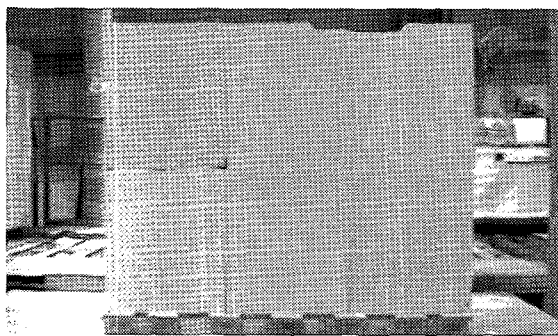
기존 수동 인디케이터 방법으로는 0.5mm 이상의 측정단위를 얻기 힘든 반면, 본 논문에서 제안하는 방법으로는 더욱 개선된 결과를 빠른 시간에 얻을 수 있었으며, 기존의 수작업에 의한 측정결과값과 본 실험결과와의 오차범위는 평균 0.06mm 정도로 나타났다. 실험결과에서는 전 처리과정에서 그림자 영역에 대한 윤곽선이 약간의 차이를 보였으나 윤곽선이 손실되지 않았으므로 세선화 후의 결과는 거의 같았으며, 조명 조건에 대해 공장 환경을 고려해 일반조명을 사용하였다.

2. 제조공정에서의 블록군에의 적용실험

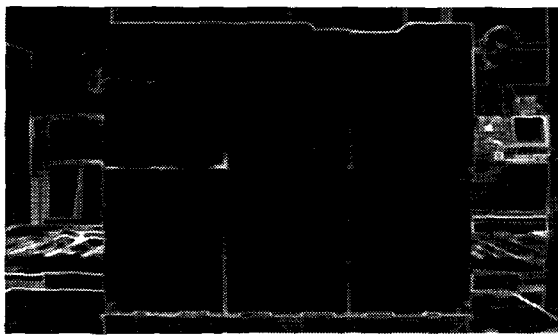
단일블록에 대한 실험결과를 통해 전처리연산과 곡률보정방법의 신뢰성을 확인할 수 있었으며, 치수계측 알고리즘을 실제의 제조공정상의 블록군에 적용하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증해 보았다. 카메라의 설치는 그림 9에서 보인 바와 같으며, 실제 제조공정에 적용하여 실시간으로 그 결과가 피드백 되어 불량이 검출된 경우 다음 블록에 영향을 미치지 않고 해당공정을 즉각 수정하여 불량으로 인한 폐기블록이 발생하지 않도록 미리 해당 공정내의 블록군을 일련의 제조공정으로 되돌려 보내어 재료를 재활용할 수 있도록 ALC 블록의 양생공정 이전에 설치하여 실험을 진행하였다.

2.1. 블록군에 대한 균열 및 파손 검사 실험

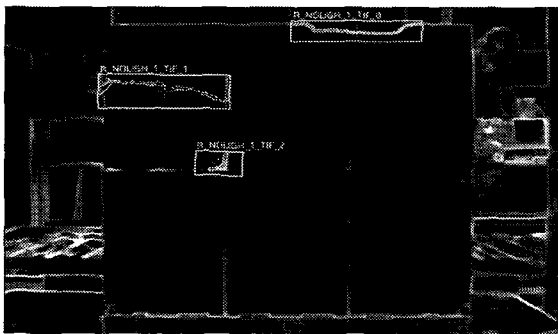
단일블록에 대한 실험에서 알 수 있었던듯이 균열 및 파손 검사에 대한 그 기준은 대단히 모호하며, 그것은 실제 공정에서의 블록군에 대한 실험과정에서도 유사하였다. 다음의 그림 13으로 보아서 알 수 있듯이 공정에서의 검사에서 파손에 대한 경우 블록군을 일정수의 군으로 나누어 제품포장



(a) 입력영상



(b) 전처리 연산 적용



(c) 파손 및 균열영역 검출

그림 13. 실제공정에 적용시킨 파손 및 균열 검사결과.
Fig 13. Inspection results applied to real process.

을 하게 되는데, 균열이나 공정과정에서 생긴 기계에 의한 큰 파손부위를 제외하고는 상, 하역작업을 위한 수작업에 의한 블록모서리 부분의 경미한 파손이 대부분이었다.

2.2. 블록군에 대한 치수계측 실험

그림 13과 표 5의 결과에서 알 수 있듯이 공정의 작업환경상의 이유로 인해 조명조건 및 진동의 영향으로 인해 단

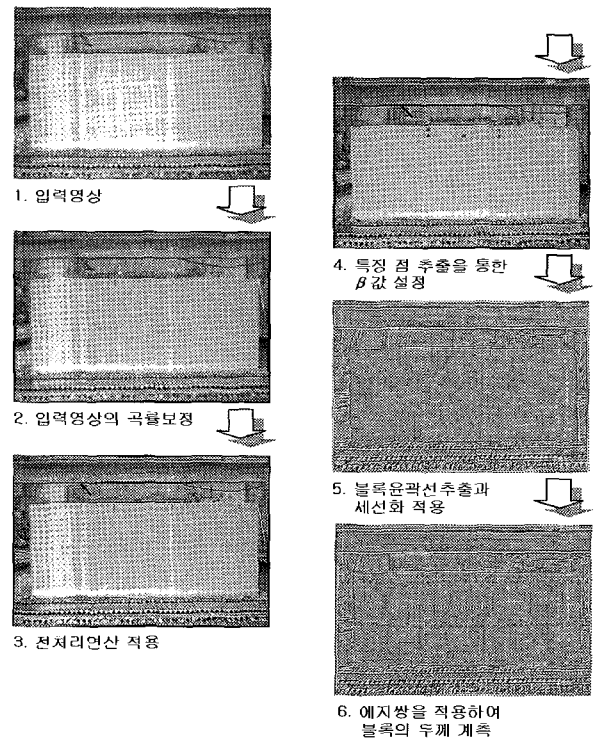


그림 14. 블록의 두께측정을 위한 과정.

Fig 14. Thickness measurement process for ALC block.

표 5. 제안한 알고리즘에 의한 자동 측정값.
(괄호안은 실제값과의 오차임)

Table 5. Automatic measurement data by the proposed algorithm.

	입력영상a	입력영상b	입력영상c	입력영상d	입력영상e
블록1	20.03 (-0.01)	20.00 (0.00)	20.09 (-0.04)	19.91 (0.04)	20.06 (-0.01)
블록2	20.16 (0.01)	20.15 (0.05)	20.12 (0.08)	20.11 (-0.01)	20.06 (-0.04)
블록3	20.21 (0.00)	20.20 (0.03)	20.21 (0.09)	20.20 (0.05)	20.21 (0.00)
블록4	20.05 (0.01)	20.03 (-0.03)	20.03 (0.02)	20.09 (0.06)	20.06 (-0.01)
블록5	19.90 (0.03)	19.90 (0.05)	19.90 (0.05)	19.84 (0.03)	19.88 (0.02)
블록6	19.79 (0.06)	19.78 (0.07)	19.78 (0.12)	19.79 (0.09)	19.76 (0.14)
블록7	20.13 (-0.03)	19.90 (-0.10)	19.85 (-0.10)	19.86 (0.05)	20.12 (-0.13)
H	59.85 (0.02)	59.84 (0.04)	59.82 (0.03)	59.82 (0.00)	59.84 (-0.01)
H'	59.88 (0.02)	59.87 (0.03)	59.91 (-0.04)	59.91 (0.03)	59.91 (-0.03)

(입력영상a-e: 실험대상, 블록1-7: 각 블록의 두께, H, H': 각 입력이 미지의 양 에지쌍 측정 점에서의 블록의 높이, 단위: cm)

일블록에 대한 계측결과보다는 정밀도가 조금 떨어진 것을 볼 수 있다. 그림 14와 같은 순차 프로세서에 의해 계측검사가 수행되게 되며, 결과를 통해서도 알 수 있듯이 제조될 블록의 종류가 바뀐 후 재정렬된 강선들의 폭은 휘의 정도가 해당 공정의 관리자가 인지할 수 있을 정도로 과다하거나 굵기가 있지 않는 경우를 제외하고는 불량일지라도 계속해서 생산될 수 있음을 인지할 수 있다. 가장 큰 오차가 0.14cm 정도임을 감안한다면 본 실험은 99.3%이내의 오차값을 보장하므로 0.3cm(1.5%) 이내의 비교적 정밀도가 높은 수출용블록의 검사에도 설계한 시스템이 적합함을 알 수 있었다.

V. 고찰 및 결론

본 연구에서 설계한 시스템의 실제공정에서의 적용에 있어서 작업공정상의 환경조건으로 조명의 불균일에 의한 해석의 어려움과 실제 적용의 복잡함으로 인해 많은 어려움이 따랐다.

본 연구에서 제안한 방법에 의해, 입력받은 이미지 한 장만으로 블록군 단위의 치수계측결과를 평균 0.8초 이내로 얻을 수 있었고 실험결과와 측정단위가 0.01cm로서 0.05cm의 측정단위 한계를 갖는 수동측정에 비해 상당히 향상되었다. 또한 블록의 치수불량의 기준오차가 0.3cm인 점을 비교해 볼 때 결과를 통해 약 99%이상의 정확성을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] E. Fink and M. Heath, "Mage-processing projects for an algorithms course," *Int'l J. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 15, no. 5, pp. 859-868, Aug. 2001.
- [2] A. M. Darwish and A. K. Jain, "A rule based approach for visual pattern inspection," *IEEE Tr. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 10, no. 1, Jan. 1998.
- [3] L. Ding and A. Goshtasby, "On the canny edge Detector," *Pattern Recognition*, vol. 34, no. 3, pp. 721-725, Mar. 2001.
- [4] A. Goshtasby and H. Shyu, "Edge detection by curve fitting, image and vision computing," *Science Direct*, vol. 13, no. 3, pp. 169-177 Apr. 1995.
- [5] A. Watt and F. Policarpo, "The computer image," addison-wesley, 1998.
- [6] 이문규, 이정화, "2차원 영상의 좌표보정을 위한 카메라 오차보정," 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 1997.
- [7] J. Weng, P. Cohen, and M. Herniou, "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation," *IEEE Tr. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 10, pp. 965-980, 1992.



허경우

1956년 9월 1일생. 1979년 서울대학교 전자공학과 졸업, 한국과학기술원 전기 및전자공학과 석사(1981), 동대학원 박사(1989). 현재 단국대학교 전자컴퓨터 학부 전자공학전공 부교수. 주요 연구 분야는 3차원 디스플레이, 로봇트 제

어, 검사 자동화, 시스템 제어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털제어기 설계 및 시뮬레이션.



김성훈

1972년 10월 11일생. 2001년 단국대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(2003). 관심분야는 머신비전, 영상처리.