

## 테이프 피더의 부품공급 정밀도 측정을 위한 검사 시스템

### An Inspection System for Measuring Feeding Accuracy of Tape Feeders

조 태 훈, 이 성 준

(Tai-Hoon Cho and Sung-Joon Lee)

**Abstract** : A tape feeder of a SMD (Surface Mount Device) mounter is a device that sequentially feeds electronic components on a tape reel to the pick-up system of the mounter. As components are getting much smaller, feeding accuracy of a feeder becomes one of the most important factors for successful component pick-up. Therefore, it is critical to keep the feeding accuracy to a specified level in the assembly and production of tape feeders. This paper describes a tape feeder inspection system that was developed to automatically measure and inspect feeding accuracy using machine vision. It consists of a feeder base, an image acquisition system, and a personal computer. The image acquisition system is composed of CCD cameras with lens, LED illumination systems, and a frame grabber inside the PC. This system loads up to six feeders at a time and inspects them automatically and sequentially. The inspection software was implemented using Visual C++ on Windows NT with easily usable GUI. Using this system, we can automatically measure and inspect the quality of all feeders in production process by analyzing the measurement results statistically.

**Keywords** : tape & reel feeder, inspection system, accuracy measurement, surface mount device, mounter

#### I. 서론

최근 전자기술과 반도체기술의 급속한 발달로 전자제품의 소형화가 진행되면서, 초소형의 표면실장부품(Surface Mount Device, SMD)이 많이 채용되고 있다. SMD 전자부품을 PCB 위에 실장하는 장비를 SMD 마운터(mounter)라고 한다. SMD 마운터에서, 피더(feeder)는 저항이나 콘덴서, SMD칩 등 부품을 연속적으로 마운터에 공급해 주기 위한 장치이다.

부품피더의 종류는 중력, 진동, 테이프 및 릴, 트레이, 그리고 리드포밍 등이 있는데, 이 중 테이프 및 릴 피더가 일반적으로 가장 많이 사용된다(그림 1 참조). 마운터는 이 피더를 통하여 부품을 일정한 간격으로 픽업위치로 이송한다. 이송 테이프는 부품을 최대한 보호한다. 대부분의 테이프 및 릴 피더는 릴 호울더, 테이프 이송 메커니즘, 테이프 커버를 벗기는 메커니즘으로 구성된다. 인텍싱 메커니즘은 공압, 전기, 기계적인 방법으로 작동된다. 피더는 테이프를 인텍싱 한 후 커버를 제거한다. 테이프 및 릴 피더는 8, 12, 16, 24, 32, 44, 56mm 테이프용으로 생산된다. 이와 같은 부품 이송 방식은 어떤 생산에서든 적합하며 특히 대량생산에 유리하다[1].

마운터는 피더가 공급하는 부품을 공압노즐(vacuum nozzle)로 픽업해서, 카메라로 부품의 자세(중심, 각도)를 인식하고, 이를 보정하여 PCB위에 부품을 장착하게 된다. 최초 피더의 기준 위치는, 피더가 장착된 후 운영자(operator)가 영상을 통해 부품의 위치를 학습시켜서, 마운터 시스템에 인식시키게 된다. 따라서, 피더에서의 부품 픽업이 성공적으로 이루어져야, 카메라에 의한 자세보정에 의해 정확하게 PCB의 정해진 위치에 놓여질 수 있다. 일반적으로 피더는 마운터에서 가장 어려운 부분 중 하나로, 부품의 크기가 클 경우에는 피더의 부품공급 정밀도가 그리 뛰어나지 않아도 부품

픽업장치가 별 어려움 없이 잡을 수 있지만, 최근 1005(크기 1mm×0.5mm)나 0603 각칩(chip)같은 극소형의 부품들이 사용됨에 따라, 이러한 극소형의 부품들을 제대로 픽업하기 위해서는 피더의 부품공급 정밀도가 매우 좋아야 한다. 부품이 극소형일 경우에는 부품이 피더에서 일정한 위치에 공급되지 않으면, 픽업에 실패하거나, 픽업후 카메라에 의한 자세보정이 제대로 이루어지지 않아서 장착할 때 오류를 유발시킨다.

이같이 피더가 공급하는 부품이 점점 초소형화 됨에 따라, 피더의 부품공급 반복정밀도는 마운터의 부품 픽업 시스템이 부품을 성공적으로 픽업하게 하는데 있어 가장 중요한 요소의 하나가 되었다. 따라서, 피더의 조립/생산시 피더의 부품공급 반복정밀도를 일정 기준(보통 0.1~0.2mm 편차 이하) 이상으로 유지되도록 품질관리를 해야 하는 것은 매우 중요하다. 기존에는 피더를 생산하는 업체에서, 조립 후 수동으로 피더를 피딩하면서, 테이프피딩 동작을 카메라를 통해 영상모니터에 디스플레이하여 검사자가 육안으로 검사하는 방식을 주로 사용하고 있다.

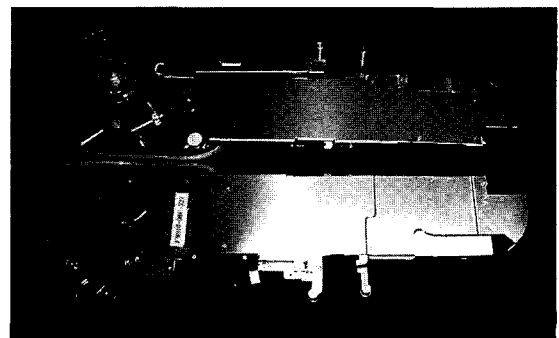


그림 1. 마운터용 피더.

Fig. 1. A tape feeder for a mounter.

본 연구에서는 테이프 및 릴 피더의 부품공급 반복 정밀도를 machine vision을 이용하여 자동으로 측정 및 검사를 수행할 수 있는 장비(이하 피더 검사 시스템)를 개발하였다. 이 장비에 의해, SMD 마운터 생산공정중의 모든 피더의 상태를 자동 측정/검사하여, 측정결과를 통계적으로 분석함으로써, 개개 피더의 정밀도를 판정할 수 있을 뿐만 아니라, 조립 공정 개선에 의한 생산성 향상을 통하여 제품 경쟁력 제고를 기대할 수 있다.

## II. 피더 검사 시스템

### 1. 시스템의 구성

피더 검사 시스템은 실제 마운터에서와 동일한 방법으로 피더를 장착하고 동작시키는 기구부, 영상을 취득하는 장치, 그리고 이 영상을 처리해 검사를 수행하는 검사용 컴퓨터로 구성되어 있다(그림 2 참조).

기구부는 실제 마운터에서 사용하는 피더 베이스(feeder base)와 제어 보드(control board)를 그대로 사용해서 마운터에서와 기계적으로 동일한 동작환경을 제공한다. 제어 보드는 검사용 컴퓨터와 연결되어 검사용 컴퓨터의 신호에 따라서 피더를 순차적으로 진행시키고 각종 동작 상태를 보고하는 기능을 한다.

영상 취득 장치는 검사용 카메라, 프레임 그래버(frame grabber), 그리고 조명장치로 구성된다. 카메라는 피더 장착 위치 상단에 설치하여 피더가 장착되었을 때 피더의 부품이 놓이게 되는 위치, 또는 검사용 템플릿(template)의 기준 표식 위치의 영상을 가능한 최대의 FOV(field of view)로 취득할 수 있도록 조정할 수 있다. 카메라는 컴퓨터의 명령에 따라서 피더가 부품을 공급하는 순간의 영상을 취득하여 검사용 컴퓨터에 장착되어 있는 프레임 그래버로 전송한다. 기구부에는 총 6대의 카메라가 설치되어 동시에 최대 6개까지의 피더를 한꺼번에 검사할 수 있다. 조명장치는 카메라 아래쪽에 적색 LED모듈로 장착된다. 카메라는 768(H)×494(V)의 해상도를 가진 EIA 타입의 일반적인 흑백 카메라를 사용하고, 프레임 그래버는 6개의 카메라로부터 640×480의 해상도의 영상을 순차적으로 취득할 수 있는 모델을 사용하였다.

검사용 컴퓨터는 피더 제어 보드와 RS-232 직렬포트로 통신하여 피더 장착 상태를 감시하고 검사 대상 피더를 제어하

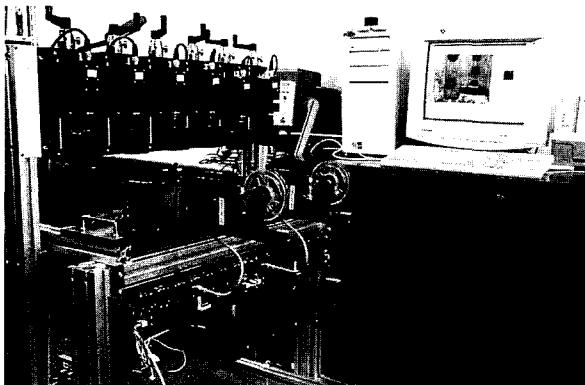


그림 2. 피더 검사 시스템.  
Fig. 2. The feeder inspection system.

며 프레임 그래버를 통해 적절한 영상을 취득하여 검사를 수행한다. 검사용 컴퓨터로는 PC를 사용하고, 운영 S/W는 Windows NT상에서 Visual C++로 개발하여, 사용자 용이한 GUI를 갖게 하였다.

### 2. 시스템의 동작

피더의 검사는 피더에 실제의 부품 테이프 대신 특별히 제작된 검사용 템플릿을 장착하고 이 템플릿 영상을 취득하여 정밀도를 측정하게 된다. 템플릿은 스테인리스스틸 재질에 부품 테이프와 동일한 규격으로, 부품 위치에 1mm×1mm 정방형의 영역 검사용 사각 무늬가 정밀하게 에칭으로 제작되어 있다(그림 3). 이 검사용 템플릿을 사용하면, 반영구적으로 반복사용이 가능하게 되어, 검사 비용이 절감될 뿐만 아니라, 균일한 측정정밀도를 유지할 수 있는 장점이 있다.

검사용 컴퓨터에서 피더 제어 보드에 직렬포트를 통해 부품공급 명령을 내리고, 템플릿이 일정 간격 진행된 후 영상을 취득하여 위치를 측정한다. 그림 4는 취득된 영상의 예이다. 이 영상에서 중앙 좌측의 검은 원들은 피더가 테이프를 이송시키기 위한 스프로킷(sprocket)이 걸리는 구멍이다. 이 구멍의 위치와 크기는 실제 테이프와 동일하다. 영상 중앙 우측의 검은 사각형들이 정밀도 측정을 위해 에칭으로 제작된 사각형으로 실제 크기는 가로 세로 각 1mm이다.

피더를 진행시키면 이 템플릿은 다음 부품위치로 진행(영상에서 위쪽으로 한칸)하고 이 위치에서 측정을 반복한다. 이러한 측정은 하나의 피더에 대해 미리 정해진 횟수만큼 수행된다. 검사 후, 합격/불합격 판정 결과와 부품위치 측정값들의 평균값, 최대값, 최소값, 표준편차 등의 검사결과를 수치 자료와 그래프로 프린터에 출력된다. 한 피더의 부품 공

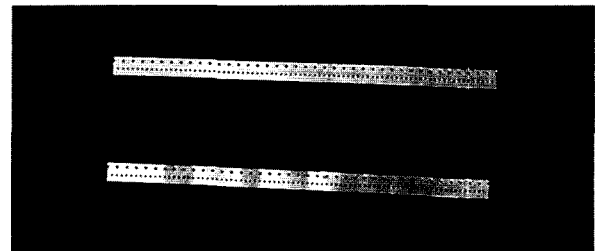


그림 3. 검사용 템플릿.  
Fig. 3. Inspection templates.

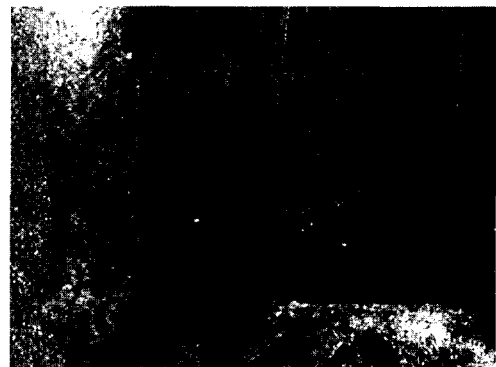


그림 4. 템플릿이 장착된 상태의 영상.  
Fig. 4. An image obtained with an inspection template on the feeder.

급 반복 정밀도 검사가 끝나면, 다음 피더의 검사가 차례로 진행되어, 장착된 전 피더에 대해 자동으로 검사가 이루어진다.

3. 검사방법

본 시스템에서 검사 방법으로 사용하는 영상처리 기술은 패턴 매칭(pattern matching)과 에지 검출(edge detection)에 의한 카메라 보정(calibration)이다[2]-[7].

우선 피더의 정밀도를 측정하기 위해서 피더의 각 부품 위치에서 취득된 영상에서 템플릿의 사각형을 패턴 매칭 방법으로 찾아서 그 위치를 측정한다. 패턴 매칭 방법으로는 정규화 상관도(normalized correlation)[5][7]에 기반한 탐색(search)을 사용하였으며, 고정밀 측정을 위해 보간법(interpolation)에 의한 subpixel 알고리즘[3]을 적용하였다. 정규화상관도 R은 아래와 같이 주어진다.

$$R(u, v) = \frac{N \sum_i I_i M_i - (\sum_i I_i)(\sum_i M_i)}{\sqrt{(N \sum_i I_i^2 - (\sum_i I_i)^2)(N \sum_i M_i^2 - (\sum_i M_i)^2)}} \quad (1)$$

여기서,  $I_i$ 는  $(u+x_i, v+y_i)$ 에서의 영상밝기이며,  $M_i$ 는 상대적인 offset  $(x_i, y_i)$ 에서의 대응되는 모델(model) 화소의 밝기를 가리키며, N은 모델 화소의 개수를 나타낸다. 영상과 모델사이의 정합이 가까울수록 R은 1에 가까워진다. 먼저, 탐색영역내에서 R값이 최대가 되는 위치, 즉, 모델과 가장 잘 정합되는 위치를 화소단위로 찾은 후 2차 보간법(quadratic interpolation)에 의해, 정합위치를 정확하게 추출한다. 1차원 상관도의 경우, R(u)가 최대가 되는 정수(integer) 위치를  $u_0$ 라 하면, 인접한 위치  $u_0-1$ ,  $u_0+1$ 에서의 상관도  $R(u_0-1)$ ,  $R(u_0+1)$ 를 이용하여 R이 최대가 되는 위치를 2차 보간법에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$u' = u_0 - \frac{R(u_0 + 1) - R(u_0 - 1)}{2(R(u_0 + 1) - 2R(u_0) + R(u_0 - 1))} \quad (2)$$

영상에서 2차원 상관도의 경우에는, 이 식을 이용하여, x 축, y 축 방향으로 각각 보간법으로 구하면, 상관도가 최대인 위치를 subpixel로 정확하게 구할 수 있다.

그림 5는 정규화상관을 이용한 패턴매칭을 위한 파라미

터의 설정과 테스트 수행 화면이다. 좌측 영상에서 점선의 사각형은 패턴 매칭을 수행할 ROI(region of interest)를 나타낸다. ROI의 설정은 영상내 인접한 상하의 사각형으로 잘못 찾을 확률을 줄이고 탐색 속도를 높이기 위한 것이다. 영상내 실선의 작은 사각형은 패턴 매칭을 위해 등록된 모델(model)의 이미지이다. 모델의 이미지가 ROI내에서 뚜렷하게 구별되므로 이런 방식으로 매칭의 오류는 거의 없을 것으로 판단되고 실제 운용 중에 한번의 오류도 관찰되지 않았다.

한편, 패턴 매칭으로 취득된 영상 좌표계의 측정값들을 정확한 실제 값으로 변환하기 위해서는 적절한 카메라 보정이 필요하다. 본 시스템은 운용의 특성상 일반 비전 시스템에서와 다른 보정 방법이 필요하다. 즉, 보정이 필요한 상황이 비교적 빈번하게 발생함에 반해 기구적인 구조상 일반 보정용 템플릿을 적절히 위치시키기 어려운 구조를 가지고 있다. 따라서 여기서는 측정용 템플릿에 에칭된 사각형 무늬를 이용한 보정 방법을 사용하였다.

즉, 측정용 템플릿에 새겨진 사각형의 가로 세로가 정확히 1mm인 점을 이용해서 이 사각형의 가로 길이와 세로 길이를 각기 에지 검출(edge detection)을 이용해 subpixel로 측정하고 이 값(화소단위)들을 실제 값인 1mm와 비교하여 각기 x축, y축 스케일(scale)변환 계수(단위화소 길이당 실제 길이)로 활용한다. 이러한 방법은 보정과 측정을 연속적으로, 용이하게 수행할 수 있는 장점이 있고, 또한 보정의 정밀도에 있어서도 측정이 영상 전체 영역이 아닌 특정한 영역에만 이루어지므로, 템플릿이 정교하게 제작되고 경계 검출이 정확하게 이루어진다는 전제 하에서는, 단순하지만 효과적인 카메라 보정 방법이 될 수 있다. 그림 6은 측정용 템플릿의 사각형의 양쪽 경계를 검출하여 수평(x)방향 길이를 측정하는 화면이다.

사용된 에지검출방법은 다음과 같다. 에지검출을 위해 스트립(strip)형태의 에지검출 윈도우를 설정하고, 윈도우의 짧은 방향으로 그레이레벨 프로젝션(gray-level projection)을 한 후, 이 프로젝션 결과(profile)의 1차미분값이 최대가 되는(즉, 프로젝션 프로파일의 기울기가 최대인) 위치로 에지(edge)위치를 구한다(그림 7 참조). 여기서도 보다 정확한 에지위치 검출을 위해 앞에서 설명한 2차보간법에 의해 에지위치를 subpixel 단위로 정밀하게 측정한다.

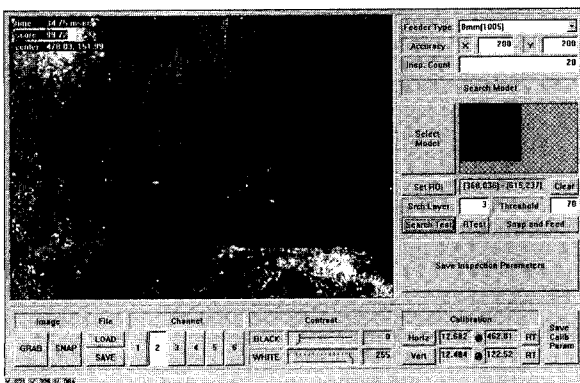


그림 5. 패턴 매칭 파라미터 설정 화면.  
Fig. 5. A screen of pattern matching parameter setting.

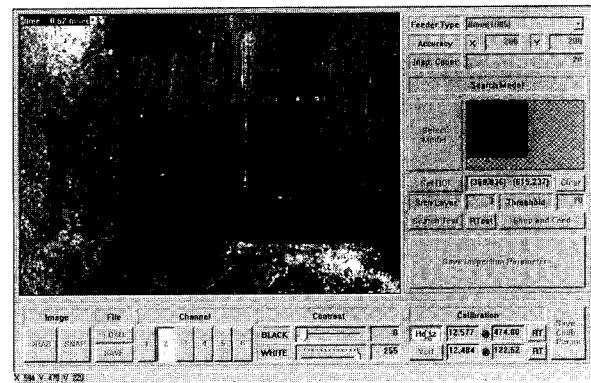


그림 6. 카메라 보정을 위한 에지 검출.  
Fig. 6. Edge detection for camera calibration.

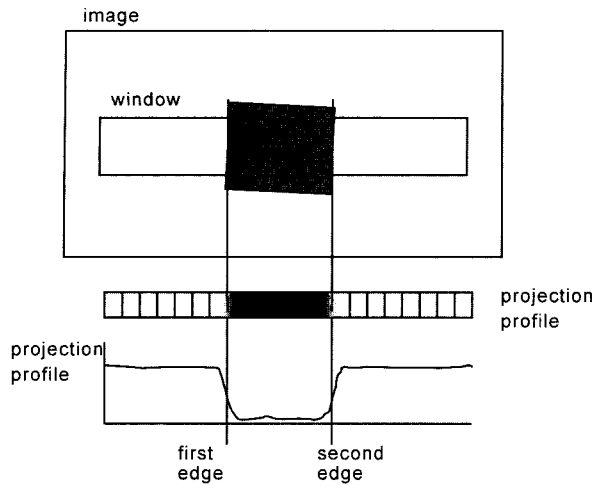


그림 7. 에지검출 방법.  
Fig. 7. Edge detection method.

패턴 매칭의 모델과 보정 계수 등록이 완료되면 검사 단계로 진행한다. 그림 8은 실제 검사를 수행하는 화면을 나타낸다. 검사의 결과 즉, 패턴 매칭으로 찾은 템플릿 사각형의 위치는 위에서 구해진 스케일 계수를 이용해서 실제 좌표값으로 변환되어, 왼쪽 그래프에 점으로 표시된다. 정해진 횟수의 검사가 끝나면 통계처리를 통해서 합/불합격의 판정과 품질 관리에 필요한 값들을 계산해 내고 결과를 출력한다. 계산되는 값들은 각기 x, y 축에 대한 평균, 표준편차, 최대, 그리고 최소 값 등이다.

III. 실험결과 및 고찰

먼저, 구성된 검사 시스템 자체의 정밀도를 확인하기 위해서 반복 정밀도 테스트를 수행하였다. 테스트 방법은 피더, 카메라, 조명등 영상 취득환경을 변화시키지 않은 상태에서 동일한 영상처리 기법을 100회 반복 적용하여 그 결과의 편차를 검토하는 것이다. 피더의 부품 위치를 변경시켜가면서 동일한 반복 정밀도 테스트를 각 10회씩 수행하였다. 이와 같은 테스트를 패턴 매칭 기법과 카메라 보정 기법에 각각 수행하였다. 이렇게 측정된 표준편차( $\sigma$ )가 표 1에 나타나 있다.

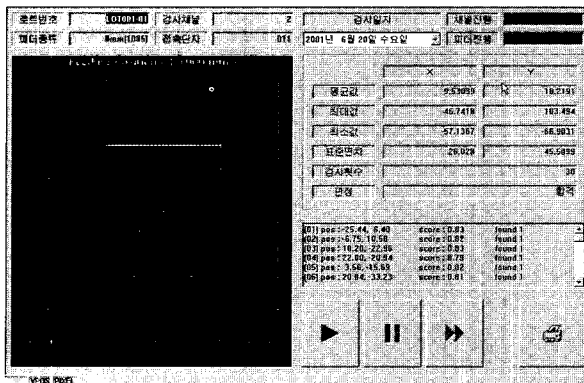


그림 8. 피더 정밀도 측정 화면.  
Fig. 8. A screen of feeding accuracy measurement.

패턴 매칭의 경우 x축(수평), y축(수직) 방향 최대 표준편차는 각각 0.0274, 0.0239pixel로서, 측정반복정밀도( $3\sigma$  기준)는 0.08, 0.07pixel로 나타났다. 카메라 보정 기법의 x축, y축 방향 최대 표준편차는 각각 0.0598, 0.0291 pixel로서, 측정 반복정밀도( $3\sigma$  기준)는 각각 0.18, 0.09pixel로 나왔다. 현재의 카메라 FOV에서는 한 변의 길이가 1mm인 사각형이 영상에서 79~80pixel에 해당되어, 1pixel은 약 12~13 $\mu$ m의 길이를 나타낸다. 따라서, 카메라 보정기법은 최대 0.18pixel, 2.3 $\mu$ m정도의 우수한 반복정밀도를 갖는다고 볼 수 있다. 결론적으로, 이 시스템은 패턴 매칭과 카메라 보정기법을 포함한 최대 반복측정 정밀도( $3\sigma$  기준)는  $0.08*13 + 0.08*13*(2.3/1000) = 1.04\mu$ m 정도로 매우 우수함을 알 수 있다.

피더의 피딩(feeding) 정밀도 측정을 위해 검사용 템플릿을 장착한 후, 템플릿 위치를 한 칸씩 이동시켜가면서 사각형의 위치를 30회 측정하여 평균과 표준편차를 구하였다. 사각형의 위치측정시 원점은 등록된 사각형 모델의 위치로 삼았다. 그리고, 다시 피더를 피더 베이스에서 뺐다가 다시 장착하고, 위의 실험을 반복하였다. 이것을 10회 반복한 실험 결과가 표 2에 나타나 있다.

표 1. 반복정밀도(표준편차)(단위 : pixel).  
Table 1. Repeatability(standard deviation)(unit : pixel)

횟수	패턴매칭		카메라 보정	
	x	y	x	y
1	0.0274	0.0081	0.0277	0.0248
2	0.0145	0.0217	0.0339	0.0203
3	0.0129	0.0239	0.0371	0.0269
4	0.0107	0.0119	0.0375	0.0291
5	0.0114	0.0141	0.0301	0.0270
6	0.0081	0.0163	0.0598	0.0175
7	0.0091	0.0093	0.0404	0.0277
8	0.0087	0.0094	0.0348	0.0285
9	0.0091	0.0062	0.0330	0.0218
10	0.0078	0.0056	0.0454	0.0214

표 2. 실제 피더의 이동 반복정밀도 측정(단위 :  $\mu$ m).  
Table 2. Measurement of feeding repeatability of a feeder(unit :  $\mu$ m)

횟수	패턴매칭		카메라 보정	
	x	y	x	y
1	9.5	18.2	26.0	45.5
2	11.7	17.8	28.2	44.2
3	-30.4	27.5	25.0	46.6
4	6.2	11.6	21.2	50.2
5	-61.7	28.3	27.7	44.6
6	21.8	10.5	19.7	51.2
7	-20.6	30.9	27.9	44.6
8	-20.6	9.7	20.0	51.5
9	-44.6	28.8	28.4	46.9
10	-82.5	5.4	18.8	52.1

평균의 최대 편차는 x, y 방향 각기 104.3( $\mu\text{m}$  (-82.5~21.8  $\mu\text{m}$ ), 25.5  $\mu\text{m}$ (5.4~30.9  $\mu\text{m}$ )가 나오는데, 이 같은 편차는 피더가 피더 베이스에 장착될 때 발생하는 장착 위치 오차에 기인한다. 따라서, 피더가 장착될 때 장착 위치 오차는 수직방향보다 수평방향이 훨씬 큼을 알 수 있다. 최대 표준편차는 x 축, y 축 방향으로 각각 28.4  $\mu\text{m}$ , 52.1  $\mu\text{m}$  으로, 3 $\sigma$  반복정밀도는 최대 85.2  $\mu\text{m}$ , 156.3  $\mu\text{m}$ 가 된다. 따라서, 피딩 정밀도는 수평방향보다 수직방향 즉, 피더 이동방향에서 오차가 크게 나는 것을 볼 수 있으며 이는 기구적인 구조로부터 예상할 수 있는 바와 같다.

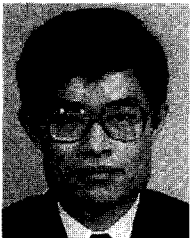
#### IV. 결론

본 논문에서는 SMD 마운터의 부품공급장치로 많이 사용되는 테이프 및 릴 피더의 부품공급 위치정밀도 자동 측정 및 검사시스템을 개발하였다. 이 시스템은 피더 장착 기구, 검사용 컴퓨터, 프레임 그래픽, 카메라, 조명 장치 등으로 구성되어, 최대 6개의 피더를 동시에 장착하여 검사할 수 있다. 각 피더에 측정용 템플릿을 걸고, PC에서 피더에 부품공급 명령을 내려, 이동시킨 후 영상을 취득, 처리하여 부품의 공급위치를 추출한다. 이러한 방법으로 공급되는 부품의 위치 측정을 일정 횟수 자동으로 반복하고 측정 결과를 통계 처리하여 피더의 부품공급 위치정밀도를 정량적이고 통계적인

방법에 의해 산출 및 측정한다. 운용 S/W는 Windows NT상에서 Visual C++로 개발하여, 사용이 용이한 GUI를 갖게 하였다. 이 장비에 의해 SMD 마운터 생산공정중의 모든 피더의 상태를 자동 측정/검사하여, 통계적인 측정결과를 이용함으로써, 피더의 동작상태를 판정할 수 있을 뿐만 아니라, 조립공정 개선에 의한 생산성 향상을 통하여 제품경쟁력을 크게 높일 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] <http://www.smtman.com/process/feeder.htm>
- [2] E.R. Davies, *Machine Vision*, Academic Press, 2nd ed., 1997.
- [3] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, vol. 1 & 2, Addison-Wesley, 1993.
- [4] J.C. Russ, *The Image Processing Handbook*, 3rd Ed., CRC Press, 1998.
- [5] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison-Wesley, 1992.
- [6] W. K. Pratt, *Digital image processing*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 1991.
- [7] D. I. Barnea and H. F. Silverman, "A class of algorithms for fast digital registration," *IEEE Trans. Comput. C-21*, pp.179-186, 1972.



#### 조 태 훈

1958년 8월4일생. 1981년 서울대학교 전자공학과 학사. 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1991년 Virginia Polytechnic Institute & State University 박사. 1992년~1998년 LG산전 연구소 책임/수석 연구원. 1998년~현재 한국기술교육대학교

정보기술공학부 조교수/부교수. 연구분야 : 컴퓨터비전, 영상처리 및 해석, 패턴인식, 신경망.



#### 이 성 준

1962년 11월 2일생. 1985년 서울대학교 전자공학과 학사. 1987년 서울대학교 전자공학과 석사. 1994년 서울대학교 공학박사(자동제어). 1993년~1995년 (주)조인시스템 기술연구소장. 1995년~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수/부

교수. 관심분야: 제어응용, 비선형 제어이론