

Machine Vision을 이용한 자동차용 Oil-Seal의 불량 검사 기계 개발

노 병 국¹⁾ · 김 도 형²⁾ · 박 용 국³⁾

한성대학교 기계시스템공학과¹⁾ · 대구가톨릭대학교 대학원 기계자동차공학부²⁾
· 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부³⁾

Development of an Inspection Machine for Automotive Oil-Seals Using Machine Vision

Byoung-Gook Loh¹⁾ · Dohyoung Kim²⁾ · Yong Kuk Park³⁾

¹⁾Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University, Seoul 136-792, Korea

^{2),3)}Department of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

(Received 16 September 2003 / Accepted 22 March 2004)

Abstract : In this study, an inspection system for automotive parts using machine vision has been developed and presented. The system is comprised of six analog CCD cameras, frame grabber, and mechanism that loads the automotive parts to the system for the inspection. An Image processing algorithm for detecting eight different types of defects of oil-seals are developed, and the effectiveness of the algorithm is experimentally verified. Inspection process is completed in 1 second with acceptable accuracy. It is envisaged that this inspection system will have a wide application in the automotive part manufacturing industry in the future.

Key words : Machine vision(머신 비전), Image processing(영상 처리), Automotive parts(자동차 부품), CCD camera(CCD 카메라), Illumination(조명), Threshold image(이진 영상), Inspection system(검사 시스템)

1. 서 론

자동차용 오일씰(Oil-Seal)은 외부에서 침투하는 먼지, 오염물질 등을 회전하는 축(shaft) 내부에 있는 오일, 그리스 및 윤활제와 접촉하지 못하도록 하는 역할을 하는 부품이다(Fig. 1). 오일씰의 내경은 축 치수보다 약간 작게 설계되어 오일씰의 고무와 스프링의 예비부하를 통해 밀폐효과를 얻을 수 있다. 이때, 축과 오일씰 사이에는 1~3 μm 두께의 얇은 유막이 형성되어 누유(leakage)를 방지한다. 고무 부위의 형상 및 치수는 오일씰의 수명 및 밀폐효과에 큰 영향을 미치며 현재 산업체에서는 주로 검사

자(inspector)의 육안검사에 의한 전수 검사로 불량 유무를 검사하는 실정이다.

대부분의 자동차부품의 불량유무 검사는 작업자의 불량품에 관한 주관적 인지 및 판단에 근거하여 판별되고 있다. 이러한 방법은 단시간의 적은 양의 부품 검사에는 적합하나, 장시간 많은 양의 부품 검사에는 착시현상 및 작업자 판단의 임의성으로 인하여 부적합하다. 정량화된 기준에 의한 불량품 판별에는 machine vision을 이용할 수 있으며 그 시스템은 CCD 카메라, 조명(illumination), 영상취득장치(frame grabber), 영상처리 알고리즘(image processing algorithm) 및 검사대상의 적재(loading) 및 추출(unloading)에 이용되는 기구부분(mechanism)으로 구성되어 있다. 검사절차는 카메라를 이용하여 부

*To whom correspondence should be addressed.
ykpark@cu.ac.kr

품의 영상(image)을 취득한 후 영상취득장치를 이용하여 영상을 디지털 데이터로 변환하는 것이다. 변환 후 영상처리 알고리즘을 이용하여 불량 유무 및 불량 정도까지도 판독 후 정량화 할 수 있다.^{1,2)}

머신비전 응용 부품검사의 장점으로는 착시현상이 없으므로 불량 판독 오인률을 획기적으로 감소시킬 수 있으며 육안으로 판별 할 수 없는 마이크로미터 단위의 미세한 불량도 발견할 수 있다. 또한 불량 유형별 및 불량 정도에 따른 데이터베이스 구축까지도 가능하게 하여 불량품을 양산하는 공정의 개선에도 이용될 수 있다. 이러한 장점으로 인해 머신비전은 많은 산업현장에서 생산품 검사에 사용되고 있다.

머신비전을 검사에 이용한 연구동향을 보면, Moganti 등은 머신비전의 PCB 기판 검사 응용에 관한 연구를 하였으며 Baykut, Trdic 등은 고속으로 이송되는 섬유제품의 표면 검사에 비전을 응용하였다. 또한 Rajeswari 등은 IC wire-bonding 결과 검사에 비전을 응용하였으며 Zwigelaar 등은 과일의 표면의 충격에 의한 흠집을 검사하기 위해 비전을 사용하였다. 국내의 연구동향은 박희재 등이 형상측정에 머신비전을 이용하였으며, 권오달, 이창희 등이 절삭공구의 마모량 검사에 비전을 응용하였다. 머신비전의 개략적인 국내연구동향은 한승훈 등의 문헌에 잘 나타나 있다.¹⁻⁹⁾

중소기업 규모의 자동차 부품 생산업체들은 생산 라인에의 머신비전 시스템 도입의 필요성을 절실히 느껴왔지만 하드웨어 및 소프트웨어 구입에 따른 고비용 문제 및 머신비전에 관한 전문지식 부족으로 실제 적용에는 어려움이 있었다. 또한, 기본적인 영상처리 알고리즘 및 소프트웨어에 대한 연구는 이미 상당부분 완료된 상태이나 부품검사는 검사 대상 부품마다 부품의 특성에 따른 새로운 알고리즘의 개발이 필요한 이유로 머신비전의 자동차 부품검사 응용에 대한 연구는 미진한 상태이다.

본 연구에서는 오일씰의 대표적인 8가지 불량유형을 소개하고 6대의 CCD카메라를 이용하여 실시간 검사를 통한 불량품 검사 알고리즘 및 방법을 제안한다.

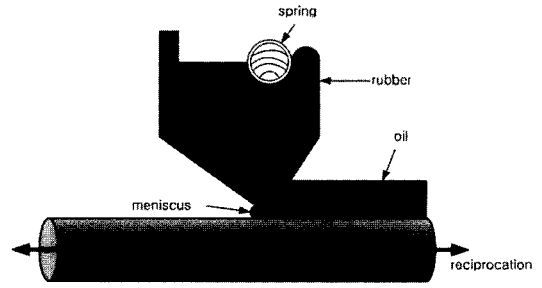


Fig. 1 Cross-sectional view of an oil-seal

2. 불량 유형별 검사 계획

2.1 오일씰의 대표적 불량 유형

본 장에서는 오일씰 생산 공정에서 발생하는 8가지의 대표적 불량유형 및 각각의 불량유형에 적용할 수 있는 최적 조명에 대하여 고찰한다.

2.1.1 외부 고무 넘침

과량의 고무를 사용해 옆면으로 고무가 넘친 불량을 의미한다. 이 경우에는 측면조명을 이용하여 금속부분과 과량의 고무부위의 반사정도의 차이를 극대화하여 불량을 발견하는 것이 효과적이다.

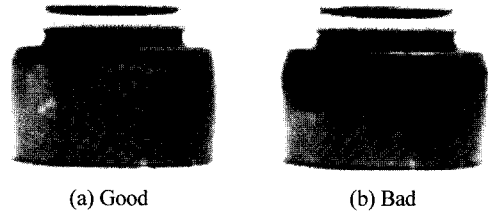


Fig. 2 Outer rubber overflow

2.1.2 스프링 불량

고무의 안쪽 면에 예비부하를 유지하는데 필요한 스프링이 누락되었거나 일부분이 늘어났거나 또는 파손된 불량을 의미한다. 측면조명의 광량을 증가시키면 금속의 스프링 부위가 고무보다는 반사정도가 훨씬 크기 때문에 스프링과 고무부위가 뚜렷하게 구분되는 영상을 취득할 방법을 이용, 여섯 장의 영상을 shutter speed 1/10,000초로 연속 촬영한다. 흰 픽셀로 나타나는 스프링의 띠 간의 간격을 측정하여 불량유무를 판별한다.

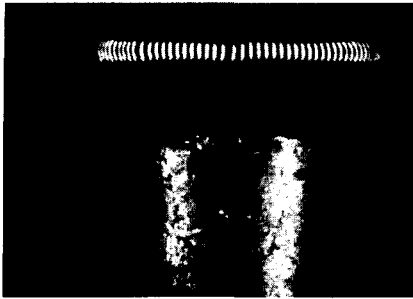


Fig. 3 Spring defect

2.1.3 버(burr)

버란 스프링의 안쪽 면에 고무가 금형의 이상으로 인하여 거칠게 남아있는 불량을 의미한다.

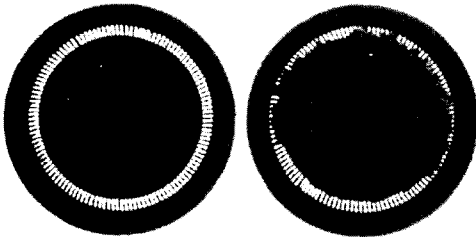


Fig. 4 Burr

2.1.4 흐름 불량

윗부분의 고무를 제거하는 과정에서 절단이 자유스럽지 못해 스프링 안쪽부분이 찢어지는 불량이다. 강도가 높은 조명을 사용하여 찢어진 부분의 명암이 뚜렷하게 드러나도록 한다.



Fig. 5 Crack

2.1.5 과 사상

윗부분의 고무를 제거하는 과정에서 절단 깊이가

깊어 필요이상으로 절단된 불량이다. 이 경우 불량부분의 면이 거칠게 남아있어 조명의 적용 시 난반사를 유도하여 정확한 불량 영상을 얻을 수 있다. 조명계와 측정물 간의 거리에 따라 영상의 질이 변하게 되는데, 이는 조명 시스템과 측정 대상물에 따라 거리에 따른 조사 빛의 균일도와 각이 변하기 때문이다. 거친 면에서 최대한의 난반사를 유도하기 위한 광원과 대상 물체사이의 최적의 거리를 고려하여야 한다.

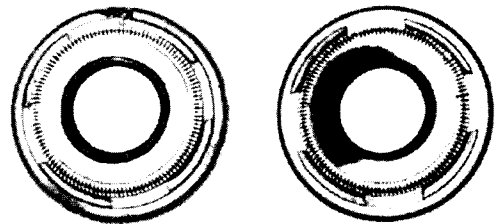


Fig. 6 Overcutting

2.1.6 외부 고무 부족

스프링의 바깥쪽에 고무가 부족하거나 뜯긴 불량이며 불량 유형상 모서리 부분의 불량이 많이 나타나고 있다. 모서리 부분을 조사 할 수 있도록 80도 각도의 LED조명을 적용하였다.

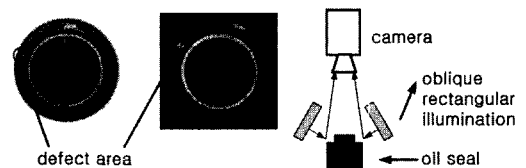


Fig. 7 Outer rubber deficiency

2.1.7 내부 고무 부족

바깥쪽 테두리 안쪽면의 고무 사이가 벌어졌거나 고무가 부족해 면이 제대로 형성되지 않은 불량이다. 있는 영상은 초점거리 때문에 60도 이내로 제한된다. 따라서 오일셀을 300 rpm으로 360도 회전시켜 가며 비동기초기화(asynchronous reset) 방법을 이용, 여섯 장의 영상을 shutter speed 1/10,000초로 연속 촬영한다. 흰 픽셀로 나타나는 스프링의 띠 간의 간격을 측정하여 불량유무를 판별한다.

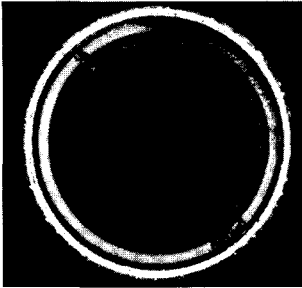


Fig. 8 Inner rubber deficiency

2.1.8 동심도 및 치수불량

일정 오차범위 안의 치수를 가져야하며, 얼마만큼 안쪽 면이 원에 가까운지를 가려낸다. 오일씰의 동심도 및 치수정확도는 왕복 축 상의 오일을 긁어 내리는 역할을 하는 오일씰의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소 중의 하나이며 따라서 동심도 및 치수불량 검사과정은 가장 중요한 검사 과정이다.

2.2 검사시스템의 개념설계도

Photo. 1과 Fig. 9는 실제 검사 시스템 개략도를 보여준다.

Fig. 9의 검사시스템은 두 개의 회전하는 테이블, 조명, 카메라 및 기구부로 구성되어 있다. 첫 번째 회전테이블은 유리로 되어있어 오일씰의 내부고무 부족과 동심도 및 치수검사 과정을 수행하며, 두 번째 테이블 위에서 나머지 검사과정을 수행한다. 각 단계에서 불량으로 판정된 오일씰은 다음단계의 검사과정으로 넘어 가기 전에 공압배출기에 의해 불량 배출되며, 불량 및 양품 판정 결과는 database화 되어 품질 개선에 중요한 자료가 된다.



Photo. 1 Inspection system

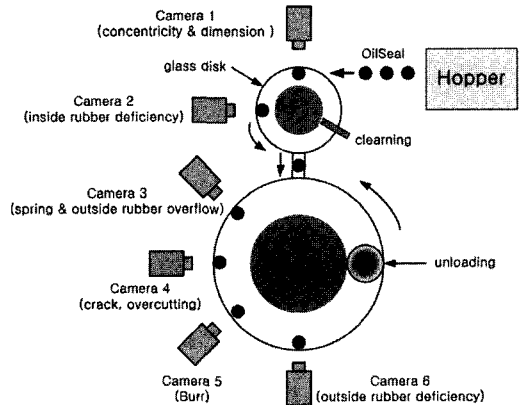


Fig. 9 Schematic diagram of an inspection system

2.3 검사 알고리즘

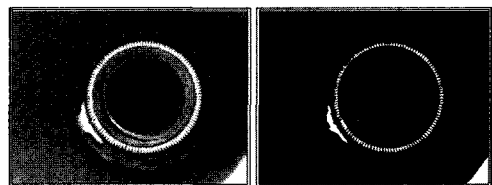
1) 경계값 처리

경계값 처리는 입력 영상의 화소에 대해서 명도가 일정 경계값(threshold value) 이상의 경우 대응하는 출력 영상의 화소 값을 1(흰 픽셀)로 그 외의 경우는 0(검은 픽셀)으로 나타내는 것이다. 경계 값 처리를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 $f(x, y)$, $g(x, y)$ 는 각각 영상처리 전후의 (x, y) 에 있는 화소의 농담값을, T 는 경계값을 나타낸다. 오일씰 영상을 이진화하기 위한 경계값은 오일씰 내의 불량 부분을 이상이 없는 영역과의 차이를 극대화 시킬 수 있는 값으로 정해진다. 이 경계값은 변화 가능한 검사기계의 초기화 값으로 오랜 기간 오일씰을 검사해온 숙련된 작업자의 도움 하에 반복 시행착오(trial and error) 방법에 의해 결정된다.

Fig. 10은 오일씰의 외부고무부족을 검사하기 위해 경계값 처리 전후의 영상변화를 나타낸다. 고무 부족부위가 흰 픽셀로 나타남을 볼 수 있다.



(a) Original image (b) Threshold image
Fig. 10 Threshold image

2) Line Intensity Profile

영상 내의 두 점(point)사이의 line intensity profile 을 통해 놓여있는 픽셀의 정보를 나타내어 경계값 을 이용하여 영상의 경계(edge)를 검출할 수 있다. Fig. 11에 나타난 대로 검은색부분에서 화소 값의 급 격한 변화(255에 가까움)가 나타나며 이 변화를 추 적하여 오일셀의 경계를 파악하여 오일셀과 배경을 영상 내에서 구별하게 된다.

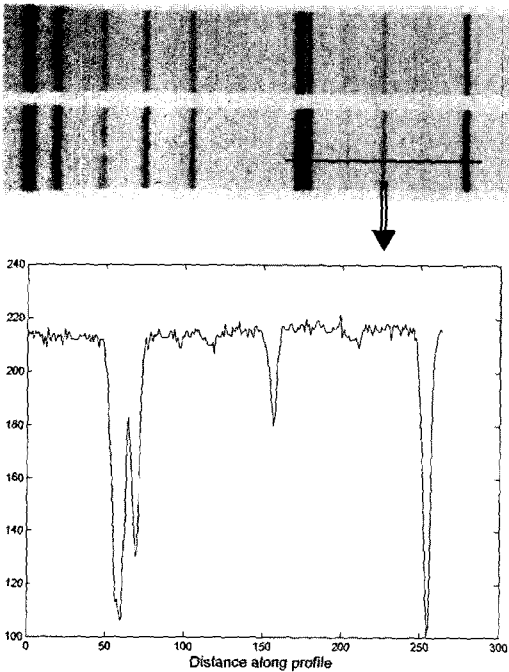


Fig. 11 Line intensity profile

3) Circle Detection

임의의 두 직선을 그린 다음 line intensity profile 을 이용해 직선과 원이 만나는 세 점을 찾아낸 후 식 (2)를 이용하여 원의 중심과 반경을 구한다. 영상내 의 원은 진원이 아닌 경우가 많으므로 원주상의 다 른 세 점을 이용하여 대략 20번 정도의 계산을 반복 후 평균 원의 중심과 반경을 구하여 영상처리에 이 용한다. 원 검출은 오일셀의 내경검사 및 오일셀 적 재(loading) 기구부의 위치제어 오류 때문에 영상 내 에서 변화하는 오일셀의 정확한 위치추적을 위하여 사용되는 중요한 알고리즘이다.

$A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, and $C(x_3, y_3)$ 가 임의의 원 위

의 세 점이라면 그 원의 중심좌표 $C_c(x, y)$ 는 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$x = \frac{N_1}{2D}, y = \frac{N_2}{2D} \tag{2}$$

여기서 $D \neq 0$ 이며 N_1, N_2, D 는 모두 2×2 행렬식이 며 다음과 같이 정의된다.¹⁰⁾

$$N_1 = \begin{vmatrix} x_2^2 + y_2^2 - (x_1^2 + y_1^2) & (y_2 - y_1) \\ x_3^2 + y_3^2 - (x_1^2 + y_1^2) & (y_3 - y_1) \end{vmatrix}$$

$$N_2 = \begin{vmatrix} (x_2 - x_1) & x_2^2 + y_2^2 - (x_1^2 + y_1^2) \\ (x_3 - x_1) & x_3^2 + y_3^2 - (x_1^2 + y_1^2) \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} (x_2 - x_1) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_1) & (y_3 - y_1) \end{vmatrix}$$

중심을 구한 후 반경은 중심에서의 세 점 A, B, C 사이의 거리를 구함으로써 계산할 수 있다.(Fig. 12)

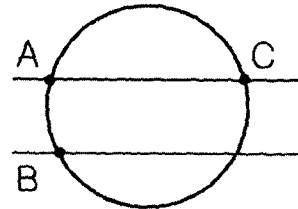


Fig. 12 Circle detection

2.3.1 내경 및 진원도 측정

보정(calibration)을 통해 영상에서 하나의 화소의 크기에 해당하는 실제사이즈를 계산 할 수 있다. 또 실제 화소사이즈를 이용해 내경의 실제 크기 및 진 원도(roundness)를 측정 할 수 있다. 내경의 실제 크 기 및 진원도에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\text{Size of inner } \phi \leq m \cdot c \tag{3}$$

$$\text{Roundness} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\text{average}}} \times 100 \tag{4}$$

여기서, m = 하나의 화소에 대한 실제 크기
 c = 영상에서 내경의 화소의 수
 D = 직경

2.3.2 버(burr)

경계값 처리 후 원의 중심을 찾아내 미리 계산된 스프링의 안쪽 면과 크기가 같은 원을 따라 line intensity profile을 적용할 수 있다. 1도의 각도로 원

위에 하나씩의 화소를 찍었다고 가정하면 양품의 경우 360개의 화소 값 모두가 1이 될 것이며, 불량품의 경우 burr로 인해 스프링의 안쪽 면을 덮은 면적만큼의 화소 값이 0이 나올 것이다. 또한, 원의 중심이 스프링의 내경과 일치 하지 않을 수도 있다는 점을 고려해 원점을 중심으로 $\pm x, \pm y$ 방향으로 원을 이동시키면서 원 위에 놓여져 있는 화소의 값이 1이 되는 화소의 수가 최대인 위치에 중심을 고정 시킬 수 있다.

2.3.3 외부 고무 넘침

Fig. 13에 보인 것 같이 경계값 처리 후의 영상으로부터 검사영역 내의 화소의 값이 0(검은픽셀)인 개수를 세어 불량을 구분할 수 있다.

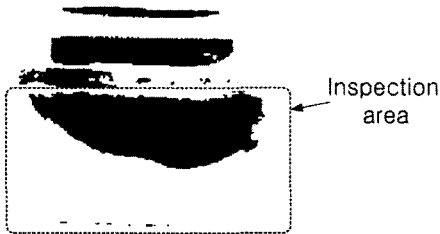
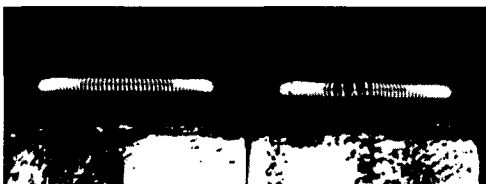


Fig. 13 Outer rubber overflow

2.3.4 스프링 불량

스프링불량의 검사에서는 아래 검사 라인을 따라서 화소의 값이 1과 0이 반복되어 나타난다. 값들의 간격을 조사하여 스프링의 파손을 찾을 수 있으며, 화소의 값이 0만 나오는 경우는 스프링의 누락을 보여준다.



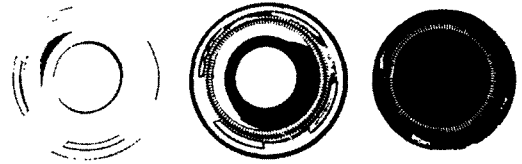
(a) Good (b) Bad

Fig. 14 Spring defect binary image

2.3.5 흐름 불량, 과 사상 및 외부 고무 부족

흐름 불량, 과 사상 및 외부 고무 부족에 대한 불량 테스트에는 모두 유사한 알고리즘이 적용된다.

우선 경계값 처리에 의한 흑백영상으로부터 원의 중심을 구하고 중심에서 미리 선정해둔 일정 관심대상 영역을 따라 검은색 화소 또는 흰색 화소의 개수를 파악해 불량 유무를 가려낼 수 있다.



(a) Crack (b) Overcutting (c) Outer rubber deficiency

Fig. 15 Determination of defect with counting pixels

2.3.6 내부 고무 부족

내부 고무 부족 또한 위의 방법과 유사하다. 우선 흑백영상으로 변환한 다음 원의 중심을 찾고, 원의 중심으로부터 일정한 간격만큼 line intensity profile을 확인할 수 있다. 마지막으로 안쪽 흰색 띠의 두께를 평균, 표준편차, 평균에서 벗어나는 두께를 가지는 선들의 수 등을 확인해 불량을 가려낼 수 있다. Fig. 16에서 양품, 미세불량 및 심한 불량에 대한 안쪽 띠의 변화를 확인할 수 있다.

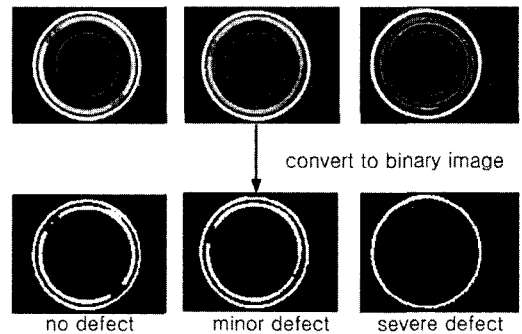


Fig. 16 Inner rubber deficiency

3. 검사 결과

먼저 육안검사를 통해 오일씰 양품과 불량품을 선별한 후 '2. 불량 유형별 검사 계획'에서 설명한 알고리즘을 토대로 버, 외부 고무 넘침, 흐름불량, 과 사상, 외부 고무 부족 및 내부 고무 부족 검사

테스트를 실행하였다. machine vision 시스템은 검사항목에 따라 영상처리 후 검사영역내의 흰 픽

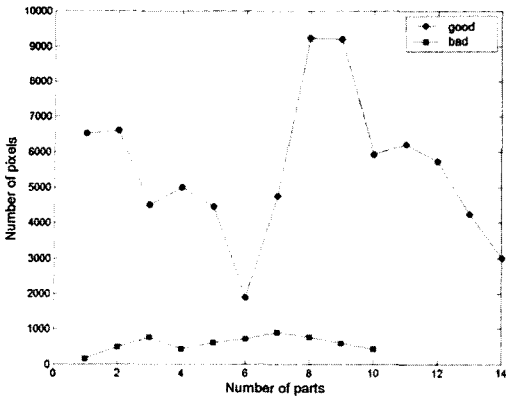


Fig. 17 Inspection result(burr)

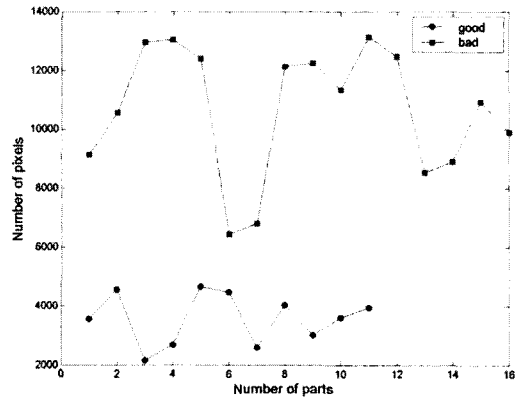


Fig. 20 Inspection result(overcutting)

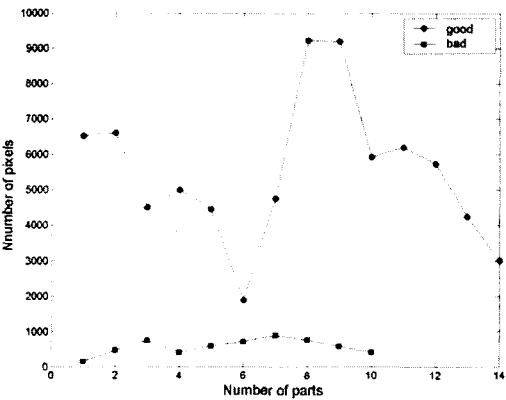


Fig. 18 Inspection result(outer rubber overflow)

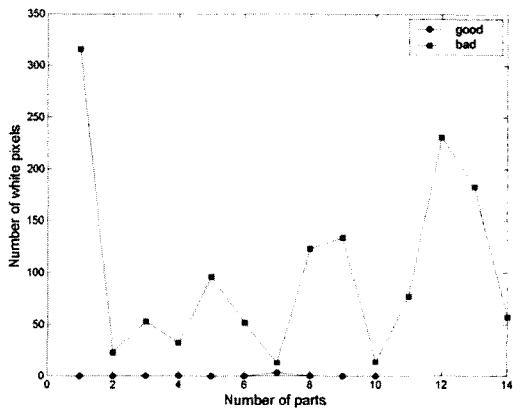


Fig. 21 Inspection result(outer rubber deficiency)

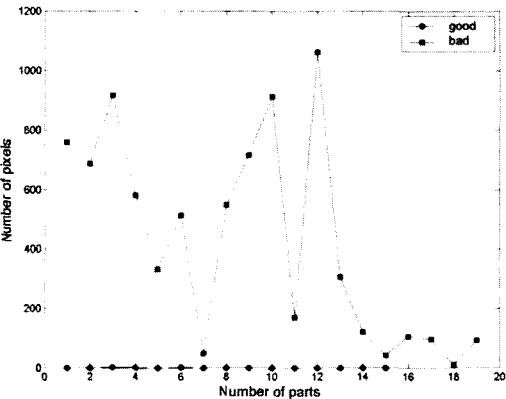


Fig. 19 Inspection result(crack)

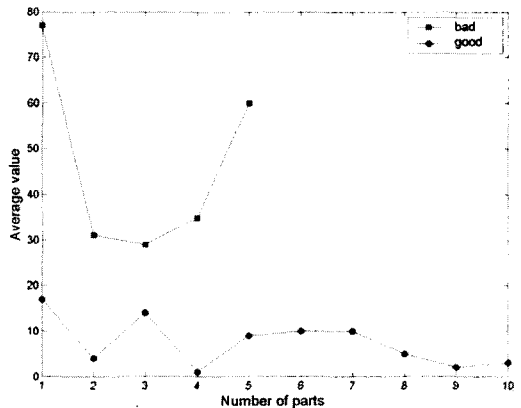


Fig. 22 Inspection result(inner rubber deficiency)

셀 혹은 검은 픽셀수를 세어 불량품을 검출하게 된다. 즉, 오일셀 양품과 불량품의 픽셀수의 차이가 전기 및 먼지 같은 물리적인 영상노이즈의 영향 하에도 충분히 생긴다면 불량품을 오류 없이 구분할 수

있게 된다. 또한, 양품대비 불량품의 픽셀수의 차이의 정도는 불량 정도차이를 나타낸다. 검사결과 는 Fig. 17~Fig. 22에서 볼 수 있듯 대부분의 경우 양 품과 불량품은 화소 수에서 확연한 차이를 보였다.

그러나 몇몇 오일셀은 양품과 불량품의 픽셀수의 차이가 작은 수치를 나타내는데 이는 불량률의 정도가 아주 미약함을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 오일셀의 생산 시 양품과 여러 가지 원인에 의해 발생하는 불량품을 on-line으로 구별하여 처리할 수 있는 검사 시스템과 영상처리 알고리즘을 개발하였다.

획득한 영상으로부터 간단한 영상처리를 이용해 먼저 관심영역을 찾아냈으며 정량화된 기준을 만들어 불량판정에 기준으로 삼았다. 오일셀에서 나타나는 대표적인 8가지 불량유형에서 정확도 및 처리속도를 높이기 위해 불량유형에 따른 최적조명(illumination)과 비동기초기화(asynchronous reset)를 이용해 여섯 장의 영상을 연속 촬영하였으며 데이터베이스화되어 품질 개선에 중요한 자료가 된다.

개발된 machine vision 을 이용한 검사결과 흔히 발견되는 대표적 불량유형에 대하여 픽셀수를 계산함으로써 용이하면서도 높은 정밀도로 양품과 불량품을 효과적으로 선별할 수 있었다. 검사과정에서 극소수의 불량판별이 어려운 오일셀이 있었다. 그러나 더욱 정밀한 검사를 위해서는 해상도(resolution)가 높은 영상취득장치(frame grabber) 및 복잡한 알고리즘이 요구되었기 때문에 효율적인 측면에서 적용되기는 곤란할 것으로 판단된다.

향후 오일셀과 같이 대량 생산품목이나 정밀도 및 안정성이 요구되는 자동차부품에 대해 machine vision 적용의 중요성이 더욱 확대될 것이다.

References

- 1) M. Moganti, F. Ercal, C. Dagli, S. Tsunekawa, "Automatic PCB Inspection Algorithms: A Survey," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.63, No.2, pp.287-313, 1996.
- 2) A. Baykut, A. Atalay, A. Ercil, M. Guler, "Real-time Inspection of Textured Surfaces," *Real-Time Imaging*, Vol.6, pp.17-27, 2000.
- 3) F. Tridic, 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) M. Rajeswari, M.G. Rodd, "Real-Time Analysis of an IC Wire-bonding Inspection System," *Real-Time Imaging*, Vol.5, pp.409-421, 1999.
- 5) R. Zwigelaar, Q. Yang, E. Garcia-Pardo, C. R. Bull, "Use of Spectral Information and Machine Vision for Bruise Detection on Peaches and Apricots," *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol.63, No.4, pp.323-332, 1996.
- 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," Ph.D. 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) S. H. Han, G. J. Jang, K. J. Yoon, J. H. Cha, K. S. Roh, I. S. Kweon, "Recent Developments in Machine Vision Research," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.18, No.3, pp.23-34, 2001.
- 10) <http://www.geocities.com/kiranisingh/center.html>