

알루미늄 캔재의 이어링률 측정을 위한 비전 시스템 구현

Implementation of Vision System for Measuring Earing Rate of Aluminium CAN

이 양 범*, 신 신 범*

Yang-Bum Lee*, Seen-Beom Shin*

요 약

본 연구는 압연된 알루미늄 원판으로부터 추출된 캔재를 CCD 카메라를 이용하여 이어링률을 측정하는 시스템 개발이 주 목적이다. 입력받은 영상을 최적화하기 위하여 영상의 객체 분리 및 위치 보정을 해주었고, 전처리 단계로서 히스토그램 평활화에 의한 선명도를 개선시켜 준 다음 로버트 마스크를 이용하여 에지를 검출하였다. 현장에서는 알루미늄 특성상 발생된 캔재의 각 4개의 귀와 골의 높이를 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하여 수작업으로 측정하는데 처리 속도면에서 알루미늄 캔재의 1방향의 높이당 최소 3번 측정에 의하여 30초가 소요되었다. 반면에 스텝모터를 이용하여 캔재를 45°씩 회전시키면서 각각의 귀와 골의 높이 측정을 본 시스템을 적용하였을 때 0.02초의 시간이 소요되었다. 따라서 본 시스템을 이용한 결과 산업 현장에서 제품 처리 결과와 비교, 만족할 만한 성능이 입증되었다.

Abstract

The implementation of vision system using CCD camera which measures the earing rate of aluminium CAN is represented in this paper. In order to optimize the input image, the object of the input image is separated and the position of the image is calibrated. In the preprocessing, the definition of image is improved by the histogram equalization, and then the edges of the input image are detected by the Robert mask. The heights of the four ears and angles of the aluminium CAN are measured manually with the digital vernier calipers in industry. It takes 30 seconds to measure manually the height of one direction of the aluminium CAN at least three times. However, when the proposed system in this paper is applied, it takes 0.02 seconds only. In conclusion, the efficiency of the proposed system is higher than that of the system used in the industry.

Key words : earing rate, aluminium CAN

I. 서론

본 연구에서는 압연된 알루미늄 원판으로부터 봉 모양의 금형을 이용하여 압축-성형해서 만들어진 캔재의 이어링률(earing rate) 측정을 위한 비전 시스템(vision system) 개발이 주 목적이다. 일반적으로 알루미늄 캔재(0.295mm 두께로 냉각 압연된 알루미늄 원 판이 원통형으로 둘둘 말린 것)로 감긴 알루미늄 원 판은, 두께 및 금속 특성이 거의 일정하다. 알루미늄 원 판을 캔으로 가공할 때 캔의 길이가 증가함에 따라 캔의 두께 감소가 동시에 일어나는 특성을 가지고 있다. 따라서 캔의 가공

시 먼저 알루미늄 캔재의 불량 유무를 검사하여야 한다. 이를 위해서 실험실에서 검사용으로 알루미늄 캔재의 앞 부분과 끝 부분 각각 3개씩을 절단하여 봉 모양의 금형을 이용하여 알루미늄 캔재를 만들어 낸다. 이것은 원형 타입으로 된 작은 원판인데 원판 중심에 일정한 기준압력을 가하여 금속봉으로 밀어내면 컵이 만들어 진다. 이때 금속 성분의 이방성(압연 방향과 직각 방향)으로 말미암아 조직이 늘어나 컵의 윗부분에 귀와 골이 각각 4개씩 생기게 된다. 이것은 캔재의 귀와 골의 크기에 따라(이어링률) 알루미늄 캔재의 불량 유무를 사전에 검사하기 위한 것이다. 만일, 알루미늄을 압연하는 과정에서 금속 조직의 성질이 변화된 알루미늄 캔재를 가지고 캔을 생산할 때 캔의 생산 공정에 영향이 미치게 된다. 알루미늄 캔재의 생산 공장에서는 캔재의 이어링률을 엄격히

*울산대학교 전기전자정보시스템공학부
접수 일자 : 2003. 8. 23 수정 완료 : 2005. 1. 25
논문 번호 : 2004-2-10

관리하고 있다. 현재 알루미늄 압연 캔재는 생산 후 실험실에서 한 코일당 처음과 끝부분을 절단하여 각각 3개씩 작은 원판으로 샘플링하여 숙련된 작업자가 수동으로 이어링률을 측정하고 있다. 따라서 이러한 이어링률 수작업을 컴퓨터 비전 시스템으로 대체하였을 경우 자동화 및 생산관리가 전산화되어 인력감축, 데이터 관리에 대한 작업 효율성이 매우 높아질 것이다. 본 연구에서는 알루미늄 캔재의 이어링률을 비전 시스템을 이용하여 자동으로 측정하는 시스템을 개발하였다. 비전 시스템을 이용하여 캔재의 정확한 이어링률 측정기술을 수행하는 데에는 영상히스토그램 평활화 및 이진화, 객체 분리, 경계선 검출 등이 필요하며, 이와 같은 배경으로 연구를 수행하였다.

II. 본론

2.1 개요

비전 시스템은 입력 영상을 받아서 특정 추출이나 검사 또는 자동 측정이 가능하도록 전처리를 해주고 그 처리 결과를 명령데이터로 출력하는 시스템을 말한다. 캔재의 영상을 최적화하기 위하여 먼저 조명방법으로는 대상물이 반사되기 쉬운 알루미늄 재질이라서 간접조명을 하였다. 또한 전처리 단계로 영상 내의 캔재의 분리, 위치 파악하는 작업을 수행하였다. 이를 위해서 캔재 영상의 히스토그램(histogram)을 구해 평활화 시켜준 다음 배경을 분리할 수 있는 적당한 문턱 값(threshold value)을 찾아내어 이를 기준으로 입력 영상을 이진화 하였다. 이렇게 이진화 된 영상은 객체와 배경이 눈으로는 쉽게 구별이 되나 실제 객체단위로는 분리가 안 된 상태이므로 이를 객체 단위로 만들기 위한 Blob을 설정해 주었다. 그리고 캔재의 위치파악이 된 상태에서 로버트(Robert) 마스크를 이용하여 윤곽선을 추출한 다음 캔재의 이어링률을 측정하였다. 이어링률 측정을 위한 영상 처리 과정은 그림 1과 같다[1].

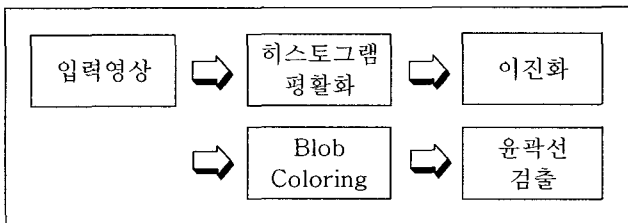


그림 17. 이미지 처리 과정
Fig. 1. Procedure of image processing

2.2 히스토그램 평활화

히스토그램 평활화는 일정한 분포를 가진 히스토그램을 생성하는 것으로 명암도 분포를 재분배시킴으로써 영상 전체의 선명도를 증가시키는 방법이다.[2, 3]. 이 히스토그램을 이용하여 영상의 픽셀 배열이 명암도를 전체적으로 조정하여 영상의 질을 보다 향상시킬 수 있다. 선명도를 개선할 영상의 픽셀에 대한 명암도 (r)를 정규화하

기 위하여 다음과 같은 범위에 두도록 한다.

$$0 \leq r \leq 1 \quad (1)$$

$$s = E(r) \quad (2)$$

여기서,

r : 명암도

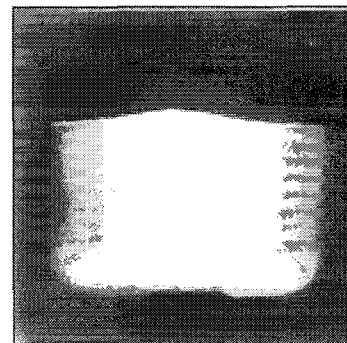
E : 명암도 조정변환

s : 화소값

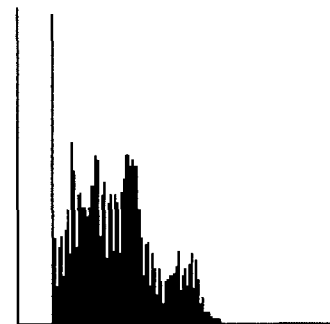
이때, 원 영상의 화소값 s에 대한 확률 밀도함수를 각각 $p_r(r)$ 와 $p_s(s)$ 로 나타내면, 영상의 화소값 s에 대한 확률 밀도 함수는 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_s(s) &= \left[p_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=E^{-1}(s)} \\
 p_s(s) &= \left[p_r(r) \frac{1}{p_r(r)} \right]_{r=E^{-1}(s)} \\
 &= [1]_{r=T(s)}^{-1} \quad (3) \\
 &= 1 \quad 0 \leq s \leq 1
 \end{aligned}$$

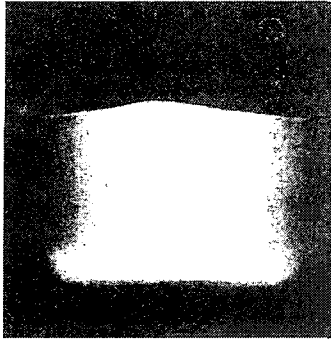
변수 r의 누적 분포함수를 변환함수로 사용하게 되면, 변환된 변수 s에 대한 확률 밀도함수는 균일밀도가 됨을 의미한다. 이것은 화소들 간의 동적 범위를 넓혀 주게 되어 영상의 시각적 표현 효과를 증가시키게 된다. 그림 2의 (a) 및 (b)는 각각 원 영상과 그 히스토그램이고, (c) 및 (d)는 각각 평활화한 후의 영상과 그 히스토그램이다.



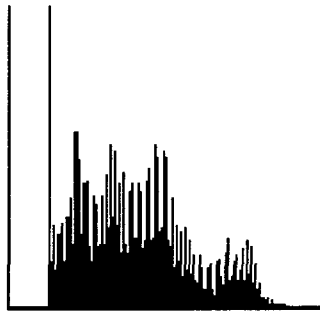
(a) 원 영상



(b) 원 히스토그램



(c) 평활화된 영상



(d) 평활화된 히스토그램

그림 2. 히스토그램 평활화
Fig. 2. Histogram equalization

2.3 이진화

이진화를 이용한 영상 분할은 대상이 되는 영상의 명도값이나 색도값 등을 문턱값 처리를 하여 얻어진다[2]. 구체적으로 영상의 각 화소에 대해서 명도가 있는 일정한 값 이상의 경우에 대응하는 출력 영상의 화소값을 1, 그 이외의 경우는 0으로 하는 것이다. 경계값 처리는 식 (4)와 같다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (4)$$

여기서, $f(x, y)$, $g(x, y)$ 는 x 및 y 에서의 문턱값 처리 전후의 명암값을 의미하고, t 는 문턱값을 나타낸다.

따라서 화면 전체에 대하여 전역 문턱값 방법을 사용하였을 때 그림 3과 같은 알루미늄 캔재의 이진화 형상을 추출할 수 있었다.



그림 3. 이진화 형상
Fig. 3. The binary image

2.4 Blob Coloring

이진화된 영상들은 객체와 배경이 눈으로는 쉽게 구별이 되나 실제 객체 단위로는 아직 분리가 안 된 상태이기 때문에 이를 객체 단위로 만들기 위한 과정으로 Blob Coloring을 하였다. 실험에 사용한 Blob Coloring을 위한 마스크는 다음과 같다.

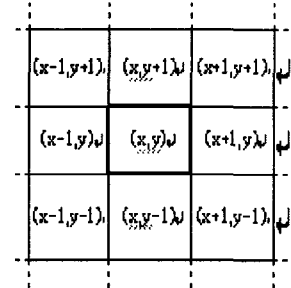


그림 4. Blob coloring 마스크
Fig. 4. Mask of blob coloring

그림 4와 같이 임의의 위치 (x, y) 에 객체에 해당하는 화소값이 0이 있다면, 그 위치로부터 4개의 주변 값을 $(x, y-1)$, $(x, y+1)$, $(x-1, y)$, $(x+1, y)$ 의 위치에 있는 화소값 혹은 주위 8개의 값들 $(x, y-1)$, $(x, y+1)$, $(x-1, y)$, $(x+1, y)$, $(x-1, y-1)$, $(x+1, y-1)$, $(x-1, y+1)$, $(x+1, y+1)$ 의 위치에 있는 화소값을 조사한다. 따라서 (x, y) 에 있는 화소값과 같은 값이면 같은 객체로 판단한 뒤, 다음 연결되어 있는 화소로 위치를 옮겨 위의 과정을 연결된 화소가 없을 때까지 계속 반복한다. 이상과 같은 방법을 통하여 처리를 하게 되면 연결되어 있는 화소들은 하나의 객체로 분리해 낼 수가 있다.

2.5 윤곽선 추출

본 연구에서는 알루미늄 캔재의 영상을 1차 미분에 의한 영상처리에 의하여 윤곽선을 추출하였다. 1차 미분 방식은 행렬의 형태로 테이블, 마스크로 주어지는데 마스크 계수의 합은 0이 된다. 마스크의 계수의 합이 0이 되지 않는 마스크로 단일한 영상에 회선 기법을 적용한 결과는 0이 아닌 출력이 만들어진다. 따라서 잘못 할 경우

에는 에지가 있는 것과 같은 결과를 보일 수도 있다. 에지 크기는 식 (5)로 부터 각 연산자 마스크의 벡터 합을 계산함으로써 결정될 수 있다[4].

0	0	-1
0	1	0
0	0	0

-1	0	0
0	1	0
0	0	0

(a) Hr (b) Hc

그림 5. Roberts 마스크

Fig. 5. Roberts mask

$$H(x, y) = \sqrt{H_r^2(x, y) + H_c^2(x, y)} \quad (5)$$

그리고 에지의 방향은 식 (6)으로부터 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{H_c(x, y)}{H_r(x, y)} \quad (6)$$

또한 비전 시스템의 신속성과 정밀성에 중점을 두어 윤곽선 검출에 매우 민감하고 계산 속도가 빠른 로버트 마스크를 이용하여 에지를 검출하였다. 로버트 마스크를 이용하여 캔재의 에지를 검출한 결과는 그림 6과 같다[5].

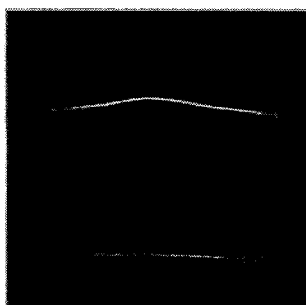


그림 6. 에지 검출

Fig. 6. Edge detection

2.6 이어링률

이어링률이란, 캔재의 귀와 골의 높이를 이용하여 알루미늄 캔재의 불량 유무를 판단하는 척도이다. 만일 이어링률이 기준값 범위를 벗어나면 알루미늄 캔재는 불량으로 판정한다. 이어링률을 측정하는 방법에는 paired값과 mean값이 있는데 현장에서는 주로 mean값을 사용하고 있다. 알루미늄 원판으로부터 성형된 귀와 골은 그림 7과 같이 알루미늄의 재질에 따라 항상 각 4개의 귀와 골을 가지게 된다.



그림 7. 캔재 영상

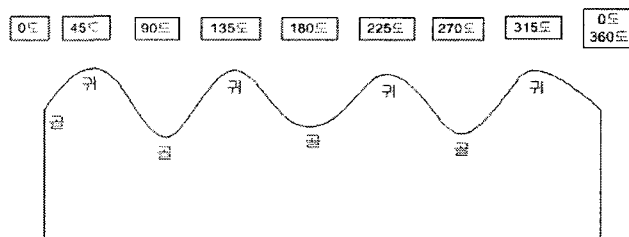
Fig. 7. The image of the aluminum CAN

2.6.1 이어링률 검출 계산 알고리즘

검출된 에지 영역 내에서의 양쪽 에지 점간의 길이를 스캐닝을 해 나감으로서 알루미늄 캔재의 최저치(골)와 최고치(귀)의 값을 계산하게 되는데 이어링률은 다음과 같은 2가지 방법에 따라 나누어진다.

(1) Paired값에 의한 이어링률

아래의 그림은 그림 7과 같은 캔재를 360° 펼친 단면 상태이다. 측면에서 바라볼 때 높은 부분은 귀, 낮은 부분을 골이라 한다. 이것은 각각의 귀와 골의 높이가 서로 다르므로 귀와 골의 평균값을 찾아야 하는데 여기서 귀 평균이라 함은 귀부분 4곳의 평균 높이를 말하며, 골평균이라 함은 4개의 골평균 높이를 말한다.



알루미늄 원판에 기준 압력을 가해 유압식 봉으로 밀어내면 캔재의 조직 특성상(이방성) 전체 90°와 270°에서 가장 낮은 높이값을 가지게 된다. 이 값을 이용한 paired값에 의한 이어링률은 식 (7)과 같다. 여기서 이어링률이 5%이내일 때만 그 알루미늄 원판을 합격으로 인정하고 만일 이 오차 범위의 한계를 넘어서게 되면 알루미늄 원판을 불량으로 판정한다.

$$Paired = \frac{(\text{귀평균}) - \frac{90^\circ\text{에서의높이} + 270^\circ\text{에서의높이}}{2}}{\frac{90^\circ\text{에서의높이} + 270^\circ\text{에서의높이}}{2}} \quad (7)$$

× 100(%)

(2) Mean값에 의한 이어링률

캔재 각각의 4개의 귀와 골의 평균을 이용한 mean값에 의한 이어링률은 식 (8)과 같다. 이 값은 오차 범위 3%내에서만 알루미늄 원판을 합격으로 인정한다.

$$Mean = \frac{(귀\ 평균) - (골\ 평균)}{(골\ 평균)} \times 100(\%) \quad (8)$$

III. 실험 결과

3.1 시스템 구성

전체적인 프로그램은 Visual Basic으로 작성하였으며, 이미지의 영상 획득 부분에서 CCD 카메라를 이용하여 680×480 영역에서 검사 수행을 기본으로 하였다. 또한 Cognex 비전 보드를 사용하였으며 여타의 부분에 대해서는 참조하지 않고 독자적인 프로그램을 수행하였다. 그림 8은 전체 시스템 구성도이다.

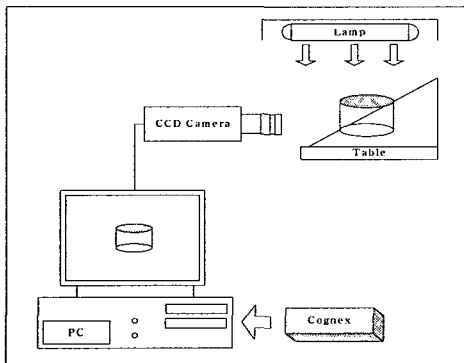


그림 8. 시스템 구성
Fig. 8. System structure

본 논문에서는 시스템에 연결되어 있는 카메라로부터 입력받은 영상 데이터를 이용하여 전처리 단계를 거친 후 획득된 8개의 에지 영상으로부터 캔재의 에지 양단을 측정하여 그 데이터 값을 이용하여 이어링률을 계산하였다.

3.2 영상 획득

그림 9는 알루미늄 캔재의 실물로부터 획득된 원 영상을 나타낸 것이다.

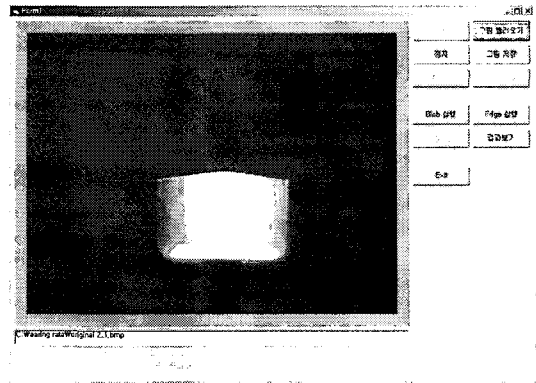


그림 9. 영상 저장

Fig. 9. An example of image storing

그림 10은 저장된 영상으로부터 히스토그램 평활화를 시켜준 다음 이진화 영상에서 Blob 처리한 영상이다. 알루미늄 캔재의 이어링률을 구하기 위해서는 먼저 0°에서부터 45°의 간격을 두고 315°까지 각각 8개의 위, 아래 부분에 대한 에지를 검출 하여야 한다.

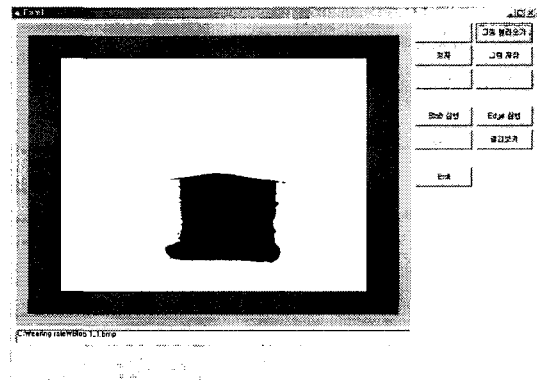


그림 10. Blob 설정
Fig. 10. Blob coloring

따라서 그림 11은 그림 10의 Blob 설정된 영상으로부터 알루미늄 캔재의 에지를 검출한 영상이다.

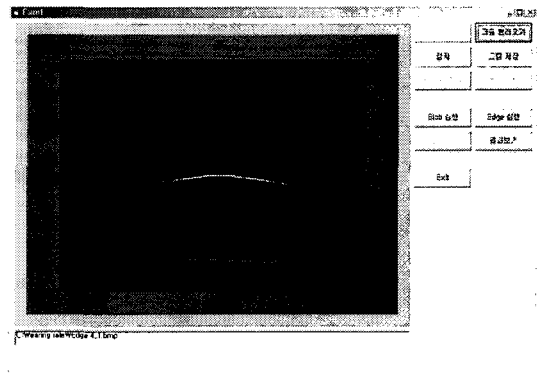


그림 11. 에지 검출
Fig. 11. Edge detection

그림 12는 그림 11의 에지 영상으로부터 하단 부분에서 제일 높은 상단 부분의 높이를 자동 측정된 결과이다.

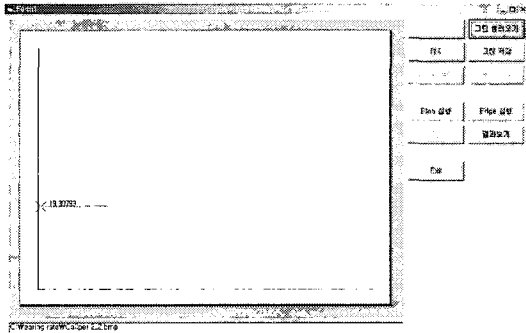


그림 12. Caliper 결과
Fig. 12. The result of calipering

그림 13은 알루미늄 캔재의 에지 검출로부터 0°에서부터 45° 간격으로 315°까지 총 8개의 각 귀와 골의 데이터를 측정하여 자동으로 이어링률을 산출한 결과이다.

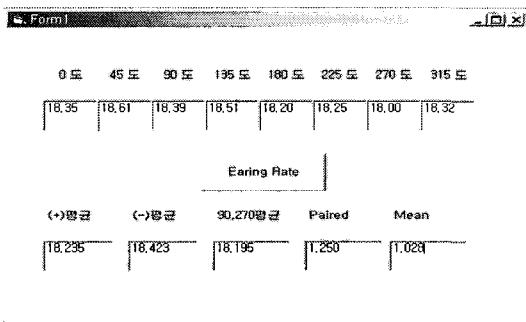


그림 13. 이어링률 측정 결과
Fig. 13. Measurement of the earing rate

3.3 데이터 비교

그림 14와 15는 현장에서 사용한 35개의 샘플용 알루미늄 캔재를 가지고 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 이어링률을 측정된 비교 그래프이다. 여기서 점선은 현장에서 디지털 버니어캘리퍼스를 이용하여 수동으로 측정된 데이터이고 실선은 본 시스템을 이용하여 측정된 데이터이다. 즉, 스텝 모터를 부착한 선반위에 샘플용 알루미늄 캔재를 올려놓고 자동으로 모터를 45°씩 회전시키면서 비전 시스템으로 캔재의 귀와 골의 높이를 측정하는 것이다. 수동으로 측정을 하였을 경우와 비전 시스템으로 자동 측정했을 경우 이어링률을 비교해 보았을 때 발생하는 약간의 차이는 수동측정시 오차가 있음을 의미한다. 그러나 두 가지 paired와 mean값에 의한 이어링률이 모두 오차 범위 내에 만족하고 있음을 알 수 있다. 이것은 알루미늄 원판이 합격 제품이라 캔 생산 공정에 투입할 수 있음을 의미한다.

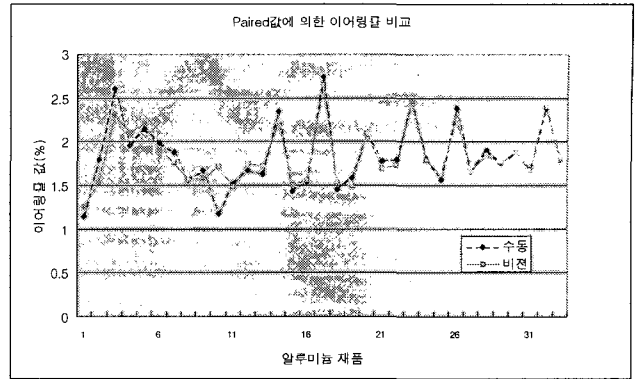


그림 14. Paired값에 의한 이어링률 비교
Fig. 14. Compare by the paired value

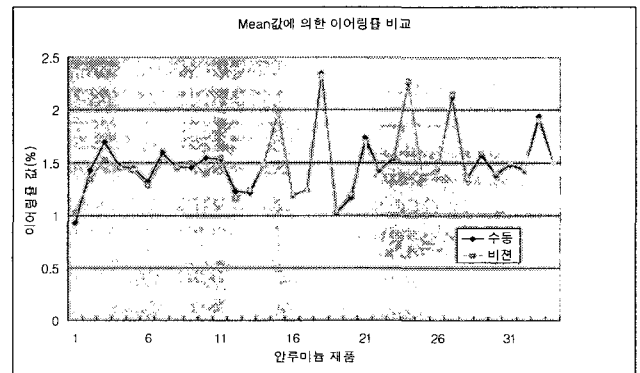


그림 15. Mean 값에 의한 이어링률 비교
Fig. 15. Compare by the mean value

IV. 결론

본 연구에서는 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 압연된 작은 알루미늄 원판으로부터 캔재의 이어링률을 자동으로 측정하는 시스템을 개발하였다. 비전 시스템을 이용하여 대상물 측정시 조명 문제에서 대상물은 반사가 되기 쉬운 알루미늄 재질이라서 카메라의 시야내에 반사된 광원이 들어오지 않도록 직접 조명을 피한 형광등의 단일 간접 조명을 사용하여 경험적으로 설치 사용하였다. 또한, 스텝모터를 이용하여 캔재를 45°씩 회전시키면서 각각의 귀와 골의 높이를 컴퓨터 비전 시스템으로 자동 측정하였을 때 수동시 보다 캔재의 샘플에 대한 측정 시간을 많이 단축시켰고 그 데이터를 이용한 이어링률 산출시 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 알루미늄 캔재의 이어링률 측정을 산업 현장에서 적용하였을 경우에는 생산 원가를 절감할 뿐만 아니라 데이터 전산처리 작업으로 인하여 현장 개발설의 인력 감축 및 생산성 향상이 기존에 비하여 증가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Randy Crane, "A Simplified Approach to Image Processing", Prentice Hall, 1999.
- [2] Gonzalez & Woods, "Digital Image processing", Pearson Education, 2002.
- [3] Sing-Taz Bow, "Pattern Recognition and Image Preprocessing", Marcel Dekker, 1992.
- [4] I.Pitas, "Digital Image processing Algorithms". Prentice Hall, 1993.
- [5] 유종현외 1인, "부분영역 처리를 이용한 영상 재구성의 속도 개선에 관한 연구", 전기학회 논문지, 제48권 5호, pp 658 ~ 663, 1999.



이 양 범(Yang Bum Lee)

1975년 2월 한양대학교 전기과 졸업 (공학사)

1977년 2월 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)

1986년 2월 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)

1990년 12월~1992년 2월 미국 Penn State University 방문교수

1980년 9월~현재 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부 교수

관심분야 : 영상신호처리, 디지털신호처리, 건설제어, 공정제어 등



신 신 범(Seen Beom Shin)

1993년 2월 울산대학교 전기공학 졸업 (공학사)

1998년 2월 울산대학교 대학원 전기공학 졸업 (공학석사)

2005년 현재 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부 박사과정 재학

관심분야 : Real time 비전 검사 시스템, 영상처리, 계장제어
