

자동차 프레스공정의 자동검사/계측시스템*

정 원** · 신현명*** · 박종락**

Automated Inspection/Measuring System for Automotive Press Line*

Won-Jung** · Hyun-Myung Shin*** · Jong-Rak Park**

■ Abstract ■

This paper presents an automated visual inspection/measuring system for the door inner panel manufacturing process. The main objective of this research is to develop inspection applications with a machine vision system related to the determination or quantification of parameters such as dimension, shape, quality of surfaces, number of holes in a panel, and presence or absence of specific features. For quality measurements, we showed a subpixel image processing technology that will improve the consistency of results and level of precision. Also presented is a data analysis method to detect process shifts so that corrective action can be undertaken before more defective units are manufactured.

1. 서론

머신비전의 유용성, 중요성, 및 세계시장의 규모에 대해서는 이미 1980년에 즈음하여 부각되었으며 공장자동화에 미칠 영향에 대해서 보고가 되었다[1]. 머신비전을 이용한 자동검사는 검사비용과 검사오류를 줄이고, 인력부족에 대처하며, 검사시간을 줄이는 등의 많은 잇점으로 인하여 실용화를

위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 선진국에서의 적용 예로는 기계 분야의 계측이나 전자 시험, 비파괴 시험, 화학적인 분석, 색깔에 따른 분류 등 여러 분야에 대한 성공사례가 있다. 그러나, 머신비전을 이용한 모든 자동검사장치에 있어서 가장 중요한 기술적 요소는 측정의 정밀도와 반복성이다. 즉, 같은 부품단위에 대해 반복되는 측정의 결과치가 허용오차 범위 안에서 같은 결과를 나타내어야

* 본 연구는 대구대학교 1999년도 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

** 대구대학교 산업공학과

*** 계명대학교 기계공학과

한다. 반복에 따른 측정 결과 치의 산포(variation)는 궁극적으로 장비의 설계와 밀접한 관계가 있으며, 이는 여러 가지 기법에 의하여 어느 정도 정량적으로 나타낼 수도 있기 때문에 장비에 대한 주기적인 눈금조정(calibration)이 필수적이다. 그 외 검사시스템의 주된 문제점은 데이터의 처리에 관한 문제인데, 최근에는 검사장비에서 나오는 데이터를 중간 서류가 필요 없이 컴퓨터에 직접 들어가도록 시스템을 구성한다. 직접 입력의 장점으로는 즉석에서 데이터를 요약할 수 있고, 편리한 계산, 그리고 전 공정과의 비교 등을 가능하게 한다. 이로 인해 검사의 빈도 조정이나 검사가 끝난 부품의 이동, 그리고 불량률이 의심되는 작업결과와 관련한 경보신호 등 여러 가지 변동사항에 관련하여 공정이 취해야 할 조치에 대해 컴퓨터가 지시를 내릴 수 있도록 프로그램을 할 수 있다[2].

모든 업체의 생산관리 부문이 관심을 가지고 있는 공장자동화의 목표는 CIM으로서 이를 구축하기 위해서는 기업 내의 개발, 설계, 제조, 품질보증, 판매의 각 부문이 유기적이고 또한 일원적으로 결합한 정보의 집중관리가 이루어져야 한다. 공장 자동화 중 가공 조립 기술은 현재 선진국의 발전 추세에서 보듯이 국내에서도 상당한 투자와 개발에 박차를 가하고 있고, 실제로 많은 발전을 가져왔다고 보아야 할 것이다. 그러나 공장 자동화는 가공 조립 기술과 검사조정 기술, 그리고 넷트워킹 기술의 결합이기 때문에 상대적으로 낙후된 검사조정 기술의 중요성이 더욱 인식되고 있다. 이러한 검사 조정 기술은 생산자동화의 인-라인화의 큰 장애요인이었으며, 이 분야의 발전이 생산자동화의 중요한 결정요소인 것이다.

미국 General Motors의 Chevrolet-Pointiac-Canada Group에서는 프레스로 제조한 패널을 3차원 측정장치(CMM : Coordinate Measurement Machine)의 검사기술과 측정 데이터 이용함으로써 자동차의 부품만의 검사로도 차체 전체를 검사한 것과 같은 효과를 얻을 수 있을 것이라고 발표했다. 또한 이 기술로 다른 조립공정 분야로의 파급

효과도 클 것으로 예상했다[3]. General Motors를 비롯한 미국의 자동차회사들은 자동차부품의 품질을 유지하기 위해 수작업에 의존하던 SPC용 자료 수집방식 및 통신을 자동화시킴으로서 인력을 절감하고 더 신뢰성있는 제품에 대한 품질보증이 가능해졌다[4].

본 연구의 목적은 자동차 프레스 제품 중 도어 인너 판넬(Door Inner Panel) 생산 공정의 이상 검출과 진단을 위해 다음과 같은 시스템을 개발하는데 있다.

첫째, 도어 인너 판넬을 검사/계측 할 수 있는 자동검사시스템을 개발하고,

둘째, 검사 데이터를 제어, 해석할 수 있는 공정 분석시스템을 개발하는데 있다.

검사의 내용은 먼저 프레스공정에서 생산되는 도어 인너 판넬의 품질에 결정적인 영향을 미치는 형상검사를 행한다. 이 검사는 판넬이 설계된 형상대로 굴곡이 이루어졌는 지의 여부와 40~80개의 크고 작은 구멍의 유무 및 위치를 오프라인(Offline) 상에서 자동으로 검사하는 기능이다. 형상검사가 끝나면 판넬에 가공되어 있는 원형, 타원형, 사각형 모양의 구멍의 크기에 대한 정밀측정과 구멍간 거리측정이 자동으로 이루어진다. 그리고, 모델의 변경에 대비하여 간단한 프로그램의 변형을 통하여 모델을 추가하거나 삭제할 수 있는 시스템의 유연성이 요구된다. 종래의 검사 및 계측방식은 지그(Jig)와 계측기를 사용한 수동방식으로 모델에 따라 1개의 검사에 30분~1시간이 소요되었다. 지그에 의한 검사 방법은 각 모델 별로 굴곡과 구멍의 모양이 같은 지그를 제작하고 가공물을 그 위에 얹어 형상을 검사하는 방법이다. 따라서 샘플링의 간격이 길고 감지하지 못한 측정공구의 이상 마모나 파손 시에 대량 불량으로 이어져 생산의 차질로 어려움을 겪을 수 있다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구의 내용은 기존에 3차원측정기를 이용하

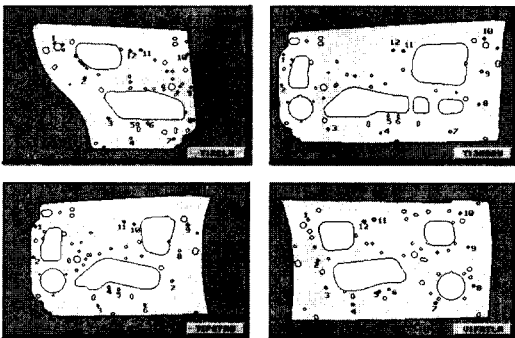
여 3~5명의 작업자가 실시하던 도어 인너 판넬에 대한 아래 4가지 외관검사 항목의 시간과 작업 인력면 그리고 정밀도에서 기존의 방식보다 더욱 개선된 비전시스템을 개발하는 것이다.

- 도어 인너 판넬 상에 있는 40~80개의 구멍에 대한 100% 검사
- 중요한 구멍의 위치 및 크기 검사(측정오차 : ± 0.02 mm 이내)
- 구멍간 거리 검사(측정오차 : ± 0.02 mm 이내)
- 플랜지(Flange) 위치 확인

검사대상의 범위는 승용차 4 도어 모델, 2 도어 모델, 해치백 모델의 좌우 10 종류의 도어 인너 판넬을 검사해야하는데 <그림 1>은 이 중 4종류를 예로 보여주고 있다. 시스템의 구성을 위한 준비작업으로 다음과 같은 하드웨어들을 설계 및 제작 설치되어야 한다.

- 검사대 설계 및 제작
- 검사 판넬 고정용 지그 설계 및 제작(각 모델 별 4개, 총40개)
- 카메라 및 검사장비를 이동할 수 있는 로봇 주문제작
- 조명장치 설계 및 제작
- 장치간 인터페이스(Interface)를 위한 I/O회로 설계

위의 작업들은 전체 시스템을 구성하는데 있어서 수많은 요소기술 들을 필요로 하는 중요한 부분이다.



<그림 1> 도어 인너 판넬

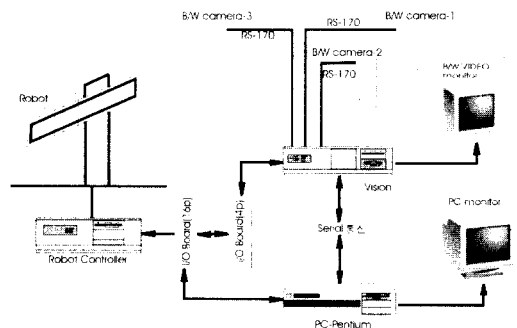
또한 연구하고 개발되어야 할 소프트웨어 알고리즘은 다음과 같다.

- 10종류의 모델별 형상확인 검사 방식
- 구멍의 유무검사(원, 타원, 사각형) 방식
- 정밀 위치/크기 측정 알고리즘
- 대량의 검사 항목을 취급하기 위한 비전시스템 변경 및 프로그램 개발
- 공정분석, 데이터베이스 구축 및 검색 알고리즘
- 머신비전(Machintosh), 로봇, PC(IBM), PLC의 인터페이스
- 검사속도 단축방안

3. 검사시스템 구성

3.1 하드웨어 구성

<그림 2>에 나타난 것은 검사시스템의 하드웨어에 대한 블록 다이어그램이다. 본 검사 시스템의 구조를 보면 하나의 산업용 컴퓨터를 중심으로 머신비전과 로봇 그리고, 10개의 모델을 검사하기 위한 지그를 설치할 수 있는 검사대가 있고 그 하단에 후 조명 장치가 설치되어 있다. 각각의 시스템은 PC의 시리얼 통신케이블과 I/O 보드, 그리고 비전시스템 I/O에 의해 데이터를 인터페이스 한다. 카메라는 비전시스템에 4개까지 연결이 가능하지만 본 시스템에서는 로봇의 Y축에 형상검사용 2대, Z축에 정밀측정용 1대가 설치되어 있다. 비전 모니터는 카메라에 입력되는 현재의 화면을 보여



<그림 2> 검사시스템 하드웨어 블록 다이어그램

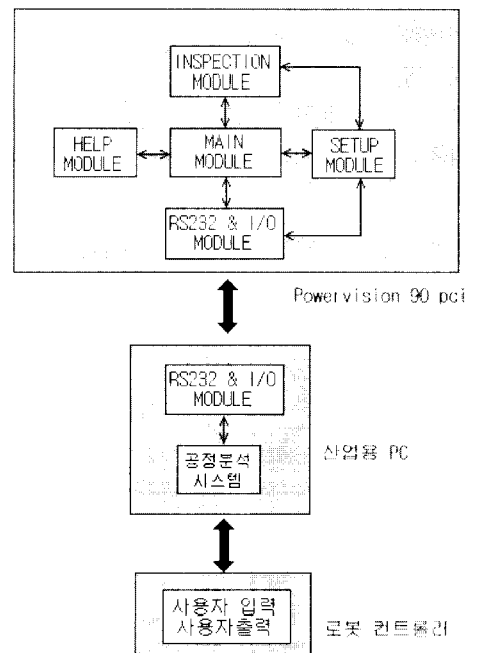
주며, PC 모니터는 검사진행 상황, 시스템상태 및 검사결과를 보여준다. 광원에는 8개의 고주파 형광등을 사용하고 위에는 아크릴로 덮어 진구를 보호하였다. 시스템에 안정적인 전압 공급을 위해 UPS를 사용하였다. 본 검사 시스템 구성요소들의 제원은 다음과 같다.

- 비전 컨트롤러 : 미국 Acuity사의 Powervision 90 pci 모델을 사용했으며 Power PC 640 RIS, 90 MHz 32비트 PCI bus 형태로써 500 MB 하드디스크를 내장하고, RAM은 16 MB이다. 외부와의 인터페이스를 위해 8비트 병렬 디지털 I/O 포트를 외장하고 있다. 15" 칼라 모니터를 통하여 구멍의 유무검사 결과와 정밀측정 결과를 나타내 준다.
- PC : 산업용 펜티움 133 MHz, 16 MB RAM, 1024×768 SVGA 카드, 540 MB FAST SCSI HDD, 16비트 FAST SCSI 아답타 키트로 구성되어 있다.
- 카메라 : CCD 카메라는 CS8310 모델로서 756H × 581V(38만 화소)와 수평화상도 570TV를 기본으로 실현하고 있으며, 전자식 셔터로서 움직이는 동영상을 선명하게 얻을 수 있다. 또한, AGC 회로 내장으로 입사 광량을 조절하여 최상의 화상을 얻을 수 있다. 렌즈는 형상검사용으로는 8 mm F1.3이며, 치수측정용은 16 mm F1.4에 5 mm 확장 튜브를 사용하였다.
- 로봇 : 3축용 직교좌표 로봇으로 XYZ 축의 길이는 1200 mm×800 mm×600 mm이다. LG전자에서 제작하였으며 외부 I/O는 각각 16점, 그리고 반복도(repeatibility)는 ±.03 mm이다.
- 조명장치 : 3과장 고주파 형광등 8개로 구성되어 있으며 규격은 130×95 cm이다.
- I/O 보드 및 직렬통신 케이블 : PC와 로봇 및 비전시스템과 통신할 수 있는 16점 I/O 1개와 PC와 비전 컨트롤러를 연결하는 4점 I/O 1개로 구성되어 있다. 이밖에 부속 구성 품으로는 릴레이 1개, 24V D/C용 아답타 1개가 있다. PC와 비전 시스템과의 데이터 통신은 직렬 케이블로

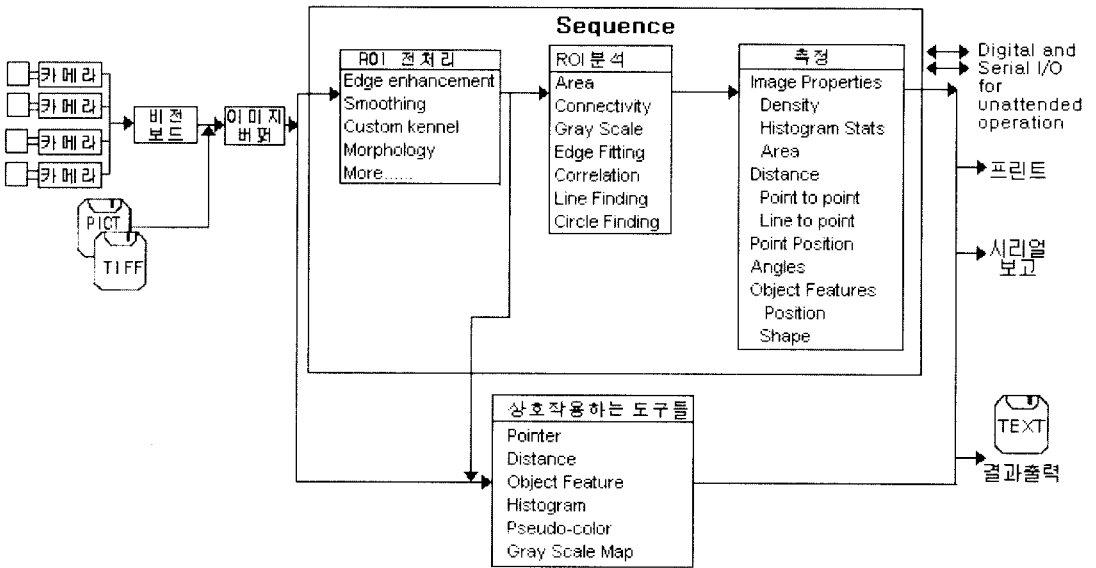
이루어진다.

3.2 소프트웨어 구성

검사시스템의 소프트웨어 블록다이어그램은 <그림 3>에 나타냈다. PC에서 검사시작 신호를 보내면 로봇이 카메라를 정 위치하고 PC에 완료신호를 보내면 PC는 Powervision 90 pci에 검사시작 신호를 보낸다. 검사가 끝나면 검사결과를 RS232와 I/O 신호를 통해 PC에 보내면 PC는 이를 데이터 베이스에 저장하고 사용자의 요구에 따라 공정분석을 행하게 된다. 시스템에서 PC는 시스템제어와 데이터분석 기능을 담당하고, Powervision 90 pci는 검사기능을, 그리고 로봇 컨트롤러는 3개의 카메라를 원하는 위치로 이동하는 기능을 담당한다. 이 중에서 주된 부분은 Powervision 90 pci의 검사 모듈(Inspection Module)과 PC의 공정분석프로그램이며 공정분석부분은 5절에서 설명하기로 하고 검사모듈에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다.



<그림 3> 검사시스템 소프트웨어 블록다이어그램



〈그림 4〉 Powervision 90 pci 검사모듈

〈그림 4〉를 보면 각각의 카메라에 입력된 영상 데이터가 비전보드를 통해서 그림 화일 확장자인 PICT, TIFF로 이미지 버퍼에 저장되는 것을 알 수 있다. 이 각각의 이미지는 관심부위(ROI : Region of Interest)에 대한 전처리 과정을 거치게 되는데 ROI의 선정 시 그 크기와 갯수를 적정하게 선정하여야 한다. 그 선정 기준은 부품의 정렬에 필요한 구멍이나 모서리(Edge) 등과 같이 조립 시에 필요한 형상들을 기준으로 선정하는데 그 수를 적게 할 수록 검사 속도가 빨라진다. 이 과정을 지나서 ROI의 분석단계(Area, Connectivity, Gray Scale, Edge Fitting, Correlation, Line Finding, Circle Finding)를 거쳐 검사하고자 하는 값을 디지털과 직렬 통신 그리고 프린터 또는 텍스트 파일로 결과를 출력하게 된다. ROI는 검사하고 자 하는 만큼 만들 수 있으며 같은 이미지에 여러 ROI를 겹쳐서 설정하는 것도 가능하다.

Acuity사에서 제공된 영상 분석 프로그램은 한 개의 검사대상물에 여러 개의 항목을 검사하게 되어 있어서 일반적인 응용에 적합하게 개발되어 있으나, 본 시스템은 10개의 모델에 대해 각각 40~

80개의 검사항목이 있으므로 프로그램의 수정은 불가피했다. 또한, 시스템 통합(Integration)을 위해 인터페이스가 필요하므로 파워비전의 프로그램 수정 기능을 이용하여 다수의 모델을 검사하고, 데이터를 통신할 수 있는 기능으로 수정 보완하였다. CustomMeasAutolod 폴더에는 ASAP_MATH.RAI와 기본적인 프로그램 수행 과정이 내장된 ASAP_JOB.RAI 두 프로그램이 있는데, 여기에서 ASAP_MATH.RAI 프로그램을 제외시키고 ASAP_JOB.RAI를 중심으로 프로그램을 수정하였다. 작업자가 PC에서 한 개의 스위치로 쉽게 구동시킬 수 있도록 개발하기 위해 Mac RAIL에서 자동실행부분과 자동으로 끝나는 기능을 추가하였다. 4개 I/O포트를 사용하던 프로그램을 수정하여 직렬 통신으로 기존의 I/O에서 INFILE을 통해 모델을 선택하면, 자동으로 실행할 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 이 프로그램은 컴퓨터로부터 선택된 모델을 init_pc(asap_state[3, 16], INFILE)에서 받아 실행하게 되어 있는데 이는 기존의 I/O 포트를 통해서 실행하던 방식을 머신비전의 환경에서 프린트 포트를 통한 통신환경으로 설정하고 실행하도록 작성한 것

<표 1> ASAP_RESULT[i]

Measured value	Nominal Value	Minimum Limit	Maximum Limit	Report?	Enable Testing?	Name	Status
1	2	3	4	5	6	7	8
Pass?	Measured X	Measured Y	Normal X	Normal Y	Statistics Handel	Good Count	SUM Result
9	10	11	12	13	14	15	16
SUM Result**2	Minimum Meas	Maximum Meas	Mean	Std Deviation	Output to file?		
17	18	19	20	21	22		

이다.

본 시스템의 특징중의 하나는 추후의 모델 변경에 대비하여 프로그램 수정이 가능하도록 설계하였다. 즉, 메뉴에 모델별 검사절차(SEQUENCE)를 수정 할 수 있는 기능을 추가함으로써 사용자가 여러 검사절차를 쉽게 실행 또는 중지할 수 있도록 개선하였다. 검사절차는 비전시스템에서 검사를 위해 한번에 처리할 수 있는 화면단위를 나타낸다. 검사메뉴에서 선택된 모델에 따라 자동으로 검사절차를 받아들이고 선택된 모델에 대한 검사프로그램이 이미 실행중이에 있다면 다시 검사절차를 중지시키지 않고 그대로 실행할 수 있게 함으로서 프로그램의 실행과정에서 선택적으로 실행할 수 있도록 시간을 단축하였다. 서로 다른 모델을 선택하여 기존의 검사절차를 새로 선택된 모델에 대한 검사를 실행하는데 걸리는 시간은 1분 정도가 소요된다.

<표 1>에 나타난 것은 비전시스템의 베이스에 저장되는 데이터의 주소이다. 1의 경우는 측정된 실측치 값이며, 2는 일반적으로 많이 나타나는 값을 나타내며 3과 4는 측정의 합격 불합격을 판단하는 최대, 최소치 값을 나타내며 7은 측정 함수 이름을 나타내며 8은 검사를 한 후의 합격 불합격 상태를 P/F로 나타낸다. 12, 13은 측정영역에서의 X, Y의 좌표값이 저장되어 있다. 15는 현재까지의 검사한 부품중 합격품에 대한 갯수를 나타낸다. 20은 데이터에 대한 평균값을 나타내며 21은 분산값을 그리고 22는 파일에 저장할 것인지 여부를 기록한다. 본 시스템에서 PC로 전송되는 필드는 정밀검

사일 경우는 1, 8, 10, 11이며, 형상검사는 7, 8의 두 필드만 전송된다.

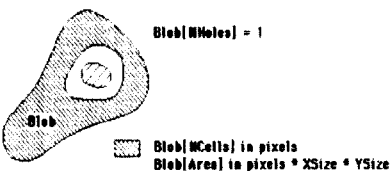
4. 검사 알고리즘

4.1 형상검사를 위한 특징 알고리즘

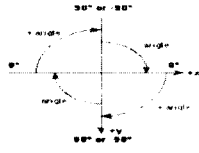
특징 알고리즘이란 판별의 전체 형상에서 구멍의 유무를 확인하거나 사각형, 타원의 면적을 구할 때, 또는 축의 기준에 대한 상대거리를 구할 때 사용하는 기능이다. 여러 구멍간 각도를 구하는 것도 하나의 측정도구가 될 수 있으며 최대각도와 최소각도를 확인할 수 있다. 또한 가로 세로로 구성되는 중심 축을 이용하여 전체 형상 속에 존재하는 타원이나 사각형의 최대길이와 최소길이를 검사하여 종류를 확인할 수 있다. 그리고 측정영역의 둘레를 구하며 면적을 픽셀단위로 나타내는 기능도 있다. <그림 5-1>~<그림 5-4>는 특징알고리즘의 여러 기능 중 몇 가지 예를 나타낸 것이다[5].

<그림 5-1>는 구멍의 갯수를 측정하는 기능이고, <그림 5-2>는 축을 중심으로 대상물의 각도를 계산하는 기능이다. <그림 5-3>은 타원의 장축길이와 단축길이를 구하는 기능으로 사용되며, <그림 5-4>는 원둘레의 경계 면에 대한 값을 계산하여 면적을 구하는 기능을 설명하고 있다.

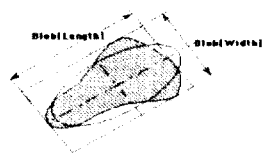
<그림 6>과 <그림 7>은 이러한 기능들을 이용하여 형상검사를 하는 예를 나타낸 그림이다. <그림 6>은 <그림 5-2>의 각도계산 기능을 이용한 형상검사이고, <그림 7>은 <그림 5-1>의 기능을

<p>#NHOLE</p>	<p>Number of holes for given blob and only one level deep.</p> 
---------------	--

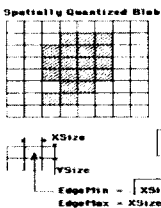
<그림 5-1> 구멍의 개수 계산

<p>#ANGLE</p>	<p>Rotation angle of the object (blob). Specifically, the angle (in radians) between the major axis of the blob and the X- axis of the original coordinate system. (Switches DO1MOM, DO2MOM must be ON.)Note that the original coordinate system is a left- handed coordinate system, and that the angle is measured in a clockwise direction.</p> 
---------------	--

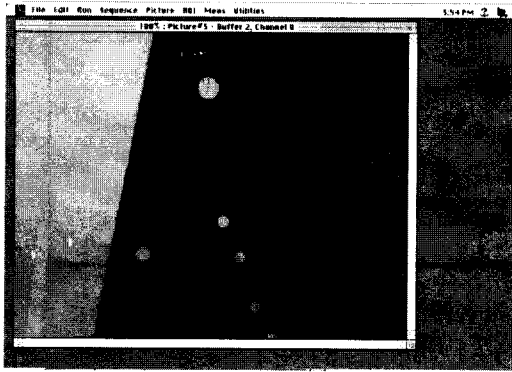
<그림 5-2> 대상물의 각도 계산

<p>#LENGTH</p>	<p>Length and width of a rectangular box circumscribing the blob, and oriented along the major and minor axes. Switches DO1MOM, DO2MOM, DOPERIM, DOLENWID must be ON.</p> 
----------------	---

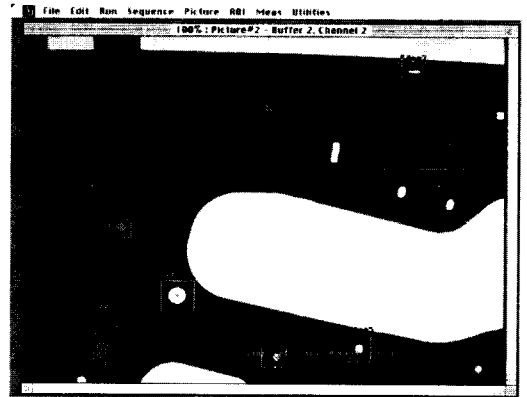
<그림 5-3> 타원의 장단축 길이 계산

<p>#PERIMETER</p>	<p>Distance around the periphery of the blob. A correction term minimizes the staircase effect due to pixel quantization. (Switch DOPERIM must be ON.)</p>  <p>Number of Boundary Segments $Blob[NBSeq] = 14$</p> <p>Number of Pixel edges along X $Blob[XPerim] = 10$</p> <p>Number of Pixel edges along Y $Blob[YPerim] = 12$</p> <p>$Blob[NBCells] = Blob[XPerim] * Blob[YPerim]$</p> <p>$Blob[Perimeter] = Blob[XPerim] * XSize + Blob[YPerim] * YSize + ErrorEst$</p> <p>$ErrorEst = Blob[NBSeq] * (EdgeFlx - EdgePtn) / 2$</p> <p>$EdgePtn = XSize^2 + YSize^2$ $EdgeFlx = XSize * YSize$</p>
-------------------	--

<그림 5-4> 면적 계산



〈그림 6〉 구멍의 위치확인에 의한 형상검사

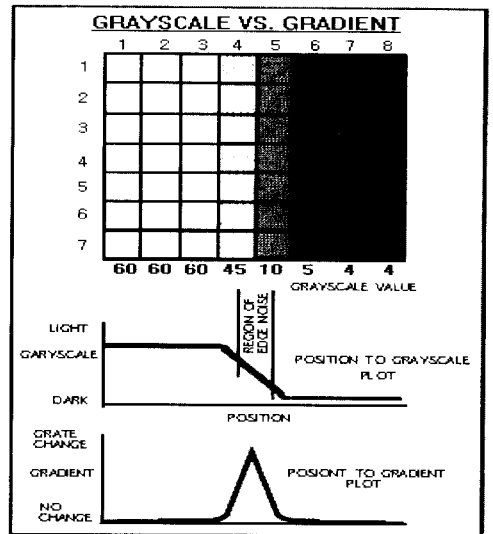


〈그림 7〉 구멍의 갯수검사

이용하여 구멍의 갯수를 검사하는 것을 보여준다.

4.2 정밀계측을 위한 모서리(Edge) 측정 알고리즘

형상검사를 위한 특징 알고리즘을 이용한 거리 및 면적 계산은 1/100 mm단위의 정밀도를 요구하는 품질 사양(Specification)을 만족하기는 어렵다. 따라서 정밀측정이 필요한 10~20개의 구멍에 대하여는 형상검사를 거친 후 정밀계측을 행하여야 한다. 그러나, 모서리(Edge)의 위치는 <그림 8>의 '모서리에서의 밝기값의 변화'에서 보는 것처럼 여러 개의 픽셀에 걸쳐 나타나므로 정확한 위치를 밝혀내기 위해서는 서브픽셀(Subpixel) 단위의 모서리를 찾아낼 수 있는 이론적인 알고리즘이 필요하다. 모서리 찾기를 위해서는 Roberts Operator, Sobel Operator와 같이 기울기를 이용하는 방법, 2차 미분을 이용하는 Laplacian Operator 등 몇 가지 기법들이 사용되고 있다[2, 6, 7, 8, 9]. 그러나, 이들 방법의 약점은 잡음에 취약하기 때문에 정확한 모서리 위치를 발견하기에는 부적당하다. 본 연구에서는 Tabatabai 기법을 기초로 한 1차원 모서리 데이터에 의한 실용화 사례[10]를 이용하고 또한, 2차원 모서리 데이터에 대한 정밀측정값 계산 방법을 실용화하였다. 이는 화상농도에 관한 입력데이터의 모멘트에 의한 측정방법을 사용함으로써 잡음에 강한 것이 특징이다.

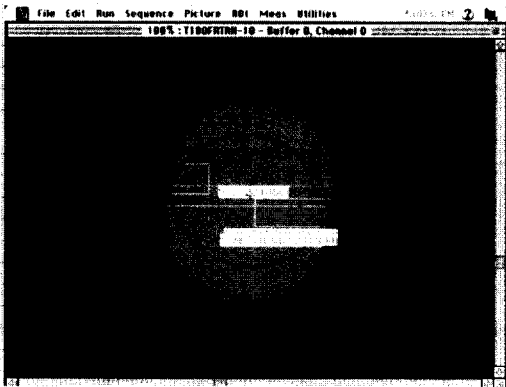


〈그림 8〉 모서리에서의 밝기값의 변화

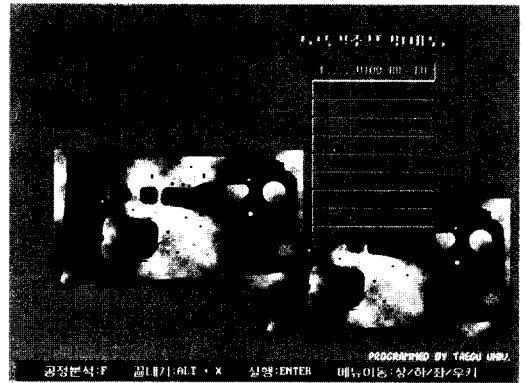
<그림9>와 <그림 10>은 정밀측정을 하는 원의 지름과 사각형의 길이를 측정하는 화면의 예이다. 정밀측정을 위한 활용에 있어서는 측정에 대한 신뢰도를 높이기 위해 하나의 검사방법만 사용하지 않고 면적, 거리 그리고 각도들을 복합적으로 이용하였다.

5. 시스템제어와 공정분석시스템

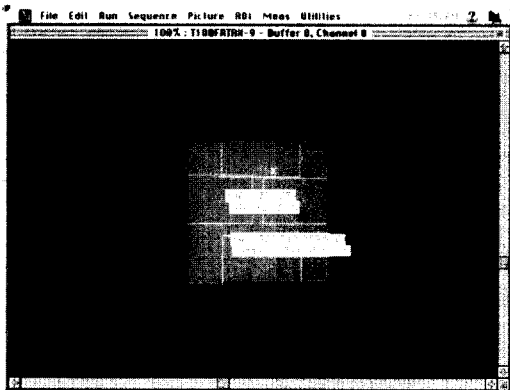
시스템제어는 사용자 편의를 위해 PC에서 검사



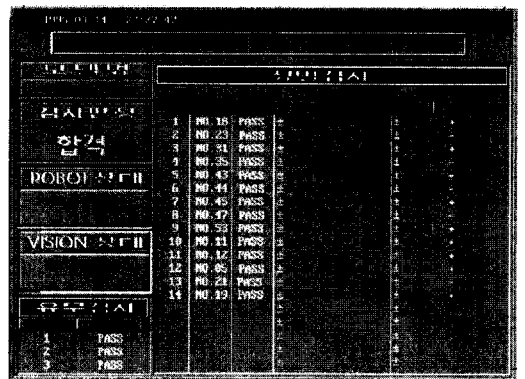
<그림 9> 타원 정밀측정 예



<그림 11> 메인화면



<그림 10> 사각형 정밀측정 예

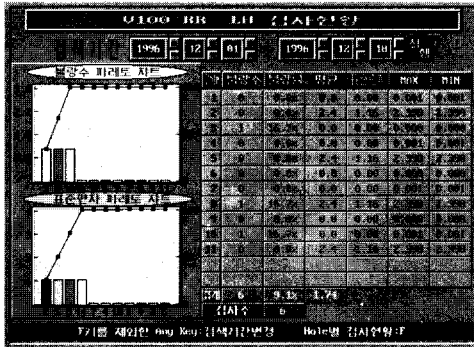


<그림 12> 실행화면

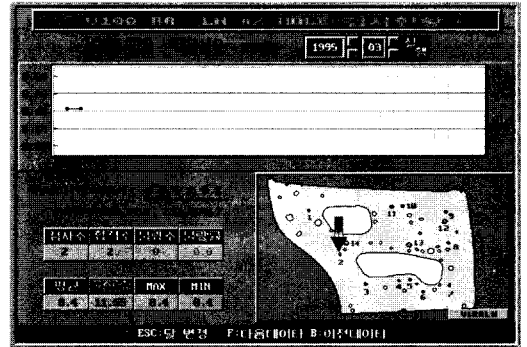
모델을 선택하는 순간부터 제어프로그램에 의해 PC, 로봇, 비전컨트롤러가 연속적으로 통신하며 자동으로 진행되도록 구성했다. 우선 <그림 11>의 모델선택메뉴에서 검사모델을 선택하면 PC는 로봇과 비전시스템에 신호를 보낸다. 비전시스템은 해당모델의 형상 및 정밀측정을 위한 기준 값들을 검사절차에 따라 준비하고, 로봇은 모델의 크기에 따라 형상검사와 정밀측정을 행할 수 있도록 지정된 위치 값이 저장된 프로그램을 준비한다. <그림 12>는 검사가 진행되는 동안의 시스템상태와 검사결과를 보여주는 화면이다. 좌측상단에 검사모델명이 표시되고 그 밑에 형상검사 및 정밀측정에 대한 판정결과가 나타난다. 로봇의 상태는 시스템시작을 알리는 'Ready Key'로 시작하여 9가지 메시지가

있다. 비전컨트롤러의 상태는 검사 수행 중을 알리는 'Open Job 수행 중' 외 8개의 메시지가 있다. 구멍의 유무검사는 모델의 크기에 따라 2면 혹은 3면으로 나누어 형상검사방법에 따라 실행하며 검사결과를 합격/불합격(Pass/Fail)으로 나타낸다. 정밀검사 부분은 시스템이 기억하고 있는 표준위치로부터의 오차를 X, Y 좌표 별로 나타내고 허용 오차의 한계를 'Spec' 란에 표시하여 준다. 유무검사 시 검사결과가 불합격일 경우 불량상태인 구멍의 위치를 알고 싶을 때에는 'PgDn'키를 치면 '유무검사결과' 화면이 나타나 위치를 그래픽으로 확인할 수 있다.

공정분석시스템은 검사결과를 데이터베이스에 저장하였다가 모델별, 기간별, 불량위치별 데이터



<그림 13> 모델별 검사현황



<그림 14> 월별 구멍별 검사현황

모델명 : V100 RR LH

순	HOLE NO.	현형	SIZE	측정치		
				A	B	C
1	7		φ 8.4±0.1	8.525	8.52	8.52
2	8		"	8.52	8.52	8.52
3	14		φ 7X7±0.1	7.13X7.14	7.13X7.16	7.10X7.18
4	52		φ 8X10±0.1	8.12X10.24	8.12X10.23	8.12X10.24
5	53		φ 7X10±0.15	7.14X10.28	7.11X10.24	7.12X10.28
6	15		φ 7X7±0.1	7.12X7.14	7.11X7.15	7.095X7.16
7	56		φ 8.4±0.1	8.51	8.48	8.49
8	61		"	8.495	8.49	8.50
9	31		"	8.505	8.49	8.495
10	36		φ 7X10±0.15	7.13X10.12	7.10X10.14	7.06X10.11
11	35		φ 7X10±0.15	7.13X10.11	7.13X10.13	7.12X10.11
12	55		φ 16	16.095	16.09	16.08
13	9		φ 12.095	12.095	12.095	12.095
14	13		"	12.095	12.105	12.10
15	39		φ 16	16.095	16.105	16.09
16						
17						
18						
19						
20						

<그림 15> 기존 측정 데이터 값

분석을 행할 수 있도록 되어 있다. 공정분석의 초기화면에서 모델을 선택하고 검색기간을 입력하면 선택된 모델의 데이터가 파레토 차트로 나타난다. 파레토 차트는 불량수가 많은 순으로 나타나며 불량갯수, 불량률, 평균, 표준편차 및 측정치의 최대값, 최소값이 표시된다. <그림 13>은 V100 RR LH 모델에 대한 검사현황 화면의 예이다. <그림 14>는 V100 RR LH 모델의 #2 구멍에 대한 월별 검사현황을 보여준다. 구멍의 위치와 규격, 통계치 그리고 규격의 변화가 관리도에 나타난다. 이외에도 X-좌표, Y-좌표에 대한 구멍 별 분석과 전체현황 분석 등을 행할 수 있다.

기존의 검사방법은 3차원 측정기를 이용하여 측

정한 후 <그림 15>와 같이 데이터를 손으로 직접 도표에 기입하여 관리하였으나 본 시스템에서는 3개의 텍스트파일을 생성하여 데이터를 저장하고 또한 위의 <그림 13>과 <그림 14>에서 같이 그 데이터를 관리도로 표현하도록 하였다. 각 파일들을 살펴보면 <그림 16>과 같으며 파일명은 년월을 숫자로 표현하였으며, 확장자 명을 D, X, Y로 구분하여 각 데이터의 특성인 실측거리, X축, Y축 임을 나타내었으며 또한 그 뒤에는 모델 번호를 나타내도록 하여 파일명을 통해서 데이터의 특성을 알 수 있도록 하였다. 또한 파일의 끝에 또는 시작하는 부분에 파일이 생성된 날짜, 시간, 분, 초를 기록하였다.

년도별 모델명 (예)199707_302)

21. P, aP00008, 4000, bP00008, 4177, cP00008, 4000, dP00008, 4766, eP00008, 6555, fP00007, 0959, gP00008, 4095, hP00008, 4615, iP00010, 1133, jP00008, 1550, kP00008, 1751, lP00016, 1429, mP00016, 1275, nP00016, 1522, 16h, 27h, 565

23. P, aP00008, 4093, bP00008, 4241, cP00008, 4175, dP00008, 4575, eP00008, 6650, fP00007, 1340, gP00008, 4095, hP00008, 4439, iP00010, 1263, jP00008, 1491, kP00008, 1477, lP00016, 1316, mP00016, 1227, nP00016, 1618, 15h, 25h, 095

23. P, aP00008, 4119, bP00008, 4177, cP00008, 4112, dP00008, 4739, eP00008, 6547, fP00007, 0852, gP00008, 4000, hP00008, 4298, iP00010, 1233, jP00008, 1508, kP00008, 1532, lP00016, 1108, mP00016, 1150, nP00016, 1331, 15h, 27h, 075

24. P, aP00008, 4095, bP00008, 4214, cP00008, 4000, dP00008, 4302, eP00008, 6551, fP00007, 0955, gP00008, 4000, hP00008, 4501, iP00010, 1161, jP00008, 1440, kP00008, 1447, lP00016, 1477, mP00016, 1082, nP00016, 1455, 14h, 25h, 325

25. P, aP00008, 4298, bP00008, 4341, cP00008, 4184, dP00008, 4529, eP00008, 6746, fP00007, 1225, gP00008, 4000, hP00008, 4475, iP00010, 1456, jP00008, 1474, kP00008, 1367, lP00016, 1373, mP00016, 1133, nP00016, 1857, 15h, 44h, 315

년도별 모델명 (예)199707_402)

21. 19h, 27h, 565, aP03462, 7345, bP03467, 6020, cP03460, 8076, dP03614, 3748, eP03672, 6756, fP03722, 6574, gP03678, 3813, hP03991, 4844, iP04145, 1216, jP03741, 6075, kP03690, 7339, lP03660, 1596, mP03670, 4768, nP03600, 0437

23. 15h, 25h, 095, aP03462, 8607, bP03467, 7891, cP03460, 9405, dP03614, 4890, eP03672, 5800, fP03722, 7730, gP03678, 4768, hP03991, 3083, iP04145, 1329, jP03741, 7088, kP03690, 6365, lP03660, 3229, mP03670, 6209, nP03600, 1010

23. 15h, 27h, 075, aP03462, 9067, bP03467, 8156, cP03460, 9529, dP03614, 5299, eP03672, 6018, fP03722, 7792, gP03678, 5183, hP03991, 3482, iP04145, 1672, jP03741, 7008, kP03690, 5378, lP03660, 3815, mP03670, 6760, nP03600, 2061

24. 14h, 25h, 325, aP03462, 8903, bP03467, 7444, cP03460, 8894, dP03614, 4339, eP03672, 7153, fP03722, 6855, gP03678, 4301, hP03991, 3053, iP04145, 1716, jP03741, 6857, kP03690, 5561, lP03660, 3446, mP03670, 6190, nP03600, 1261

25. 15h, 44h, 315, aP03462, 8462, bP03467, 7097, cP03460, 8709, dP03614, 4053, eP03672, 6836, fP03722, 6626, gP03678, 4093, hP03991, 2584, iP04145, 0934, jP03741, 5854, kP03690, 7170, lP03660, 2463, mP03670, 5321, nP03600, 1192

년도별 모델명 (예)199707_502)

21. 16h, 27h, 565, aP00785, 8400, bP00623, 3933, cP00401, 8548, dP00374, 9108, eP00437, 1125, fP00435, 1855, gP00425, 4146, hP00582, 8614, iP00626, 2638, jP00621, 7594, kP00625, 1561, lP00640, 3564, mP00620, 2956, nP00735, 3876

23. 15h, 25h, 095, aP00785, 8656, bP00623, 4280, cP00401, 8861, dP00374, 9703, eP00437, 1399, fP00435, 1564, gP00425, 4223, hP00682, 8706, iP00626, 2677, jP00621, 7602, kP00625, 1911, lP00640, 3978, mP00620, 2950, nP00735, 4689

23. 15h, 27h, 075, aP00785, 8783, bP00623, 4436, cP00401, 8754, dP00374, 9461, eP00437, 1603, fP00435, 2441, gP00425, 4570, hP00682, 8820, iP00626, 2560, jP00621, 7683, kP00625, 1709, lP00640, 3942, mP00620, 2926, nP00735, 4153

24. 14h, 25h, 325, aP00785, 7496, bP00623, 3157, cP00401, 8227, dP00374, 9226, eP00435, 9813, fP00435, 0346, gP00425, 3875, hP00682, 8610, iP00626, 2290, jP00621, 7747, kP00625, 1751, lP00640, 3139, mP00620, 4673, nP00735, 3063

25. 15h, 44h, 315, aP00785, 7692, bP00623, 3458, cP00401, 8410, dP00374, 9468, eP00437, 0222, fP00435, 0961, gP00425, 4138, hP00682, 8531, iP00626, 2525, jP00621, 7874, kP00625, 1890, lP00640, 3337, mP00620, 4857, nP00735, 3569

<그림 16> 시스템에서 파일화된 데이터

<표 2> 모델 2번 V100 RR 측정치 비교

검사항목 및 규격		수작업 측정		자동 검사/계측 시스템 측정					
번호	규격 (mm)	실측치	분산	21일합격	22일합격	23일합격	24일합격	25일합격	평균
1	8.4	8.40	0.00	8.40	8.41	8.41	8.41	8.43	8.41
2	8.4	8.42	0.02	8.42	8.42	8.41	8.42	8.43	8.42
3	8.4	8.41	0.01	8.40	8.42	8.41	8.40	8.42	8.41
4	8.4	8.46	0.06	8.48	8.46	8.47	8.43	8.45	8.46
5	8.5	8.66	0.16	8.66	8.67	8.66	8.67	8.68	8.66
6	7.0	7.10	0.10	7.10	7.13	7.09	7.09	7.12	7.11
7	8.4	8.42	0.02	8.41	8.41	8.40	8.40	8.40	8.40
8	8.4	8.43	0.03	8.46	8.44	8.43	8.45	8.45	8.45
9	10.0	10.11	0.11	10.11	10.12	10.12	10.12	10.15	10.12
10	8.0	8.21	0.21	8.16	8.15	8.15	8.14	8.15	8.15
11	8.0	8.17	0.17	8.18	8.15	8.15	8.15	8.14	8.15
12	16.0	16.14	0.14	16.14	16.13	16.11	16.15	16.14	16.13
13	16.0	16.12	0.12	16.13	16.12	16.12	16.11	16.11	16.12
14	16.0	16.12	0.12	16.15	16.16	16.13	16.15	16.19	16.16
검사시간		40분		1분10초	1분9초	1분7초	1분12초	1분11초	

일반적인 측정소요시간 수작업측정 : 작업인원 3~5명, 30분~1시간
 자동 검사/측정 시스템 : 작업인원 1명, 1분~3분

위 표에는 모델 2번 V100 RR의 14개 검사항목에 대한 수작업과 자동 검사/계측 시스템과의 측정치를 비교한 표이다. 중요한 것은 측정된 수치가 주어진 공차 이내에 들어가는지 여부를 통한 합격 불합격 판정이다. 작업시간은 수작업의 경우 3차원 측정장비를 이용할 때 한 개의 패널을 검사하는데 3~5명이 40분 정도가 소요되는 반면에, 자동 검사/계측 시스템을 이용하면 1명이 1분 10초 정도 작업하면 합격여부를 알 수 있다. 자동검사시스템에

서는 부품의 형상과 검사항목의 수에 따라서 1분에서 3분 정도가 소요되었다.

6. 결 론

머신비전에 의한 프레스 가공물의 형상 및 정밀 측정 작업은 비접촉 측정, 짧은 측정시간 등의 특징으로 인하여 지금까지의 검사방법인 지그에 의한 수동식 검사방법과는 다른 새로운 품질관리 방

법으로 이용되고 있다. 본 시스템개발의 주요내용으로는 Tabatabai의 서브픽셀에 의한 정밀측정 알고리즘을 실용화 시켜 측정의 정밀도와 신뢰도를 높였다. 영상처리시스템에서는 Powervision의 검사절차를 기존 4개에서 30개까지 준비가 가능하도록 기능을 확대하고 신호에 의한 자동 실행/중지 기능 프로그램을 추가하였다. 로봇-PC(IBM)-I/O-비전(Machintosh)-PLC 간의 인터페이스에 의한 데이터 전송 및 제어시스템을 개발하였으며, 저장데이터를 이용한 공정분석이 가능하도록 하고 프레스제품과 같은 대형검사물(800~1200cm)에 대한 형상검사 및 정밀측정 알고리즘을 개발하였다. 또한, 하드웨어적인 측면에서는 검사대와 모델별 고정을 위한 40개의 지그를 설계제작하고, 대형검사물을 위한 조명장치를 설계하였다.

본 개발시스템의 도입으로 기대되는 효과는 다음과 같다.

- 현재 30분~1시간이 걸리는 검사시간을 최대 3분으로 단축하여 검사시간을 줄이고 인력의 효율적 이용 및 수동검사를 위한 고가의 지그 제작비를 절감할 수 있다.
- 어떤 일정기간 내에 작업이 평균화되고 있는지 등 작업시간과 빈도에서 각 프레스기 별 급형 및 공구의 상태 등 작업에서의 특성 파악에 이용할 수 있다.
- 작업자에 부담을 주지 않고도 샘플링을 할 수 있으므로 나날의 업무에 영향을 미치지 않는 범위에서 샘플링 데이터를 일정한 기간에 수집할 수 있다.
- 측정데이터를 종전보다 리얼타임에 가깝게 해석하고 경향을 판단하여 시스템적으로 경보를 발함으로써 불량률의 조기 발견과 불량품을 후 공정으로 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 있다.

본 시스템의 소프트웨어는 온라인시스템에 맞게 개발되었지만 프레스공정의 준비어를 비롯한 작업 환경이 온라인에 장착하기 어렵게 되어있어 현재로서는 오프라인으로 검사가 이루어지고 있다. 그러나, 앞으로 생산라인의 변경이 이루어지면 온라인 형으로의 변경은 용이하다.

참 고 문 헌

- [1] West, P.C., "Overview of Machine Vision-1982," Technical Paper, *Society of Manufacturing Engineers*, MS82-184, 1982.
- [2] Galbiati, L. J., *Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals*, Prentice-Hall, 1990.
- [3] Oetjens, T.J., "New Developments in Coordinate Measuring Machines for Sheet Metal," *AUTOFACT'89 Conference Proceedings*, (1989), pp.19-11-19-18.
- [4] Owen, J.V., "Automakers update their Systems," *Manufacturing Engineering*, Vol.119, No.2(1997), pp.62-72.
- [5] __, *Video Image Processing System for Power Vision 90 Series*, Acuity Systems Ltd., 1995.
- [6] Ballard and Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, 1982.
- [7] Delp, E. J. and Mitchell, O. R., "Image Compression Using Block Truncation Coding," *IEEE Trans. on Commun.*, No.27(1979), pp. 1335-1341.
- [8] Gleason, S. S., Martin, A. H., Jatko, A. H., "Subpixel Measurement of Image Features Based on Paraboloid Surface Fit," *IEEE SPIE Vol. 1386 Machine Vision Systems Integration in Industry* (1990), pp.135-144.
- [9] Ghosal, S. and Mehrotra, R., "Orthogonal Moment Operators for Subpixel Edge Detection,"

Pattern Recognition, Vol.26, No.2(1993), pp. 295-306.

- [10] 정 원, 정연구, "전자부품의 품질향상을 위한 인라인 자동검사시스템", 「품질경영학회지」, 제23권 제3호(1995), pp.33-44.
- [11] Tabatabai, A. J. and Mitchell, O. R., "Edge Location to Subpixel Values in Digital Imagery," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.PAMI-6, No.2(1984), pp.188-201.

[부 록]

다음은 Tabatabai 기법[11]의 주요 알고리즘이다. 1차원 모서리 데이터의 경우에 서서히 변화하는 모서리 부근의 n 개의 픽셀의 밝기값들을 x_i , $i=1,2,\dots,n$ 이라 할 때 입력 데이터에 대한 처음 3차 샘플 모멘트 M_i 를 다음과 같이 정의하면,

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

경계지역의 어느 한쪽의 이상적인 밝기값을 q_1 , 다른쪽 밝기값을 q_2 , 그리고 이상적인 모서리의 값들을 가진 픽셀의 수를 k 라고 할 때 r_1, q_1, q_2 는 다음의 3식을 동시에 만족하는 값을 구하면 된다.

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

여기서 $r_1 = \frac{k}{n}$, $r_1 + r_2 = 1$ 이다.

식 (2)를 풀면

$$q_1 = M_1 - \sigma \sqrt{\frac{r_2}{r_1}}, \quad q_2 = M_1 + \sigma \sqrt{\frac{r_2}{r_1}}, \quad r_1 = \frac{1 + \sigma \sqrt{\frac{1}{4 + s^2}}}{2}$$

로 나타낼 수 있으며 여기서 $s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \frac{(x_j - M_1)^2}{\sigma^2}$, $\sigma^2 = M_2 - M_1^2$ 이다.

식 (2)의 결과와 위의 r_1 식으로부터 모서리의 위치 좌표 점 $k = nr_1$ 을 구할 수가 있다.

2차원 모서리 데이터의 경우 모서리 계산 알고리즘은 다음과 같다.

우선 순서 x_i , $i=1,2,\dots,n$ 를 복수 모서리 형태

라고 가정하자. 순서 $\{x_i\}$ 에 N 개의 이상적인 밝기 값($N \ll n$)과 대응시키려면 ($N-1$ 개의 모서리가 존재) " $2N-1$ "개의 샘플 모멘트가 요구된다. 그러므로, 다음의 " $2N$ " 식들이 만족되어야 한다.

$$\sum_{j=0}^N r_j q_j^k = M_k \quad k=0,1,2,\dots, 2N-1 \quad (3)$$

여기서 $q_j = N$ 수준의 이상적 모서리와 관련한 j 번째 밝기 수준

$r_j = N$ 개의 밝기수준 가운데 q_j 의 상대적 빈도 수

$$M_0 = 1.$$

Gauss-Jacobi의 구적 법 문제로부터 q_j , $j=1,2,\dots,N$ 는 다음 다항식의 근이 된다.

$$L(q) = \begin{vmatrix} M_0 & M_1 & M_2 & \dots & M_N \\ M_0 & M_0 & M_0 & \dots & M_{N+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ M_{N-1} & M_N & M_{N+1} & \dots & M_{2N-1} \\ 1 & q & q^2 & \dots & q^N \end{vmatrix} \quad (4)$$

$$= D_N q^N + D_{N-1} q^{N-1} + \dots + D_0 \quad (5)$$

여기서 식 (5)는 식 (4)의 전개식으로서 이는 $M_0=1$, r_j , $j=1,2,\dots,n$ 그리고 다음의 식 (6)으로부터 얻어지는 "Christoffel 수"라고 불린다.

$$r_j^{-1} = \sum_{k=0}^N C_k^2(q_j) \quad j=1,2,\dots,N \quad (6)$$

여기서 $\{C_k(x) \in \pi_N\}$ 이고, $k=0,1,2,\dots,N$ 이다. 식 (6)은 입력데이터 분포인 식 (7)과 연관된 직교다항식이다.

$$g(x) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N h(x - x_k) \quad (7)$$

위에 열거된 식들의 解는 다음 식 (8)을 푸는 것과 같다.

$$\begin{aligned} a_0 M_0 + a_1 M_1 + \dots + a_{N-1} M_{N-1} &= -M_{2N-1} \\ a_0 M_1 + a_1 M_2 + \dots + a_{N-1} M_N &= -M_{N+1} \\ &\vdots \\ a_0 M_{N-1} + a_1 M_N + \dots + a_{N-1} M_{2N-2} &= -M_{2N-1} \end{aligned} \quad (8)$$

일단 a_0, a_1, \dots, a_N 이 구해지면 q_1, q_2, \dots, q_N 은 다음 다항식 (9)의 근으로부터 구할 수 있다.

$$U(x) = x^N + a_{N-1}x^{N-1} + \dots + a_1x + a_0 \quad (9)$$

N 개의 q_j 가 구해지면 r_j 는 $\sum_{j=1}^N r_j q_j^k = M_k, k=0, 1, 2, \dots, N-1$ 의 N 개의 식으로부터 구해진다.