

머신 비전을 이용한 ALC 블록 생산공정의 자동 측정 시스템 개발

Development of Automatic ALC Block Measurement System Using Machine Vision

엄 주 진, 허 경 무*

(Ju Jin Eom and Kyung Moo Huh)

Abstract : This paper presents a machine vision system, which inspects the measurement of the ALC block on a real-time basis in the production process. The automatic measurement system was established with a CCD camera, an image grabber, and a personal computer without using assembled measurement equipment. Images obtained by this system was processed by an algorithm, specially designed for an enhanced measurement accuracy. For the realization of the proposed algorithm, a preprocessing method that can be applied to overcome uneven lighting environment, boundary decision method, unit length decision method in uneven condition with rocking objects, and a projection of region using pixel summation are developed. From our experimental results, we could find that the required measurement accuracy specification is sufficiently satisfied by using the proposed method.

Keywords : image processing, machine vision, measurement, edge decision, curvature calibration

I. 서론

ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)는 고온 고압에서 증기 양생시킨 경량 기포 콘크리트로 안정된 결정질을 가진 건축자재로서 우수한 성능이 인정되어 세계 각국에서 널리 쓰이고 있다. 제조 공정은 원료를 분쇄하여 형틀(mold)에 세트된 후 발포되어 케이크 상태로 굳어진 후 탈형하여 절단되게 된다. 그 후에 Autoclave 양생으로 ALC 블록이 완성된다. 기존의 ALC 비전 검사는 파손 및 균열검사와 두께 치수검사만을 수행하였고 실제 공정에 적용시 정밀도(accuracy)가 부족하여 시스템의 신뢰성이 낮았다.

본 논문에서 제안하는 방법은 정밀도는 향상되면서 고가의 특수한 장비 없이 개인용 컴퓨터와 CCD 카메라를 이용하여 블록의 각종 치수(길이, 높이, 두께) 측정을 전부 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 한 장의 이미지만으로 파손부위를 판별하고 동시에 블록간의 상하 경사도와 각종 치수의 불균일성을 전부 판별 할 수 있도록 하기위해 입력이미지에서 블록에 대한 에지만을 추출하여 보정작업을 거쳐 블록의 치수를 검사할 수 있도록 하였으며, 제안한 자동 측정 알고리즘을 통해 평균 0.8초의 시간에 약 99.7% 이상의 정밀도와 조명조건이 밝을때와 어두울때에 관계없이 일정한 실험 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 양생되기 전에 자동검사를 행함으로써 원료의 재활용이 가능하여 원가 절감의 효과도 얻을 수 있다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 12. 29., 채택확정 : 2004. 3. 17.

엄주진, 허경무 : 단국대학교 전자공학과

(typek76@empal.com/huhkm@dku.edu)

II. 입력 영상의 전처리 과정

본 장에서는 입력 이미지를 고주파 필터를 이용해 더 날카로운 영상으로 보정하고, 입력 이미지의 다양한 밝기에 적응하기 위한 문턱 값을 결정하고 개선된 캐니 에지 검출 알고리즘을 적용하여 보다 나은 에지를 추출하기 위한 전처리 과정을 보여준다.

1. 영상 정보의 획득

실제 제작공정에서는 그림 1과 같이 블록군을 형성하고 있으며 가로 크기는 6m이고 세로는 60cm이다. 이러한 블록군을 주문 상태에 따라 절단 와이어로 30cm간격으로 20개 또는 40cm간격으로 15개의 블록으로 절단한다. 이 블록간의 간격이 단일 ALC 블록의 두께와 높이에 해당하고 세로의 크기가 길이에 해당한다. 본 시스템은 이 블록군을 그림 1과 같이 5대의 카메라를 통해 자동검사공정을 수행하게 된다. 높이 측정부의 경우 두께부와 같이 1대의 카메라를 사용할 경우 카메라의 FOV의 가로의 크기가 6m 이상이 되

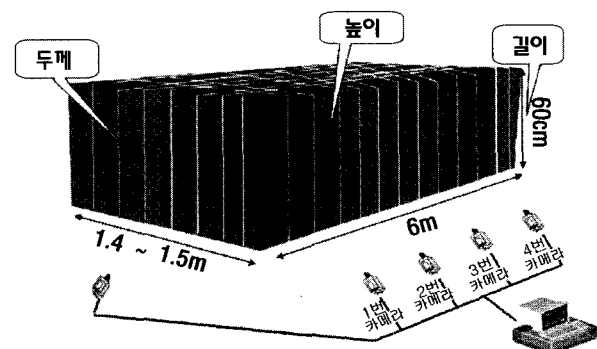


그림 1. 이미지 획득을 위한 시스템 구성.

Fig. 1. Outline of an image acquiring system.

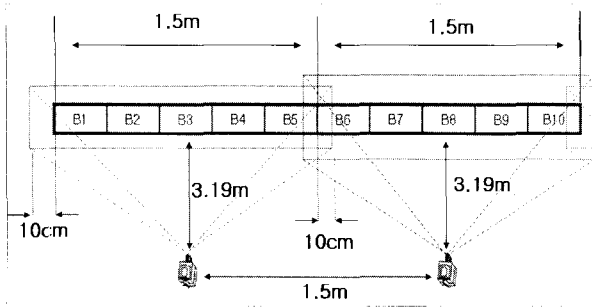


그림 2. 카메라의 배치도.

Fig. 2. Collocation of cameras.

어야 한다. 표준적인 RS-170(NTSC) 카메라의 경우에는 640x480의 해상도에 제한을 받게 된다. 이 경우에 대상 물체와 카메라의 거리가 크게 늘어나 실제 공장 환경에 적용하기가 어렵고, 1픽셀당 단위길이 역시 크게 커져 본 연구의 목표인 정밀한 치수 측정이 이루어질 수 없다. 보다 높은 해상도를 얻기 위해서는 고해상도 카메라를 채용해야 하는데, 이는 보통 4배 이상의 재료비 상승을 야기하므로, 가능하면 여러 대의 표준 카메라를 사용하는 방식을 추구하는 것이 효과적인 시스템 구성 방법이라 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 높이 측정부에 4대의 카메라를 일정 간격으로 배치하여 영상을 분할하여 개별적으로 측정함으로써 해상도를 높이는 방법을 제안한다. 그림 2은 높이 측정부의 카메라의 배치도를 나타낸다. 대상 물체와 카메라의 거리는 3.19m로 고정하여 각 카메라 마다 동일한 FOV(Field of View)를 가지도록 설계하였으며 횡축으로 카메라의 간격변화를 주어 생산 공정에서 제작되는 블록의 높이 변화에 유연하게 대체할 수 있다. 본 실험에서는 높이 치수가 30cm인 블록을 대상으로 실험하였다.

2. 입력 이미지의 반전

입력 받은 이미지의 블록의 에지부분은 주변보다 어둡다. 실제 영상처리 연산을 수행시 어두운 경계 부분보다는 밝은 경계 부분을 가진 영상을 처리하기가 수월하기 때문에 NOT 연산을 수행해서 에지 부분을 주변보다 밝게 만든다. 또한 치수 계산을 위한 경계점 추출시 보다 나은 결과를 보였다.

3. 고주파 필터

일반적인 고주파 강화 마스크는 표 1에 보이는 바와 같이 -1로 둘러싸여 있고, 중앙 위치에 9가 놓여진다.

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.[2].

4. 문턱값 결정

본 실험을 위해 그림 1과 같이 구성된 시스템으로부터 입력된 칼라 영상에서 픽셀의 R, G, B 레벨 값은 색상 정보 뿐만 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 2은 본 실험에서 사용되어진 이미지들의 레벨값에 따라 최적화된 문턱값을 나타낸 것이다.

표 1. 고주파 강화 마스크.

Table 1. High pass filter.

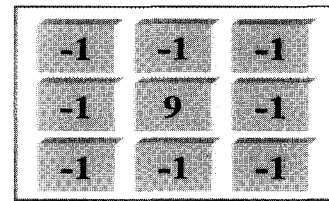


표 2. Level 값에 대한 문턱값.

Table 2. 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

5. 히스토그램의 평활화

명암 값의 분포가 한쪽으로 치우치거나 균일하지 못한 영상은 히스토그램의 평활화 처리에 의해 명암값의 분포를 균일화시킴으로서 영상을 향상시킬 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.

6. 개선된 캐니 에지 검출기

입력된 이미지를 통해 측정 작업을 수행함에 있어 윤곽선 검출(edge detection)이 선행되어야 한다. 이를 통해 측정의 해석이 이루어지므로 에지 추출의 정확도는 매우 중요하다. 소벨 마스크는 연산 후 문턱 값을 이용하여 잡음을 제거할 수는 있으나, 잡음에 민감한 특성은 해결하면서, 원하는 윤곽선은 정확히 얻어내야만 한다. 본 논문에서는 소벨 마스크를 기반으로 개선된 캐니 에지 검출기(revised

canny edge detector) 알고리즘을 적용한 에지 검출 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 (3)과 (4)에 의해서 그라디언트(gradient) 방향 값은 (5)로 주어진다.

$$u = (a_5 + 2a_6 + a_7) - (a_1 + 2a_2 + a_3) \quad (3)$$

$$v = (2a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + 2a_4 + a_5) \quad (4)$$

$$\vec{d}(i, j) = \tan^{-1}\left(\frac{u}{v}\right) \quad (5)$$

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. 위치측정값(localization)은 실제 에지로부터 위치된 에지까지의 거리의 역수이며, 이 값 또한 가능한 한 커야하는데, 이것이 의미하는 것은 거리가 가능한 작아야 한다는 것을 의미한다[4]. 계산적인 접근을 채택한 캐니 에지 검출 방법에서는 단일 에지(single edge)에 대해서 중복 응답을 보이지 않기 때문에 false-positive 현상이 나타나지 않는다. 일반적인 캐니 에지 검출기 알고리즘은 가우시안 필터로 영상의 잡음을 제거한 후에 이미지의 모든 화소의 기울기의 크기와 방향을 계산한다. 그리고 나서 에지의 국소화 과정을 통해 한 픽셀 폭의 에지로 만든 후 문턱값 적용에 의한 미세한 에지(weak edge)를 제거하게 된다[5,6]. 기존의 ALC 비전 검사 방법에서 적용한 캐니 에지 디텍터가 가장 정밀하게 정의된 연산자이고 가장 광범위하게 사용되고는 있으며 캐니(canny)의 의해 정의된 최적화 과정(optimization process)이 확실한 근거에 놓여 있다 하더라도 몇몇의 정확한 에지들을 놓치는 경우가 있다.

검출능력이 향상된 개선된 캐니 에지 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 가우시안 필터로 영상의 잡음을 제거 한 후 모든 화소에 대해 기울기의 크기와 기울기의 방향을 계산한다. 그 후에 기울기의 방향에 상관없이 주변 픽셀들 보다 기울기의 크기가 크면 에지(minor edge)로 표시한다. 마이너 에지를 추적하여 한 화소의 메이저 에지(major edge)와도 연결되지 않은 가짜 에지(false edge)제거 한후 문턱값에 의해 미세 에지(weak edge)를 제거한다[7]. 우리는 소벨 마스크를 기반으로 한 개선된 canny의 에지 검출 방법 사용하였다. 그림 7에 기존의 ALC 비전 검사[8]에서 캐니 알고리즘을 적용한 에지 검출 결과와 본 논문에서 적용한 개선된 마스크 기법을 비교하였다. 블록군의 최외각 에지의 누설은 거의 없기 때문에 입력 이미지가 부정확하여 내부 에지의 누설이 초래되는 입력 영상에 대해 적용하여 보았다. 그림 3의 (c) 기존의 캐니 에지 알고리즘 적용한 수직 내부 에지 검출 영상이고, 우측의 (d)는 개선된 캐니 에지 알고리즘 기법을 적용한 수직 내부 에지 검출 영상이다. 에지 검출

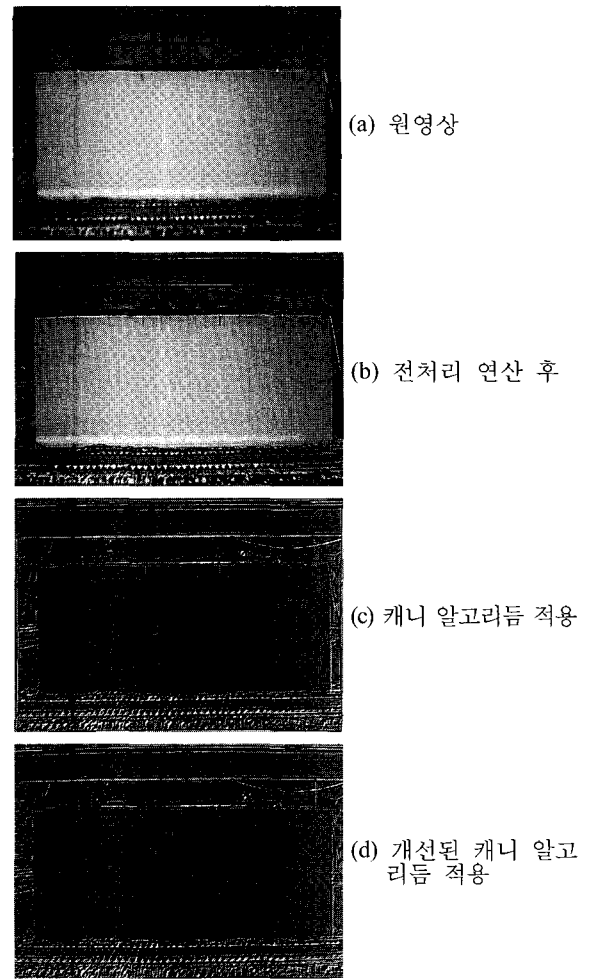


그림 3. 기존의 방법과 제안하는 방법의 성능 비교.
Fig. 3. Comparison between the existent method and the proposed method.

능력이 향상 된 것을 확인할 수 있었다.

III. 치수측정 알고리즘

본 장에서는 카메라에 의한 곡률을 보정하고 새로이 적용한 ALC 블록의 치수측정 정밀도를 향상을 위한 블록군의 에지형태를 고려한 경계검출 알고리즘을 이용하여 블록의 정확한 치수 측정 방법을 제안한다.

1. 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[9,10]. 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 4에서 보

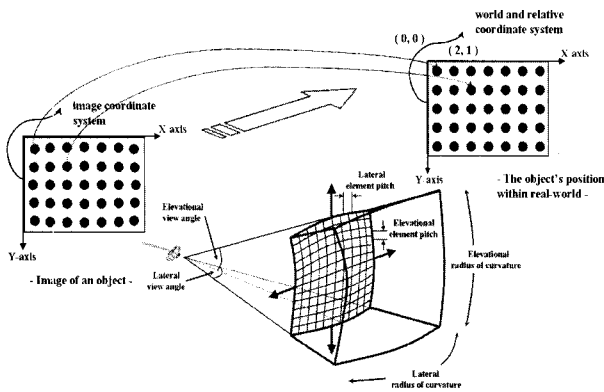


그림 4. 2차원 영상 좌표계의 실제 좌표계로의 보정.
Fig. 4. Correction of 2-D image coordinate system to world coordinate system.

인 바와 같이 미리 작성된 그리드이미지를 통해 곡률을 가진 영상을 입력받아 그리드의 각점을 이미 알고 있는 실제 좌표계로 재배치함으로써 곡률이 보정된 이미지를 얻어내게 된다. 이러한 방법은 본 실험과 같은 구조적으로 취약한 공장 환경에서와 같이 카메라를 정밀하게 위치시키지 않더라도 어떤 위치에서나 그리드의 입력 이미지만으로 카메라의 렌즈에 의한 곡률을 보정할 수 있다.

본 연구에서는 곡률보정에 대한 정보를 잃지 않으면서도 계산 량은 최소화 하여 빠른 연산결과를 도출해 낼 수 있도록 각 원의 지름은 12 픽셀이고 점들 간의 간격은 22 픽셀이다. 그리고 21x28 개의 기준점들은 크기와 모양이 같고 기준점들 간의 간격은 12 픽셀로 구성하였다. 제시한 원칙을 통해 설계된 그리드를 통해 얻어낸 보정패턴을 입력된 영상에 마스크 처리시킴으로써 보정된 이미지를 추출하였다.

2. 두께, 길이, 높이 측정을 위한 알고리즘

영상 내에서의 압출된 블록의 두께는 영상의 최소단위인 픽셀의 개수로 측정하고 이로부터 실제 블록의 두께를 길이 단위인 Cm으로 환산하였다. 픽셀의 개수는 경계(Boundary)의 위치의 좌표를 구하여 다음 경계의 좌표와의 차이로 구할 수 있다. 블록간의 상하 경사도와 치수의 균일성은 ALC 블록의 품질의 가장 중요한 요소이다. ALC의 생산공정은 분쇄된 원료가 형틀(mold)에 세트된 후 발포되어 케이크 상태로 굳어진 후 탈형하여 절단되는데 이때의 절단 와이어의 직경은 0.7mm이고 절단 작업시 좌우로 1mm이내의 진동이 있게 된다. 그러므로 실제 블록군의 내부 에지들은 그림 5의 (b)와 같은 two edge(stripe) 구조를 갖고 있다. 하지만 기존의 비전 검사 시스템에서는 이를 고려하지 못하였고 그리하여 정밀도가 떨어지는 결과를 보였다. 본 연구에서는 블록군의 내부 에지형태를 고려한 경계검출 방법을 제안하였다.

기존의 ALC 비전 검사에서 적용한 경계 검출 방법은 카메라로 입력된 블록군의 단일 블록마다 4개의 탐색영역(search region)을 위치시키고 그 영역의 중심점에서 좌, 우 방향으로 미리 구해진 에지 정보에서 에지 검출점을 구하여 그 4쌍의 검출점이 이루는 직선을 최종 에지로 선택하였다. 이 방법에서의 블록군의 내부 에지 선택 방법은 two edge

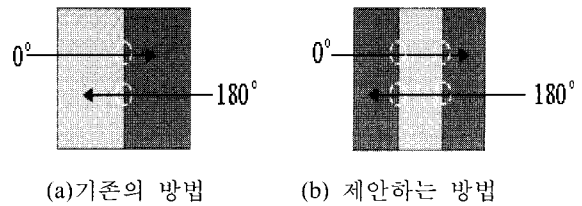


그림 5. 내부 에지 검색 방법.
Fig. 5. Search algorithm of inner edge.

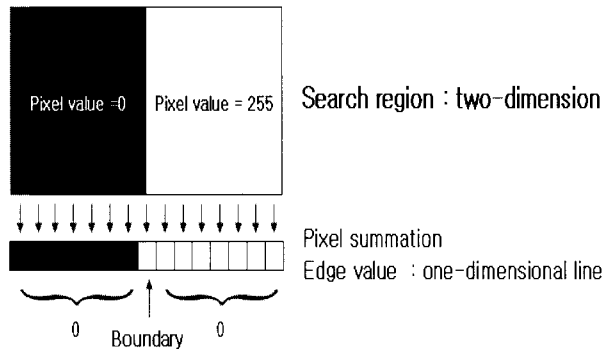


그림 6. 영역의 투영.
Fig. 6. Projection of region.

(stripe) 구조를 고려하지 않았기 때문에 그림 5의 (a)와 같이 각각 0도 방향과 180도 방향에서 구해진 두 좌표 값의 평균 값을 취하였다[8].

본 논문에 의해 제안된 방법은 그림 5의 (b)와 같이 각각 0도 방향과 180도 방향에서 정윤곽선과 부윤곽선을 검색하여 그중 제일 작은 위치 좌표값과 제일 큰 위치 좌표값을 최종 경계 위치로 선택하여 실험하였다. 또한 탐색 영역(search region)의 중심점에서만 검색하여 4개의 점의 위치 좌표만으로 에지를 선택하는 기존의 방법과 달리 2-D 탐색 영역 전체를 1-D 라인 영역으로 투영하여 에지를 탐색함으로써 실제(world)의 경계의 위치와 차이를 줄일 수 있었다.

블록의 각각의 경계위치를 구하기 위해서 필터는 프로파일(Profile)을 이용하였다. 그림 6에서 보듯이 픽셀들의 합산은 수직방향으로 수행하고 각각의 합산된 값은 그 세로열안에서의 모든 픽셀들의 명암도를 나타내게 된다. 그리고 경계를 찾기 위해서 각각의 프로파일 값에서 에지 값을 찾게 된다. 여기서의 에지의 값은 프로파일과 다음 프로파일간의 차이 값이 된다.

정밀한 결과를 얻기 위해서는 적합한 서치영역의 위치가 매우 중요하다. 그래서 먼저 구해진 에지의 중심점에 서치영역의 중심점을 일치시킨 후에 연산을 수행하였다. 이미지의 중심점은 공식(6)으로 주어진다.

$$\left(\frac{Width - 1}{2}, \frac{Height - 1}{2} \right) \quad (6)$$

그림 7은 본 연구에서 제안한 경계검출 방법을 나타낸 것이다. 에지의 중심점에 탐색영역을 위치시키고 영역투영을 시킨 후 얻어진 에지 값에서 각각 0도 방향과 180도 방향(반대방향)에서 정윤곽선과 부윤곽선을 검색하여 그중 가장 작은 값을 블록군의 내부 에지 'R to L'로 가장 큰 값을 내부 에

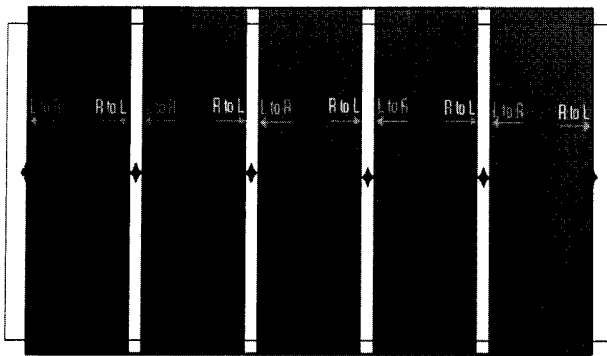


그림 7. 치수 측정을 위한 영역 투영 방법에 의한 경계 검출.

Fig. 7. Boundary detection of region's projection method for measurement inspection.

지 'L to R'로 결정하였으며 블록군의 에지형태를 고려하지 않은 이전의 방법보다 정확도가 향상되는 결과를 보였다.

3. 단위길이 결정

일반적으로 고정 광학계를 가진 카메라 통해 물체의 치수를 측정할 경우 실세계 공간상에 길이가 일정한 자(ruler)의 영상을 입력받아 자의 전체적인 길이가 화상내의 몇 개의 화소에 해당하는지를 계산하여 화상 공간내의 1 화소의 실제 공간상의 길이를 구하여 실제로 측정할 대상물체가 입력되면 이 화소의 화상 내 점유 화소의 수를 구한 후 미리 계산된 1 화소 당 실제 거리를 곱하여 가공 물체의 치수 값을 환산하여 구해 낼 수 있다.

본 실험에서는 ALC의 치수를 측정하기 위해서는 표준이 되는 정확한 자가 필요하지만 실제로는 획득하기가 용이하지 않기 때문에 이미 공장에서 수작업으로 얻은 합격제품을 수 회 측정 후 평균치를 표준값으로 하고 각각의 카메라로 입력 받아 제안한 방법으로 측정된 합격제품 화소 수들의 평균치를 표준 화소수로 하여 이를 통해 1 화소 당 표준 길이를 구해 실험하였다. 이 방법을 적용하여 높이 측정부에서는 4대의 카메라를 사용하기 때문에 생기는 각 카메라와 피사체간의 미세한 거리오차에 의한 치수오차가 나타나므로 동일한 mm/pixel 거리를 적용 시 오차 값이 커지는 문제점을 해결할 수 있었다.

또한, 실제의 ALC 블록 생산 공정에서는 두께 측정부의 z축 방향으로 ±5cm 이내의 진동이 발생한다. 이에 의한 카메라와 피사체 간의 거리오차에 대해서 유연하게 대처할 수 있도록 이미지로부터 특징 점을 추출하여 미리 계산된 특징 점의 길이 d에 대한 비례값 β를 (7)과 같이 단위픽셀에 대한 단위길이에 곱하여 입력된 블록 영상에 적용함으로써 피사체의 흔들림에 의한 치수오차를 (8)와 같이 보정하였다.

$$\beta = X_d / d \tag{7}$$

$$\text{Unit length/Unit pixels} = 0.2469\text{cm} \times \beta \tag{8}$$

본 실험에서는 실제 제작공정상의 조건을 감안하여 그림8

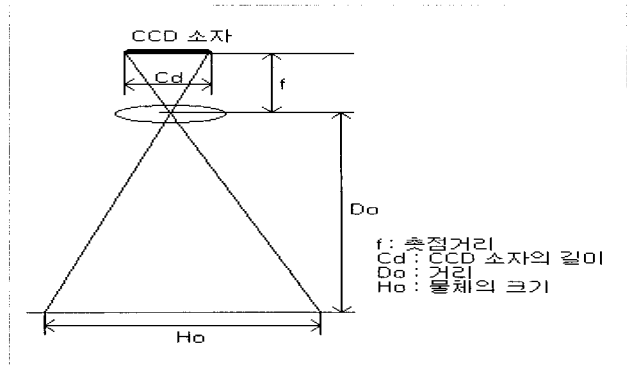


그림 9. 거리와 영상의 크기와의 관계.

Fig. 9. Relation between distance and image dimension.

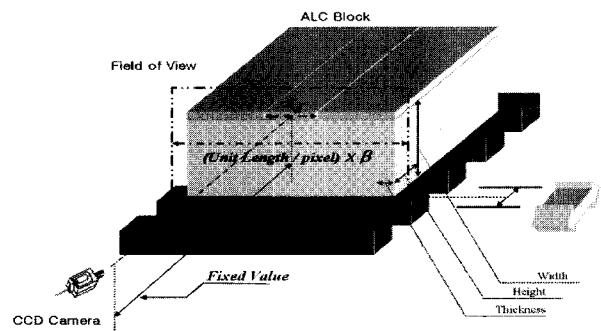


그림 8. 진동을 고려한 단위길이 결정.

Fig. 8. Determination of unit length in uneven condition with rocking objects.

에서 보이는 블록상판의 특징점으로 이루어진 거리를 비례값 β로 설정하였다.

높이 측정부의 경우에는 카메라 배치 설정시 이러한 진동을 충분히 고려한 FOV로 설계하였다.

IV. 실험 결과

본 장에서는 제안된 치수측정 알고리즘을 실제의 제조공정상의 블록군에 적용한 실험결과와 이에 대한 분석을 통해 본 논문에서 설계한 시스템을 검증해 보았다. 카메라의 설치치는 그림 1에서 보인바와 같으며, 실제 제조공정에 적용하여 실시간으로 그 결과가 피드백(feedback) 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 ALC블록의 양생공정 이전에 설치하여 실험을 진행하였다.

1. 치수 측정 실험 결과

본 실험에서 쓰인 이미지의 해상도는 640x480 픽셀을 사용하였다.

실험에 사용된 카메라의 CCD 소자의 크기 Cd, 렌즈의 초점거리 f와 물체의 크기 Ho를 고려해 카메라와 가공물체와의 거리를 두께 측정부의 경우에는 300cm로 이때의 FOV의 크기의 가로와 세로의 최대 길이는 158cm와 118cm

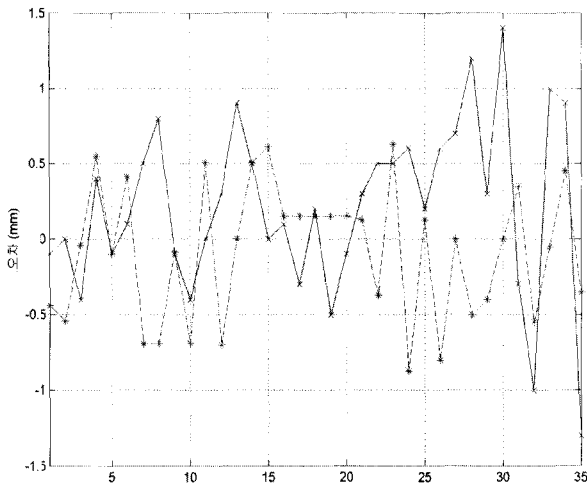


그림 10. 두께측정오차의 비교.

Fig. 10. Comparison of thickness measurement error.

이었다. 또한 높이 측정부의 경우에는 물체와의 거리는 319cm로 이때의 가로와 세로의 최대 길이는 170cm와 128cm이었다. 블록군의 그림 8의 진동을 고려한 여유 공간을 포함시켜 적용하였다. 물체와의 거리와 영상의 크기와의 관계식은 (9)에 나타내었다.

$$Do = (Ho \times f) / Cd \tag{9}$$

1.1 에지쌍을 이용한 방법

다음의 결과는 단일블록의 에지에 해당하는 왼쪽 면과 오른쪽 면 각각의 상위와 하위 영역에 두개의 에지검출점을 배열하여 이 에지쌍이 이루는 직선을 에지로 설정하는 기존의 비전 검사 방식의 두께 치수 측정을 위한 에지쌍 배열방법(9)을 본 실험에서 행하고자 하는 높이와 길이 측정에도 적용하여 실험하였다.

길이 측정 결과는 실제 블록의 중간 검사 측정 기준인 두께 측정부의 이미지상의 블록군의 양끝 모서리에서의 각각의 방법으로 길이를 측정한 것이다. 에지쌍을 이용한 기존 방법의 실험결과 두께 측정 결과 오차범위는 -1.30 mm ~ 1.40 mm, 길이의 오차범위는 -0.40 mm ~ 0.50 mm, 높이의 오차 범위는 -1.70 mm ~ 1.70 mm로 나타났다. 길이를 제외한 두께와 높이의 오차 값은 1mm를 초과함을 알 수 있다.

1.2 영역투영에 의한 제안된 방법

2-D 탐색 영역 전체를 1-D 라인 영역으로 투영하여 에지를 탐색하여 블록군의 내부 에지의 two edge(stripe) 구조 고려하여 각각 0도 방향과 180도 방향에서 positive edge와 negative edge를 검색하여 그중 제일 작은 위치 좌표값과 제일 큰 위치 좌표값을 최종 경계 위치로 선택하는 본 논문에서 제안하는 방법으로 두께, 길이, 높이 치수측정을 수행하였다. 두께 측정 결과 오차범위는 -0.87mm ~ 0.63mm, 길이의 오차범위는 -0.37mm ~ 0.32mm, 높이의 오차 범위는 -0.92mm ~ 0.80mm로 나타났다.

2. 치수 측정 결과 비교 및 분석

기존의 수행된 에지쌍을 이용한 측정결과와 본 논문에서 제안한 영역 투영에 의한 이중 에지(stripe) 검출에 의한 측

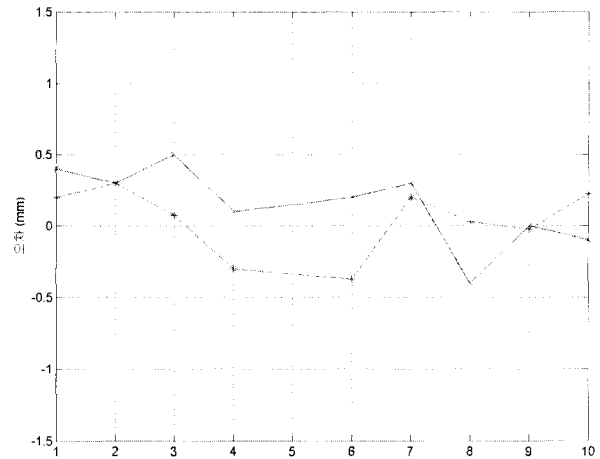


그림 11. 길이측정오차의 비교.

Fig. 11. Comparison of width measurement error.

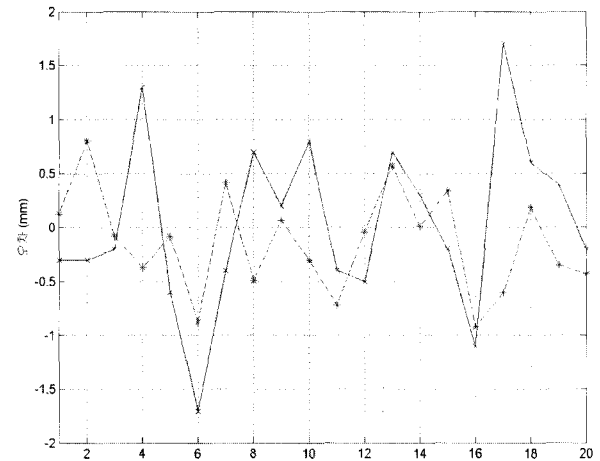


그림 12. 높이측정오차의 비교.

Fig. 12. Comparison of height measurement error.

정결과를 비교하였다. 그 결과는 그림 10, 그림 11, 그림 12와 같다. 그래프상의 **——** 은 에지쌍 배열의 의한 기존의 방법을 나타내고 **-----** 은 영역투영에 의한 제안된 방법을 나타낸다. 이 두 가지 방법으로 측정된 값과 실제 블록의 실측값과의 오차를 통해 직접 비교를 하였다. 이중 에지 (Stripe)형태를 갖지 않는 길이를 제외한 두께와 높이의 오차 값이 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있다. 또한 길이의 경우 약간의 개선된 결과는 영역투영(projection of region)에 의한 것으로 사료된다. 본 논문에서 제안하는 방법으로 더욱 개선된 결과를 빠른 시간에 얻어낼 수 있었으며 기존의 에지쌍 방법으로 측정결과 값과 본 실험결과의 오차 범위는 평균 -0.41 ~ 0.62mm 정도로 나타났다.

실제로 현재 생산되고 있는 ALC 블록의 KS규격은 아래와 같다.

블록의 실측값은 이 조건에 따라 합격판정을 내리게 된다. 길이와 높이의 허용오차의 표준 치수가 기준 치수보다 적은 이유는 생산 공정상 절단 시 와이어의 진동으로 인한 오차가 발생하는데 실제 블록을 시공 시 기준 치수를 초과

표 3. ALC 블록 치수의 허용차이.

Table 3. Tolerance of ALC block.

구분	허용차
길이	+1 ~ -3mm
높이	+1 ~ -3mm
두께	±2mm

한 경우 사용할 수 없기 때문에 이점을 고려하여 와이어의 간격을 기준 치수보다 약간 작게 설정하기 때문이다. 그러므로 길이, 높이, 두께 모두 2mm 이내의 허용오차한계를 갖는다.

카메라를 이용한 ALC 블록의 자동 검사 시스템은 최소한 실제(world) 블록의 실측값과 이미지를 통한 블록의 측정값의 오차범위가 1mm이내가 되어야 검사의 신뢰성을 확보할 수 있다. 기존의 비전 검사 방법에 비해 본 논문에서 제안한 방법은 모든 ALC 블록의 치수에 대해 1mm이내의 오차 값을 보장하므로 설계한 시스템이 적합함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 연구에서 제안한 방법에 의해, 실제(world) 블록의 실측값과 이미지를 통한 블록의 모든 치수 측정 값이 1mm이내의 오차 값을 보장하므로 본 논문에서 설계한 시스템이 실제 공정에 적합한 시스템임을 확인할 수 있었다. 이미지만으로 평균 0.8초 이내로 결과를 얻을 수 있었으며 실험결과 약 99.7% 이상의 정밀도를 얻을 수 있었다. 하지만 현재의 연구는 고정된 카메라의 위치와 설치물에서만 측정검사가 가능하다. 공장 환경에 유연하게 대처하기 위해서 그 부분에 대한 새로운 접근법이 필요할 것이다.

참고문헌

[1] E. Fink and M. Heath, "Image-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] J. Canny, "A computational approach to edge detection" *IEEE Trans, Pattern Anal. Mach. Intell.* 11 (6). 1986, Pages 679-698.

[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] R. Jain, R. Kasturi, B. G. Schunck "Machine vision" McGraw-Hill, 1995, Pages 169-173.

[6] E. Trucco, A. Verri "Introductory techniques for 3-D computer vision" Prentice-Hill, Englewood Cliffs, NJ, 1988, Pages 71-79.

[7] L. Ding and A.. Goshtasby, "On the canny edge detector" *Pattern Recognition*, vol. 34, Issue 3, March 2001, Pages 721-725.

[8] 김성훈, "카메라를 이용한 ALC 블록의 치수 측정 및 불량검사 자동화 시스템 개발", 단국대학교 석사학위 논문, 2002.

[9] 이문규, 이정화, "2차원 영상의 좌표보정을 위한 카메라 오차보정." 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 1997.

[10] 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.



엄 주 진

1976년 9월 18일생. 2002년 단국대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사과정. 관심분야는 머신비전, 영상처리.



허 경 무

1956년 9월 1일생. 1979년 서울대학교 전자공학과 졸업, 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사(1981), 동대학원 박사(1989). 현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공 부교수. 주요 연구분야는 3차원 디스플레이, 로봇트 제어, 검사 자동화, 시스템 제어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털제어기 설계 및 시뮬레이션.