

# 라인스캔 카메라를 이용한 Floating Seal 시각 검사 시스템의 개발

박창목\*, 왕지남\*\*

## Development of Floating Seal Inspection System Using Line Scan Camera

Chang-Mok Park\*, Gi-Nam Wang\*\*

### ABSTRACT

An efficient automatic inspection system for Floating Seal is developed, The proposed system consists of a high resolution line scan camera, microcomputer, and PLC (Programmable Logic Controller). In order to perform rapid inspection, The ROI (Region Of Interest) is extracted from the original image. There are two types of defects: shape defects and surface defects. Each features of defects are captured by edge detect, segmentation, morphological operation, and threshold analysis. PLC controller is used to synchronize the whole system and store the inspection results temporarily to reduce the overhead of microcomputer. As a result, the system is being utilized successfully in a real inspection line.

**Key Words** : automatic visual inspection(자동 시각 검사), line scan camera(라인 스캔 카메라), floating seal(플로팅 씰)

### 1. 서론

Floating Seal이란 중장비 wheel에 사용되는 부품으로 제품 표면 및 외형의 상태가 제품의 주 기능인 wheel의 마찰 완화를 결정하는 주요한 부분이며, 매출량의 대부분이 해외로 수출되므로, 전수 검사가 필수적이다. 이러한 전수 검사를 작업자의 시각에 의존하는 공정은 특정한 숙련자에 의존되어

작업자의 결근 및 이직으로 인한 일관된 검사가 어렵고, 인간의 시각적인 한계 및 실수로 인한 치명적인 불량품이 출고되는 경우가 생겨 품질 신뢰성에 피해를 입히는 경우가 생기고 있다. 또한 생산량의 증가를 위해서도 고속자동검사 시스템이 필연적이라고 할 수 있다.

\* 아주대학교 산업공학과 대학원

\*\* 아주대학교 기계 및 산업공학부

일반적으로 machine vision을 이용한 시각 검사는 area scan camera를 사용하는 것이 대부분이었다. area scan camera는 한 번의 노출로 2차원 영상을 얻을 수 있으며 조명이 까다롭지 않고, 노이즈의 영향을 덜 받는다는 장점이 있지만, 촬영 대상이 움직이는 경우 혹은 넓은 영역을 고해상도로 검사해야 하는 경우 기술적으로나 비용 면에서 한계가 있다. 반면 line scan camera를 이용한 검사 시스템은 비교적 적은 비용으로 구현할 수 있으며, 이동하고 있는 피 검사물을 고해상도(6000pixels 이상)로 검사할 수 있다는 장점으로 연속 흐름체제에 기반을 둔 생산현장(제지, 섬유, 합판, 칠장 등)의 제품 검사에 적합한 장치이다. 하지만 적용상의 어려운 점과 특히 조명시스템 및 기타 환경에 민감하여 지금까지는 널리 사용되지 못하였다.

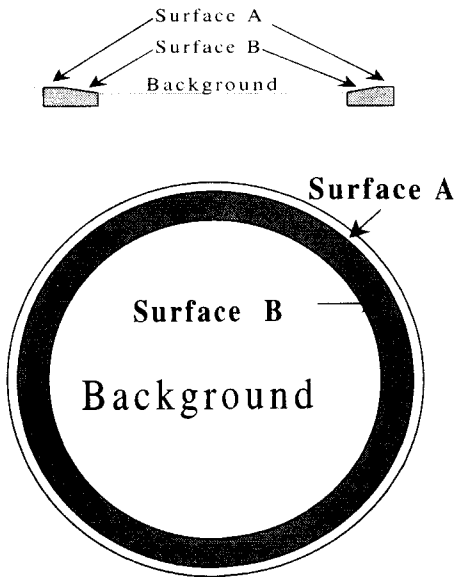


Fig. 1 Synthetic image of Floating Seal

본 연구에서 검사하는 제품의 형태는 Fig. 1과 같은 지름 60 ~ 160mm, 높이 15 ~ 20mm의 50가지 금속 제품이며, 표면은 lapping면(surface A)과 grinding면(surface B)이 존재하며, 촬영 영상에서는 그 표면 모습이 나르게 나타난다. 0.1mm의 정밀도로 전체 영역을 검사하기 위해서는 4096x4096 사이즈의 영상을 획득하여야 하며, 처리해야 하는

영상이 비교적 크기 때문에 본 연구에서는 warping 기법을 사용하여 피 모양의 ROI(Region of Interest)를 추출하여 실제 처리 영역을 줄이는 방법을 제시한다. warping이란 일정한 rule에 의하여 영상을 재수집(resampling)하는 방법으로써<sup>[3]</sup>, 검사 물체가 원의 형태이므로 원의 방정식과 회전 변환공식을 사용하여 resampling rule을 생성한다. 이러한 방법은 또한 기존의 시각검사장치의 검사 시간을 단축시킬 수 있는 방법이다.

ROI 추출 후 각각의 결함 감지 알고리즘이 수행되는데, 첫 단계에서는 물체의 내·외곽선을 추출하여 지름변화 및 내·외곽 모퉁이점(notch) 및 돌출부(burr)검사를 수행하는 방법을 제안한다. 두 번째로 Fig.1에서 보는 바와 같이 surface A(lapping 면)의 폭 변화정도를 검사하는데, 이는 surface A와 surface B의 texture변화를 이용하여 두 면의 경계를 추출하여 수행된다. 일반적으로 이러한 texture를 기초로 한 영역분할은 texture analysis를 사용하지만<sup>[6]</sup> 본 연구에서는 morphological operation을 사용하여 두 면의 경계선 정보를 빠르게 추출하는 방법을 제시한다. 마지막으로 표면의 결함을 추출하기 위하여 물체의 내·외곽선 정보를 이용한 이진화 방법을 제안하고, 결함의 기하학적인 특징을 이용한 결함 종류 및 크기의 판별을 제안한다.

개발된 통합 검사 시스템은 두 개의 image buffer를 가진 마이크로컴퓨터가 동시에 이미지 획득과 처리를 수행하여 전체 검사 사이클 타임을 단축시키고 있다.

## 2. 검사 장치의 구성

### 2.1 전체 구성

본 연구에서 개발된 검사장치 구성은 다음과 같다.

- ① 카메라 본체와 위치제어 구동부분
- ② 조명원과 조명 가이드
- ③ 검사 물체를 공급하는 이송기
- ④ 검사결과에 따라 양품과 두가지 형태의 불량(재가공 or 폐기)을 선별하는 장치
- ⑤ 검사 물체를 이송시키는 컨베이어

- 6. 신체적인 동작을 제어하는 PLC
- 7. 영상획득 및 처리를 담당하는 microcomputer

이상에 사용되는 컨베이어는 진동이 적고 물체가 이동중에 상하로 움직이는 노이즈 요소를 제거하도록 구성되었다. 전체적인 모습은 Fig. 2 와 같다.

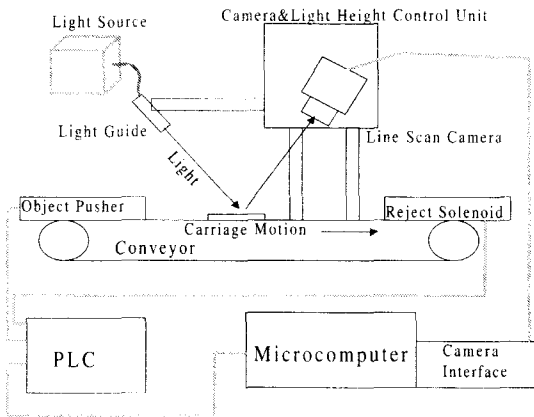


Fig. 2 Hardware schematic

## 2.2 조명 및 관측환경

일반적인 자동화검사시스템에서 적절한 조명 환경은 시스템의 성능을 좌우하는 중대한 요소임이 기존 연구에 의해 보고되어져 왔다. 특히 물체의 표면인 경우 표면의 반사율의 차이와 반사각도의 변화에 의해서 그 표면의 모습은 다양하게 변화하므로 노이즈의 영향을 줄이면서 표면의 결함이 잘 드러날 수 있도록 관측표면의 특성을 고려하여 sensing 장치와 광학시스템이 아울러 설치되어야 한다. 통상 적절한 조명 환경을 구현하는 것이 검사 시스템에서 가장 중요한 관건이라 할 수 있다. 광원을 선택 시 특히 고려해야 할 사항으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 광원의 분광 특성 및 범위
- ② 광원 빛의 강도
- ③ 순간적으로 빛이 지속되는 시간
- ④ 빛이 비추어지는 범위
- ⑤ 물체에서의 반사정도
- ⑥ 물체나 관측기기로의 빛 전달능력

## ⑦ 설치가 가능한 공간

화상시각검사에서 조명 환경이라 하면, 크게 광원(light source)과 조명가이드(light guide)를 말한다. 광원의 종류로는 tungsten filament 전구, quartz halogen 전구, 나트륨등, 형광등, 아크등, 네온등, LED, laser 등이 있다. 각각의 조명 원은 적외선, 자외선, 가시광선의 영역의 빛을 발하며, 이에 맞는 sensing장치를 사용하여야 한다. 흔히 사용되는 광원은 가시광선영역의 빛을 발하는 halogen 전구를 사용한다. halogen 전구 조명 원은 적은 가격으로 안정된 조명 환경 구현이 가능하며, 시간적인 빛의 강도가 거의 균일하게 유지되며, 빛의 세기가 강한 특성이 있다. 그러나 공간적으로 빛의 분포가 불균일한 단점을 가지고 있으므로 이의 보완을 위해서 조명 가이드가 필요하다.

line camera를 사용할 경우 빠른 스캔속도로 인해 충분한 노출이 어려우므로 sensing장치와 대상 표면의 특성에 맞는 조명 가이드를 제작하여 사용하여야 한다. 일반적으로 광섬유로 제작한 가이드를 제작하는데, 라인카메라인 경우 대상 표면의 한 라인만을 촬영하기 때문에 Fig. 3과 같이 길쭉한 직사각형 형태의 가이드를 제작하며, 라인 스캔속도를 높이거나, 렌즈 조리개를 조였을 경우 화상이 어두워지는 현상을 줄이기 위해 필요한 경우 여러 조명 원을 사용하고 빛의 입력부분을 복수로 개조하여 빛의 균일성과 출력을 극대화 할 수 있다.

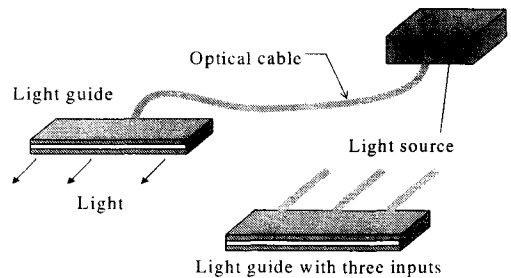


Fig. 3 Protorype of light guide

본 시스템에서는 조명가이드를 한 개 사용하였으며 Fig. 2 와 같이 경사지게 조명 가이드를 설치하고 카메라의 위치 및 각도를 조절하여 조명의 반사각에 일치되는 곳에서 sensor들이 빛을 받을 수 있도록 하여, 가장 밝은 상태의 영상을 얻도록 하

였다.

로 길이를 일치시켜야 한다.

### 2.3 Sensing ( line scan camera)

표면상의 결함은 반사율 및 반사각의 차이로 인해 반사광 량의 차이가 생겨 결함 부분이 밝게 나타나거나 어둡게 나타나게 된다. 이와 같은 성질을 이용하여 표면의 결함과 정상 표면을 구분하게 된다. 하지만 결함의 형태가 다양한 경우 결함이 명확히 드러나지 않는 경우가 있는데 이에 대한 조명 환경의 연구 및 이를 극복할 수 있는 알고리즘의 연구가 필요하다.

표면검사에는 표면의 결함모습들이 조명의 영향을 많이 받으므로 좀 더 안정된 화상을 얻기 위해서는 area scan camera 가 적합하나, 서두에 언급한 바와 같이 line scan camera의 사용이 합리적 대안이 된다. line scan camera는 CCD 소자가 선형으로 밀착 배열되어 한 번에 1차원 데이터를 얻을 수 있다. 이런 line scan camera 시스템을 구축할 때 고정밀도와 빠른 영상 획득 속도로 인해 빛에 대한 민감도 저하, 카메라의 획득율에 따른 조명원의 주파수, 이송장치의 진동과 속도 등, 시스템을 구성하는데 고려해야 할 많은 문제들이 발생하며 구성이 용이하지 않다. 현재는 영상 입력부에서 어떤 규칙과 기준에 의해 획득부의 구성요소를 선택하여 획득 시스템을 구성하는 것이 아니라 장비 구입의 경제성을 감안하여, 전문가의 실무 경험을 참고로 검사 물체에서 반사되는 빛의 성질 또는 투과, 산란, 굴절 등의 특성과 검사 목적 및 주위 환경을 감안한 적합한 조명원 및 sensing 장치(camera)를 선정하여 구입 설치한 후 실험을 해 보고 더 필요한 사항을 개선하는 방식으로 시스템을 구축하고 있다.

### 2.4 이동속도와 스캔 속도 동기화

물체 이동 속도와 카메라의 라인스캔속도를 동기화 해주는 것이 정확한 2차원 영상을 획득하기 위해서 필요하며, 컨베이어의 모터에 물려있는 encoder pulse신호를 카메라의 외부 동기 신호로 넣어 주면, 카메라의 스캔속도는 물체의 이동 속도와 동기화 된다. 예를 들면 Fig. 4와 같이 실제 촬영할 영역의 폭이  $x\text{ mm}$ 이고 line scan camera가 4096 pixels로 구성되어 있다면 물체가 길이 방향으로  $x\text{ mm}$ 이동하는 동안에는 4096개의 라인을 스캔하도록 하여, 획득된 2차원 영상의 물리적인 가로/세

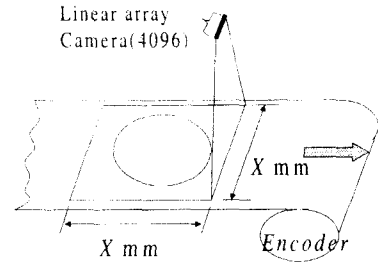


Fig. 4 2-Dimensional image acquisition

## 3. 영상 처리 및 결함의 감지

### 3.1 ROI (Region Of Interest) 획득

본 시각 시스템에서 한 개의 영상을 획득하면, 그 크기가 16.8 Mbytes (1byte\*4096\*4096)가 되며 DMA(Direct Memory Access)를 사용하여 카메라에서 호스트 메모리에 저장된 후 처리가 이루어진다. 16.8 Mbytes 화상을 그대로 화상처리 한다는 것은 검사 속도를 상당히 저하시키는 요인이 될 것이므로 처리시간을 감소시키기 위해 Fig .5과 같은 ROI를 추출한다.

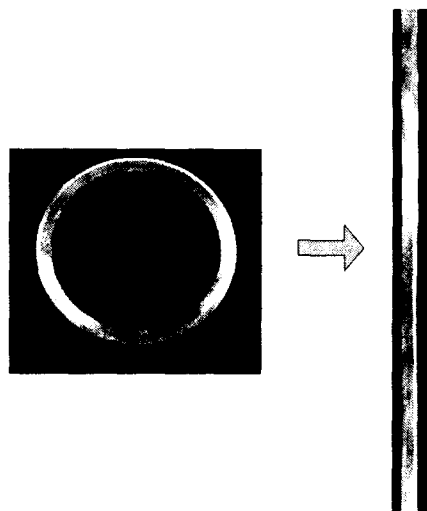


Fig. 5 Warping for ROI extraction

ROI 는 일종의 warping 기법을 이용하여 생성된 비 모양의 직사각형 영상이며, warping을 위한 resampling rule은 영상 회전 좌표변환공식과 원의 기하학적 특성을 응용하여 만들어진다. Fig .6와 같이 원주를 가로지르는 직선상의 좌표 (x, y)가 있을 때,  $\theta$  를 증가시키면서 식 (1) (2)를 사용하여  $(x_0, y_0)$ 와 같은 좌표를 구할수 있으며 실제 좌표 계산은 ROI의 1/8만 계산하며, 나머지는 식 (3) ~ (9)와 같이 원좌표의 특성을 이용하여 얻어질 수 있기 때문에 빠른 시간에 ROI image 획득이 가능하다.

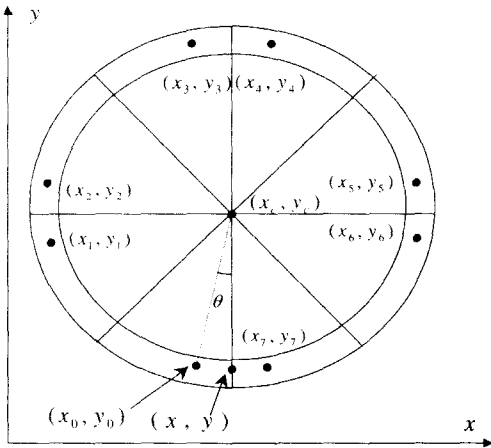


Fig. 6 Composition of ROI coordinates

$$(ROI\ x\ 좌표\ 값) \quad x_0 = x_c \cos \theta + y_c \sin \theta - y_c \sin \theta - (\cos \theta - 1)x_c \quad (1)$$

$$(ROI\ y\ 좌표\ 값) \quad y_0 = -x_c \sin \theta + y_c \cos \theta - (\cos \theta - 1)y_c + x_c \sin \theta \quad (2)$$

$$x_1 = x_c - y_c + y_0, \quad y_1 = y_c - x_c + x_0 \quad (3)$$

$$x_2 = x_c - y_c + y_0, \quad y_2 = x_c + y_c - x_0 \quad (4)$$

$$x_3 = x_0, \quad y_3 = 2 * y_c - y_0 \quad (5)$$

$$x_4 = 2 * x_c - x_0, \quad y_4 = 2 * y_c - y_0 \quad (6)$$

$$x_5 = x_c + y_c - y_0, \quad y_5 = x_c + y_c - x_0 \quad (7)$$

$$x_6 = x_c + y_c - y_0, \quad y_6 = y_c - x_c + x_0 \quad (8)$$

$$x_7 = 2 * x_c - x_0, \quad y_7 = y_0 \quad (9)$$

### 3.2 결함의 감지

#### 3.2.1 Shape 불량 감지

shape에 관련된 검사는 다음과 같이 두가지로 분류할 수 있다.

- ① 지름 변화(허용 공차  $\pm 0.7\text{ mm}$  )
- ② 내/외곽 모뎀어짐(notch) 및 돌출부(burr) : 검사 대상물의 바깥 경계부분에 (< or >)형태의 돌출부 혹은 파손된 부분(높이 및 폭이 0.3mm 이내)

ROI영상의 바깥쪽은 안쪽 경계선을 추출하기 위하여 vertical edge operator를 사용한 edge 검출, 이진화, extract of boundary information을 차례로 수행하여 ①② 항목에 해당하는 검사를 수행할 수 있다. Fig .7에서 보는 바와 같이 외부와 내부 반지름의 변화를 살펴보면 지름의 변화가 심한 영상은 경사가 급한 사인곡선형태로 변화하고 있으며, 비교적 양호한 제품은 완만한 곡선형태를 보여주고 있다. 또한 반지름이 급격히 감소하는 화살표 부분에 모뎀어짐(notch)이 존재함을 알 수 있으며, 이 부분의 폭과 높이를 측정하여 허용 오차를 넘으면 결함으로 판단된다.

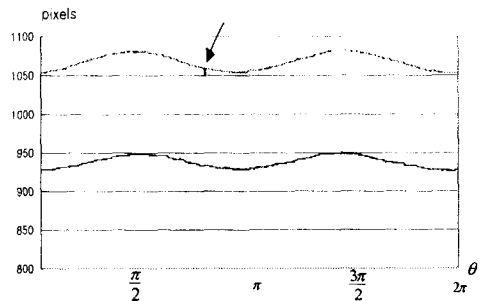


Fig. 7 The scatter of inner and outer diameters

#### 3.2.2 Lapping면 폭 변화(tolerance $\pm 0.5\text{mm}$ )

lapping(surface A)폭 변화 검사를 위해서는 grinding면과 lapping면의 경계를 구하여, lapping면 폭의 최대와 최소폭을 측정하여, 최대와 최소폭이 정해진 규격을 벗어날 경우 lapping면 폭 결함으로 판단된다. Fig.12의 왼쪽 위의 영상에서 보는 바와 같이 두 면은 밝기와 texture의 차이를 가지고 있다. 그러나 워낙 넓은 영역을 촬영하고, 표면의 특성이

조금씩 다른 관계로, 그 변화가 고른 영상을 기대하기 어려웠다. 그렇기 때문에 일반적인 texture segmentation 방법을 사용할 경우 불규칙한 경계면의 추출로 인한 폭 결함 감지에 오류가 많았다.

lapping면 폭 변화가 완만한 형태를 가지고 있기 때문에 일정한 간격을 두고 이산적인 경계 정보를 얻어오면 전체적인 lapping면 폭의 변화를 감지하기에는 충분하였다. 따라서 오류의 가능성을 최대한 줄이기 위해서 본 연구에서는 edge image를 바탕으로 최대폭과 최소폭을 정확히 찾을 수 있는 방법으로써 이진화된 에지 영상에 morphological operations을 적용하여 두 면의 경계를 추출하였다.

집합론을 근거로 한 mathematical morphology란 이미지에서 특성 요소를 추출하거나 제거하는 방법으로써 본 연구에서는 이진 영상에 dilation ( $\oplus$ ) 과 erosion ( $\ominus$ ) 연산을 사용하였다. dilation은 특정 영역에 불림 효과를 주는 것이며 structuring element라고 정의되는 pixels 집합 B에 의한 특정 이미지(집합 A)의 dilation은 다음과 같이 표현된다.

$$A \oplus B = \{p \in \epsilon^2 : p = a + b, a \in A \text{ and } b \in B\}$$

위 표현은 A를 이루는 pixel들에 B(형태소: structuring element)의 원점을 겹쳤을 경우 B에 의해 확장된 pixel들의 집합을 나타내는 것이다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

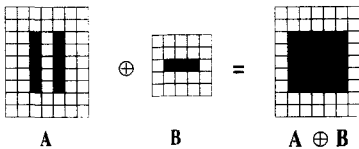


Fig. 8 Dilation

erosion은 특정 영역에 침식 효과를 주는 것이며 집합 B에 의한 특정 이미지(집합 A)의 erosion은 다음과 같이 표현된다.

$$A \ominus B = \{p \in \epsilon^2 : p + b \in A \text{ for every } b \in B\}$$

위 표현은 A를 이루는 pixel들에 B(형태소:

structuring element)의 원점을 겹쳤을 경우 B의 모든 pixel들이 포함되지 않는 A의 pixel들이 제거된 집합을 의미한다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 9와 같다.

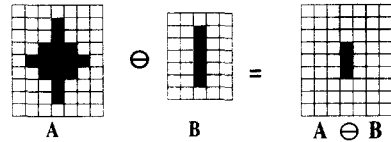


Fig. 9 Erosion

실제 제품의 표면 영상에 vertical edge operator를 수행한 영상을 확대하면 Fig. 10과 같은데, 그림에서 보는 바와 같이 두 면의 경계 정보를 가진 edge가 존재하는 것을 볼 수 있다.

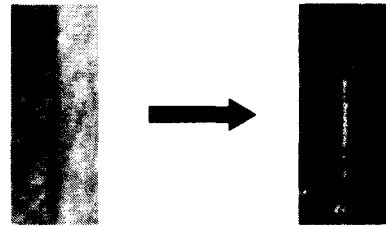


Fig. 10 vertical edge enhancement

이러한 경계 정보만을 추출하기 위하여, Fig. 11의 아래와 같은 structuring element들을 사용하여 Fig. 12와 같은 결과를 만들어 낼 수 있다. Fig. 11의 아래에 보는 바와 같이 먼저 structuring element A에 의한 erosion을 반복 수행하여 표면에 존재하는 두 면의 경계만을 추출하며, 두 번째로 노이즈나 표면 무늬에 의하여 여러 개의 경계가 생긴 부분을 제거하기 위하여 structuring element X를 사용하여 dilation과 erosion를 순차적으로 수행한다. 마지막으로 경계면 추출의 오류를 최대한 줄이기 위하여 structuring element B를 사용하여 산발적으로 생긴 경계 노이즈를 없애고, 영상의 모든 수평선상에 최대 3개의 경계정보(외곽, 두면의 경계, 내곽)만이 남도록 한다. 결국 Fig. 12의 ④번 영상과 같은 결과가 추출되며, 중간 선과 오른쪽 선과의 거리를 계산하여 lapping면의 폭을 계산하게 된다.

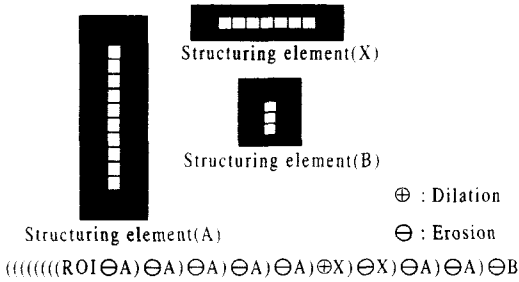


Fig. 11 Morphological operations for extracting texture boundary line

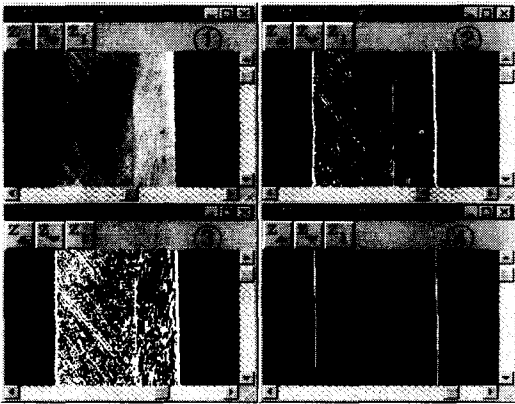


Fig. 12 ①ROI -> ②vertical edge enhancement -> ③binary image -> ④extract of boundary line

### 3.2.3 크랙, 핀홀, 미연삭의 감지

크랙, 핀홀, 미연삭결함은 배경과 비슷한 낮은 gray scale 값을 가지므로, binary segmentation 방법을 사용하여 감지가 가능하다. ROI화상은 길이 5000pixels 폭 200pixels 정도의 크기를 가지므로 하나의 threshold 값을 사용하여 이진화를 할 경우 올바른 표면 결함 감지가 불가능하므로, 300x200 size 인 subregion로 나누어 각 subregion을 이진화한 후 양쪽 배경 부분을 제거하고 표면부분에 남은 어두운 부분을 결함으로 판정하게 된다. 이렇게 배경부분만 제거하고 표면의 결함을 남겨놓기 위한 최적의 threshold 값을 찾기 위하여, 외형 측정에서 구한 반지름 정보를 이용한다. 반지름 정보를 이용하면 배경과 물체의 픽셀 빈도수를 계산할 수 있다. 이러한 실제분할과 threshold 값에 의한 영상 분할의 차이를 최소화 하는 threshold 값을 구하여 이진화

를 하면, 정확히 표면과 배경이 구분된 이진영상을 얻을 수 있으며, 표면의 결함은 배경과 비슷한 gray scale 값을 가지므로, 이진영상에서 양쪽 배경부분을 제거하면, 표면부분의 결함만 검출된다. Fig. 13은 특정 ROI의 30개 subregion에서 threshold (t) 값이 0 ~ 255 까지 변할 때 segmentation 에러의 패턴을 보여 주고 있다.

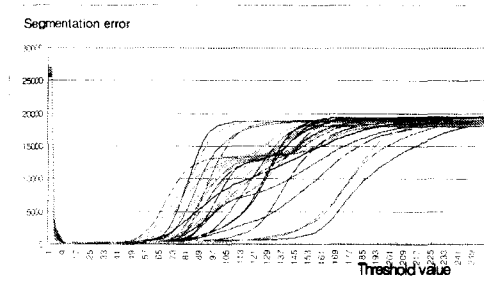


Fig. 13 Segmentation errors according to threshold value

Fig. 13처럼 각 subregion에 따라 gray value 가 13 ~ 100사이의 값에서 segmentation error가 최소가 되는 것을 볼 수 있다. 이렇게 error가 최소가 되는 threshold 값을 사용하면, 표면의 결함을 간과하거나, 결함이 아닌 부분을 결함으로 인식하는 오류를 줄이면서 표면의 결함을 추출할 수 있었다. 즉 NxM size의 subregion에서 내부&외부 경계점의 좌표를 식 (10),(11)과 같이 표현 할 때

$$P_L(j) \quad , \quad j=1,2, \dots, M \quad (10)$$

$$P_R(j) \quad , \quad j=1,2, \dots, M \quad (11)$$

$$Min [ \sum_{j=0}^M (P_R(j) - P_L(j)) - \sum_{j=0}^M \sum_{i=0}^N b(i, j) ] \quad (12)$$

$$b(i, j) = 1 \text{ (if } G(i, j) \geq t \text{)}$$

$$b(i, j) = 0 \text{ (if } G(i, j) < t \text{)}$$

$$G(i, j) = (i, j) \text{의 Grayscale value}$$

식(12)를 만족하는 t 값중 가장 큰 값을 선택한다.

위 방법은 subregion의 히스토그램을 분석하지 않고, edge image에서 추출된 테두리 정보를 이용하여 표면의 결함이 정확히 인식되는 최적의 t 값을

추출할 수 있었다. 핀홀 결함이 존재하는 subregion을 segmentation한 영상의 예는 Fig. 14와 같다.

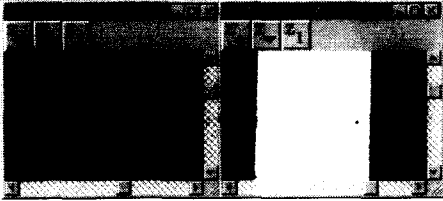


Fig. 14 Segmentation of pinhole defect

표면결함 감지를 위한 이진 영상이 구해지면 배경 부분을 제거한후 local neighborhood algorithm을 사용하여 CCL( Connected Component Labeling)을 수행한다. labeling이 완료되면 각 결함의 외형 특성을 추출하여, 결함의 종류와 크기를 측정한다. 본 연구에서는 식 (13)과 (14)로 표현되는 moments를 기초로 한 특성과 Fig. 15와 같은 enclosing box 특성을 사용하였다.

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

$$(moments) m_{pq} = \sum_i \sum_j i^p j^q f(i, j)$$

$$f(i, j): \text{gray value of } (i, j)$$

$$\epsilon = \frac{(\mu_{02} - \mu_{20})^2 + 4\mu_{11}}{A} \quad (13)$$

$$(A = m_{00} \mu_{pq} = \sum_i \sum_j (i - \bar{x})^p (j - \bar{y})^q f(i, j))$$

$$S = \mu_{02} + \mu_{20} \quad (14)$$

$f(i, j)$ 는 이진 영상일 경우 1로 처리한다.

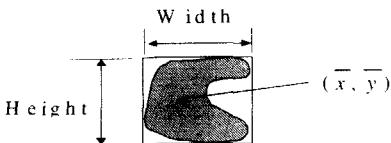


Fig. 15 Features of Enclosing box

moments를 기초로 한 특성들 중 길쭉한 정도를 나타내는 eccentricity( $\epsilon$ )는 식 (13)으로 표현되

며, 결함의 사이즈를 나타내는 spread( $S$ )는 식(14)로 표현된다. 이러한 특성과 enclosing box의 width, height를 측정하여 결함들의 종류를 분류하고, 허용 공차를 넘는 결함이 있는 경우 불량 제품으로 처리한다.

#### 4. 시스템 구현

##### 4.1 비동기 grabbing 의한 cycle time 단축

검사 cycle time은 line scan camera의 스캔속도와 image 처리를 담당하는 microcomputer의 성능에 좌우된다. 일반적으로 이미지를 획득중에는 microcomputer의 CPU자원을 거의 사용하지 않으므로 두 개의 이미지 버퍼를 사용하여, 이미지를 획득 중에 image 처리를 할 수 있도록 하였다. 영상 획득과 이미지 처리에 관련된 procedure는 Fig. 16과 같다.

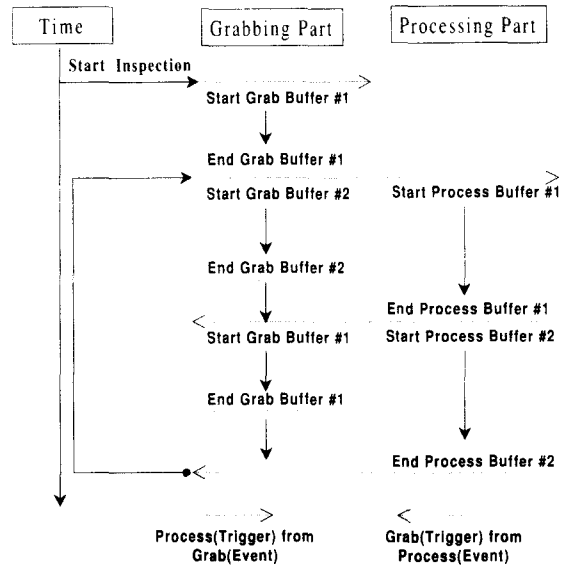


Fig. 16 Procedure for asynchronous grab using 2 buffer

##### 4.2 시스템 제어 및 인터페이스

PLC와 microcomputer와의 잦은 interface로 인한 검사 시간 증가를 방지하기 위하여 검사 시스템의 시작과 종료를 제외하고 거의 모든 부분은 PLC에 의하여 통제된다. 또한 검사 정보를 실시간 관리하



기 위한 microcomputer의 overhead를 없애기 위하여 일/월별 검사 정보, 불량별/제품별 검사정보도 PLC의 메모리에 저장되며, 작업자는 off-line 상에서 일별, 월별, 제품별, 불량별 검사 정보를 PLC에서 download하여 볼 수 있게 하였다.

PLC와 microcomputer와의 interface모듈은 3가지로 나누어 진다.

1. 작업자가 검사할 제품을 선택하면, microcomputer는 검사에 필요한 사전 정보를 준비하고 정의된 프로토콜에 따라 제품 종류 신호를 PLC에 보내주며, PLC는 검사 제품에 따라 조명과 카메라의 높이를 조절한다.
2. 작업자가 Start 버튼을 누르면, microcomputer는 PLC에 start 신호를 보내주며, Fig. 17에서와 같이 PLC는 삽입될 제품이 준비되었는지 광센서(#1)를 통하여 감지하고, 삽입준비가 되었으면, 제품을 밀어넣고, microcomputer에 삽입되었다는 신호를 보내준다. 이때 microcomputer는 trigger에 의한 grabbing을 실행하고, 제품이 촬영 영역에 들어왔다는 신호가 광센서(#2)를 통하여 grabber board에 들어오면, 실제 line camera의 scanning이 시작된다. 제품 검사가 끝나면 검사결과를 양품 신호, 불량(불량 종류별)신호를 PLC에 보내고, PLC는 검사 정보(일별, 월별, 제품별, 불량종류별)를 수정한다.
3. 작업자가 off-line상에서 각 검사 정보를 얻기 위하여, PLC에 신호를 보내면, PLC는 검사 정보를 저장하고 있는 메모리의 값들을 microcomputer에 보내주게 되며, 작업자는 각 정보를 관리하고 출력할 수 있다.



sensor #1                      sensor #2

Fig. 17 Arrangement of sensors

## 5. 구현 결과

본 시스템을 구현하기 위한 주요 하드웨어 사양은 다음과 같다.

- ① Camera : Dalsa 4k line scan camera
- ② Grabber board : Matrox사의 Meter II-Digital
- ③ Image processing library : MIL(Matrox Imaging Library)
- ④ Microcomputer : 펜티엄 400Mhz processor, main memory 128Mbytes
- ⑤ Software development tool : MS Visual C++
- ⑥ Light source : 150 watt halogen lamp

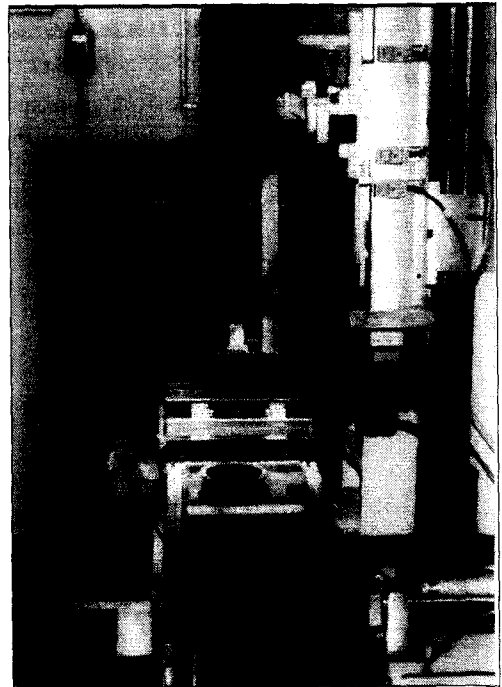


Fig. 18 The developed Inspection system

실행중인 검사 시스템의 모습은 Fig. 18이며, 그림에서 보는 바와 같이 전면의 polishing공정을 마친 제품들은 conveyor입구에 있는 깔대기 모양의 buffer에서 제어기에 의하여 검사 영역으로 삽입되고, 제품이 conveyor끝에서 도착하면 검사 결과에 따라 reject solenoid에 의하여 왼쪽으로 빠지거나, 양품인 경우 앞으로 내보내지게 된다.

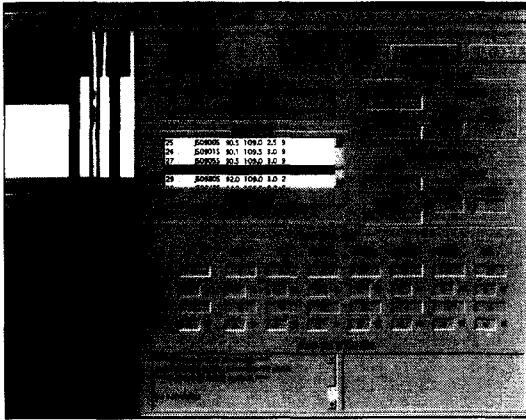


Fig. 19 Main GUI(Graphical User Interface)

main GUI 화면은 Fig. 19처럼 왼쪽 window는 두 개의 영상과 처리 절차를 번갈아 보여주며, 오른쪽 window는 검사 제품 선택, 현재 검사 결과를 수치적으로 보여주는 부분 및 현재까지의 검사결과를 종합하여 보여주는 부분으로 구성되어 있다.

본 검사 시스템의 성능을 측정하기 위하여 테스트용 제품 5가지를 선정하였다. 각 제품에서 양품 200개, 불량품 800개(불량항목별로 200개)를 추출하여 검사를 수행한 결과는 표 1과 같다. 표면의 불량 검사에서 다른 항목보다 비교적 높은 오류율이 나타났으며 그 외의 검사에서는 불량간과율이 거의 0%를 나타내고 있어 만족할 만한 결과를 얻었다. 표면 검사에서는 육안에 의한 검사와는 달리 검사 표면의 먼지에 민감하게 반응하여 표면의 먼지를 결함으로 오인식(誤認識)하여 양품을 불량으로 처리하는 경우가 가끔 발생하였다. 또한 불량간과율이 비교적 높은 것은 편흔의 깊이 정도에 따른 다양한 gray scale 값 때문으로 사료된다. 즉 비교적 깊은 편흔인 경우 더욱 어두운 gray scale 값을 보이며, 낮은 경우 일반적인 편흔 보다 약간 높은 gray scale 값을 가진다. 이 경우 주위 정상 표면 보다는 어둡지만, 배경의 gray scale 값 보다 높은 gray scale 값을 나타내어 결함이 간과되는 현상이 생기는 것이다.

본 검사 시스템은 2초 이내에 한 개의 제품을 검사할 수 있었으며, 표면 검사를 제외한 검사 항목에서는 기존 육안에 의한 검사보다 보나 빠르고 정밀한 검사가 가능하여, 제품 품질 수준을 높일

수 있었다. 또한 일별, 월별, 제품별, 불량 유형별 검사 정보의 실시간 관리를 통하여, 생산 공정의 이상을 조기에 발견할 수 있는 정보를 제공하여 줄 수 있었다. 개발된 시스템은 현재 J사의 생산 현장에 설치되어 활용 중에 있으며 Floating Seal 검사에서는 전세계적으로 처음으로 시도되는 자동 검사 시스템으로 평가되었다.

(단위 %)

Table 1 Inspection result of 5000 items

검사 항목 검사 제품 (외경 mm)	지름 불량	notch &burr (테두리)불량	lapping면 폭 불량	표면 불량	
80	오인식율	0	1	0.5	2.5
	불량간과율	0	0	0	2
114	오인식율	0	0	1	3.5
	불량간과율	0	0	0	4.5
122	오인식율	0	0.5	0.5	5
	불량간과율	0	0	0	3
141	오인식율	0	0	0.5	7.5
	불량간과율	0	0	0	5
150	오인식율	0	0	1	8.5
	불량간과율	0	0	0	5

## 6. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 고해상도의 line scan camera를 이용하여 Floating Seal이라는 비교적 넓은 영역의 제품을 이동중인 공정 상에서 품질 검사를 수행하는 시스템을 구현하였으며, 이러한 과정 중에 line scan camera를 사용하기 위한 조명 및 여러 요소에 대한 선반적인 고찰이 이루어졌다. 영상 추출 과정에서는 warping 기법을 사용하여 필요한 검사 영역 추출을 통하여 검사 시간을 단축할 수 있었으며, 영상 처리 과정에서는 제품의 machining 단계 (grinding - lapping)에서 생성된 두 표면의 경계를 추출하는데 morphological operation을 사용하여 여러 잡음을 극복하면서 경계를 추출할 수 있었으며, 이러한 방법을 통하여 정확하고 오류 없는 표면 폭 변화를 측정할 수 있었다. 또한 표면의 결함

을 추출하기 위한 방법으로써, 검사 절차 앞부분에 시 얻어진 물체의 테두리 정보를 이용하여 최적의 threshold 값을 구하여, 표면 결함 감지에 대한 오류를 최소화하였고, moments를 기반으로 한 결함 특성을 추출하여 결함의 크기 및 형태를 구하였다. 마지막으로 비능기 영상 획득을 통한 전체 검사 cycle 시간을 단축하였다.

적용 결과에서 언급한 바와 같이 본 시스템은 표면 검사에서 몇가지 한계점을 보여주었으며, 이러한 단점을 보완하기 위하여 표면의 먼지 및 얼룩을 제거하는 진저리 공정이 첨가 될 것이며 또한 다양한 gray scale값을 보이는 핀홀을 정확히 가려내기 위한 세분화된 감지 절차가 연구 되어져야 한다.

본 검사 시스템은 관련 외국의 생산업체 및 바이어들에게 소개되었으며 향후 전체적인 시스템의 평가 및 개선이 진행될 예정이다.

### 참고 문헌

1. Isannis Pitas, Digital Image Processing Algorithms, Prentice Hall, pp. 277-281, 1993.
2. Gonzalez/Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, pp. 518-534, 1992.
3. Randy Crane, Simplified Approach to Image Processing, Prentice Hall, pp. 203-205, 1997.
4. Bruce G. Batchelor, Industrial Machine Vision Systems, SPIE Optical Engineering Press, pp. 234, 1994.
5. 윤두만, 한준희, 표면 결함 검사를 위한 CCL기반의 기하학적인 특징과 분류 알고리즘, 한국정보과학회 논문지 제 21권 5호, 1994.
6. Mihran Tuceryan, Texture Analysis, Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision, pp. 235-276.
7. Yoshikuni Okawa, Automatic Inspection of the Surface Defects of Cast Metals, Computer Vision, Graphics, and Processing 25, 1984.
8. Vera B. Nanand, Computer Graphics & Geometric Modeling for Engineers, WILEY, pp. 70-75, 1992.
9. E. R. Davies, Machine Vision, Academic Press, pp. 174-180, 1997.