

8각 미러에 의한 원형제품의 측면검사시스템 개발

(A Development of the Side Inspection System for A Circularity Using 8 Side Mirrors Method)

이규훈 · 김 용*

(Kyu-Hun Lee · Yong Kim)

요 약

8각 미러를 이용한 원형 오링, 볼트, 플라스틱 가스켓의 측면 검사시스템을 개발하였다. 검사시스템은 1대의 CCD 카메라와 조명, 1, 2차 8각 미러로 이루어졌으며, 3종류 샘플의 영상 획득을 위해 조명과 미러를 조정하여 시스템을 구성하고 이에 대한 영상처리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 효율성은 각각의 제품에 대하여 실험을 통하여 입증하였고 검사속도는 독립형 카메라로 최대 0.2초 이내이었다. 이러한 검사 시스템은 다양한 원형제품의 측면검사에서 응용될 수 있다.

Abstract

In this study, a side inspection system for circular o-ring, bolt, plastic and gasket using 8 side mirrors has been developed. The system is comprised of a CCD camera, an illumination, the first 8 mirrors and the second 8 mirrors, and moreover the image processing algorithm for detecting three different type samples is developed. The effectiveness of this algorithm was experimentally verified with three different type samples, and the inspection process is completed within max 0.2 second by help of smart camera. It is envisaged that this inspection method for side inspection system of a circular will have a wide application in the future industry.

Key Words : 8 side mirrors, Image processing, CCD camera, Illumination, Side inspection system

1. 서 론

산업용 제품의 비전검사는 PCB 기판 검사뿐 아니라, 사과와 야채의 선별시스템, 섬유제품의 표면검사, IC wire-bonding, 소형 입자의 치수측정 등 다양한 분야에서 이루어지고 있다[1~8]. 이러한 제품 중

에서 고무 오링(O-Ring)이나, 금속용 볼트, 플라스틱 원형 사출제품의 측면은 곡면으로서 카메라 한 대로 검사하는 경우에는 제품을 회전하면서 검사를 수행해야 한다. 또한 육안 검사 시에도 제품의 회전을 통해서만 정확한 검사가 가능하다. 만약 4대 이상의 카메라를 이용하여 검사시스템을 구성할 경우 조명에 의한 간섭으로 하나의 검사 스테이지에서 제품을 여러번 촬영해야 하므로 검사속도가 감소하여 효율적이지 못하며, 검사장치의 가격 상승요인이 된다. 반면에 1대의 카메라를 이용하여 원형의 측면을 검

* 교신저자 : 동국대학교 전기공학과 교수
Tel : 02-2260-3720, Fax : 02-2275-0162
E-mail : kyee@dongguk.edu
접수일자 : 2008년 7월 11일
1차심사 : 2008년 7월 22일
심사완료 : 2008년 8월 20일

사하기 위하여 원형제품의 측면의 각도와 유사한 각도로 렌즈를 구성하여 회전하는 방식을 고려 할 수 있는데, 이는 제품이 정지된 상태에서 렌즈의 회전이 이루어져야 하므로 이동 중인 제품의 검사에는 부적합하다.

따라서 양산되는 다양한 원형 형상의 제품의 경우 측면검사가 가능하고 일정한 크기의 변화에도 유연하고, 고속이동 중인 제품이 정지되지 않고 검사가 가능하여야 하며, 1대의 카메라만으로 원형의 측면검사가 가능한 검사장치의 구성이 필요로 된다.

본 연구에서는 고무 오링과 소형 볼트 및 플라스틱 가스켓 원형제품의 측면검사가 가능한 8각 미러 시스템에 대하여 제안하고 각 제품에 나타난 불량 검사 항목별로 검사 가능 정밀도를 분석하였다. 그리고 원형 제품에서의 측면 검사 알고리즘 및 방법을 제안하고 그 성능을 평가하였다.

2. 측면 검사 시스템

2.1 검사시스템 개발

2.1.1 8각 미러의 영상

원형제품의 경우 측면 360[°]를 8등분하여 약 45~60[°]의 영역을 1개의 미러를 통하여 영상을 취득한다. 원형을 8등분하여 미러를 구성한 것은 1개의 미러에서 60[°]의 영상이 취득되는데 이중에서 45[°]의 명확한 영상만을 사용하고 나머지 영역은 검사영역에서 제외하고 검사하고자 하는 목적이다. 즉 제품 상부로부터 약 50[mm]이내에 1차 미러를 8각으로 설치하고 1차 미러를 통하여 획득된 영상은 2차 8각 미러를 통하여 카메라에 영상이 전달된다. 2차 미러의 방향은 1차 미러의 방향과 일치하도록 일정한 구조물에 장착한다. 45[°]로 분할되어 8각을 이룬 영상

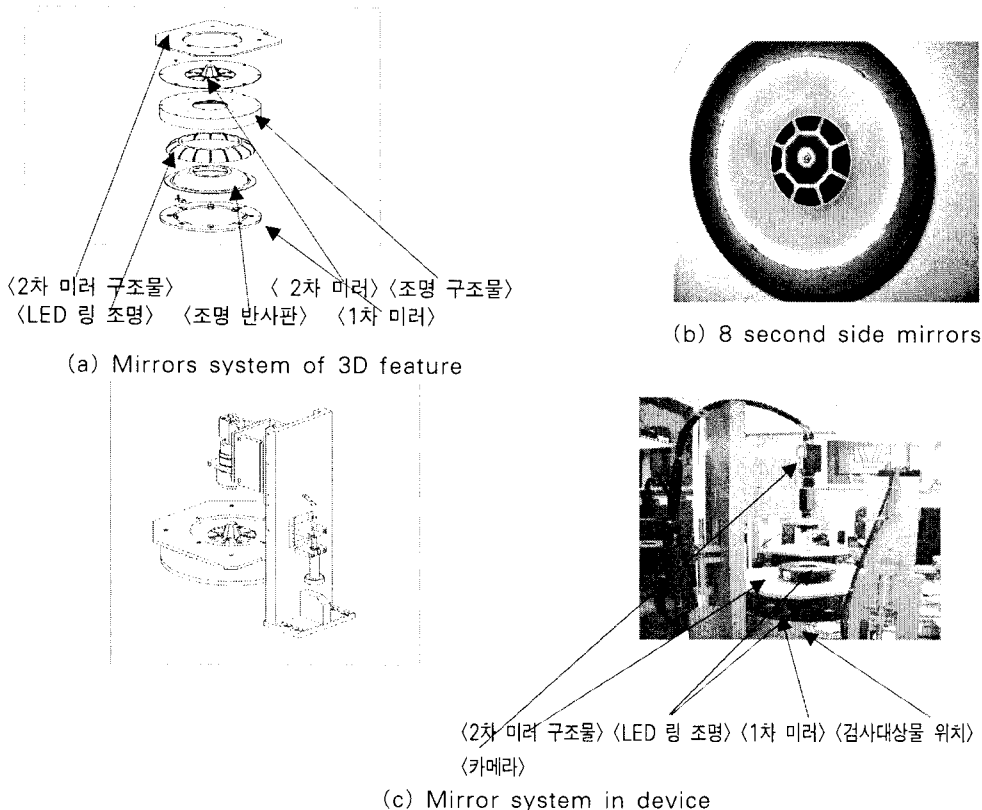


그림 1. 미러의 형상 및 장치 구성
Fig. 1. Feature of mirror and a device constitution

8각 미러에 의한 원형제품의 측면검사시스템 개발

은 원형제품의 측면 영상을 형성한다. 1차 및 2차 미러에 의하여 구성된 제품의 형상은 그림 1과 같다. 이때 검사영상을 얻기 위한 조명장치는 제품의 특징에 따라 크기와 LED의 방향을 다르게 제작하였다. 이 8각 미러 시스템은 제품의 크기에 따라 1차 미러의 각도와 크기 및 좌우 상하 위치조정이 가능하며 2차 미러의 각도 및 높낮이를 변경함으로써 유연한 검사가 가능한 구조를 갖도록 하였다. 이때 사용된 미러의 반사율은 98[%] 이상으로 수작업에 의하여 부착하였으며, 검사 대상물은 청색 컨베이어 상에서 모션제어를 통하여 일정한 속도로 움직이도록 고안되었다.

2.1.2 측면 검사영상

그림 2는 외경이 22[mm]인 오링의 외측면을 8각 미러를 이용하여 검사한 영상을 나타낸다. 촬영된 영상은 45[°]보다 넓은 약 60[°]영역이었으며, 검사 시에는 중첩된 영역중에서 필요한 검사영역을 선택함으로써 효율적인 검사가 가능하게 된다. 8각을 이룬 검사영상은 각 면이 서로 연결되어 일정한 각을 이루어야 정확한 영상을 얻을 수 있으며, 카메라 렌즈의 심도를 고려하여 1, 2차 미러의 위치를 조절하는 기능이 필요하다.

2.1.3 각 제품별 영상 및 특징

고무 오링과 소형 볼트 및 플라스틱 가스켓 원형 제품은 각 제품마다 조명 및 표면의 상태에 따라 취득되는 영상에 특징이 있다.

즉 오링 제품의 경우 일반적인 오링은 검은색으로 표면이 빛을 흡수하므로 광량이 많은 밝은 백색 LED 조명을 사용하여 영상 획득을 하며, 돔형식의 조명방식을 사용하였다. 금속 볼트는 표면의 빛 반사가 다른 제품에 비하여 탁월하므로 하부에서 상당히 넓은 백색 평판조명을 사용하여 조사하고 영상을 취득하였다. 이는 볼트의 측면에서 반사되는 빛을 이용하여 측면의 크랙(Crack) 검사가 용이하도록 하기 위함이다. 또한 반투명 플라스틱 가스켓의 경우 약한 빛에도 투과하는 특징이 있어 상부에서 적색 LED로 적은 광량의 조명을 조사하여 영상을 획득하였다. 그림 3에 각 제품의 8각 미러에 의해 얻어진

영상을 나타내었다.

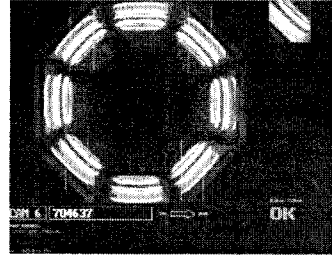
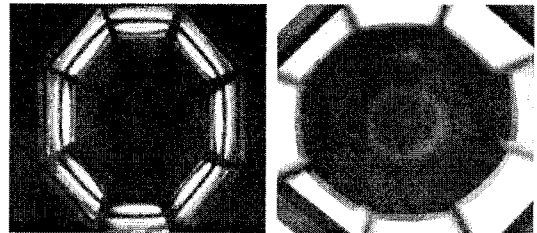
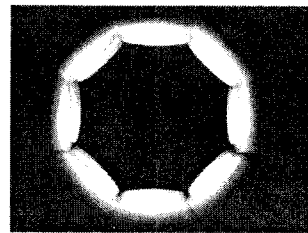


그림 2. 8각 측면 검사 영상
Fig. 2. Image of 8 side mirror inspection



(a) 오링

(b) 볼트



(c) 플라스틱

그림 3. 오링, 볼트, 플라스틱 가스켓의 8각 미러영상
Fig. 3. The 8 side mirror images of O-ring, Bolt, Plastic gasket

2.2 제품별 검사항목

2.2.1 오링(O-ring)

오링의 대표적인 불량 항목은 크랙(Crack)과 찌힘이다. 고무에서의 크랙은 고무에 이물질이 분포되어 있다가 제거되는 과정이나 이송중인 제품에 가해지는 외력에 의하여 생긴 불량이다. 또한 찌힘은 금형에 존재하는 이물질에 의한 제품의 손상현상이다. 이들의 경우 모두 흰색 배경(White field)에서 검은 점으로 나타나는데 그 크기와 입력 영상의 화소에

대해서 명도가 일정 경계치(Threshold value)이하인지 판단하여 불량 여부를 구분한다. 그림 4는 외경 18[mm], 두께 1.7[mm] 오링의 측면 영상에 나타난 찍힘 영상이다.

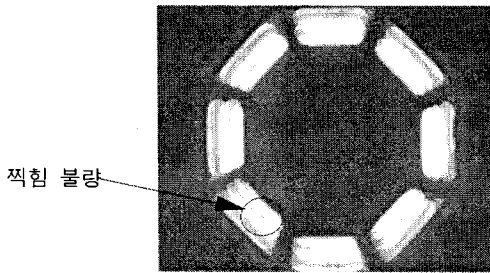


그림 4. 오링의 찍힘 영상
Fig. 4. The cut image of O-ring

2.2.2 볼트

볼트의 대표적인 측면 불량은 크랙이다. 크랙은 볼트의 수명에 치명적으로 영향을 미친다. 크랙은 재질에 의한 경우와 공정 중에 발생하는 경우로 구분된다. 또한 볼트의 크랙형태 중에서 측면에서 시작하여 볼트의 헤드부까지 이어진 크랙의 경우 상부에서 카메라로 검사가 가능하지만 측면에만 나타난 크랙은 상부 카메라로 검사가 불가능하다. 그림 5는 헤드 직경 5[mm], 길이 3.1[mm]인 소형 볼트의 크랙 영상으로 측면에 형성된 크랙을 촬영한 것이다.

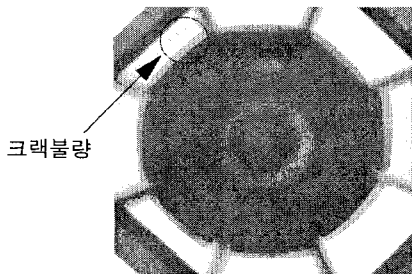


그림 5. 볼트의 크랙영상
Fig. 5. The crack image of bolt

2.2.3 플라스틱 가스켓

플라스틱 가스켓의 대표적인 측면 불량은 웰드(Weld)와 가스 열화(Gas burned)이다. 즉 외경 18[mm], 높이 5[mm], 두께 0.7[mm]의 가스켓은 가

스열화의 경우 반투명한 플라스틱의 가스켓 표면이 공정 중에 타면서 일정한 간격으로 벌어진다. 이 간격은 약 0.5[mm] 이상이며, 예지면이 검은색으로 변하여 상부에서 카메라로 촬영하고 백라이트(Back light)방식의 조명을 조사하면 검사가 가능하다.

이에 비하여 웰드불량 중에서 반투명 플라스틱보다 조금 더 불투명한 색상으로 변하나 외관에는 변형이 거의 없는 미세한 웰드 불량은 상부, 하부 검사 방식으로는 검사가 불가능하며 반드시 측면 영상 획득을 통해서만 가능하다. 그림 6은 가스켓의 웰드 불량 영상이다.

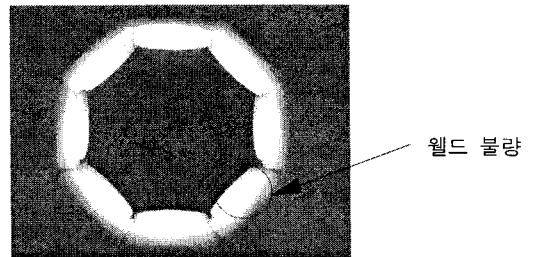


그림 6. 플라스틱 가스켓의 웰드 영상
Fig. 6. The weld image of plastic gasket

3. 영상처리 알고리즘

영상처리 알고리즘은 3종류의 측면 8각 영상에서 얻어진 영상에서 8개의 검사영역(ROI)을 설정하고 각 검사영역에 대하여 독립적으로 영상처리를 시행한다. 이때 수행되는 영상처리 알고리즘은 경계치 처리, 에지레벨 검출, 불량검출 방법이 사용되었다.

3.1 경계치 처리

경계치 처리는 입력 영상의 화소에 대해서 명도가 일정 경계치(Threshold value)이거나 그 이상의 경우 대응하는 출력 영상의 화소치를 1(백색)로 그 외의 경우는 0(흑색)으로 나타내는 것이다. 경계치 처리를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$N(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x,y) \geq T \\ 0 & \text{if } I(x,y) < T \end{cases} \quad (1)$$

8각 미러에 의한 원형제품의 측면검사시스템 개발

여기서 $N(x,y)$, $I(x,y)$ 는 각각 영상처리 전후의 (x,y) 좌표에 있는 화소의 농담 치를, T 는 경계치를 나타낸다.

오링, 볼트, 플라스틱 가스켓 영상을 이진화하기 위한 경계치는 검사영역 내의 불량 영역을 정상 영역과의 차이를 극대화 시킬 수 있는 값으로 정해진다. 이 경계치는 각 검사 항목별로 나타나는 특징을 조사하고 이에 따른 검사영상의 변화되는 경계위치를 초기화 값으로 설정한다.

그리고 각 제품별로 검사한계에 대한 기준은 생산 회사의 숙련된 검사자의 불량기준과 검사 항목별로 약 10개 이상의 제품에 대한 반복 시행착오(Trial and error) 방법에 의해 결정되었으며, 불량 크기는 현미경 측정을 통하여 확인한다.

오링, 볼트, 플라스틱 가스켓 영상은 검사 항목별로 2개 이상의 에지가 존재한다. 즉 8각의 영상에서 각 면에 대하여 일정한 검사영역을 설정하고 영상 내의 두 점(Point)사이의 라인프로파일(Line profile)을 통해 경계치에 놓여 있는 픽셀의 농담(Intensity) 정보를 이용하여 영상의 에지를 검출한다.

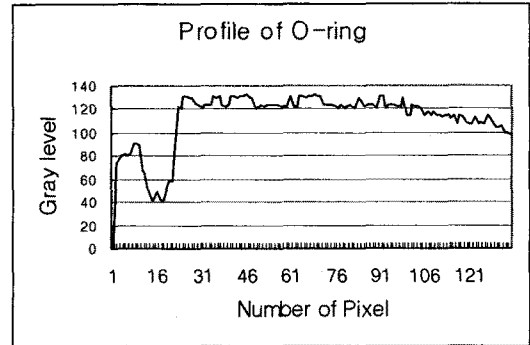
각 검사의 영역별로 그레이 레벨(Gray level) 15이상~200정도의 에지 검출 경계치의 오프셋(Offset)을 설정할 수 있도록 함으로서 다양한 영상상태에 대한 대응이 가능하다.

그림 7은 오링, 볼트, 플라스틱 가스켓의 측면에 대한 라인 프로파일로서 흰색과 검은색 경계치 부분에서 화소 값의 급격한 변화가 나타나며 이 변화를 추적하고 각 제품의 특성을 파악하고 경계면 영상을 구별하게 된다.

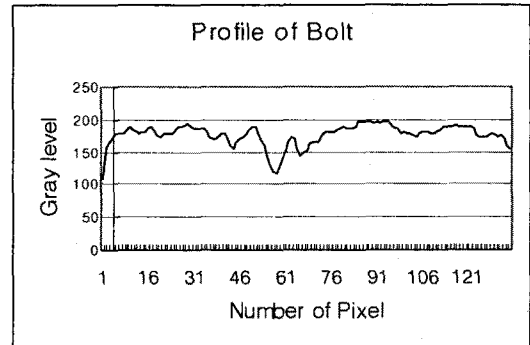
3.2 에지 레벨 검출(Edge level detection)

제품의 에지 검출은 밸브씰(Valve seal)과 같이 정확한 원형을 이루지 않으며, 여러 개의 에지면이 존재 하는 경우에도 라인 프로파일을 통해 경계치에 놓여 있는 픽셀의 농담 정보를 이용하여 구할 수 있다[9].

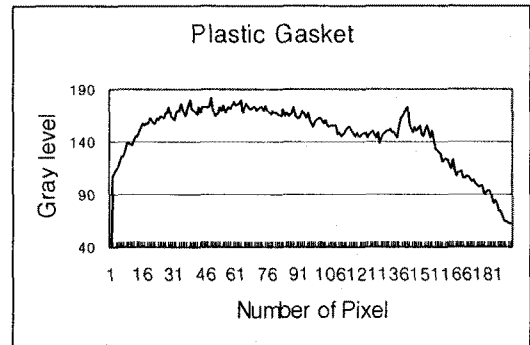
원형제품의 에지는 먼저 식 (2)와 같이 제품의 내, 외경 에지 경계에 대한 데이터를 추출하여 구한다. 즉 현재 검사를 위해 선정된 픽셀 x, y 의 값에서 앞,



(a) O-ring Profile



(b) Bolt Profile



(c) Plastic gasket Profile

그림 7. 오링, 볼트, 플라스틱 가스켓의 라인 프로파일
Fig. 7. Line intensity profile of O-ring, Bolt, Plastic gasket

뒤 방향의 그레이 데이터와의 차 값을 구하므로 영상의 급격한 변화가 일어나는 에지를 구한다.

$$N(x,y) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 K(j,k)P(x-j,y-k) \quad (2)$$

이때 k, j 는 현재 관심 픽셀좌표 x, y 의 앞뒤 방향 데이터이다. 따라서 관심 픽셀 주위의 모든 방향의 에지를 추출하기 위하여 1차 미분연산자인 소벨(Sobel) 수평 h_x , 수직 h_y 마스크는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[10].

$$h_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

따라서 식 (4)와 같이 에지레벨은 관심픽셀 앞에 있는 3개 픽셀을 평균한 값과의 차를 통하여 구할 수 있다.

$$N(x, y) < T \text{ 이고} \\ \text{Edge Level} < \left(\sum_{k=1}^3 N(x-k, y) \right) / k - N(x, y) \quad (4)$$

3.3 불량 검출(Defect detection)

식 (4)를 통해 얻어진 불량 후보 중심부와 주변을 체크해서 그레이 레벨의 변화가 급변한 곳을 찾아서 표시한다. 즉 $N(x, y)$ 은 관심 불량보다 작은 값을 갖도록 한다.

또한 관심 대상 불량 주변의 좌우, 상하 각 2개 픽셀과의 차를 합산하여 일정 셋팅 값을 초과하는지를 검사하여 불량여부를 최종 결정한다. 이때 결정되는 불량에 대한 식은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N(x, y) = \sum_{k=-2}^2 \sum_{j=-2}^2 P(x-k, y-j) - N(x, y) \quad (5)$$

4. 실험결과 및 고찰

현미경으로 측정된 볼트와 오링, 플라스틱 가스켓의 불량영상을 기준으로 검사가 가능한 범위를 제안된 알고리즘을 적용하여 영상처리하고 이를 통하여 8각 영상에서 검사가 가능한 불량 크기를 확인하였다. 이때 사용된 비전시스템은 CPU와 프레임그래버, I/O 및 메모리가 내장된 독립형 카메라로서 C++를 이용하여 프로그램 하였다. 개발에 사용된 컴파일러는 Code composer, 통신용 툴은 SVT-Pro를 사

용하였다.

또한 제안된 알고리즘을 검사영역으로 설정된 오링의 영상에 적용하여 단계적으로 확인하였다. 이를 통하여 원형제품의 측면에 대한 검사는 8각 미러를 이용하여 획득된 영상을 처리함으로써 불량에 대한 검사가 가능함을 확인하였다. 그리고 볼트와 플라스틱 가스켓에 대하여도 동일한 기법을 적용하여 검사가 가능함을 확인하였다.

이러한 영상처리과정을 통하여 확인한 5[mm] 볼트의 검사가능 크랙의 폭 크기는 86[μ m] 이상이며, 외경 22[mm] 오링은 0.3[mm](폭) * 0.5[mm](길이), 외경 18[mm] 플라스틱 가스켓은 0.1[mm](폭)*0.3[mm](길이) 이상이었다. 640*480 해상도의 동일 카메라에 대하여 제품별 검사 가능 불량 크기가 다소 차이가 있는 것은 조명에 의하여 반사되는 제품의 면의 정도가 다르기 때문이다.

즉 볼트의 경우 동일 폭의 크랙이라도 골의 깊이 정도와 크랙 안쪽면의 상태에 따라서 크랙의 폭에 대한 검사 가능성이 다르게 나타났다. 이는 조명 빛에 조사되는 볼트의 표면 상태와 미세한 크랙 사이에 별다른 에지차이가 발생하지 않아 크랙과 거친 표면을 구분하기 어렵기 때문에 일어나는 현상이다. 오링의 경우 대부분의 제품이 흑색이고, 고무의 특성상 빛의 반사도가 낮아 크랙부위의 빛이 카메라에 검출되지 않는 특성이 있다.

이에 비하여 플라스틱 가스켓의 웰드와 가스열화는 제품에 비하여 분명한 그레이 레벨의 차이를 보이므로 오링에 비하여 검사 정밀도가 비교적 높게 나타났다.

그림 8은 현미경으로 측정된 볼트 측면의 크랙 영상과 측정된 검사 영상이다. 크랙의 크기는 폭 86[μ m], 길이 719[μ m]로서 길이방향의 크랙크기는 상당히 길게 진행되어 있음을 알 수 있다.

그림 9는 플라스틱 가스켓 영상과 측정된 검사영상이다. 검사된 영상을 통해 알 수 있듯이 웰드는 그레이 레벨 140~160정도로 주변 화소와의 그레이 차이가 약 15~20정도의 차이를 보인다. 이는 검사영역 내에서 동일 그레이 레벨 영역이 2~3곳 존재하므로 식 (3)과 식 (4)에 의한 주변화소와의 비교를 통한 알고리즘을 사용하지 않는 경우 검출이 불가능하다.

8각 미러에 의한 원형제품의 측면검사시스템 개발

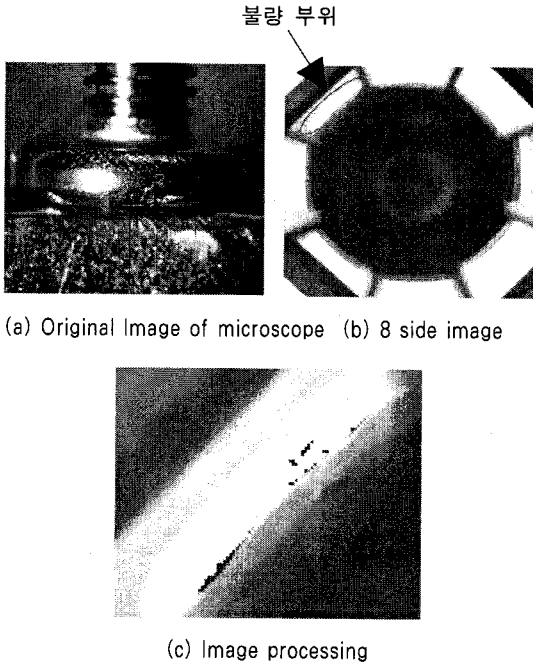


그림 8. 크랙 원영상 및 검사영상
Fig. 8. Crack image and inspection image of Bolt

그림 10은 촬영된 8각 중에서 중첩되는 영역을 제외하고 선택된 검사영역이다. 이 영역은 검사를 위해 제품의 2/3 영역만을 검사 영역으로 설정하게 된

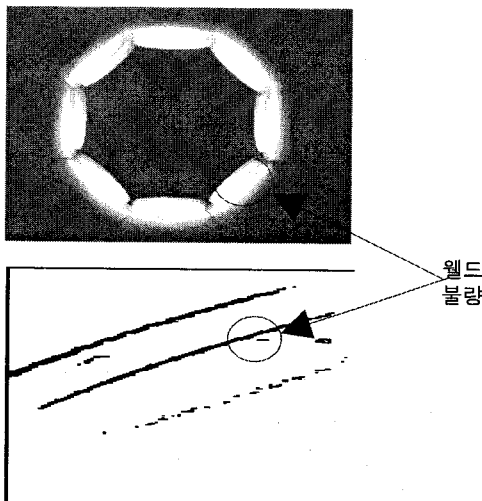


그림 9. 플라스틱 가스켓의 웰드 원영상 및 검사영상
Fig. 9. Weld image and inspection image of Plastic gasket

다. 이러한 검사영역이 한 개의 검사 화면에 8개가 설정된다.

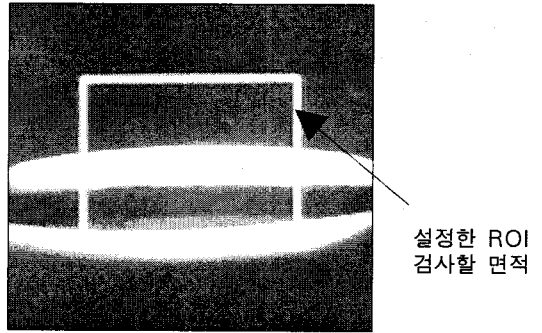


그림 10. 오링의 ROI 검사영역
Fig. 10. ROI of O-ring Inspection

식 (2)에 의하여 검사된 외측면 에지는 그림 11과 같다.

그리고 그림 12는 식 (4)에 의하여 결정된 에지 레벨과 추출된 상단, 하단 에지 사이 영역에서 불량 후보를 검출한 영상이다.

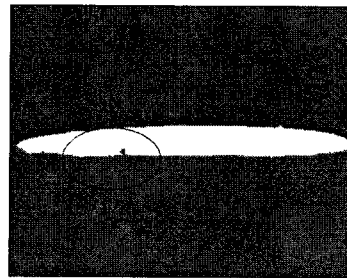
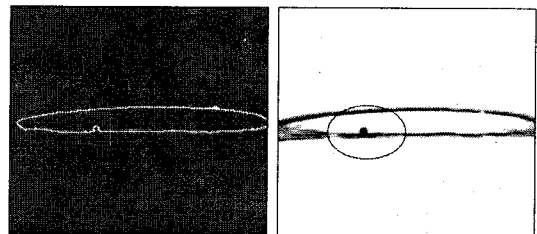


그림 11. 오링의 외측면 에지
Fig. 11. Outside edge of O-ring



(a) Edge level (b) Edges of upper end, lower end

그림 12. 에지레벨 영상
Fig. 12. Edge level image

그림 13은 식 (5)에 의하여 관심 대상 불량률의 주변을 검사하여 최종 결정된 불량영상이다.

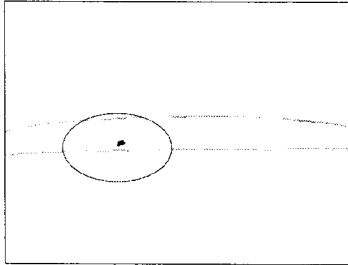


그림 13. 오링 불량 검사 최종 영상
Fig 13. Final image of O-ring defect

5 결 론

본 연구에서는 고속으로 이동 중인 원형제품의 측면을 제품의 회전 없이 검사할 수 있는 8각 미러 방법을 제안하였으며 이에 대하여 외형의 크기가 서로 다른 소형 볼트, 오링, 플라스틱 가스켓 3가지의 제품에 대하여 적용하여 그 타당성을 확인 하였다. 즉 8각 미러에 의하여 얻어진 8 방향의 영상을 결합하여 제품의 완성된 측면 영상을 구현하였고, 각각의 제품에 대하여 제안된 알고리즘을 적용하여 검사를 시행하였다.

이를 통하여 헤드직경이 5[mm] 볼트인 검사가능 크랙의 폭은 86[μ m]이상이며, 외경이 22[mm]인 오링은 0.3[mm](폭)*0.5[mm](길이), 외경이 18[mm]인 플라스틱 가스켓은 0.1[mm](폭)*0.3[mm](길이)임을 확인하였다. 이때 8각 미러를 이용한 제품의 검사 시 3200MIPS TI CPU를 내장한 640*480 해상도 독립형 카메라를 사용하였는데, 제품 검사하는 처리 시간은 최대 0.2[sec]이었다.

이로서 대량으로 생산되는 제품에 적용이 가능하고 제품의 특성에 따라 조명의 형상을 변화시킨다면 다양하고 정밀한 검사시스템의 구현이 가능함을 확인할 수 있었다.

향후 연구는 고해상 카메라를 이용하여 더욱 미세한 불량을 검출하는 알고리즘과 외경 30[mm]이상의 제품에 대한 고속처리 알고리즘의 개발이 필요한 과제로 남아 있다.

References

- [1] MMoganti, F.Ercal, C.Dagli, S.Tsunekawa, "Automatic PCB Inspection Algorithms: A Survey," Computer Vision and Image Understanding, Vol.63, No.2, pp.287-313.
- [2] Nakano, K. and K. Takizawa. "Studies on sorting systems for fruits and vegetables, part 2. Development of whole image data collecting system and detection of injured apples," J. Soc. Agr. Structures, jap. 28(1): pp.13-20, 1997.
- [3] F.Trivic, B.Sirok, P.R.Bullen, D.R.Philpott, "Monitoring Mineral Wool Production Using Real-Time Machine Vision," Real-Time Imaging, Vol.5, pp.125-140, 1999.
- [4] MRajeswari, M.G. Rodd, "Real-Time Analysis of an IC Wire-bonding Inspection System," Real-Time Imaging, Vol.5, pp.407-421, 1999.
- [5] Y. D. Kim, "Development of Image Processing Algorithm for Particle Size Measurement," Ph.D. Dissertation, KAIST, 2003.
- [6] H.J.Park, Y.M.Hwang, "Dimensional Measurement Using the Machine Vision," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.18, No.3, pp.10-17, 2001.
- [7] O.D.Kwon, "A Study on the Development of Cutting Tool Inspection System Using Computer Vision," PGD. Dissertation, KAIST, 1996.
- [8] C.H.Lee, T.D.Cho, "A Study on the End Mill Wear Detection by the Pattern Recognition Method in the Machine Vision," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.20, No.4, pp.223-229, 2003.
- [9] K.H.Lee, Y.Kim, "Development of an Auto Inspection Machine for Automotive Valve-Seals Using Standalone Vision," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 21, No.8, pp.71-80.
- [10] C.Warkins, A.Sadun, S.Marenka, "Mordern Image Processing" pp. 59-60, 1993.

◇ 저자소개 ◇

이규훈 (李揆堦)

1962년 2월 1일생. 1986년 동국대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동대학원 전기공학과 박사과정.

김 용 (金 龍)

1957년 3월 20일생. 1981년 2월 동국대 전기공학과 졸업. 1994년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 동국대 전기공학과 교수.