

시각감시장치를 이용한 분말야금 공정의 검사자동화 기술개발에 관한 연구

A Study on Automatic Testing of Powder Metallurgy Process Using the Visual Inspection System

권기룡, 최재완, 최성락

(Ki-Ryong Kwon, Jae-Youn Choi, and Sung-Lark Choi)

Abstract : This paper describes the automatic testing system developed for powder metallurgy process using the visual inspection, and its some internal algorithms. The system consists of one unit from each of the five types of units: feeding, slot, vision inspection, volumn counter, and inferior good extractor units. Some applications of the system to powder metallurgy process has shown the possibility of reducing the rework and increasing the efficiency of operation.

Keywords: visual inspection system, powder metallurgy process, LOG operator, labelling

I. 서론

분말야금 공정(powder metallurgy process)은 제품의 단위성분을 혼합하여 만든 분말을 대형프레스에서 제품의 형상으로 프레스 작업한 후 고온에서 소결(sintering)하여 제품을 생산하는 방식으로, 기계가공과는 다르게 생산성이 비교적 높고, 기계가공이 곤란한 소형의 제품이나 복잡한 제품도 생산이 용이하여 기계류나 자동차부품 등 많은 부분에서 분말야금 제품이 사용되어지고 있다.

이러한 분말야금 제품을 생산하는데 있어서 발생하는 중요한 문제점은 작업중 분말이 비산되어 작업환경을 악화시키고, 분말야금 공정이 프레스작업을 하기 때문에 프레스에서 사용되는 금형의 마모나 변형에 의해서 제품의 형상오차(외형크기, 구멍크기, groove크기 등)가 발생한다. 또한 소결하기 전의 제품은 단순히 분말을 프레스한 것에 불과하기 때문에 다른 제품과 부딪힐 경우 부분적인 깨짐과 표면에 흠집 등이 생겨 제품불량이 발생한다. 현재 이러한 불량제품을 공정중에 선별하는 것은 매우 어렵기 때문에 생산공정이 종료된 후 검사실에서 작업자의 선별작업에 의해서 불량 제품을 선별하고 있다[1]. 이러한 선별작업은 작업자의 육안 검사에 전적으로 의존하고 있기 때문에 반복적인 작업으로 인해서 작업능력저하 및 불량을 증가를 초래할 수 있다. 따라서, 작업자의 육안검사에 의존할 수 밖에 없는 최소공정 이외에는 온라인 검사자동화가 반드시 필요하다[2-5].

시각감시장치란 지금까지 사람의 육안에 의존하여 실시 하던 검사·인식·계측 등의 작업을 인간을 대신할 수 있는 화상처리장치를 말한다. 최근 3D 작업을 기피하는데서 오는 노동력의 부족, 삶의 질을 중시하는 노동자의 의식변혁, 품질과 생산성의 향상을 위한 생산현장의 노력 등이 자동화를 더욱 서두르고 있다. 특히 요즘 품질향상을 위해서는 샘플 검사에서 전수검사로 전환하는 경우가 증가함에 따라 검사 자동화에 대한 관심이 커지고 있다.

시각감시장치를 이용한 온라인 검사자동화 기술개발에 관한 연구는 점차 제품의 대외경쟁력과 상품성이 제품의 생산단가와 품질에 좌우되기 때문에 제품의 불량율을 극감시키면서 작업자에 의한 판단오류를 최소화시키는 관점에서 점차 중요해지고 있고, 또한 동시에 검사후 제품의 수량검

사를 병행함으로써 작업인원의 감소 및 작업효율을 높일 수 있는 생산라인의 무인화측면에서 다양한 형태의 시스템이 요구된다[6-9].

본 논문에서는 시각감시장치를 이용한 분말야금공정의 제조공정 검사자동화 기술에 대하여 연구개발을 하였다. 분말야금공정의 검사자동화 기술에 사용한 방법은 화상처리 기법을 이용한 컴퓨터 시각장치를 이용하였다. 표면구멍 수의 부족, 내/외경의 오차, 구멍의 버 및 막힘 등을 찾기 위한 1차 검사 방법으로는 라벨링 방법을 사용하였다. 표면의 깨짐과 찍힘, 모서리부의 깨짐, 표면의 긁힘(scratch) 및 단의 깨짐 등의 결함을 검출하는 2차 검사 방법으로는 LOG 연산자를 이용한 영교차점을 찾아 추적하는 방법을 사용하였다. 분말야금공정의 검사자동화 장치를 시각감시장치로 사용함으로써 작업의 질과 능률이 향상되며 또한 작업량을 감소시킬 수 있다

II. 분말야금제품의 결함특성

검사자동화 시스템의 대상부품 선정은 검사자동화 시스템의 도입효과 및 생산성을 높일 수 있는 관점에서 월생산량이 비교적 많고, 유사한 형상을 가진 피스톤류를 검사자동화 시스템의 대상부품으로 선정하였다. 피스톤류는 자동차용 충격흡수장치(shock absorber)에 사용되는 리어피스톤(rear piston)과 프론트피스톤(front piston)으로 구분되며, 단위제품으로는 생산량이 많고, 외부형상이 유사하며, 주로 표면에 흠집이나 파손이 생기기 때문에 검사실에서 육안검사를 해야하고, 검사비용의 약 50%를 차지한다.

결함특성은 검사장치의 검사방법을 결정하는데 매우 중요하며, 검사자동화의 신뢰성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 대상부품에서 발생하는 결함형태의 조사 및 분석이 필요하다. 분말제품에서 발생하는 결함은 주로 아래와 같이 분류할 수 있다.

1) 외부단의 찍힘

프레스작업 후 적재상자에 부품이 떨어지면서 부품간의 충돌에 의해 생기거나 취급 부주의로 인해 다른 물체에 의해 생기는 결함형태이다.

2) 내부/외부단의 깨짐

소결전의 제품은 강성이 거의 없어서 미소한 충격이나 충돌에 의해서 흠집(scratch) 등이 생기기 쉬우며, 특히 폭이 좁은 단(step)의 경우는 깨짐이 발생한다.

3) 표면구멍수의 부족

자동차용으로 사용되는 충격흡수장치의 기능은 피스톤 표면에 있는 구멍의 갯수에 의해서 영향을 받기 때문에 피스톤 표면의 구멍갯수는 제품에 따라 다르다. 따라서, 동일한 형상과 형태가 많은 피스톤의 경우 구멍갯수가 다른 제품이 섞일 경우에는 생산된 제품의 진품검사를 해야하며, 이로 인해서 검사비용 및 생산성에 많은 문제를 발생시키고 있다.

4) 모서리부의 떨어짐

상용차용 충격흡수장치에 사용되는 6종의 기본벨브에서 생긴 결함으로, 모서리부가 취약해서 성형후 단차가 깨진 형태의 결함이다.

5) 모서리 부의 크랙

6) 외주면의 찍힘/긁힘

자동차의 파워헨들용 펌프에 사용되는 측면판에서 생긴 결함으로, 표면에 긁힘이 생긴 형태이다. 측면판은 표면이 주기능면이기 때문에 표면정도(surface roughness)를 높이기 위해 연마공정이 포함되며, 연마중에 표면의 긁힘 등이 생긴다.

7) 내/외경의 오차

프레스작업에서 금형의 마모 등에 의해서 발생하는 제품의 형상오차로 주기적인 표본검사가 요구되며, 오차가 발생하는 경우 별도의 교정작업이 요구된다.

8) 이면의 깨짐

2)와 유사한 형태의 결함으로, 피스톤의 이면의 단이 깨지는 형태의 결함으로, 그 빈도수는 매우 적다.

9) 구멍의 버(bur)

자동차용 허브클러치(hub clutch)의 치차와 세레이션 형태의 제품에서 발생하는 결함으로, 바렐작업의 의해서 디버링작업을 한다.

10) 구멍의 막힘

상용차용 충격흡수장치에 사용되는 601베어링(601 bearing)에서 발생한 결함으로서 바렐작업중에 구멍의 막힘이 생긴 것이다.

III. 분말야금제품의 시각감시검사 방법

분말야금 제품의 결함원인은 주로 프레스 금형의 마모나 변형에서 발생하는 형상오차와 다른 제품과 부딪힘에 의한 깨짐과 표면흠집이므로 검사방법은 접촉식보다는 비접촉식 방법이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 시각감시장치를 이용하여 검사부품에 발생하는 표면구멍 수의 부족, 내/외경의 오차, 구멍의 버 및 구멍의 막힘 등을 검사하는 1차 검사[10-12]와 표면의 깨짐과 찍힘, 모서리부의 깨짐, 표면의 긁힘(scratch) 및 단의 깨짐 등의 결함을 검출하는 2차 검사[13-14]로 분류하였다.

그러나 2차 검사는 항목이 너무 많아 검사시간이 길어 검사효율이 떨어진다. 따라서 검사항목을 줄이기 위하여 생산제품의 항목별 결함율을 조사하여 결함의 확률이 크고 또한 결함이 제품의 기능에 큰 영향을 초래하는 검사항목만으로 선정하였다. 그 결과 2차 검사항목에서 단의 깨짐이 분말야금제품에 발생한 결함중 기능상 가장 치명적임이 입증되었다.

1. 1차 검사 방법

1차 검사에서는 주로 검출하고자 하는 표면구멍수의 부족, 내/외경의 오차, 구멍의 버 및 구멍의 막힘 등을 찾기 위하여 그림 1에서와 같이 대상부품의 아래쪽에서 확산 조명장치를 설치하여 구멍을 통해 나오는 빛을 이용하여 구멍수의 판단, 내/외경의 계측 및 구멍의 면적에 따른 버의 존

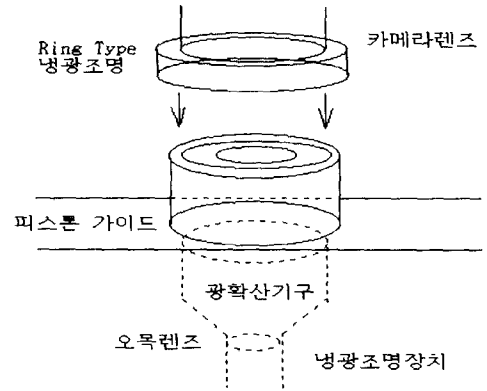


그림 1. 검사장치의 조명기구부.
Fig. 1. Light mechanism of inspection equipment.

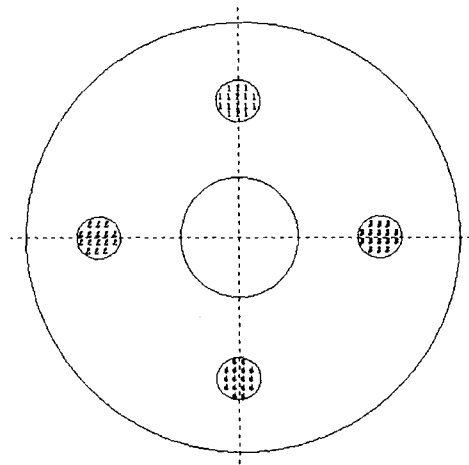


그림 2. 라벨링의 기본원리.
Fig. 2. The principle of labelling.

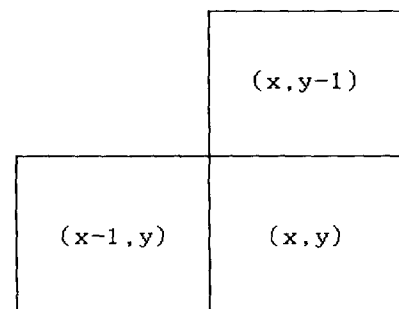


그림 3. 라벨링 마스크.
Fig. 3. The mask of labelling.

재나 막힘 등을 찾는 방법으로 카메라를 통하여 화상을 획득하였다.

1차 검사의 결함을 검출하기 위한 화상처리 방법으로는 영역 라벨링 기법을 사용하였다. 영역 라벨링이란 그림 2에서와 같이 각각 고립된 영역에 고유한 값을 부여하여 각각 다른 영역으로 인식할 수 있도록 하는 방법이다. 라벨링을 하기 위한 좋은 이진영상을 획득하기 위하여 그림 1에서와 같이 검사부품의 고정장치 아래쪽에서 확산 조명장치를 설치하여 구멍을 통해 나오는 빛을 이용하여 획득 영상을 적당한 값으로 이진화하여 이진화상을 얻는다. 라벨링은 그림 3에서와 같이 국부 윈도우를 이용하여 다음과 같은 원칙에

따라 처리하였다.

- 1) 처리할 화상은 원화상을 역치화시켜 만든 이진화상이다.
- 2) 구현이 간단하도록 화상 주사순서에 따라 분할해간다.
- 3) 화소 연결정보가 4-방향으로 추출되도록한다.

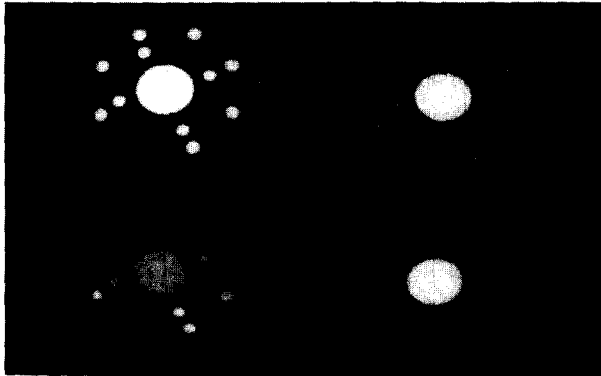


그림 4. 1차 검사의 화상처리 결과.
Fig. 4. The image processing results of first test.

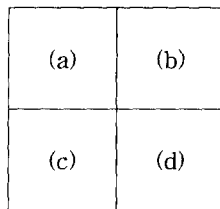


그림 4는 1차 검사의 화상처리 결과로서, 그림 4(a)는 장치를 통해 나오는 빛을 이용하여 구멍을 분리한 원화상이며, 그림 4(b)는 이진화상이다. 그림 4(c)는 구멍의 개수를 구별하기 위하여 라벨값에 크기를 부여하여 그레이 값을 다르게 나타내었다. 4(d)는 중심만을 찾은 화상이다.

라벨링은 그림 5의 흐름도와 같은 처리단계를 거친다. 이진화상이 저장되어질 기억공간을 $G(i,j)$ 라 하고, 이와 대응되는 같은 크기의 임시기억공간을 $R(i,j)$ 라고 한다. 각 영역에 부여되는 라벨은 이진트리구조의 형태로 서로의 연관성을 기억시키는 일차원배열을 $P(k)$ 로 한다. 처리순서는 처음에 구멍이 아닌 피스톤의 표면의 영역에 라벨 0을 부여한다. 다음에는 그림 3의 마스크를 이용하여 흐름도와 같은 순서로 각 영역에 라벨을 부여한다. 이것이 끝나면 연관성을 가진 라벨들을 조사하여 같은 영역이라고 판단되는 영역들을 병합한다.

이 작업이 끝나면 우리는 부여된 라벨의 종류에 따라 구멍의 수를 알 수 있고 구멍의 면적이나 버의 존재 및 구멍 막힘 등은 각 영역의 화소수를 조사하면 알 수 있다.

본 연구에서 이용된 라벨링 알고리즘은 많은 기억공간을 필요로 하지만 화상처리시간에 대한 부담이 적고 하드웨어 화하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

2. 2차 검사방법

2차 검사방법은 CCD 카메라의 렌즈부분에 설치된 냉광 조명장치를 이용하여 피스톤 표면에 빛을 수직으로 조사하면 그림 1과 같이 빛과 수직인 평평한 표면은 진반사로 인하여 밝게 보인다. 그러나 단차의 모서리나 깨진부분은 정상표면에 비해 극히 검게 나타난다. 이런 빛의 반사개념을 이용하면 표면의 깨짐과 찍힘, 모서리부의 깨짐, 표면의 굽힘 및 단의 깨짐 등의 결함을 검출 할 수 있다. 개발초기에는 2차 검사를 위하여 아래와 같은 화상처리방법을 도입하였지만 처리시간이 길어 실용화에 적합하지 못하다.

- 1) 화상의 획득
- 2) 수평 및 수직방향의 가우시안 컨벌루션(convolution)
- 3) 비선형 라플라시안(nonlinear laplacian)
- 4) 영점교차점 검출(zero-crossing detection)
- 5) 영점교차점 추적에 따른 단의 깨짐 유무 판별

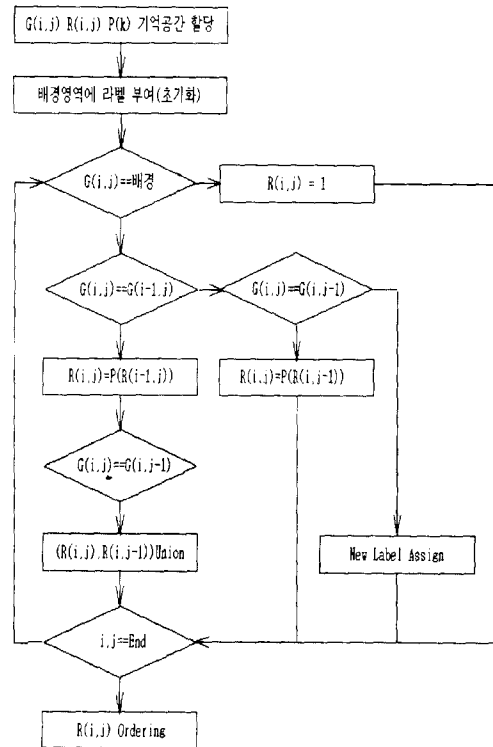


그림 5. 라벨링의 처리흐름도.
Fig. 5. The flow chart of labelling.

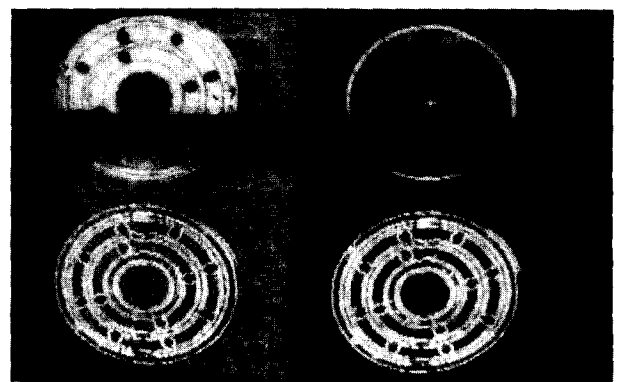


그림 6. LOG연산자를 이용한 화상처리의 결과.
Fig. 6. The image processing results using LOG operator.

2차 검사의 검사항목으로 결정된 단의 깨짐은 그림 6에서 보는 바와 같이 위의 LOG연산자를 이용한 영점교차점을 찾아 추적함으로써 쉽게 단의 깨짐을 판별할 수 있다. 그러나 이 알고리즘은 계산에 대한 부담이 커 처리시간이 길어진다. 단점 때문에 검사수량이 많은 검사작업에는 부적합하다. 따라서 좀 더 처리시간이 짧은 간단한 알고리즘의 도입이 요구된다. 그림 6(c)는 노이즈가 있는 화상이고, 그림 6(d)는 라플라시안 연산자를 사용하여 노이즈를 제거한 화상이다.

처리시간을 줄이기 위해 새로이 제안한 방법은 그림 7(a)의 원화상에서 보는 바와 같이 피스톤의 위쪽 표면에 존재

하는 단은 원형으로 피스톤의 중심과 항상 같은 반지름을 가진 영역만 조사함으로써 단의 깨짐을 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 카메라로 획득시 화상의 각화소들이 정방형이 아니기 때문에 실제 메모리상에서는 타원형으로 존재하고 (1)과 같은 타원형의 좌표를 구하는 공식을 이용함으로써 그림 7(b)에서와 같이 쉽게 단차영역을 찾을 수 있다. 이런 방법으로 추출된 단의 검사영역에서 단이 깨진부분은 반사각이 달라짐으로써 밝기 값이 다른 부분과 비교하였을 때 현저히 작아짐을 알 수 있다. 단의 깨짐을 찾기위한 기본적인 개념은 일정한 역치값에 의해 판단하여 단의 깨짐 유무를 판별하게 된다. 역치값을 구하는 방법은 피스톤의 수평적 중심좌표의 프로파일을 이용한다. 이때 구해진 프로파일과 역치값은 그림 7(c)와 같다. 역치값은 그림 8과 같은 영역의 값으로 정한다. 단의 깨짐을 찾는 방법은 검사영역의 상하좌우 방향으로 좌표값을 중심좌표 값까지 이동시키면서 검색하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 매우 원시적이기는 하지만 간단하고 속도가 매우 빠르다는 장점을 가지고 있다.

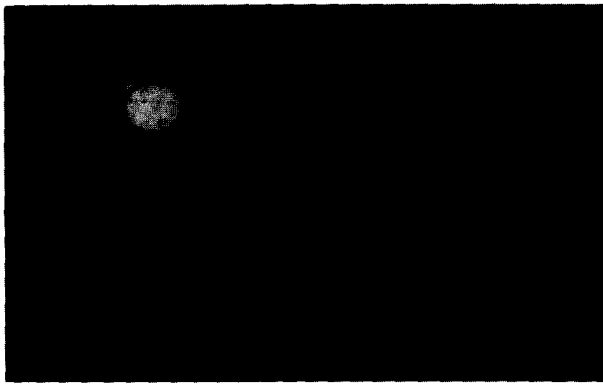


그림 7. 2차검사의 화상처리 결과.
Fig. 7. The image processing results of second test.

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

IV. 결과 및 고찰

1차 검사의 실험결과는 설계 제작된 후면확산 조명장치 등을 이용하여 구멍수의 연산이나 구멍의 버 및 구멍의 막힘 등을 쉽게 찾을 수 있는 적합한 화상을 취득할 수 있었다. 또한 구멍수의 연산이나 구멍의 버 및 구멍의 막힘 등을 찾는 결함검사의 결과는 반복적인 실험을 통해 100% 정확하다는 결론을 내렸다.

2차 검사의 경우 단의 깨짐을 찾을 때 피스톤의 중심좌표의 오차로 인한 단 검사영역의 두께가 고르지 못한 경우가 발생하기도 하였지만 검사결과에 치명적인 영향을 미치지 않는다. 단의 깨짐을 찾는 과정은 단의 검사영역을 선정하고 그림 8에서와 같은 영역에서 추출된 역치값을 이용하여 단의 깨짐여부를 결정한다.

입력되는 피스톤 표면의 밝기 값이 일정하지 않아 그림 9(d)의 안쪽에 생긴 미소한 결점영역이 단의 깨짐인지를 판단하는 것은 대단히 어렵다. 따라서 이런 문제점을 보완하기 위해서는 화상처리 해상도를 높이는 것이 좋지 않은 처리 시간이 길어진다는 부담이 생긴다. 피스톤 표면에 존재하는 2개의 단중 바깥쪽에 깨진 단을 찾는 결과는 그림 10(b)에서와 같았으며, 안쪽 깨진 단을 찾는 결과는 그림 10(d)에서와 같았다.

본 연구에서 개발한 검사자동화장치의 화상처리시간은 표 2에서와 같이 3초이며, 검사능력은 분당 12개를 검사할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 검사자동화장치는 그림 11에 나타내었다.

표 1. 실험 결과.
Table. 1. The result of experiment.

항 목	내 용
Host Computer	IBM-PC 486(Intel CPU 66MHz)
해상도	256 × 240(Pixel)
화상처리시간	3 Second
검사능력	12 개/분당

V. 결론

분말야금 공정에서 발생하는 결함은 주로 제품이송중 또는 제품간의 충돌 및 찍힘에 의해서 주로 발생하는데 이러한 결함을 작업공정중에 검출하는 것은 매우 어렵기 때문에 생산공정이 종료된후 작업자의 육안에 의해서 검사가 이루어진다. 이러한 상황에서 작업자의 반복적인 작업으로 인해서 작업능률의 저하 및 불량률 상승과 인건비 상승으로 인한 제품단가 상승을 초래함으로써 대외 경쟁력을 잃고 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 제품검사의 생산성 및 효율향상을 위해 시각장치를 이용한 분말야금 제품의 결함을 자동으로 검사하는 검사자동화장치를 개발하였다. 분말야금공정의 검사자동화 기술에 사용한 방법은 화상처리 기법을 이용한 컴퓨터 시각장치를 이용하였다.

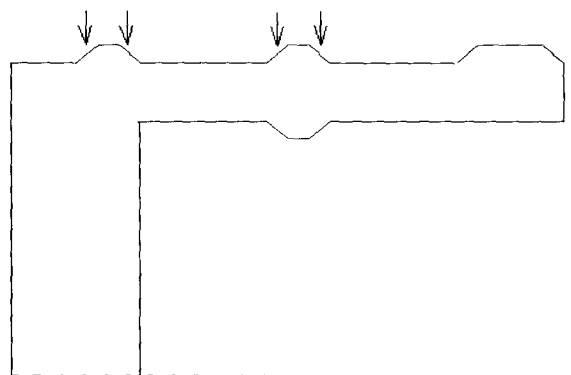


그림 8. 역치값의 추출영역.
Fig. 8. Extraction region of threshold.

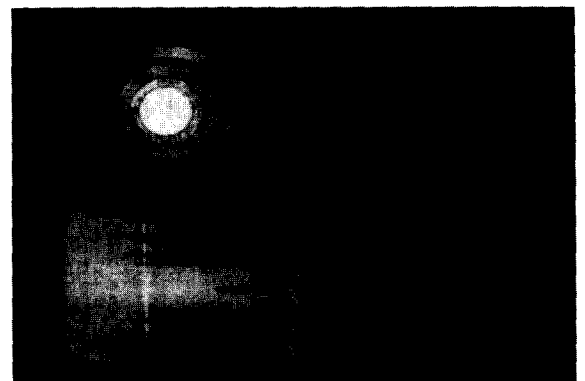


그림 9. 2차검사의 화상처리 결과.
Fig. 9. The image processing results of second test.

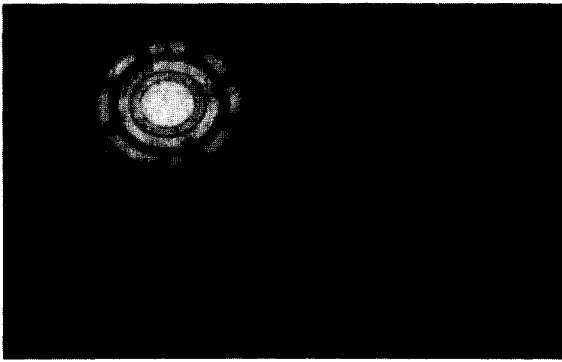


그림 10. 2차검사 화상처리 결과.
Fig. 10. The image processing results of second test.



그림 11. 분말야금제품의 자동검사장치.
Fig. 11. The automatic test equipment of powder metallurgy process.

표면구멍 수의 부족, 내/외경의 오차, 구멍의 버 및 막힘 등을 찾기 위한 1차 검사 방법으로는 라벨링 방법을 사용하였다. 표면의 깨짐과 찍힘, 모서리부의 깨짐, 표면의 긁힘 (scratch) 및 단의 깨짐 등의 결함을 검출하는 2차 검사 방법으로는 LOG 연산자를 이용한 영교차점을 찾아 추적하는 방법을 사용하였다. 분말야금공정의 검사자동화 장치를 시각감시장치로 사용함으로써 작업의 질과 능률이 향상되며 또한 작업량을 감소시킬 수 있었다.

향후 연구 방향으로서는 단위검사장치와 포장스테이션의 연계화를 위한 장치를 설계 및 제작할 계획이다. 또한 현재의 단위검사 장치의 양품적재장치는 2개의 부품상자를 사용

하고 있는데 향후 다수의 부품상자를 적재할 수 있는 장치, 적재된 부품상자를 자동으로 로딩 및 언로딩할 수 있는 장치를 개발할 계획이다.

참고문헌

- [1] A. Razban et al, "On-line control of a manufacturing cell using visual inspection," *Int. J. of CIM, Taylors & Francis*, vol. 4, no. 5, pp. 315-320, 1991.
- [2] R. L. Kegg, "The development of sensors for manufacturing automation," *Computers in Industry, Elsevier*, vol. 14, pp. 123-129, 1990.
- [3] 藤山元一郎, "고정도 가공품의 On-Line계측," 프레스 기술, 제27권 제2호, 1989.
- [4] 西村武司, "Computer를 활용한 계측시스템," 프레스 기술, 제27권 제2호, 1989.
- [5] R. D. Boyle et al, *Computer Vision : A First Course*, Blackwell, 1988.
- [6] NHK방송기술연구소 화상연구부, C언어에 의한 화상 처리실무, 국제테크노정보연구소, 1994.
- [7] 村上和人, "화상처리기술의 산업응용," *Machinist*, vol. 8, pp. 85-88, 1990.
- [8] 생산기술연구원, 공업기반기술 성공사례집, 통산산업부, 1994.
- [9] 최재완, 이재중, 권기룡, "Vision system을 이용한 분말야금공정의 검사자동화에 관한 연구," 제 2회 자동 제어학술대회논문집, vol. 1, no. 1, pp. 993-996, Oct., 1995.
- [10] W. Pratt, *Digital Image Processing*, NewYork : John Willey & Sons, 1979.
- [11] Ellis. Horowitz, *Fundermental of Computer Algorithm*, Computer Science Press, 1978.
- [12] 홍원학, HVS 기반 분할법에 의한 영상부호화, 경북대학교 석사학위 논문, 1990.
- [13] David Marr, *Vision*, W. H. Freeman and Company, USA, 1982.
- [14] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot vision*, Addison Wesley, 1992.



권기룡
1986년 경북대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1990년), 동대학원 박사(1994년). 1996년~현재 부산 외국어대학교 전자공학과 전임강사. 관심분야는 적응 신호처리 및 영상 처리.



최재완
1985년 경북대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1990년), 1991년~현재 한국기계연구원 선임연구원. 관심분야는 ROBOT VISION 및 신호처리.



최성락
1985년 한양대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1990년), 1991년~현재 한국기계연구원 선임연구원. 관심분야는 ROBOT 제어 및 공장자동화.