

자동생산라인에서의 통계적공정관리시스템

박정기* · 정 원**

Abstract

This paper presents a statistical process control(SPC) system in the electronic parts manufacturing process. In this system, an SPC method is integrated into the automated inspection technology 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. 서 론

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 통합생산 시스템(CIM)으로서 이를 구축하기 위해서는 기업내의 전부문이 유기적이고 또한 일원적으로 결합한 정보의 집중관리가 이루어져야한다. 공장자동화 중 가공조립기술은 현재 선진국의 발전추세에서 보듯이 국내에서도 상당한 투자와 개발에 박차를 가하고 있고, 실제로 많은 발전을 가져왔다고 보아야 할 것이다. 그러나 공장자동화는 가공조립기술과 검사조정기술, 그리고 Networking 기술의 결합이기 때문에 상대적으로 낙후된 검사조정기술의 중요성이 더욱 인식되고 있다. 이러한 검사조정기

* 한양대학교 전자공학과

** 대구대학교 산업공학과

술은 공장자동화의 인라인화의 큰 장애요인이었으며 이분야의 발전이 공장자동화의 중요한 결정요소라고 해도 과언이 아닐 것이다.

본 연구의 목적은 머신비전시스템을 이용하여 자동으로 생산되는 제품의 품질향상을 위해 다음의 두가지 사항을 개발하고 분석하는데 있다. 첫째, 자동생산라인에 흐르는 부품을 실시간(Real Time)으로 계측, 제어, 해석할 수 있는 통계적공정관리 시스템을 개발하고, 둘째, 측정대상 부품의 진동, 속도 및 조명의 잡음에 따른 측량의 정확도를 분석하는데 있다. 즉, 자동생산라인에서 검사조정작업 그 자체를 자동화 함으로서 데이터를 자동적으로 샘플링하여 리얼타임에 해석하고 경향을 판단하여 공정 및 품질관리를 행할 수 있도록 한다.

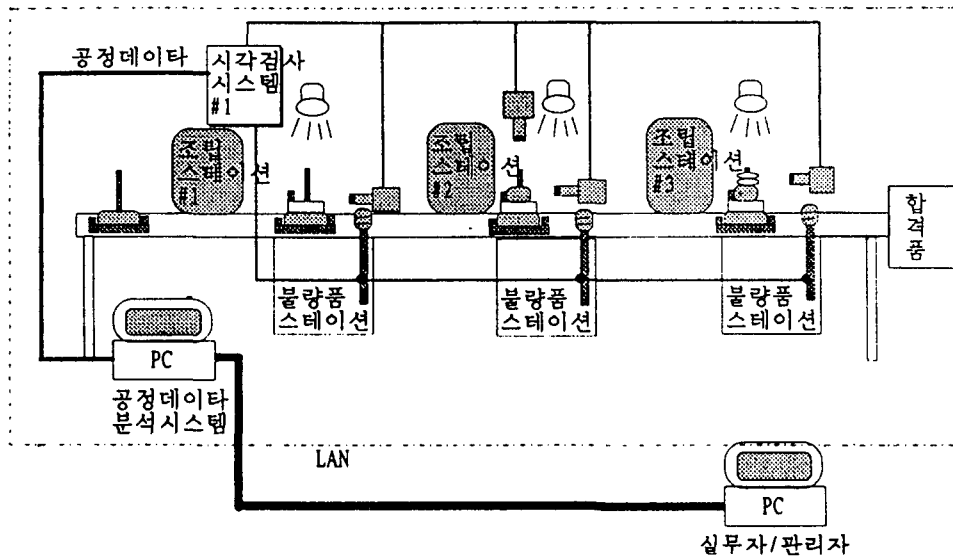
머신비전기술에 의한 자동검사는 주로 CCD카메라를 이용하여 3차원 물체를 투영하여서 얻은 2차원의 영상데이터를 분석하여 불량품의 판정을 하는 외관검사를 한다. 현재 국내의 외관검사공정은 95%이상이 사람의 눈에 의존하고 있으므로 머신비전기술의 도입을 통한 자동검사가 시급하다. 본 연구에서는 머신비전기술과 품질관리기술인 통계적공정관리를 복합적으로 사용하여 검사공정의 자동화의 기능을 극대화시키고자 한다. 따라서 머신비전의 취약점인 정밀계측도를 높이는 일과 품질관리면에서 검사데이터를 분석하여 불량원인을 조기에 제거할 수 있는 검사시스템을 개발한다. 작업현장에서 자동검사시스템의 설치에 있어 가장 극복해야 할 과제는 측정의 정밀도를 높이는 것과 검사대상 물체의 위치오차나 진동, 먼지등에 의한 검사상의 잡음(Noise)을 극복하는 일이다. 본 연구에서 검사는 자동라인에서 실시간(Real Time)으로 행하였으며 측정정밀도를 미크론단위까지 높일 수 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 기름방울이나 먼지하나가 시스템의 허용오차를 초과하는 경우가 있다. 그러나, 본 논문에서는 이를 처리하기 위한 프로그래밍 기술에 관한 부분은 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. <표 1>은 자동생산라인의 여러공정에서 머신비전이 활용될 수 있는 공정별 검사종류의 예이다.

<표 1> 머신비전에 의한 공정별 검사종류

공정종류	검사내용
수입공정	이물질 검사, 계측검사, 계수
가공공정	가공품의 치수검사, 내용물의 유무검사
조립공정	이종부품 장착, 결품, 위치편차 검출
검사공정	치수검사, 외관검사
포장공정	포장상태검사, 라벨검사
출하공정	문자인식/계수, 최종외관검사

2. 시스템의 구성

자동생산라인에서의 통계적공정관리시스템의 구성도는 <그림 1>과 같다. 부품의 조립공정의 설비장치가 스테이션별로 있고 각 스테이션은 컨베이어벨트를 사용하여 작업이 연결된다. 구성도에서와 같이 10여가지의 부품이 조립될 경우에 검사 항목들을 3-4 그룹으로 나누어 외관검사를 수행한다. 수행시 이상이 검출되면, 컨베이어벨트를 정지시키고 이상경고등에 신호를 보내어 이상부품을 자동장치나 수작업에 의해서 불량품스테이션으로 보내게 한다. 이러한 일련의 검사과정이 1-3초내에 이루어지게 한다. 중간검사공정에 설치되어 있는 CCD카메라를 통하여 조립되는 모든 생산품이 전수검사를 받게 되므로 최종 제품에 대한 불량률은 0%가 된다. 또한편으로 각 부품의 검사항목에 대하여 이상유무에 대한 공정데이터를 분석시스템의 파일에 자동으로 저장한다. 수집된 공정 데이터는 시간별 혹은 일별, 주간별, 월별로 분석을 하게 되며 정기적으로 주기별 통계적 데이터분석을 하여서 특별히 불량 원인을 발견하여 공정업무 또는 공정설비나 공구를 개선한다.



<그림 1> 자동생산라인에서의 통계적 공정관리시스템

3. 머신비전 기술에 의한 정밀측정

머신비전을 이용한 측정을 위해서는 물체와 배경과의 경계선인 에지(Edge)의 위치를 찾아야 한다. 물체와 배경의 경계가 되는 양 끝의 경계 위치를 구한 다음에 그 차이를 통하여 길이가 측정된다. 그러나 관찰된 데이터는 잡음과 경계가 선명하지 않은 모호한 상태이기 때문에 경계선을 찾는 일과 미크론 단위의 정밀도로 측정하는 일은 쉽지 않다. 일반적으로는 화상에서의 1 픽셀이 차지하는 실제 물체에 대한 길이는 15~30 미크론의 정밀도까지 측정이 가능하다. 그러나, 제조환경에서 부품에 요구되는 사양의 허용오차는 10 미크론 이하가 되는 예가 많이 있다. 이를 위해서는 서브픽셀 단위의 정밀 측정 기법이 요구된다. 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. 본 연구에서는 Tabatabai [8]의 기법을 기초로 하여 정밀측정값을 구하는 방법을 실용화 하였다. 이는 화상농도에 관한 입력데이터의 모멘트에 의한 측

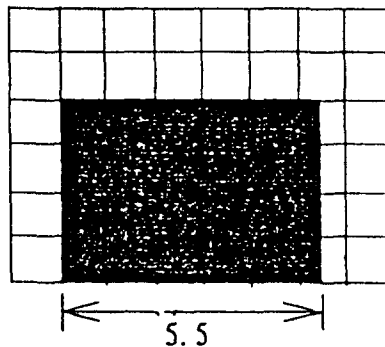
정방법으로 잡음에 강한 것이 특징이다.

생산라인에서 측정하여야 할 부품들은 사람이 보기에는 배경과 물체가 선명하게 구별되어 에지가 뚜렷하지만 부품을 정밀측정하기 위하여 CCD카메라로 화상을 만들면 경계선 부분이 이상적인 계단형(step) 에지로 나타나지를 않고, 사다리형(ramp)에지로 나타나기 때문에 측정을 위하여는 <그림 2>와 같이 사다리형을 계단형으로 바꾸어야 한다. 이를 위한 방법으로 <그림 3>과 같이 이상적인 경우에 정밀측정하는 방법이 있다. 이상적인 경우에는 물체의 표면은 100의 값으로 보고 배경은 0으로 볼 수가 있다. <그림 3>과 같이 경계에 속할 때는 선형비율을 고려하여 선형함수의 값으로 계산하여 화상농도가 50인 경우에는 물체가 1 픽셀 좌표단위의 1/2에 있다고 가정하여 길이를 측정하는 방법이 있다[3]. 일반적으로 상품화된 머신비전시스템에는 이 방법이 채택되어 사용되나 실제로 위험성이 있으므로, 조명을 적정하게 하여 사용하고 있다.



(a)이상적 계단형 에지 (b)사다리형 에지 (c)실제환경의 사다리형 에지 (d)계단형 에지화

<그림 2> 측정을 위한 에지의 계단형화



<그림 3> 이상적인 물체의 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

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

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.

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

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

이 식을 풀면

$$v_1 = M_1 - \sigma \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} \quad (3)$$

$$v_2 = M_1 + \sigma \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} \quad (4)$$

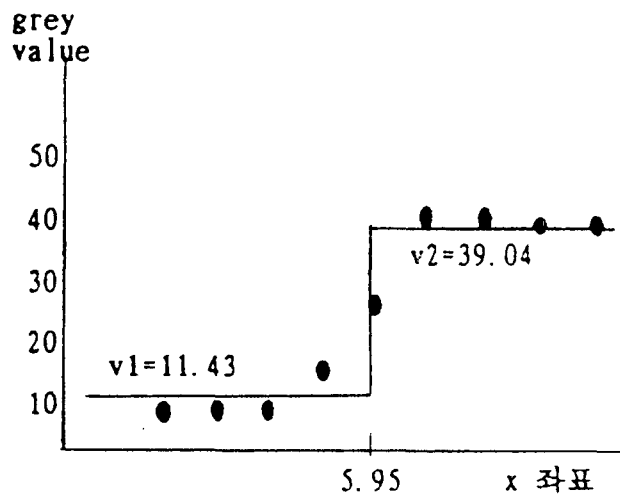
$$q_1 = \frac{1 + s \sqrt{\frac{1}{4 + s^2}}}{2} \quad (5)$$

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

식 (2)의 결과와 식 (5)로 부터 에지의 위치 좌표점 $k = nq_1$ 을 구할 수가 있다. <그림 4>의 10개의 점들은 표2의 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

4. 통계적 공정관리시스템에 의한 불량원인 발견

비전시스템에서 보내오는 데이터로 부터 공정의 변화를 분석하는데 직접 적용할 수 있는 분야가 통계적 공정관리이다. 통계적 공정관리의 주된 목표는 이상원인이거나 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 데이터 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 이 탈의 원인을 조사하기 위해 샘플의 크기에 따라서 Shewhart의 p 관리도와 CUSUM 관리도를 사용 할 수 있다.

4.1 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 1.5σ나 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 본 논문에서는 불량률에 따른 공정의 관리를 위해 Johnson and Leone [5]의 기법을 기초로 이산형 변수에

대한 분석을 행하였다.

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

$$\Pr(x_j) = \begin{cases} p & x_j = 1, j = 1, \dots, n \\ (1-p) = q & x_j = 0, j = 1, \dots, n \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

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.

$$\frac{\beta}{1-\alpha} < \prod_{j=1}^k \left(\frac{p_1^{x_j}(1-p_1)^{1-x_j}}{p_0^{x_j}(1-p_0)^{1-x_j}} \right) < \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (7)$$

즉,

$$\ln \frac{\beta}{1-\alpha} < k \ln \frac{1-p_1}{1-p_0} + \sum_{j=1}^k x_j \ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)} < \ln \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (8)$$

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.

$$X_k = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha} - k \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}{\ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}} \quad (9)$$

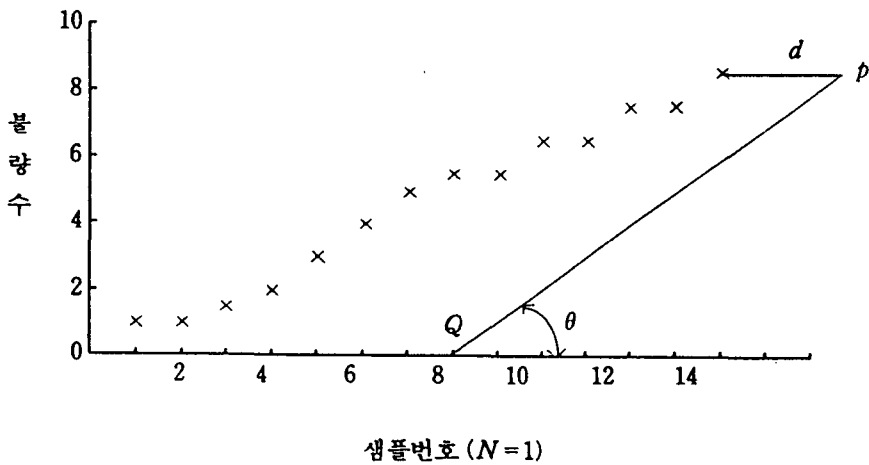
PQ 선을 그리기 위한 각도 θ 는 샘플번호축에 대하여

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}} \right] \quad (10)$$

이고, P는 마지막 플롯된 점으로 부터 오른쪽으로

$$d = \frac{-\ln \alpha}{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}} \quad (11)$$

만큼 위치하게 된다. 그림5는 샘플크기 $N=1$ 일때 CUSUM 관리도의 예이다.



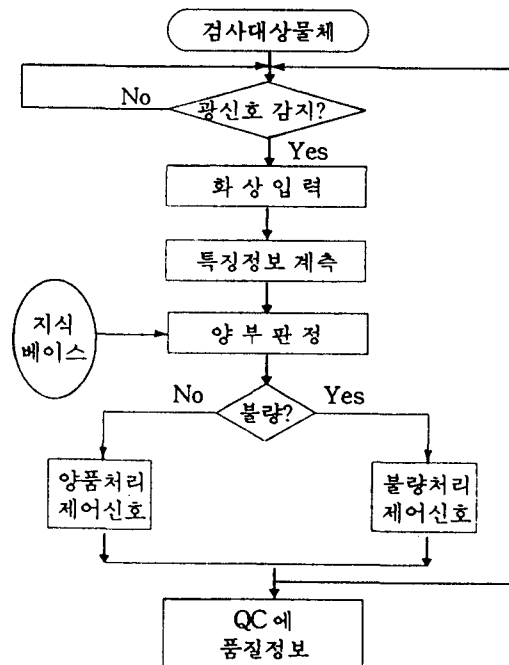
<그림 5> CUSUM 관리도

4.2 Shewhart 관리도

불량을 관리도의 통계적 원리는 이항분포에 기초를 두고있다. 만약 생산공정이 안정 상태에서 작동하고 있고, 또 생산공정의 한단위가 사양에 따르지 않을 확률이 p 이고 연속적으로 생산되는 단위가 서로 독립이라고 가정하자. 그러면 생산되는 각단위는 모변수 p 의 베르누이 랜덤변수를 따른다. 만약 n 개의 생산품을 랜덤으로 선택하고 또한 D 가 불량품의 갯수를 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.

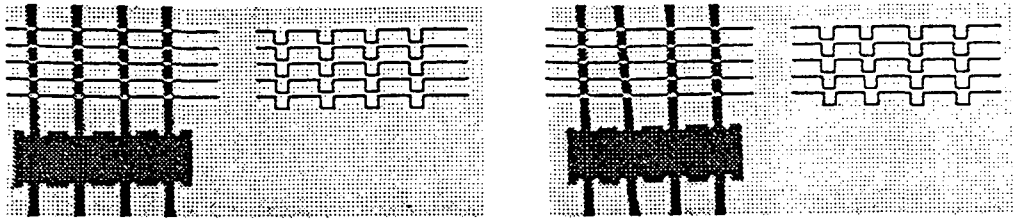
5. 사례연구

서브픽셀을 이용한 정밀측정 방법을 응용하여 자동검사시스템에서 불량품을 검사하는데에 사용하였다. <그림 6>은 부품의 자동검사를 위한 흐름도를 나타낸다. 위 시스템 흐름도에서 학습과정은 생략되었으며, 대상물체는 콘베어벨트상으로 연속적으로 들어오는 부품을 이용하였다. 특징정보는 잡음제거 또는 이치화 등의 전처리 과정이 없이 화상농도로부터 직접 서브픽셀의 위치를 계산하여 실시간으로 정밀계측을 하였으며, 양품제어신호는 부품을 다음공정으로 보내도 불량처리 신호는 부품을 라인상에서 리젝터를 사용하여 제거된다. 양품과 불량품에 대한 정보는 통계적 공정관리시스템으로 보내어져서 생산정보에 대한 품질분석을 행한다. 위 실험에서는 전자부품인 콘넥터 핀의 두께와 간격을 정밀측정하여서 기존의 픽셀 단위의 측정보다 정밀하게 측정을 하였으며, 전처리 과정의 일부과정을 생략함으로써 처리 시간을 줄일 수가 있었다.



<그림 6> 생산부품의 자동검사시스템 흐름도

<그림 7>과 <표 3>은 <그림 6>의 자동검사시스템에 의하여 전자부품인 콘넥터를 측정된 결과이다. 왼쪽은 합격품을 나타내고, 오른쪽은 간격이 고르지 않은 불량합격품을 나타낸다. 표3은 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

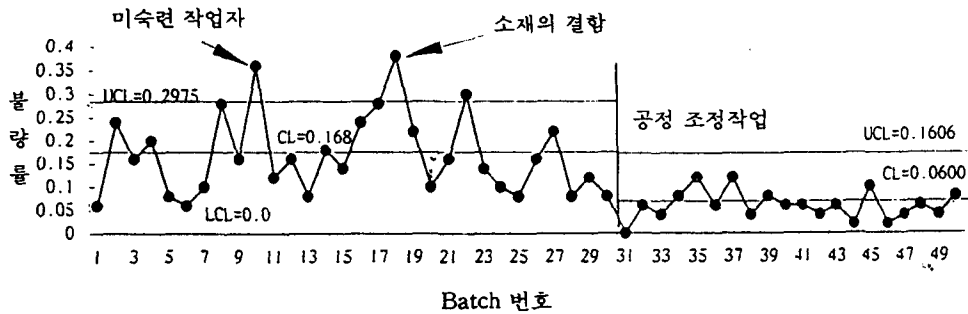
<표 3> 콘넥터 핀의 두께와 간격 데이터

Row	Edge location in suppixel of good connector									
30	21.9	16.0	36.9	16.2	38.3	15.4	39.0	14.6	54.3	
50	23.6	14.6	38.2	14.9	37.7	16.0	38.4	15.3	53.9	
70	23.4	14.9	37.8	15.5	39.0	14.6	37.8	15.8	53.7	
90	23.2	15.4	37.2	16.1	38.4	15.2	39.2	14.5	53.3	
110	23.0	15.8	38.6	14.8	37.8	15.9	38.5	15.1	53.0	

Row	Edge location in suppixel of good connector									
30	35.0	16.0	33.4	15.1	46.0	14.8	38.0	15.5	38.7	
50	36.4	15.1	33.3	16.5	43.9	15.3	37.5	16.1	38.4	
70	35.8	16.3	34.9	16.0	42.0	15.9	38.5	15.2	37.9	
90	37.1	15.7	36.5	15.3	42.0	14.7	37.8	16.0	37.5	
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, 날개접힘등 10가지이며 이중 어느항목이라도 이상이 있을시 불량으로 판정된다. 머신비전으로 부터 입력되는 불량 데이터로 부터 관리한계선을 계산하고 불량률을 검사한 결과 <그림 8>에서 나타난 것처럼 10번째와 18번째, 그리고 22번째의 샘플에 대한 불량률이 관리한계 밖에 위치하였다. 그 원인을 조사한

결과 10번째의 높은 불량률은 미숙련 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

6. 결 론

본 논문에서는 머신비전기술과 통계적 공정관리기법을 활용하여 검사공정을 자동화하고 데이터를 통계적으로 분석할 수 있는 통합적인 검사시스템을 제시하였다. 이는 지금까지의 머신비전시스템의 활용이 단순한 불량발견이나 위치보정등 시각에 의한 작업정보의 제공에 그쳤지만, 본 연구에서 개발한 통계적공정관리 시스템은 검사 데이터를 통계적으로 분석하고 이를 공정관리 및 품질관리에 활용하게 함으로써 검사공정의 인라인화, 시스템화를 이루는데 기여하였다. 특히 선진국의 생산자동화가 통합생산시스템(CIM) 체제로 발전되어가는 추세로 볼 때 상대적으로 낙후된 자동검사조정기술의 인라인화를 예시한 데 의미가 있다. 정밀측정 작업은 머신비전에 의한 활용 가운데 가장 어려운 부분이지만 본 연구를 통하여 검사 정밀도를 마이크로 단위까지 높일 수 있도록 서브픽셀에 의한 영상처리 알고리즘을 실용화 시켰다. 이

는 지금까지 발표된 복잡한 알고리즘 가운데 생산현장의 먼지, 진동등 여러가지 잡음(noise)에 강한 Tabatabai [8]의 기법을 기초로 하여 잡음을 소프트웨어적으로 처리함으로써 1/20 픽셀까지 구할 수 있는 정밀측정이 가능하였다. 본 개발시스템의 도입으로 기대되는 효과는 다음과 같다.

- * 측정 데이터를 리얼타임에서 해석하고 경향을 판단하여 시스템적으로 경보를 발함으로써 불량률의 조기 발견과 불량품을 후공정으로 보내지 않게 되어 불량발생시의 피해를 최소한으로 줄일 수 있다.
- * 작업자의 단순작업에서 발생하기 쉬운 방심, 착각, 피로 등에 의한 측정의 실수나 개인차를 없애고 검사의 정확성을 확보할 수 있으며, 검사공정의 자동화로 인한 인력 절감의 효과가 있다.
- * 월차의 제품별이나 부문별, 납입선 별의 불량 총계나 가공했을 때의 원료에 대한 제품의 비율집계, 주요 제품의 항목별의 공정 능력표 등의 작성이 가능하게 된다.

참 고 문 헌

Ballard and Brown (1982), Computer Vision, Prentice-Hall.

Delp, E. J. and Mitchell, O. R. (1979), "Image Compression Using Block Truncation Coding," IEEE Trans. on Commun., No.27, pp.1335-1341.

Galbati, L. J. (1990), Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals, Prentice-Hall.

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.

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.

Ghosal, S. and Mehrotra, R. (1993), "Orthogonal Moment Operators for Subpixel Edge Detection," *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 2, pp. 295-306.

Montgomery, D. C. (1991), *Statistical Quality control*, Wiley.

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.