

■ 연구논문

전자부품의 품질향상을 위한 인라인 자동검사시스템

정 원

대구대학교 산업공학과

정연구

KIST 시스템공학연구소

In-Line Automated Inspection System for Quality Improvement of Electronic Parts

Won Jung

Dept. of Industrial Engineering, Taegu University

Yun Koo Chung

Systems Engineering Research Institute, KIST

Abstract

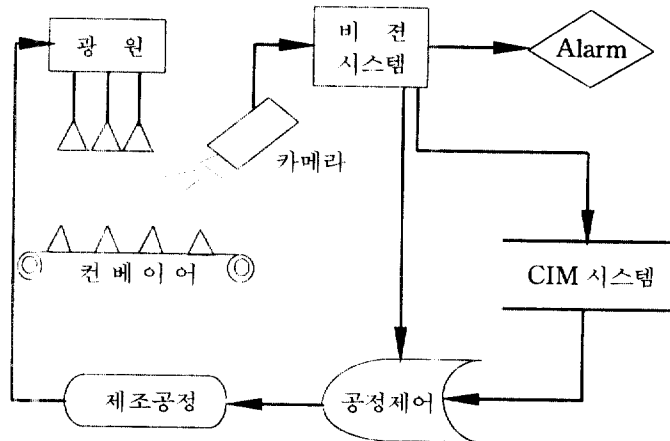
This paper presents an automated visual inspection system for the electronic parts manufacturing process. In this system, a statistical process control (SPC) method is integrated into the automated inspection method on a real time base. It shows how the collected data can be analyzed with the SPC to provide process information. Also presented are studies of subpixel image processing technology to improve the accuracy of parts measurements, and the cumulative-sum (CUSUM) control chart for fraction defectives. An application of the developed system to connector manufacturing process as a part of computer integrated manufacturing (CIM) is presented.

1. 서론

생산라인의 계측, 검사의 자동화는 공작물의 고정밀도화와 다양화가 요구되고 있는 가운데 그 공정의 자동화 뿐 아니라 데이터나 판정결과 등의 정보를 직접 가공기에 피드백하거나 라인관리용의 호스트 컴퓨터에 전송하는 기능이 필요하다. 모든 업체의 생산관리

부문이 관심을 가지고 있는 공장자동화의 목표는 컴퓨터 통합생산시스템 (CIM)으로서 이를 구축하기 위해서는 기업내의 전부문이 유기적이고 또한 일원적으로 결합한 정보의 집중관리가 이루어져야한다. 생산자동화 중 가공조립기술은 현재 선진국의 발전추세에서 보듯이 국내에서도 상당한 투자와 개발에 박차를 가하고 있고, 실제로 많은 발전을 가져왔다고 보아야 할 것이다. 그러나 생산자동화는 가공조립기술과 검사조정기술, 그리고 Networking 기술의 결합이기 때문에 상대적으로 낙후된 검사 조정기술의 중요성이 더욱 인식되고 있다. 이러한 검사조정기술은 생산자동화의 인라인화의 큰 장애요인이었으며 이분야의 발전이 생산자동화의 중요한 결정요소라고 해도 과언이 아닐 것이다.

본 연구의 목적은 머신비전을 이용하여 전자부품 제조공정에 통합적인 자동 검사시스템을 개발하는데 있다. 통합적인 시스템이라함은 공정검사의 기능 뿐 아니라 검사데이터를 실시간으로 제어, 해석할 수있는 통계처리 기능을 갖춘 공정정보시스템을 포함하고 있다. 작업현장에서 자동검사 시스템의 설치에 있어 가장 큰 문제점은 측정의 정밀도를 높이는 문제와 검사대상 물체의 위치오차나 진동, 먼지등에 의한 검사상의 잡음 (Noise)을 극복하는 일이다. 본 연구에서 검사는 자동라인에서 실시간 (Real Time)으로 행하였으며 측정정밀도를 마이크로단위 까지 높일수 있도록 서브픽셀 (Subpixel)에 의한 영상처리 기법을 사용하였다. 잡음 극복에 관한 문제는 공정현장의 환경을 고려하여 일어날수 있는 가능한 경우를 시스템에 반영하여 소프트웨어적으로 처리하였다. 예를 들면 정밀측정에서는 측정 포인트에서의 작은 먼지하나가 시스템의 허용오차를 초과하는 경우도 있지만 이를 처리하기 위한 프로그래밍 기술에 관한 부분은 이 논문에서 제외하기로 한다. 서브픽셀과 잡음처리 방법을 통하여 머신비전에 의해 판독된 데이터는 통계적공정관리시스템에 의해 시시각각으로 변화하는 데이터를 정확히 포착하여 계측, 해석, 평가를 실시간으로 행할수 있도록 시스템화 하였다. 이때 검사대상물체의 공정 사이클에 따라 CUSUM 관리도나 Schewhart 관리도를 사용할 수 있다. <그림 1>은 제조단위에서 머신비전 시스템의 역할을 보여주고 있다.



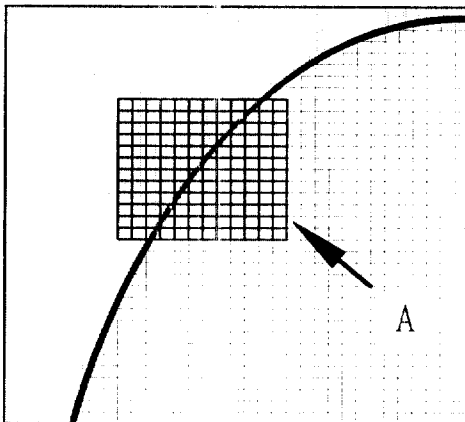
(그림 1) Manufacturing Cell에서의 머신비전 시스템

2. 머신비전에 의한 자동시각검사

머신비전기술은 CCD카메라를 이용하여 물체의 형상을 화상 데이터화 하고 2차원 상태 하에서 길이나 면적상의 결함을 발견하며 하나의 화상에서 여러개의 검사항목을 검사할 수가 있다. 측정방법으로는 1차원 데이터에 대한 분석만으로 대상물체를 측정하는 방법과 경우에 따라서는 2차원 형상데이터를 분석하는 기술을 복합적으로 사용함으로써 더욱 정밀도가 높은 검사를 할 수가 있다. 머신비전을 이용한 측정을 위해서는 물체와 배경과의 경계선인 에지(Edge)의 위치를 찾아야 한다. 물체와 배경의 경계가 되는 양 끝의 정계 위치를 구한 다음에 그 차이를 통하여 길이가 측정된다. 그러나 관찰된 데이터로 부터 경계선을 찾는 일은 잡음과 경계가 선명하지 않은 모호한 상태이기 때문에 마이크론 단위의 정밀도로 측정하는 것은 쉽지 않다. 일반적으로는 화상에서의 1 픽셀이 차지하는 실제 물체에 대한 길이는 15-30 마이크론의 정밀도까지 측정이 가능하다. 그러나, 제조환경에서 부품에 요구되는 사양의 허용오차는 10 마이크론 이하가 되는 예가 많이 있다. 이를 위해서는 서브픽셀 단위의 정밀 측정 기법이 요구된다.

2.1 일반적인 에지 (Edge) 추출 방법

생산라인에서 측정하여야 할 부품들은 사람이 보기에는 배경과 물체가 선명하게 구별되어 에지가 뚜렷하지만 부품을 정밀 측정하기 위하여 CCD 카메라로 화상을 만들면 경계선 부분이 이상적인 계단형 에지로 나타나지 않는다. <그림 2>는 원형의 구멍이 있는 물체의 컴퓨터 형상이다. 경계 부분 A의 화상농도는 <표 1>에 나타나 있다. 표에서 보는 바와 같이 화상농도는 경계선에서 분명한 선의 형태로 나타나지 않고 띠의 형태를 구성하고 있다. 즉, 각 픽셀의 화상농도가 경계선에서 서서히 변화하는 사다리형 에지로 나타나기 때문에 측정을 위하여는 <그림 3>과 같이 사다리형을 계단형으로 바꾸어야 한다. 에지 찾기를 위해서는 Roberts Operator, Sobel Operator와 같이 gradient를 이용하는 방법, 2차 미분을 이용하는 Laplacian Operator등 몇가지 기법들이 사용되고 있다[1, 2, 3, 4, 6]. 그러나 이들 방법의 약점은 잡음에 취약하기 때문에 정확한 에지위치를 발견하기에는 부적당하다.

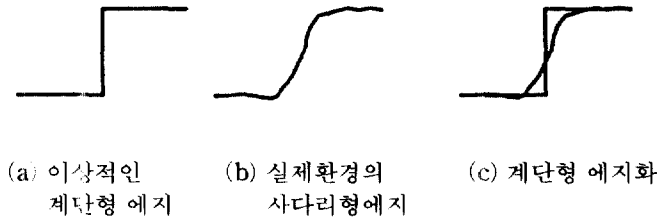


(그림 2) Background 광원에 따른 원형구멍 물체의 이미지

< 표 1 > 경계부분 A의 각 픽셀의 화상농도

31	32	33	35	38	43	68	128	181	201	208	212
31	32	32	35	37	44	74	135	186	202	208	212
32	34	35	38	42	54	101	164	200	209	212	214
32	33	35	39	44	66	125	182	205	212	215	215
32	33	36	39	46	76	140	194	211	215	216	214
33	34	38	41	53	97	164	201	211	215	215	208
33	35	39	43	58	108	173	202	212	216	215	206
32	35	39	45	71	133	189	211	214	214	216	215
34	37	39	52	97	163	200	211	212	215	214	215
35	37	41	55	101	163	198	209	213	216	217	217
36	40	44	69	131	196	208	212	212	215	216	217
35	39	44	72	138	189	208	212	212	215	214	217

본 연구에서는 Tabatabai(1984)의 기법을 기초로 하여 정밀측정값을 구하는 방법을 실용화 하였다. 이는 화상농도에 관한 입력데이터의 모멘트에 의한 측정방법으로 잡음에 강한 것이 특징이다. 다음의 2.2는 그 방법을 설명한다.



〈 그림 3 〉 측정을 위한 에지의 계단형화

2.2 서브픽셀에 의한 정밀측정

Tabatabai의 기법을 실용화 하기 위해 우선 1 픽셀 길이를 소프트웨어적으로 20 등분을 하였다. 이에 의하여 측정 정밀도를 10 미크론 단위까지 높일 수가 있었는데 그 과정은 〈그림 3〉과 같이 실제 환경에서 나타나는 사다리형의 에지를 근사적인 계단 에지화를 시켜서 경계가 되는 위치를 1/20 픽셀까지 나타내는 것이다. 만약 경계선 부근의 n 개의 픽셀의 밝기값들을 $f_i, i=1, 2, \dots, n$ 이라고 할때 3개의 샘플에 대한 입력 데이터의 모멘트 M_i 는

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n M_j^i, \quad i=1, 2, 3 \tag{1}$$

로 나타난다. 경계지역의 어느한쪽의 이상적인 밝기값을 v_1 , 다른쪽 밝기값을 v_2 , 이상적인 에지의 값들을 가진 픽셀의 수를 k 라고 할때 q_1, v_1, v_2 는 다음의 3식을 동시에 만족하는 값을 구하면 된다.

$$\sum_{j=1}^2 q_j v_j^i = M_i, \quad i=1, 2, 3 \tag{2}$$

여기서 $q_i = \frac{k}{n}, q_1 + q_2 = 1$ 이다.

이 식을 풀면

$$v_1 = M_1 - \sigma \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} \tag{3}$$

$$v_2 = M_1 - \sigma \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} \tag{4}$$

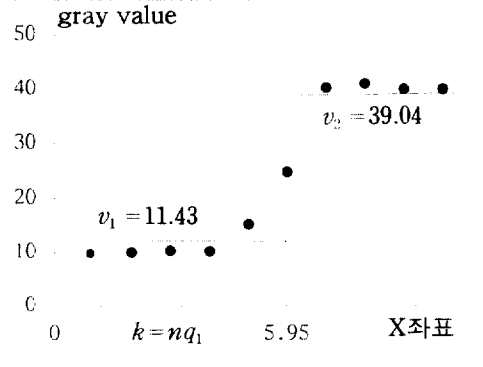
$$q_1 = \frac{1 + s \sqrt{\frac{1}{4 + s^2}}}{2} \tag{5}$$

로 나타낼수 있으며 여기서 $s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - M_1)^3}{\sigma^3}$, $\sigma^2 = M_2 - M_1^2$ 이다.

식 (2)의 결과와 식 (5)로부터 에지의 위치 좌표점 $k = nq_1$ 을 구할 수가 있다. <그림 4>의 10개의 점들은 <표 2>의 데이터를 플롯하여 v_1, v_2, q_1 값을 구하고 그로부터 에지값 k 를 구한 예이다. 이 때 에지값은 1/20 픽셀 단위의 정밀도를 나타낸다.

< 표 2 > 화상 데이터와 에지의 좌표

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Edge
10	11	10	10	15	25	40	41	40	40	5.95
10	10	10	12	15	25	40	41	40	40	5.95
10	10	10	10	15	25	40	41	40	40	5.95
10	10	11	12	16	25	40	41	40	40	6.00
10	10	10	11	15	25	40	41	40	40	5.95
10	10	11	11	15	25	40	41	40	40	5.95



< 그림 4 > 에지의 정밀위치

3. 자동검사와 통계적 공정관리

통합적인 자동검사 시스템을 구성하기 위해서는 머신비전에 의한 검사를 행하고 검사 결과를 실시간 (real time)으로 해석할 수 있는 공정분석 시스템이 필요하다. 비전시스템에서 보내오는 데이터로부터 공정의 변화를 분석하는데 직접 적용할 수 있는 분야가 통계적 공정관리이다. 통계적 공정관리의 주된 목표는 이상원인이나 공정의 변화가 있을 때 이를 빨리 발견하여 많은 불합격품이 만들어지기 전에 공정을 조사하고 수정할 수 있는 조치를 취하는 일이다. 이러한 목적을 위하여 널리 쓰이는 인라인 공정관리 기술이 관리도이다. 자동검사시스템에 직접 이용될 수 있는 관리도의 형태는 계수치 및 계량치 데이

타 어느쪽도 가능하다. 본 연구 논문에서는 연구대상 부품에 대한 품질 특성상 불량률 관리도에 관한 이론적 배경을 설명하려고한다. 불량률 관리도는 측정된 출력값이 통계적 관리하에 있지 않을 때 이탈의 원인을 조사하기 위해 샘플의 크기에 따라서 Shewhart의 p 관리도와 CUSUM 관리도를 사용 할 수 있다.

3.1 생산단위별 관리도

통계적 공정관리에서 일반적으로 쓰이는 관리도는 Walt A. Shewhart에 의해 개발된 관리도의 원리에 근거하고 있다. 그러나 Shewhart 관리도의 주된 약점은 관리도 상에서 가장 최근에 플롯된 점에 관련된 공정정보만 사용하고 전체 점들에 주어진 정보는 무시하고 있다는 것이다. 이러한 특징이 Shewhart 관리도를 공정에 있어서 1.5σ 나 그 이하의 작은 변화(shift)에 비교적 무감각하게 만든다. 물론 어느 구간에 대한 검사방법이나 경계 한계를 사용한 다른 기준을 Shewhart 관리도에 적용하여 의사 결정과정에 전체 점들로 부터의 정보를 포함하는 조치를 취할 수도 있다. 그러나 변화에 민감하게 하기 위해 추가되는 분석방법으로 인하여 관리도 해석에 복잡성을 더하게 된다. 이러한 측면에서 아주 작은 변화가 중요할 때 사용할 수 있는 효과적인 대안이 CUSUM 관리도이다. CUSUM 관리도는 샘플의 크기가 1일때 특히 효과적이다. 이러한 점이 머신비전과 컴퓨터를 사용하여 각 부품에 대한 품질 데이터가 자동으로 입력되어 온라인 관리가 되는 날개의 부품 제조 공정에 사용하기에 적합하다.

CUSUM 관리도는 주로 계량치 데이터에 사용되었으나 [9] 본 논문에서는 불량률에 따른 공정의 관리를 위해 Johnson and Leone(1962)의 기법을 기초로 이산형 변수에 대한 분석을 행하였다.

만약 $x_j (j=1, 2, \dots)$ 가 다음과 같은 분포를 따르는 독립변수라고 하자.

$$Pr(x_j) = \begin{cases} p & x_j = 1, j = 1, \dots, n \\ (1-p) = q & x_j = 0, j = 1, \dots, n \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

그러면, 두 개의 가설 $H_0: p = p_0$ 와 $H_1: p = p_1 (> p_0)$ 에 대한 검정을 위한 연속 확률테스트는 다음과 같은 계속검사영역(Continuation Region)을 가진다.

$$\frac{\beta}{1-\alpha} < \prod_{j=1}^k \left(\frac{p_1^{x_j} (1-p_1)^{1-x_j}}{p_0^{x_j} (1-p_0)^{1-x_j}} \right) < \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (8)$$

즉,

$$\ln \frac{\beta}{1-\alpha} < k \ln \frac{1-p_1}{1-p_0} + \sum_{j=1}^k x_j \ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)} < \ln \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (9)$$

그러므로, 계속검사영역 사이의 가장자리 선을 긋기 위해 $X_k = \sum_{j=1}^k x_j$ 가 되는 (k, X_k) 점을 플롯하면 H_1 의 선택 영역은 다음식을 갖는다.

$$X_k = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha} - k \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}{\ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}} \tag{10}$$

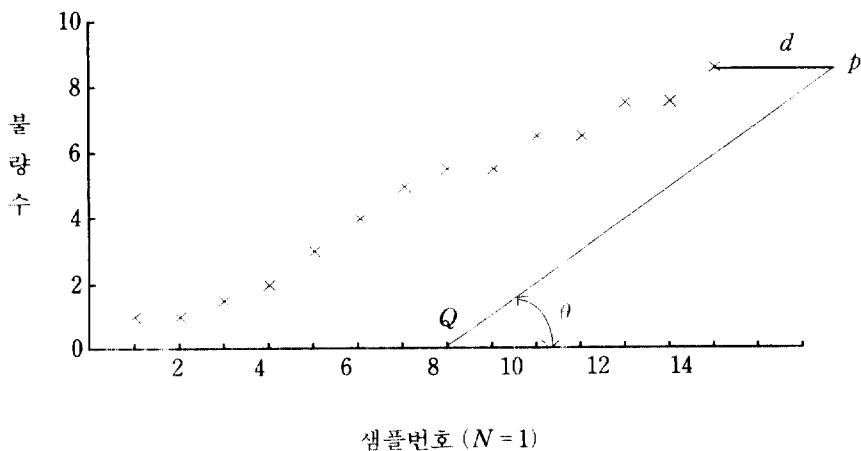
PQ 선을 그리기 위한 각도 θ 는 샘플번호축에 대하여

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}} \right] \tag{11}$$

이고, P 는 마지막 플롯된 점으로 부터 오른쪽으로

$$d = \frac{-\ln \alpha}{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}} \tag{12}$$

만큼 위치하게 된다. <그림 5>는 샘플크기 $N=1$ 일때 CUSUM 관리도의 예이다.



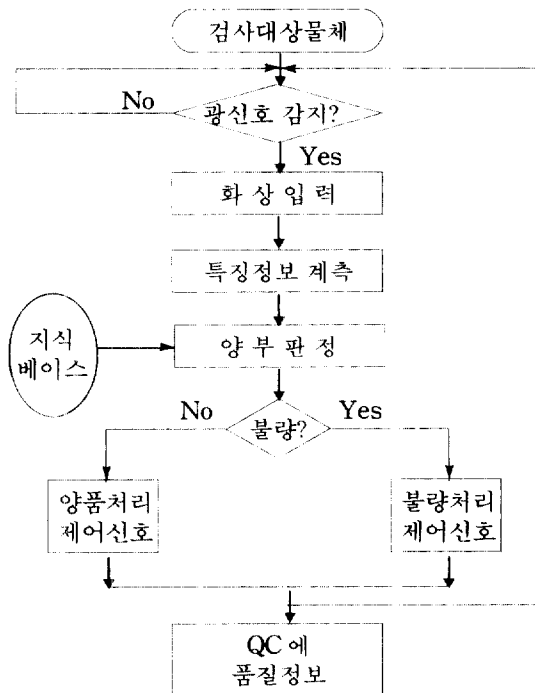
< 그림 5 > CUSUM 관리도

3.2 Shewhart 관리도

불량률 관리도의 통계적 원리는 이항분포에 기초를 두고있다. 만약 생산공정이 안정상태에서 작동하고 있고, 또 생산공정의 한단위가 사양에 따르지 않을 확률이 p 이고 연속적으로 생산되는 단위가 서로 독립이라고 가정하자. 그러면 생산되는 각단위는 모변수 t 의 베르누이 랜덤변수를 따른다. 만약 n 개의 생산품을 랜덤으로 선택하고 또한 D 가 불량품의 개수를 나타낸다고 했을때 D 는 n 과 p 의 모변수를 가지는 이항분포이다. 즉, $P\{D=x\} = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$, $x=0, 1, \dots, n$. 이 때 샘플의 불량률은 $\hat{p} = \frac{D}{n}$ 로 나타내며 \hat{p} 의 평균은 $\mu = p$ 이고 분산은 $\sigma_{\hat{p}}^2 = \frac{p(1-p)}{n}$ 이다. 일반적인 Shewhart 관리도의 관리한계는 $UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$, $CL = p$, $LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$ 으로 표시된다.

4. 사례연구

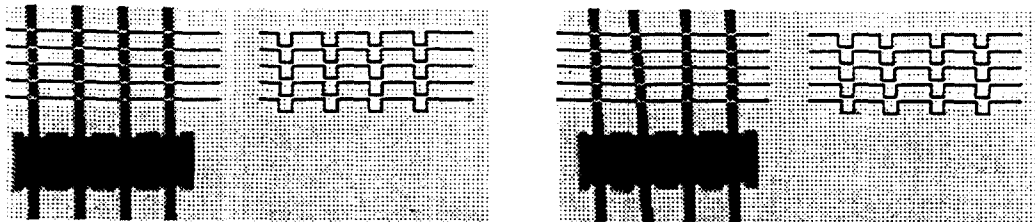
서브픽셀을 이용한 정밀측정 방법을 응용하여 콘넥터의 불량품을 검사하는데 사용하였다. <그림 6>은 부품의 자동시각검사를 위한 흐름도를 나타낸다. 이 흐름도에서 검사대상



< 그림 6 > 생산부품의 자동시각검사 흐름도

물체는 콘베어벨트상으로 연속적으로 들어오는 부품을 이용하였다. 특징정보는 잡음제거 또는 이치화(Binary Threshold Operator)[3] 등의 전처리 과정이 없이 화상농도로부터 직접 서브픽셀의 위치를 계산하여 실시간으로 정밀계측을 하였으며, 양품제어 신호는 부품을 라인상에서 리젝터를 사용하여 제거한다. 양품과 불량품에 대한 정보는 품질관리 모듈로 보내어져서 공정정보에 대한 품질분석을 한다. 이 시스템에서 양부판정을 위한 지식베이스는 신제품의 개발이나 품질의 특성에 변화가 있을 경우 manual로 update되며 스스로의 학습과정은 없다.

〈그림 7〉은 자동검사시스템에 의하여 콘넥터를 검사한 결과이다. 왼쪽은 합격품을 나타내고, 오른쪽은 간격이 고르지 않은 불량품을 나타낸다. 〈표 3〉은 콘넥터 핀의 두께와 간격에 관한 데이터이다. 잡음이 적은 실험실 환경에서는 1/20 픽셀 단위의 정확도가 보장되었지만 이 실험에서는 생산현장에서의 조명과 진동등의 잡음에 의한 Error율을 고려하여 1/10 픽셀 단위의 측정만을 행하였다.



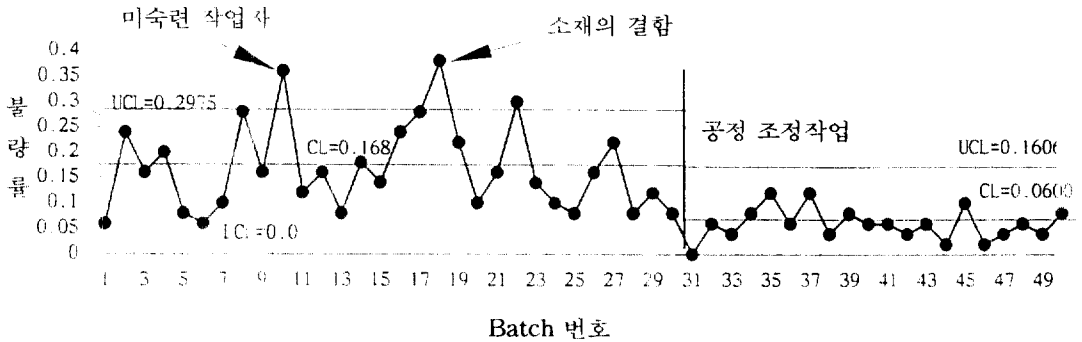
〈 그림 7 〉 콘넥터 부품의 시각검사

〈 표 3 〉 콘넥터 핀의 두께와 간격 데이터

Row	Edge location in suppixel of good connector										Row	Edge location in suppixel of good connector									
30	21.9	16.0	36.9	16.2	38.3	15.4	39.0	14.6	54.3	30	35.0	16.0	33.4	15.1	46.0	14.8	38.0	15.5	38.7		
50	23.6	14.6	38.2	14.9	37.7	16.0	38.4	15.3	53.9	50	36.4	15.1	33.3	16.5	43.9	15.3	37.5	16.1	38.4		
70	23.4	14.9	37.8	15.5	39.0	14.6	37.8	15.8	53.7	70	35.8	16.3	34.9	16.0	42.0	15.9	38.5	15.2	37.9		
90	23.2	15.4	37.2	16.1	38.4	15.2	39.2	14.5	53.3	90	37.1	15.7	36.5	15.3	42.0	14.7	37.8	16.0	37.5		
110	23.0	15.8	38.6	14.8	37.8	15.9	38.5	15.1	53.0	110	38.5	14.9	36.3	16.6	39.9	15.4	39.0	14.8	37.1		

콘넥터 불량률에 관한 관리도 작성을 위하여 온라인 데이터를 50개씩 batch로 하여 30개의 샘플을 취하였다. 품질관리를 위한 검사항목으로는 콘넥터의 품질을 결정하는 핀누락, 핀배열, 날개접합등 10가지이며 이중 어느항목이라도 이상이 있을시 불량으로 판정된다. 머신비전으로 부터 입력되는 불량 데이터로 부터 관리한계선을 계산하고 불량률을 검사한 결과 그림8에서 나타난 것처럼 10번째와 18번째, 그리고 22번째의 샘플에 대한 불량률이 관리한계 밖에 위치하였다. 그 원인을 조사한 결과 10번째의 높은 불량률은 미소

런 작업자에 의한 문제이었으며, 18번째는 소재의 결함으로 밝혀졌으나 22번째 샘플의 불량률에 대해서는 그 원인을 밝히기 어려웠다. 그러나, 불량항목별 파레토 분석의 결과 핀누락과 핀배열에 관한 문제가 전체의 40% 이상을 차지하여 핀공급기의 조정을 거친후 추가로 20개의 샘플을 취한 결과 불량률은 현저히 줄어들었다.



〈 그림 8 〉 콘넥터 불량률 관리도

5. 결론

본 연구를 통하여 머신비전의 인라인화의 장애 요인이 되고 있는 측정의 정밀도 향상과 통계적 공정관리에 의한 데이터 분석방법을 제시하였으며, 검사와 데이터 분석을 통합된 하나의 시스템으로 구축하여 CIM으로의 접근방법을 제시하였다. 측정의 정밀도 향상을 위한 서브픽셀 처리는 수리적으로 그 방법이 상당히 복잡하고 어려운 문제이지만 본 논문에서는 누구나 쉽게 이해할 수 있도록 전개하였다. 그러나, 실제 활용에 있어서는 조명이나 검사 대상물체의 설치 위치, 컨베이어 속도 등 주변환경을 동시에 고려하여야 한다. 이러한 문제들은 어떤 수리적 기법이나 프로그래밍의 논리가 존재하는 것이 아니므로 시험과 반복 (Trial and Error)에 의한 결과치를 소프트웨어적으로 반영하여야 하며 시스템화를 위해 프로그래밍 기술과 여러가지 환경에서의 개발 경험이 필요하다. 통계적 공정관리를 위한 Shewhart의 p 관리도는 품질관리를 위해 지금까지 샘플링 검사 방법에 의해 많이 활용되어 왔다. 그러나, 머신비전에 의해 자동검사가 이루어지는 시스템에서는 전수검사에 의한 100% 검사와 실시간 (Real Time) 관리가 가능하게 되었다. 한편, CUSUM 관리도는 지금까지 일부 계량치 데이터에 적용해 왔으나 검사기능상 불량률이 관리의 대상인 경우 이 논문에서 정리된 방법을 활용하는 것이 좋다.

앞으로 각 기업은 더욱 생산효율의 향상과 품질의 보증이 강요될 것을 고려한다면 생산성 향상, 품질의 향상은 피할 수 없다고 판단된다. 또한, 가공의 전공정에도 반드시 필요하게 될 CIM의 구축을 위해서도 이의 필요조건을 충족시키는 머신비전 장비의 시스템화, 인라인화가 기여하는 바가 크다고 하겠다. 이 연구의 결과를 품질보증시스템에 적용하게

되면 다음의 두가지 점에서 큰 이점이 있다. 첫째, 현장에서의 데이터 활용에서는 측정 데이터를 리얼타임에 검색할 수 있어 정확한 최신 데이터로 신속한 경향관리가 가능하다. 이에 의하여 품질의 예방관리를 실현할 수 있다. 둘째, 보존데이터의 활용에서는 컴퓨터의 데이터베이스로부터 일정기간의 측정데이터를 종합하여 히스토그램이나 관리도, 파레토도 등의 통계자료 작성이 용이하게 되며 여러가지 분석작업의 원 데이터로 사용할 수 있다.

6. 앞으로의 연구과제

머신 비전기술을 이용하는 자동검사시스템들의 개발과 공장 자동화로의 응용이 최근 수년 사이에 미국과 일본에서 활발하게 이루어지고 있다. 우리나라에서는 최근 대기업을 중심으로 자동검사시스템을 개발하고 있으나 아직은 산업체 전반적으로 보급이 활발하지 않은 실정이다. 이는 현장 엔지니어들이 자동검사시스템에 대한 인식의 부족과 머신비전의 활용에 대한 기술적인 준비가 되어 있지 않기 때문이다. 그러나 생산공정이 점차 자동화 되어가는 지금은 생산시스템 전체의 품질을 관리하기 위해 단순한 제품검사가 아닌 공정검사가 필수적이기 때문에 검사의 시스템화가 이루어져야한다. 앞으로의 연구과제도 는 작업자가 공정이나 제품의 변화가 있을 때 현장에서 짧은 시간 내에 쉽게 프로그래밍 할 수 있는 User friendly System을 개발하는 일이다. 또한 <그림 1>의 Manufacturing Cell 구성도에서도 볼 수있는 것과 같이 검사 데이터를 품질관리시스템 뿐만 아니라 CIM의 일부로서 다른 생산시스템과도 데이터를 공유할 수 있도록 시스템을 구성하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Ballard and Brown (1982), *Computer Vision*, Prentice-Hall.
- [2] Delp, E. J. and Mitchell, O. R. (1979), "Image Compression Using Block Truncation Coding," *IEEE Trans. on Commun.*, No. 27, pp. 1335 - 1341.
- [3] Galbiati, L. J. (1990), *Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals*, Prentice-Hall.
- [4] Gleason, S. S., Martin, A. H., Jatko, A. H. (1990), "Subpixel Measurement of Image Features Based on Paraboloid Surface Fit," *IEEE SPIE Vol. 1386 Machine Vision Systems Integration in Industry*, pp. 135 - 144.
- [5] Johnson, N. L., and Leone, F. C. (1962), "Cumulative Sum Control Charts Math. Principles Applied to Their Construction and Use," *Part III, Industrial Quality Control*, Vol. 19, No. 2, pp. 22 - 28.
- [6] Ghosal, S. and Mehrotra, R. (1993), "Orthogonal Moment Operators for Subpixel Edge Detection," *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 2, pp. 295 - 306.

- [7] Montgomery, D. C. (1991), *Statistical Quality control*, Wiley.
- [8] Tabatabai, A. J. and Mitchell, O. R. (1984), "Edge Location to Subpixel Values in Digital Imagery," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. PAMI-6, No. 2, pp. 188 - 201.