

정밀부품의 비접촉 자동검사기술 개발

이우송*, 한성현⁺

(논문접수일 2007. 9. 13, 심사완료일 2007. 11. 21)

Development of Non-Contacting Automatic Inspection Technology of Precise Parts

Woo-Sung Lee*, Sung-Hyun Han⁺

Abstract

This paper presents a new technique to implement the real-time recognition for shapes and model number of parts based on an active vision approach. The main focus of this paper is to apply a technique of 3D object recognition for non-contacting inspection of the shape and the external form state of precision parts based on the pattern recognition. In the field of computer vision, there have been many kinds of object recognition approaches. And most of these approaches focus on a method of recognition using a given input image (passive vision). It is, however, hard to recognize an object from model objects that have similar aspects each other. Recently, it has been perceived that an active vision is one of hopeful approaches to realize a robust object recognition system. The performance is illustrated by experiment for several parts and models.

Key Words : Image process(영상처리), Pattern recognition(형상인식), Non-contacting Inspection(비접촉검사) Thresholding(스레시홀딩), Edge detection(윤곽선 추출)

1. 서론

국내의 관련 기술의 현황은 현재 국내에 핸드폰, 카메라 등에 사용되는 정밀부품을 제조하는 가공업체는 몇개의 업체와 일본과 중국의 해외 현지업체, 기타 임가공 업체 등이 있다. 그리고, 관련 정밀부품은 국내주요 업체들과 미국의 몇 개사에서 생산되는 제품으로 전 세계에 대부분이 공급되

고 있다고 할 수 있다. 하지만, 현재까지 부품가공기술 및 제품의 품질은 국내제품이 기술경쟁력을 지니고 있지만, 정밀부품의 검사 기술이 매우 취약하여 대부분 수작업 공정으로 진행되어서 생산능력이 부족하여 외국 주문량의 생산을 유지하기가 어려운 실정이다. 이와 같은 시대의 흐름에 부응하여 소비자의 요구에 따라 모든 시스템의 지능화·첨단화가 추구되면서 화상처리기술, 영상인식 그리고 시스템의 시각

* 경남대학교 대학원 기계공학과(elflws@nate.com)
주소: 631-701 경남마산시 월영동 449번지

+ 경남대학교 기계자동화 공학부

화 기능이 요구되면서 부터 매우 중요한 산업분야로 부각된 정밀부품의 품질향상을 위해 공정 자동화를 위한 지능형 머신 비전 기술 개발이 시급한 실정이다. 비전기술에 대한 조창기의 연구는 주로 2차원 정보를 얻는데 초점을 두어 왔다. Makhlin⁽¹⁾은 카메라를 수직으로 설치해 이진 영상(Binary Image)으로 원형 형상의 위치를 알아내어 전기 모터의 조립을 수행하였다. Moshe Shoham⁽²⁾은 4개의 요소로 구성된 스폿(Spot)감지기로 2차원 상에서 방향과 속도 정보를 이용하여 용접선을 추적하는 작업을 수행하였다.

Hitachi⁽³⁾에서는 전자 소자를 PCB에 삽입하는 과정에서 단면의 형상을 인식하여 방향을 맞추는데 이용하였다. 자동화 발달과 더불어 3차원 물체의 형상이나 위치 및 방향 정보를 얻어내는 연구가 활성화되었다. Birk^(4,5)는 핸드내에 있는 물체의 상태를 알 때 효과적으로 로봇을 조작하는 이론적인 연구를 하였다. Choi⁽⁶⁾는 카메라로부터 얻어진 2차원 화상 데이터와 그 물체의 모서리가 작업 테이블에 수직이라는 제약 조건을 추가하여 원형 단면 형상 물체의 3차원 정보를 얻어내는 방법을 제시하였다.

90년대 후반에 들어 CPU의 놀라운 처리성능 향상, 고속 대용량 Memory의 발전, 고기능 Camera의 탄생 등 주변기술의 고 기능화 및 저 가격화가 이루어지면서 전 세계적으로 비약적으로 발전하고 있는 분야이며, 비접촉 검사용 비전 시스템은 FA분야에서 필수적인 핵심요소로 까지 여겨지게 되었고, 일반 기업에서도 신뢰성 있는 비접촉 검사용 비전 시스템의 도입이 근래에 와서는 그리 부담스럽지 않은 상황이라고 판단된다^(7,8). 전 세계적인 추이로 보면 비교적 단순기능의 Sensing 처리 방식은 저가의 비접촉 검사용 비전 시스템의 출현이 조만간에 예견되며 기타 범용 장비도 저가격화 추세에 있으며 특정분야에 응용되는 고기능, 고성능 제품 등은 향후에도 상대적으로 고가를 유지할 전망이다^(9,10).

현재, 비접촉 검사용 비전시스템의 국내 실정은 외산의 상용장비의 도입이 주류이며 일부 업체들에서 외산 핵심 장치를 근간으로 하고 처리목적에 맞게 Program 만을 개발하는 형태로 업무를 진행하는 형식이 대부분이라고 할 수 있다. 소수의 일부 기업들에서 핵심 처리 장치를 개발하려고 시도되고 있으며 현재 상용화 된 것은 거의 없는 실정이다. 또한, 이 분야의 응용기술은 여러 업체에서 노하우를 쌓아가며 연구개발에 박차를 가하고 있고 향후 국내 기술도 진일보 할 것으로 기대 된다. 기업의 경쟁력 확보에 비접촉 검사용 비전 시스템의 역할은 지대 할 것으로 판단되는데 그 이유는 경쟁력 강화를 위한 품질 보증, 인력 절감 생산성 향상 등 다양한 분야에 확대 적용이 기대되며 첨단 정밀 분야인 광학

기기, 반도체, 디스플레이, 광학재료 및 정밀부품 분야 등에서 비전 기술에 의한 검사/계측이 더욱 절실할 것으로 보인다.

정밀부품의 활용분야는 PC카메라, WEB카메라, 디지털 카메라, 화상 휴대폰 및 IMT2000의 렌즈, 보드렌즈, 그리고 안경산업 및 휴대폰산업 등에 이르기까지 매우 광범위하므로, 관련산업분야의 기술개발이 절실히 요구되고 있다

따라서, 본 연구에서는 비접촉 검사용 비전 기술을 개발하여 정밀부품의 가공 정밀도 및 외형상태를 비롯하여, 양·불량 판정을 수행할 수 있는 실험을 통하여 자동 검사용 비전 시스템을 설계하고 그 성능을 검증한다.

2. 검사용 부품 형상인식 기법

2.1 영상 스트레스싱

영상 스트레스싱(Image Thresholding)은 그레이 레벨(gray level)의 연속색조(continuous-tone) 영상을 2진 레벨(binary level)의 흑백 영상으로 변환하는 기법이다. 지정된 스트레스홀드(threshold) 아래의 픽셀(pixel)값은 모두 블랙(black)으로 변환되고, 스트레스홀드에 있거나 그 위에 있는 픽셀 값은 화이트(white)로 변환된다.

영상 스트레스싱은 윤곽선 추출(edge detection)을 하기 전에 수행하는 과정으로써, 윤곽선을 추출하는데 혼란을 초래할지도 모르는 정보를 제거하기 위해 이용되는 과정으로, 영상처리과정에서 가장 보편적으로 이용된다.

스트레스홀드의 수식은 다음 식(1)과 같다.

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

여기서 F(X,Y)와 g(x,y)는 각각 영상처리전후의 (x,y)에 있는 화소의 농도값을, t는 경계값을 나타낸다.

본 연구에서 수행한 스트레스홀드 흐름도는 Fig. 1과 같다.

2.2 영상분할

본 연구에서 영상분할은 스트레스싱에 의해 처리된 흑백 영상의 색정보를 이용하여 입력 영상에서 인식에 필요한 제품의 형상이 있는 부분만을 추출하였다. 분할할 부분의 열(column)의 시작 부분을 찾는 알고리즘은 Fig. 2와 같고, 분할할 부분의 줄(row)의 시작 부분의 알고리즘은 그림 Fig. 2를 기본으로 두 군데를 수정하면 된다. 즉, 임의의 열(column)과 다음 열의 비교 대신 열의 위치는 같고 임의의

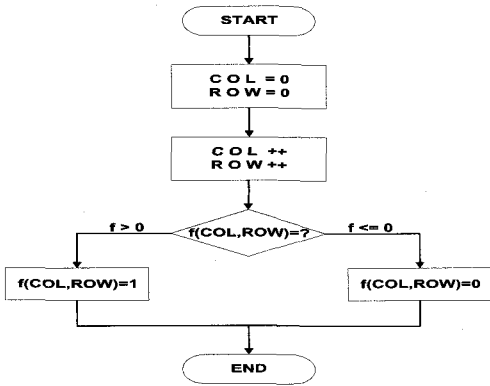


Fig. 1 Flowchart of threshold

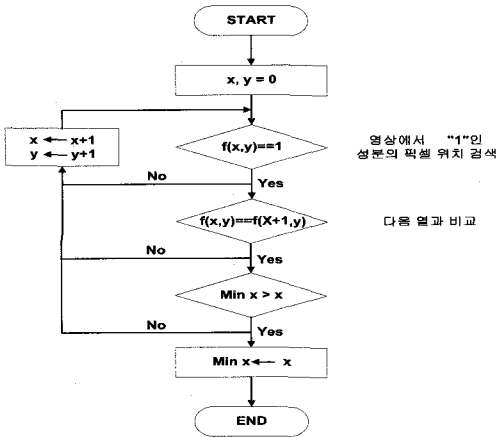


Fig. 2 Flowchart of Initial Column for segment region

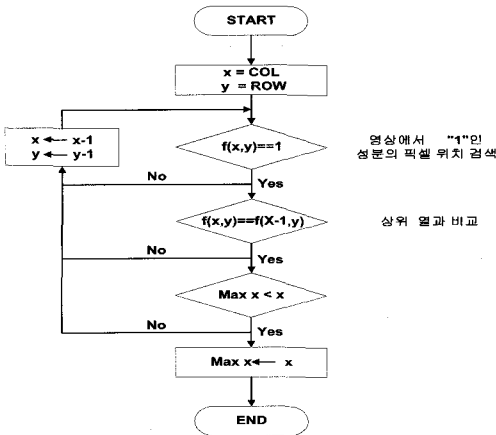


Fig. 3 Flowchart to find the end column for segment region

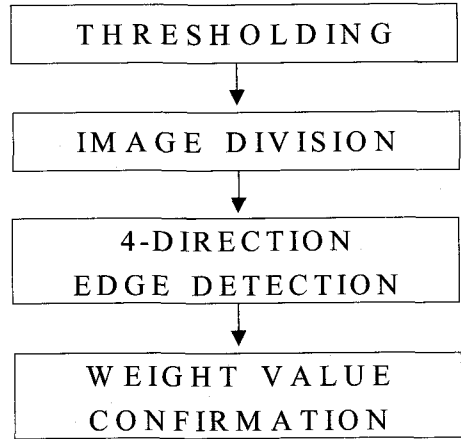


Fig. 4 Flowchart of edge detection

줄(row)과 다음 줄에 위치한 픽셀과의 부분과, Min x 대신 Min y를 구하면 된다.

다음 흐름도는 분할할 부분의 열(column)의 끝 부분 위치를 찾는 흐름도인데, 줄(row)의 끝 부분을 찾는 방법은 Fig. 3에서 임의의 열과 그 앞의 열의 비교 대신 임의의 줄과 그 앞 줄을 비교하고, Max x 대신 Max y를 구하면 된다.

2.3 윤곽선 추출

윤곽선을 추출하는 알고리즘은 미분 연산에 의한 기법과 마스크(mask)와 정합(matching)에 의한 기법 등이 있는데, 본 연구에서는 사용하는 패턴의 윤곽선을 추출하는 알고리즘은 영상 스톱스홀(Image threshold)를 통한 평활화 과정을 거쳐 2진값으로 변환시킨 후 윤곽선 추출 작업을 수행하였다.

본 연구에서 수행한 알고리즘은 한 번의 스캔으로 상·하·좌·우 4방향 윤곽선을 추출한다. 스캔하면서 임의의 픽셀과 그 다음 스캔되는 픽셀과 비교하여 변화가 생기면 그 정보에 의해 윤곽선을 추출한다. 또한 잡음에 민감하게 반응하지 않도록 알고리즘이 설계되어 있기 때문에 잡음 제거과정의 전처리 단계를 거치지 않고 스톱스홀드 과정을 수행한 후 윤곽선 추출 과정을 수행하였다. 본 알고리즘의 윤곽선 추출 흐름도는 Fig. 4와 같다.

2.4 특징값 추출

입력된 영상의 패턴을 인식하기 위하여 가중치(weight value)가 인가된 매트릭스(matrix)를 통해 입력된 영상에서 추출된 윤곽선과 정합(matching)시켜 영상의 특징값을 결정

한다. 패턴 영상의 테이터 분포에 따라 매트릭스의 가중치 인가 방법을 조절한다. 가중치인가 방법에 따라 특징값이 민감하게 변화하기 때문에 가장 안정적인 특징값을 추출하기 위하여 많은 모의실험이 필요하다.

본 연구에서 제안한 가중치 인가방법은 주어진 형상의 데이터를 분석하여 볼 때 데이터의 분포가 주로 중앙에 밀집하여 있기 때문에 가중치의 값도 중앙에 비중을 두어 인가하였다.

3. 검사용 비전 시스템의 구성 요소

비전 소프트웨어는 호스트 컴퓨터의 운영체제(Operation System)하에서 동작하며, 호스트 컴퓨터의 한 어플리케이션 소프트웨어로 작동한다. 그러므로 본 연구에서 적용한 Matrox Meteor-II 영상처리보드는 여러 기능을 가지고 있는 시스템의 한 모듈로서 응용될 수 있기 때문에 시스템 인테그레이션에 의한 특정용도의 시스템 개발이 편리하도록 설계되었다.

부품 검사용 비전 시스템의 주요 구성요소는 카메라, 렌즈, 비전 모니터, 조명, 영상처리보드, 검사용 비전 알고리즘, Host Computer, 제어기 그리고, 검사다이 및 Frame, 제반 주변 TOOL 등으로 구성된다. 아래의 Fig. 5는 PC 기반 부품 검사용 비전시스템(Vision System)의 기본 구성도를 나타내고 있다. Fig. 6은 개발된 부품 양·불량 검사 시스템의 비전 알고리즘을 나타내고 있다.

개발된 시스템의 주요 특성 및 기능은 다음과 같다.

① Vision System은 Hardware 장치와 검사용 Software Program으로 구성된다.

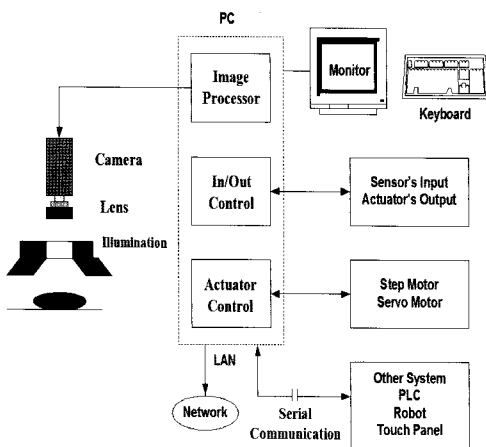


Fig. 5 Structure of vision system based PC

② 부품 표면 Scratch 검사용 Vision Program은 표면 불량 Scratch 정도의 기준수량 조건을 직접 입력하여 기준 영상 데이터로 설정하여 놓고, 실제 측정 영상 데이터와 기준 영상 데이터를 상호 비교하여 그 오차를 계산한 후 일정 범위 이내의 오차는 정상제품으로 일정 오차 이상의 제품을 불량제품으로 판별하는 기능 보유.

③ 본 검사 시스템은 최소 1Pixel 단위까지 측정이 가능함.(1Pixel은 3.7 μ m \times 3.7 μ m(0.1369 \times 10-4mm²))

④ 개발된 검사용 Vision System은 조도 검사, Ball (Lens) Roundness 검사, Damage Ball(Lens) 검사, Wrong Size Ball(Lens) 검사, Missing Ball(Lens) 검사, Extra Ball (Lens) 검사 등 부품의 가공정밀도 측정이 가능함.

4. 검사 시스템 성능 시험

4.1 표준형상 모델의 검사 및 고찰

Fig. 6은 측정 원형의 표준형상 모델의 정상 부품의 실영상을 영상처리보드를 이용하여 Image를 획득한 영상화면을 나타내고 있다. 기준 모델 설정 순서는 기준모델 설정 시작, 이미지 획득, 기준모델 영역 설정, 표면영역 지정, 불량 검색 영역 지정, 불량 형태 설정 순으로 설정을 한다.

Fig. 7은 설정한 검사 영역 내 Pixel의 밝기를 0에서부터 255사이의 모든 영역을 히스토그램으로 표현한 화면을 나타낸다. Fig. 8은 실제 형상부품 부분을 판독할 수 있는 가장 적절한 Pixel의 밝기(158~255)를 파악한 후 이진화를 통하여 원형의 표준형상 부분을 인식한 후 설정 검사 영역 내의

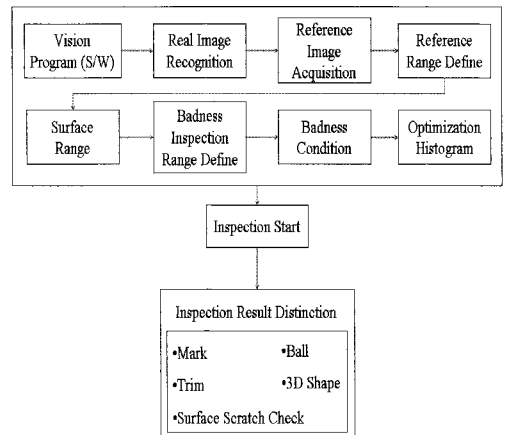


Fig. 6 Vision algorithm for inspection of parts surface scratch

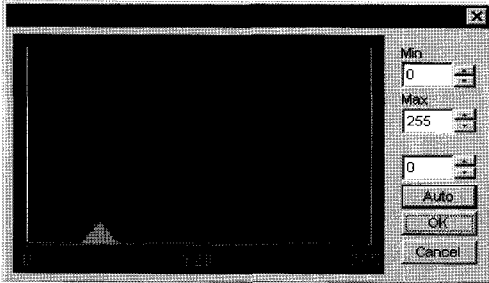


Fig. 7 Histogram in set inspection area

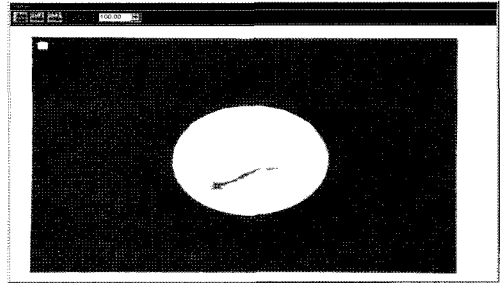


Fig. 9 Real image of lens model

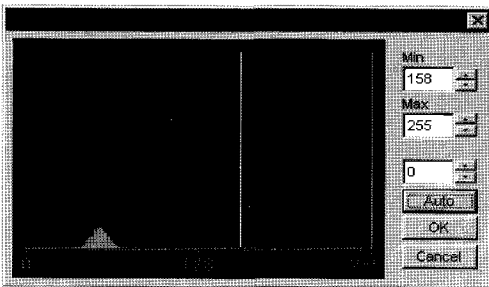


Fig. 8 Gray level value of optimizing histogram in set inspection area

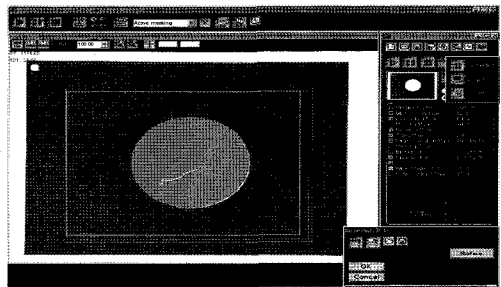


Fig. 10 Inspected image of lens model

Pixel 밝기의 최적화 히스토그램을 나타내고 있다. 여기서, 결정된 Pixel의 밝기 값은 기준 모델에 대한 적정 밝기 값으로 측정 대상부품의 측정시 표면에 미세한 Scratch가 있을 경우 Scratch Gray Level 값을 측정하게 되고 기준 모델의 최적화 히스토그램에서 설정된 Pixel의 밝기 값과 비교하여 이진화함으로써 Scratch의 유·무를 판단한 후 부품 표면의 양·불량을 측정한다. 또한, Scratch의 Pixel 값을 이진화함으로써 얻은 Pixel의 개수를 파악하여 Scratch의 크기 또한, 측정이 가능하다. 부품 모델의 표면 Scratch가 특정 값 이상을 불량이라고 처리할 경우 측정된 Scratch 부분의 Pixel 개수를 계산하여 양품부품의 Scratch 크기 기준에 맞는 정상 부품형상을 측정할 수 있다.

Fig. 8에서 파악된 최소 Pixel 밝기 값인 158을 기준으로 이진화되었음을 확인할 수 있다. 여기서, Pixel 밝기 값이 0~157은 0의 값(black)으로 158~255는 255의 값(white)으로 변환된다.

4.2 비구형 형상의 검사 및 고찰

Fig. 9는 측정 원형의 표준형상 모델의 실영상을 나타내고, Fig. 10은 측정 원형의 표준형상 모델의 시험 검사 측정

결과로서, 불량 부분을 화면에 갈라로 표현하고 있다.

본 실험에서 불량 조건 Scratch Pixel값을 10Pixel (0.001396mm²)이상으로 설정하였다(원형의 표준형상 제품 설계 사양 기준). 따라서, Fig. 10을 보면 Scratch Surface의 Pixel값이 350.00p의 값을 가지므로 원형의 표준형상 표면이 불량임을 확인할 수 있다.(단, 1Pixel = 3.7 μ m \times 3.7 μ m = 0.1369 \times 10-4mm²)

다양한 형상부품을 자동으로 인식 추출하는 부품형상인식시스템은 일반적인 전 처리 과정, 인식 과정 및 후 처리 과정으로 구분될 수 있다. 전 처리 과정에서는 입력된 데이터를 처리하여 부품패턴을 분리하고 세션화 시킨다. 거버파일로 입력된 경우, 별도의 필터링 및 세션화 과정 불필요하나 벡터 형식의 텍스트 데이터를 비트맵 형식의 그림 데이터로 변환시켜야 한다. 반면 이미지스캐너로 획득한 그림파일로 입력된 경우, 필터링, 영역분리, 세션화 등 별도의 영상처리 과정이 필요하다.

Fig. 11는 본 연구에서 새로이 제안하는 자동검사용 부품형상인식시스템의 인식 과정을 보여준다. 기존의 방법과 달리 특징추출 단계, 형상분류 단계, 방향 분류 단계의 3단계로 구성된다. 특징추출 단계에서는 입력패턴으로부터 저널 모멘트(Zernike moment) 벡터와 고리투영 벡터를 추출한

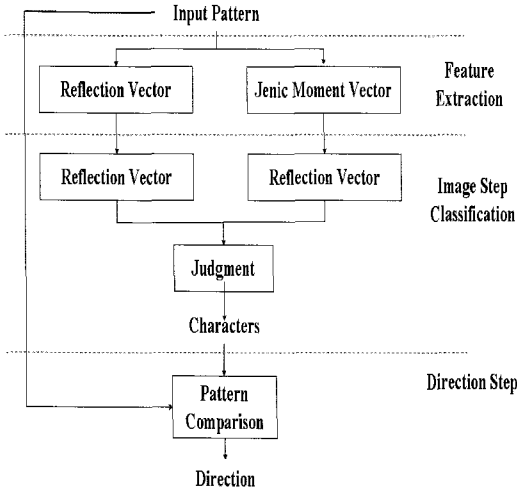


Fig. 11 Recognition process of parts model

다. 이들 특징값들은 부품의 자세 및 방향에 무관하게 같은 값을 갖는 회전 불변값들이다. 추출된 특징값들은 분류 단계의 각 부 인식기에 입력되고 두 개의 부 인식기의 분류결과가 서로 다른 경우 별도의 최종처리기를 통하여 최종적으로 분류한다. 이 때 회전불변 특성의 특징값을 사용하므로, 각 부 인식기는 방향을 무시한 32개의 패턴만 인식하면 된다. 기존의 방법에 비하여 2대폭 감소된 수의 패턴을 인식하여야하므로, 신경회로망으로 구성된 각 부 인식기의 학습속도 및 인식율이 크게 향상될 수 있다.

마지막으로 방향분류 단계에서는 입력된 부품패턴과, 판별된 형상에 대한 4가지 방향의 기준패턴과의 비교를 통하여 방향을 판별한다. 또한 형상이 아닌 기호 인지를 판별할 수 있게 된다.

부품형상인식 과정에서는 전 처리 과정에서 추출되어 정규화 된 문자패턴의 문자 및 방향을 판별한다. 본 연구는 전 처리과정 및 후 처리 과정에는 기존에 제안한 방법을 사용하고, 형상인식 과정에는 새로운 방법을 적용하여 새로운 부품 모델명 및 모델 번호의 부품형상 인식시스템을 구성한다. 부품위치이름으로 사용하는 문자는 A~Z의 영문대문자와 0~9의 숫자이며, 방향은 0도, 90도, -90도, -180도 의내 가지로 제한된다. Fig. 12(a)과 같이 다양한 폰트의 인쇄체 문자가 네 가지의 방향으로 존재하는 것을 볼 수 있으며, 그림 Fig. 12(b)과 같이 부품이 여러 가지 기호가 함께 존재하는 것을 볼 수 있다. 이러한 부품의 특성 상 기존 광학문자인식 시스템에 적용되는 부품인식 방법을 직접 적용하기 어렵다.

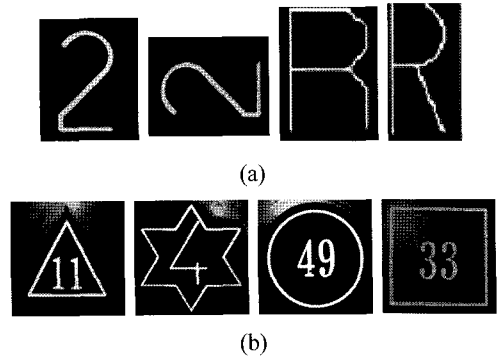


Fig. 12 Results of character's shape recognition for experimental part models

5. 결론

본 연구에서는 형상인식 기술 및 정밀부품의 검사용 비전 기술을 개발하였고, 그 성능 검증을 위하여 부품의 외형상태를 비롯하여, 양·불량 판정을 수행할 수 있도록 개발하였다. 그리고 표면 불량 Scratch 정도의 기준사양 조건을 직접 입력하여 기준 영상 데이터로 설정하여 놓고, 실제 측정 영상 데이터와 기준 영상 데이터를 상호 비교하여 그 오차를 계산한 후 일정 범위 이내의 오차는 정상제품으로 일정 오차 이상의 제품을 불량제품으로 판별하도록 설계하였다. 개발된 시스템은 최소 1 pixel 단위까지 측정이 가능한데 1 pixel은 $3.7\mu\text{m} \times 3.7\mu\text{m}$ ($0.1369 \times 10^{-4} \text{mm}^2$)로서 그 정밀도는 10-4mm 까지 정밀하게 측정이 가능하며, 실험을 통하여 성능 검증 및 신뢰성을 입증하였다.

본 연구를 통하여 개발된 정밀부품 생산공정 자동화를 위한 로봇 비전 시스템은 기술경쟁력 유지 및 생산량 증대는 물론, 개발된 자동화 장비의 수출을 통해 국가 경제에 크게 이바지 할 것으로 판단된다.

또한, 이 자동화 공정기술은 복합 다공정 기술이므로 정밀 부품산업 및 관련전자제품의 질 향상에 크게 이바지할 것이며 또한, 이 자동화 기술과의 공동핵심기술을 이용하여 핸드 폰·화상전화기 등의 조립·검사 자동화설비의 개발을 통한 상품수출 등의 시너지효과도 매우 크게 기대된다.

참고 문헌

- (1) Makhlin, A. G., Gaudio, I. and di Maio, F., 1982, "Vision controlled assembly by a multiple

- manipulator robot,” *Robot Vision&Sensory Controls*, Vol. 392, pp. 83-92.
- (2) Shoham.Moshe, Fainman. Yeshayahu, Lenz.ehud, 1984, “An optical sensor for real time positioning tracking and teaching of industrial robots,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. IE-31, No.2, pp. 159-163.
- (3) Hitachi, M. E. R. L., 1982, “Vision system of an automatic inserter for PCB assembly,” *Proceedings of the 2nd International Conf.*, pp. 63~72.
- (4) Birk, J. R., 1976, “A Computation for Robots to Orient and Position hand-held Workpieces,” *IEEE Transactions Syst.*, Vol. Smc-6, pp. 665-671.
- (5) Chen, N., Birk, J. R and Kelley, R.B, 1980, “Estimating Workpiece Pose Using the Feature Point Method,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. AC-25, No. 6, pp. 1027-1041.
- (6) Choi, Y. W., 1985, *Image Processing for hole position on 2 1/2 Dimensional objects for assembly robot*, MS thesis PE.
- (7) Reimer, L., 1998, *Scanning Electron Microscopy Physics of Image Formation and Microanalysis*, Springer, Berlin, pp. 527.
- (8) Cochran, S. D. and Medioni, G., 1992, “3-D surface description from binocular stereo,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine intelligence*, Vol. 14, No. 10, pp. 981~994.
- (9) O’neil, M. and Denos, M., 1996, “Automated system for coarse-to-fine pyramidal area correlation stereo matching,” *Image and Vision Computation*, Vol. 14, pp. 225~236.
- (10) Hwang, S.Y., Hong, D. P., Chung, T. J. and Kim, Y. M., 2006, “Development Smart Sensor & Estimation Method to Recognize Method to Recognize Materials,” *Transactions of Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 3, pp. 73~81.