

論文96-33B-2-8

# 모니터 화면 검사를 위한 시각 시스템의 구현

## (An Implementation of the Vision System for Monitor Inspection)

梁希秀\*, 金在亨\*, 朴祥鎬\*, 尹逸東\*, 李常郁\*

(Hee Soo Yang, Jae Hyeong Kim, Sang Ho Park, Il Dong Yun, and Sang Uk Lee)

### 요 약

본 논문에서는 모니터 화면 검사를 위한 고정밀 시각 시스템의 개발에 대하여 기술하였다. 검사 대상 모니터 화면 상의 기준 패턴의 기하학적인 왜곡을 검사하는 모니터 검사 알고리즘을 제시하였다. 또한, 모니터의 컬러 영상의 색상 왜곡 검사를 위하여 컬러 카메라를 통하여 입력된 RGB 색좌표 정보를 XYy 색좌표계로 변환하는 적응적 알고리즘을 제시하였다. 개발된 모니터 화면 검사 시스템은 IBM PC/486 상에서 구현되었으며, 비전문적 사용자도 쉽게 사용할 수 있도록 마이크로소프트 윈도우즈 환경에서 그래픽 사용자 환경을 구축하였다. 개발된 시각 시스템을 사용하여 검사 정밀도와 검사 속도에 대한 실험을 수행하여 그 결과를 제시하였다.

### Abstract

This paper describes the issue relating to the design and implementation of a high-precision vision system for monitor inspection. We present several monitor inspection algorithms which evaluate the geometric distortions of the patterns on the inspection target monitor. Also, to inspect color distortion, we propose an adaptive algorithm which transforms the RGB color coordinate information acquired from color CCD camera into the XYy coordinate, accurately. The proposed monitor inspection system is implemented on IBM PC/486, and the user interface is developed on Microsoft Windows to assist unskilled users for easy use. Using the developed vision system, Experiments on the inspection accuracy and speed were performed and the results are presented.

### I. 서 론

FMS(flexible manufacturing system) 나 CIM

\*正會員, 서울대학교 制御計測工學科

(Dep. of Control & Inst. Eng., Seoul Nat'l Univ.)

접수일자: 1995년 1월 26일, 수정완료일: 1996년 1월 30일

(computer integrated manufacturing) 등의 생산 자동화는 산업 생산성 향상을 위한 필수 불가결한 요소이다. 이러한 생산 자동화의 여러 공정 가운데에서도 제품 검사 자동화는 다량의 정보를 관리해야 할 뿐 아니라 정보 처리 과정의 유연성, 적응성이 요구되어, 로보트 등을 이용한 조립 공정 자동화에 비해 실제 응용 사례가 별로 없다<sup>1,2,3,4</sup>. 현재까지의 제품 완성 또는 조립 과정에서의 검사 공정은 사람의 시각에 많이 의

존하고 있어 검사의 정밀도, 검사 기준의 불균일성, 낮은 검사 속도 등의 문제점을 갖고있다. 따라서 검사 공정에서 사람의 시각을 대신하여 검사를 수행할 수 있는 자동 시각 검사 시스템이 요구된다.

본 논문에서는 인간의 시각을 대신하여 검사 목표를 인식, 검색 항목에 대해 검색을 실시하여 그 결과를 해석하는 고정밀 시각 시스템을 구축하였다. 검사 대상은 모니터이고, 흑백 영상의 처리뿐 아니라 컬러 영상의 인식, 처리, 해석도 목표로 하였다. 생산 공정에서 제작된 각각의 모니터는 화면 상태가 일정하지 않다. 따라서 제품의 출하 전에 모니터의 화면 상태를 양품의 범위에 들도록 모니터의 여러 단자를 조정하여야 한다. 기존의 모니터 화면 검사, 조정 공정은 사람의 눈과 손에 의존하였으나 전문화된 바와 같이 검사의 정밀도 및 검사 기준의 불균일성 등의 문제점을 안고 있다. 또한 멀티 싱크(multi-sync) 모니터의 경우에는 여러가지 수직 수평 주파수에 대해 검사를 수행하여야 하는데 사람의 시각으로는 원하는 검사 속도를 낼 수 없어 몇 가지의 주파수에 대해서만 검사를 수행하는 등의 편법을 사용하고 있는 실정이다.

전문화된 시각 시스템을 모니터 검사에 적용할 경우 제품 검사 기준의 균일성 보장과 이에 따른 제품 품질의 신뢰도 향상 및 고속검사와 다품종 검사가 실현 가능해짐으로써 전반적인 생산성 향상의 효과를 얻을 수 있다.

모니터 화면 검사는 모니터 상에 기하학적인 패턴을 발생시키고 패턴의 휘어짐, 이동 등의 검사를 수행하는 기하학적 왜곡 검사와 화이트 밸런스 등의 컬러 정보 왜곡 검사로 이루어진다. 기하학적 왜곡 검사와 컬러 정보 왜곡 검사를 효율적으로 구현하기 위해 데이터 취득에 컬러 카메라와 흑백 카메라를 같이 사용하였으며 양품 판정 기준의 1/10의 해상도를 얻기위해 흑백 카메라를 4대 사용하여 모니터의 각 4분면의 데이터를 취득하도록 하였다.

검사 시스템은 다기능 비전보드와 1대의 PC, 검사 대상 모니터에 검사 패턴을 생성하는 패턴 발생기, 그리고 카메라와 검사 대상 모니터를 고정시키는 기구, 모니터의 위치를 확인하는 센서 등으로 이루어진다.

개발된 다기능 비전 보드는 여러대의 카메라 신호를 관리하며, 독립적인 연산 기능을 갖도록 구성되어 PC에 작업 부담을 주지 않고 다기능 비전 보드 내부에서 검사 알고리즘을 수행하도록 하였다. 다기능 비전 보드

에는 Texas instrument사의 TMS 34020 GSP (graphic system processor) 를 사용하여 전반적인 하드웨어를 제어하고 검사 알고리즘까지 수행하도록 하였으며 IBM PC는 정보의 입출력 및 주변 장치 제어를 담당하도록 구성하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 모니터 검사에 대한 개요를 설명하고, 개발된 모니터 검사 시스템의 구조를 3 장에서 설명하였으며, 4 장에서는 검사 알고리즘을 제시하였다.

5 장에서는 모니터 검사 실험을 수행하여 결과를 제시하고 분석하였으며, 6 장에서 결론을 제시하였다.

## II. 모니터 화면 검사

본장에서는 모니터 화면 검사 공정에 대하여 설명한다. 본 논문에서 지칭하는 모니터는 컴퓨터의 비디오 출력 장치로부터 VGA 나 super-VGA 등의 신호를 입력받아 화면을 출력하는 멀티 싱크(multi-sync) 컬러 모니터이다. 멀티 싱크 모니터는 여러가지의 수평 주파수와 수직 주파수에 대하여 화면 표시 능력을 갖는 모니터를 말한다. 전자 기술의 발달과 사용자의 고품위 영상 출력 장치에 대한 요구가 증대됨에 따라 이러한 멀티 싱크 모니터의 사용이 크게 늘고 있다.

모니터 내부에는 전자빔을 수직, 수평 방향으로 정확하게 제어하기 위하여 여러개의 코일과 전기 요소 등이 내장되어있다. 모니터 화면에 양질의 영상을 출력하기 위해서는 생산공정에서 이러한 코일들의 위치나 전기 요소들의 특성값을 조정해주어야 하며, 또한 제품의 출하전에 이러한 조정과정이 잘 수행되었는지를 검사해야한다. 본 논문에서는 모니터의 화면 조정 상태를 자동으로 검사하는 시각 시스템의 개발에 대하여 논하였다.

모니터 화면 검사는 크게 기하학적 왜곡 검사와 컬러 정보 왜곡 검사로 나눌 수 있다. 기하학적 왜곡 검사는 모니터에 직사각형 등의 기하학적인 모양의 패턴을 출력시켜서 이 패턴이 의도한 모양과 얼마만큼이나 벗어나는가를 검사하는 것이다. 기하학적인 검사 항목으로는 모니터 화면 상에 직사각형의 패턴을 출력시켜서 크기와 위치를 검사하는 디스플레이 크기와 디스플레이 중심 맞춤, 바둑판 모양의 패턴을 출력시켜서 각 격자의 크기의 균질도를 검사하는 수평, 수직 선형도 검사, 모니터 화면 상의 패턴의 기울어짐 정도를 검사

하는 기울기 검사, 기타 패턴의 찌그러짐 등을 검사하는 왜곡 검사 등이 있다. 본 논문에서는 상술한 4 가지 내용에 대한 검사 기법을 제시하였다.

컬러 정보 왜곡 검사는 컬러 모니터에서 원하는 색상을 잘 재생하는지 특히 흰색이 제대로 출력되는가를 검사하는 화이트 밸런스 검사, RGB 각각의 전자빔이 한 점에 잘 모아지는가를 검사하는 컬러 컨버전스 검사, 색상이 모니터 화면 전 영역에 대하여 균일하게 재생되는 여부를 판별하는 퓨리티(purity) 검사 등이 있다. 본 논문에서는 컬러 카메라를 사용하여 화이트 밸런스 검사를 수행하는 방법에 대하여 기술하였다.

검사 대상 모니터가 자동 검사 공정으로 이송되면 모니터의 위치를 감지하는 각종 센서신호를 받아들여서 모니터가 검사 가능한 위치에 놓여졌는지를 점검하게 된다. 이어서 모니터의 정확한 위치를 검출하기 위하여 모니터에 조명을 가한 상태에서 CCD 카메라로 촬영하게 된다. 이때 취득된 영상으로부터 모니터의 베젤(bazel)을 검출하여 이 정보를 모니터 화면 보정시에 사용하게 된다. 검사를 위한 준비가 완료되면 패턴 발생기는 검사 항목에 맞는 패턴을 검사 대상 모니터에 출력시킨 후, 모니터 검사 알고리즘을 수행하게 된다.

모니터 화면 검사는 생산 공정에서 20~50 초 이내에 여러가지 수평 수직 주파수에 대하여 기하학적 왜곡에 대한 검사를 수행해야 한다. 약 10 가지 정도의 주파수에 대하여 10 가지 항목에 대한 검사를 수행한다고 하면, 한 항목당 약 0.2~0.5 초 이내의 시간이 소요되어야 한다.

### Ⅲ. 검사 시스템의 구조

본장에서는 모니터 화면 검사 자동화를 위한 시각 시스템의 하드웨어의 구조에 대하여 설명한다. 개발된 시각 시스템은 컬러와 흑백 카메라 신호를 입력으로 받아들여 고해상도 영상을 취득하고, 검사 영상의 취득과 검사 알고리즘의 수행을 한장의 보드로 구현하며, 다양한 응용을 위하여 범용 시각 시스템으로서의 유연성을 갖도록 설계되었다.

15 인치 모니터의 가로길이 (hsize) 검사의 양품 판정기준은  $280 \pm 3$  mm 이다. 모니터 화면상의 패턴을 정밀하게 측정하기 위해서는 고해상도 영상을 얻어야

한다. 양품 판정 기준의 1/10 정도의 해상도를 얻도록 4 대의 흑백 카메라를 사용하여 모니터의 각 4 분면의 영상을 취득하였다. 각각의 카메라 입력은  $512 \times 480 \times 8$  비트(bit) 의 해상도로 A/D 변환되어 검사 대상 모니터를 약  $1000 \times 1000$  의 해상도로 검사하게 된다. 따라서 취득된 디지털 영상에서 한 화소는 0.3 ~ 0.4 mm 의 해상도를 갖는다.

본 논문에서 고려한 모니터 검사 시스템은 그림 1 과 같은 전체 구조를 가지며 IBM PC/486 을 주시스템으로 하여 다기능 비전 보드, 패턴 발생기, 각종 센서, 모니터 베젤 조명 장치 등으로 구성된다.

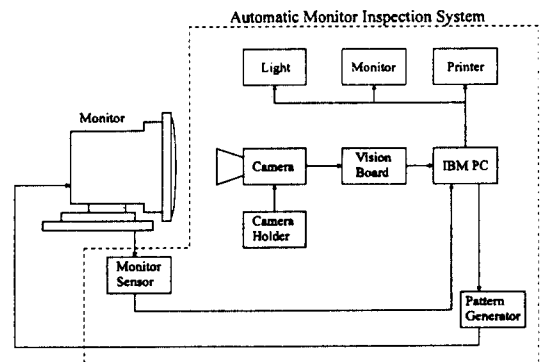


그림 1. 전체 시스템의 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of overall system.

주 시스템인 IBM PC는 각종 센서, 모니터 조명 장치, 패턴 발생기 등을 관리하며, 다 기능 비전 보드를 제어하여 모니터 검사 알고리즘을 수행하게 하여 그 결과를 사용자에게 표시하고 기억 장치에 저장하게 된다. 영상의 취득과 검사 알고리즘의 수행은 다기능 비전 보드에서 독립적으로 이루어지도록 구성하여 주 시스템인 IBM PC 의 작업 부하와 복잡도를 크게 줄였다. PC 는 모니터 검사에 필요한 각종 하드웨어 모듈을 제어하고, 모듈에서 발생하는 신호를 관리하는 역할만 수행하게되며 검사 알고리즘은 PC 와 독립적으로 수행된다.

본 논문에서 구현한 다기능 비전 보드는 그림 2 와 같은 구조로 구성되어 A/D 변환, D/A 변환, 컬러 입력의 색좌표 변환, 영상 정보의 저장, 모니터 화면 검사 알고리즘의 수행등의 기능을 갖는다. 1 대의 컬러 카메라와 4 대의 흑백 카메라로부터 입력된 아날로그 영상 신호는 A/D 변환부를 통과하여 디지털 영상 신

호로 변환되어 저장된다. 이 과정에서 컬러 영역 변환이 실시간으로 이루어져 원 컬러 영상과 컬러 영역 변환된 컬러 영상, 흑백 영상이 동시에 저장된다. 컴퓨터 비전 알고리즘의 효율적인 수행을 위해서는 프레임 메모리에 저장된 영상 데이터의 자유로운 액세스가 보장되어야 한다. 이를 위해 본 시스템에서는 KMM 428 C257 VRAM 을 사용하여 영상 표시 구간에 상관없이 메모리 액세스가 가능하도록 하였다. VRAM 은 총  $512 \times 512 \times 3 \times 4$  byte (3 Mbyte) 영역을 갖는다.

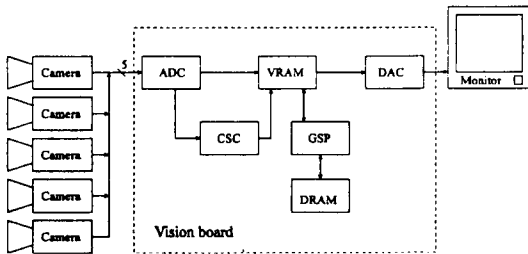


그림 2. 비전 보드의 블록 다이어그램  
Fig. 2. Block diagram of vision board.

다기능 비전 보드에는 TMS 34020 GSP (graphic system processor) 를 사용하여 각종 비디오 관련 타이밍을 제어하고, 수직 동기 신호와 수평 동기 신호를 발생하며, 모니터 검사 알고리즘까지 수행하도록 하였다. TMS 34020 GSP 는 일반적인 DSP(digital signal processor) 에 비해 연산 연산 능력은 많이 떨어지지만 모니터 검사 알고리즘은 정수 연산을 주축으로 복잡하지 않은 계산 과정으로 이루어지며, 또 주어진 검사 시간 안에 모든 연산이 수행되면 된다. 모니터 검사를 위한 시간은 약 20 ~ 50 초 정도로 32 MHz 로 동작하는 GSP 를 사용하여도 원하는 처리 속도를 얻을 수 있다. 이에 대한 실험 결과는 5 장에서 설명하였다. GSP 에서 검사 알고리즘을 수행하기 위한 프로그램 메모리는 4 Mbyte 로 구성 하여, PC 에서 프로그램을 다운로드(down load) 하여 검사 알고리즘을 수행하게 된다. GSP는 VRAM 에 저장된 디지털 영상을 이용하여 모니터의 기하학적 왜곡 검사와 컬러 왜곡 검사를 수행하여 모니터의 양 불량 판정을 하게 된다.

본 시각 시스템에서는 여러대의 카메라 신호를 입력 받아야 하므로 각각의 카메라의 수직 동기과 수평 동기를 맞추는 필요가 있다. 이를 위하여 외부 동기 입력

기능을 갖는 카메라를 사용하고 GSP 가 발생시키는 동기 신호를 주인 신호(master signal)로 사용하여 각각의 카메라가 주인 신호에 동기를 맞추도록 하였다.

다기능 비전 보드에는 그래픽 오버레이 기능이 있다. 이 기능은 문자 및 도형을 영상데이터와 겹쳐서 화면에 표시하기 위해서 사용하며, 그래픽 출력 제어기인 TLC34075 와  $512 \times 512 \times 8$  비트(bit)의 VRAM 으로 구성되어 255가지의 색상을 표시할 수 있다. 이러한 그래픽 오버레이 기능을 이용함으로써 원래의 영상 데이터에 대한 변경없이 각종 문자 및 도형을 화면에 표시할 수 있으며, 또한 입력 영상을 처리하는 과정과 처리하여 얻은 결과를 본래 영상과 겹쳐서 표시함으로써 처리 결과를 용이하게 확인할 수 있다.

비전 보드는 두장의 PCB 보드를 피기백(piggy-back)으로 구성하여 IBM PC/486 의 AT 버스상의 한개의 슬롯(slot) 에 삽입되도록 제작되었다. 모니터 자동 검사 시스템에는 비전 보드 외에도 패턴 발생기, 센서, 모니터 조명 장치 등을 관리하기 위한 보드들이 있다. 따라서 카메라의 신호 입력 및 알고리즘 수행 기능을 갖는 비전 보드를 한장의 하드웨어로 구성함으로써 전체 시각 시스템을 통합하고 관리, 보수하는데 편의성을 도모하였다.

#### IV. 검사 알고리즘

모니터 화면의 검사는 기하학적 왜곡 검사의 경우 먼저 화면 보정, 검사 패턴의 인식, 데이터 처리 순으로 이루어지며, 컬러 왜곡의 경우 데이터 학습(training), 데이터 취득, 데이터 처리의 순으로 이루어진다. 그림 3에 각 경우에 대해 검색 흐름도(flow chart)를 보았다.

##### 1. 화면 보정 알고리즘

기하학적 왜곡 검사는 여러가지 모양의 패턴을 모니터 화면상에 출력시켜서 출력된 영상의 기하학적인 왜곡 정도를 검사함으로써 이루어진다. 카메라를 통하여 입력된 영상은 2차원 영상이며, 검사 대상인 패턴은 일정한 곡률을 갖는 모니터 브라운관 위에 존재하게 된다. 따라서, 카메라를 이용하여 취득된 2차원 영상과 모니터 화면상의 3차원적인 패턴 사이의 관계를 정의해주는 카메라 보정(calibration) 작업이 필요하게 된다. 카메라 보정 작업을 통하여 카메라를 통하여 취득

된 영상에서의 한 화소의 위치와 실제 모니터 상에서의 한 화소에서의 위치를 대응시키게 된다. 본 논문에서 개발된 시각 시스템은 모두 4개의 카메라를 사용하여 기하학적 왜곡 검사를 수행하므로, 각각의 카메라에 대하여 보정작업을 수행하여야 한다.

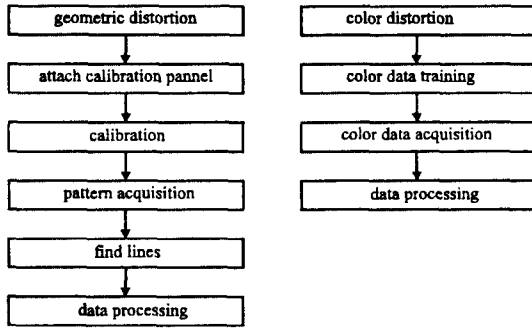


그림 3. 검색 흐름도  
Fig. 3. Flow chart of monitor inspection.

머신 비전에서 카메라 보정은 카메라 내부의 광학적, 기하학적 특성인 고유 변수와 기준 좌표계에 대한 카메라 좌표계의 3차원 위치와 방향 정보인 외부 변수를 결정하는 과정이다.

이러한 보정 기법을 사용하려면, 앞에서 설명한 두가지 변수를 정하고 또한 모니터 브라운관의 3차원적인 형상에 기인한 곡률 보정을 수행하여야 한다. 그런데, 본 논문에서 다루는 모니터 검사 시스템에서는 카메라의 위치와 검사 대상체의 위치가 고정되어 있으며, 검사 대상체인 패턴이 완전한 곡률을 갖는 브라운관상에 존재하므로, 상술한 일반적인 카메라 보정 기법을 사용하지 않고, 취득된 2차원 영상과 실제 모니터 브라운관 사이의 대응 관계를 표(look-up-table)로 만들어서 카메라 보정을 수행하도록 하였다. 따라서, 카메라 보정 작업이란, 취득된 영상에서의 2차원 좌표와 모니터 브라운관 상의 2차원 좌표간의 대응 관계를 밝혀서 이를 표로 만드는 작업이된다. 모니터 화면 상의 실제 위치는, 취득된 영상에서의 2차원 좌표값을 갖고 카메라 보정 과정에서 만들어진 표를 참조하므로써 얻게 된다.

실제적인 보정 방법은 먼저, 1대의 카메라가 검색 영역 전 부분을 받아들이는 것이 아니라 4대의 흑백 카메라와 1대의 컬러 카메라가 모니터의 전영역을 일정 부분씩 받아들이므로 먼저 이 5대의 카메라의 입력 영역을 정확히 배분한다. 이는 카메라 고정 장치에서의

카메라 위치를 조정하여 수행할 수 있다. 다음에 모니터 화면과 카메라 렌즈면의 수직을 맞춘다.

기본적인 카메라 위치 설정이 끝나면, 격자 모양이 그려져 있는 보정 판넬을 모니터 화면상에 부착한다. 이 보정 판넬은 검사 대상체인 모니터 브라운관의 곡률과 같은 곡률을 갖도록 제작되었으며, 기준 간격(수직, 수평방향으로 10mm)으로 격자선을 그려넣었다. 판넬면 한 격자의 길이를 미리 알고 있으며 보정 판넬판의 모든 선들이 서로 직교하므로 이를 영상 보정의 기준으로 삼아 취득 영상에서의 위치와 모니터 브라운관 상에서의 위치를 대응하는 표를 생성할 수 있다. 보정 판넬의 격자는 충분히 조밀하지 않으므로 격자선 사이는 이를 보간하여 사용한다. 그림 4에 설명한 방법을 제시하였다.

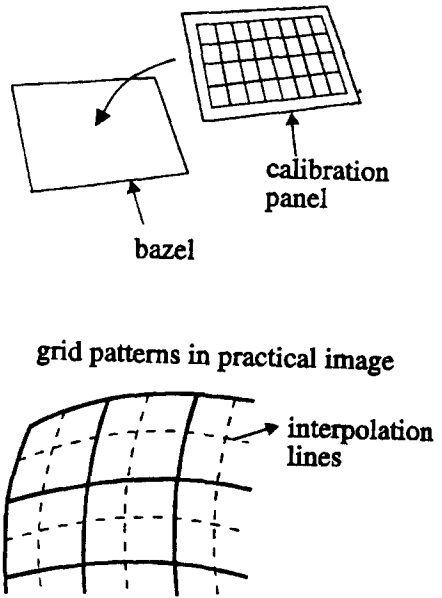


그림 4. 카메라 보정  
Fig. 4. Camera calibration.

2. 선의 위치를 찾는 알고리즘

기하학적 왜곡 검사에는 일정한 두께의 백색선으로 그려진 직사각형 모양, 바둑판 모양 등의 기하학적 모양의 패턴이 사용된다. 따라서 패턴을 구성하고 있는 선의 위치를 정확하게 구하는 것이 패턴의 위치와 길이 정보를 추출하는 근거가 된다. 간단하게는 입력된 영상에 대하여 영역 분할을 수행하여 구하여진 이진 영상에서 선의 위치를 얻어낼 수 있으나, 이러한 방법으로는 요구되는 정확도를 얻기 어렵다. 영상의 이진화

를 수행하지 않고 명암 영상(gray scale image)에서 선의 위치를 얻어내기 위해서 검색선(scanning lines)을 따라서 영상 데이터를 여러 개의 일차원 배열 형태로 취득한다. 화면 전체의 영상 데이터를 읽어들이지 않고 일부분의 데이터만을 검색선을 따라 일차원 배열의 형태로 받아들임으로써 전체의 영상 데이터를 얻는데 필요한 시간을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 전체의 영상 데이터를 다 얻어내어 선의 위치를 찾는 것과 같은 동일한 결과를 얻어낼 수 있다.

실제 검색선을 따라 취득한 영상 화소 배열들 중 한 배열의 데이터 값을 그림 5에 제시하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이 선이 정확히 위치하는 곳을 정의하기란 쉽지 않은데 그 이유는 선의 폭이 약 8 내지 10 화소에 걸쳐 있으므로 그 화소 가운데의 한 화소의 위치를 선의 위치로 정하여야 하기 때문이다.

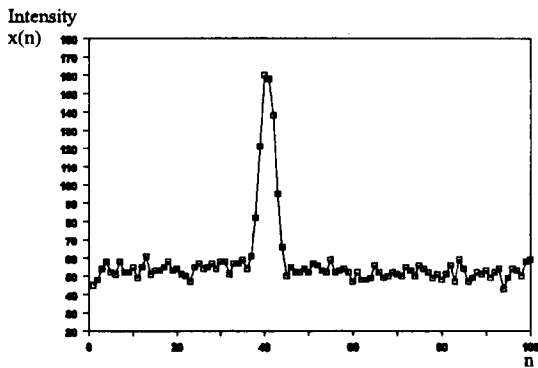


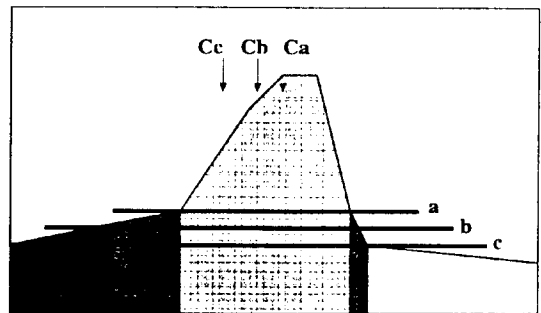
그림 5. 검색선을 따라 취득된 영상 데이터 배열  $x(n)$   
 Fig. 5. Acquired data  $x(n)$  along a scanning line.

선의 위치를 정하는 방법 중, 그림 5의 데이터 중에서 극점을 가지며 일정한 임계값을 넘는 위치에 있는 곳을 선의 위치로 정하는 것이 가장 합리적이다. 그림 5의 데이터 배열을  $x(n)$ 이라 했을 때, 이웃한 배열값의 차이로 이루어지는 새로운 배열  $y(n) = x(n+1) - x(n)$ 을 만들어 이로써 기울기의 부호 변화, 즉  $y(n)$ 의 값에서 제로 크로싱(zero-crossing)이 이루어지며 그 주위의 화소값이 임계값을 넘으면 일단 선이 있음으로 상정하고 제로 크로싱 양편의 화소중에서 보다 더 큰 값을 갖는 화소 위치를 선이 있는 위치로 정한다<sup>15)</sup>.

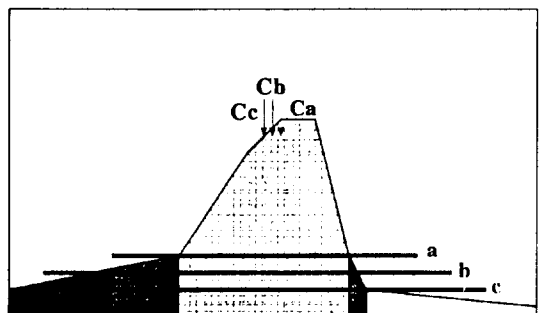
이렇게 한 배열 내에서 선의 위치라고 설정된 한 화

소가 정해지면 이웃한 배열에서 같은 방법으로 역시 선의 위치라고 결정된 화소와 서로 연결하여 이를 선이 지나가는 위치로 정하게 된다.

그러나 이러한 알고리즘은 패턴선의 굵기가 굵어 취득 배열의 하이라이트 부분이 5 내지 6 픽셀에 걸쳐 있는 경우에는 적용할 수 없다. 따라서 이 경우에는 선의 무게 중심을 이용하여 선의 위치를 정의하도록 하였다. 이 방법은 선의 위치를 정수가 아닌 소수로 얻을 수 있어 그 정밀도를 높일 수 있다. 그림 6은 무게 중심을 찾는 방법을 개괄적으로 보여준다.



(a)



(b)

그림 6. 무게 중심을 찾는 개선된 알고리즘.  
 Fig. 6. Modified algorithm for finding centroid.

무게 중심을 찾는다는 것은 각 물체의 밝기 정도를 질량으로 상정하여, 각 화소를 질점으로 보았을 경우의 질량의 중심을 찾는다는 것이다. 여기에서 고려의 대상이 되는 물체는 1차원의 배열이므로 결국 1차원적 직선상에서 데이터 가중 평균의 중심을 얻는 문제로 귀결된다.

선의 위치를 찾기 위해서는 우선 적절한 문턱값을 설정하여야 한다. 문턱값은 패턴이 있는 영역의 밝기

값과 패턴이 없는 영역의 밝기 값의 중간이나 그 이하로 설정할 수 있다.

문턱값이 설정되면 이 문턱값을 넘는 부분의 화소들에 대하여 무게 중심을 찾아 이 값으로 선의 위치를 정한다. 더 정밀한 측정을 하려면 문턱값에 해당하는 밝기 값을 각 화소의 밝기 값에서 뺀 후 이 값의 무게 중심을 구할 수도 있다. 그림 6에서 두가지 방법을 도시하였다.

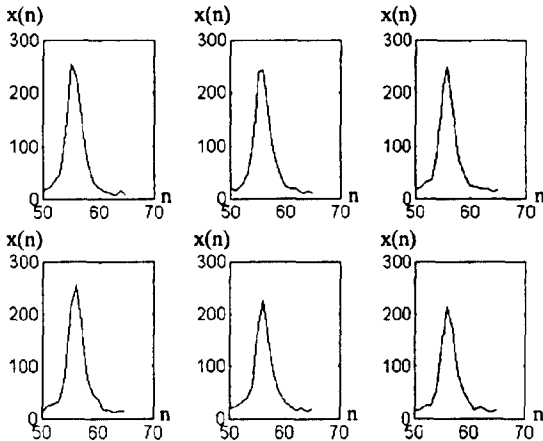


그림 7. 선의 명암 영상  
Fig. 7. Gray level image of lines.

실제 영상에 대한 실험을 통하여 문턱값의 변화에 따라 선의 위치가 얼마만큼 변화하는지를 살펴보았다. 그림 7에 실험에 사용한 6 가지의 선의 밝기를 도시하였다. 문턱값을 변화시키면서 무게 중심을 계산하여 선의 위치를 찾은 후, 찾아진 선의 위치의 표준 편차를 구하였다. 앞에서 살펴본 두가지 방법을 사용하여 무게 중심을 구하였으며 그 결과를 그림 8에 도시하였다. 무게 중심을 바로 구하여 얻은 결과의 표준 편차가 그래프에서 실선으로 나타낸 것이며, 문턱값을 제한 후 무게 중심을 구하여 얻은 결과의 표준 편차가 점선으로 나타낸 것이다. 문턱값을 제한 후 무게 중심을 구하는 방법에서 얻어진 표준 편차가 더 작았으며, 무게 중심을 바로 구한 방법의 결과의 약 1/2 정도였다. 무게 중심을 바로 구한 방법으로 얻은 결과가 약 0.1 화소 정도의 표준 편차를 갖게 되어 문턱값이 변화함에 따라 선의 위치가 거의 변하지 않음을 볼 수 있다. 따라서, 무게 중심을 사용하여 선의 위치를 찾는 방법이 문턱값의 변화에 둔감하며 선의 위치를 정확히 찾을 수 있다.

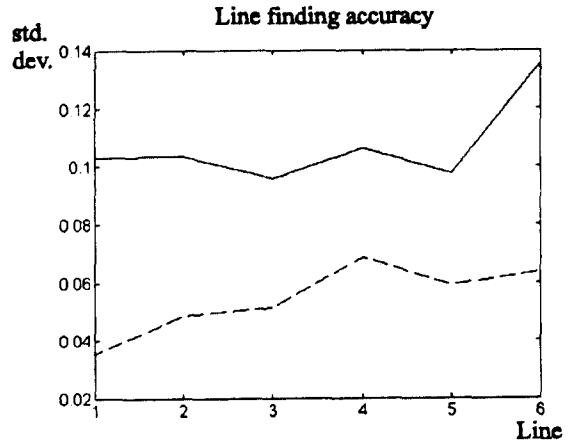


그림 8. 문턱값의 변화에 따른 선의 위치의 변화 (표준편차)  
Fig. 8. Variation of the position of lines due to the change of threshold (std.dev.).

3. 데이터 처리 알고리즘

전술한 바와 같이 데이터 보정 작업이 완료되고, 영상 데이터를 읽어 각 패턴에 상응하는 선의 위치를 찾아내면 이를 근거로 검사를 수행한다. 다음에 취득 데이터의 처리 흐름을 제시하였다. 일반적으로 각 분면에서 얻은 데이터를 보정 데이터를 이용, 실제의 길이를 알아내고 중첩되는 정보들을 평균하여 측정 결과를 낸다.

- 1) 디스플레이 크기와 디스플레이 중심 맞춤(display size and display centering)
  - ① 먼저 그림 9처럼 4개의 카메라가 각기 받는 영상에서 보정 판넬의 중심 c점이 지나는 십자선이 각 화면에 보이는 선 중에서 가장 끝에 위치하도록 카메라의 위치를 설정한다.
  - ② (a)는 화면의 우하, (b)는 좌하, (c)는 우상, (d)는 좌상에서부터 검사 패턴의 검색을 수행하여 보정 판넬의 중심점 c를 찾는다.
  - ③ 중심점에서부터 이미 보정되어 있는 화면상의 가상 보정선을 따라 a1, a2, a3, a4의 두 끝점 y 좌표, b1, b2, b3, b4의 두 끝점 x 좌표를 알아낸다.
  - ④ 보정 데이터에 따라 길이 보정을 하여 실제 길이를 얻어낸다.
  - ⑤ a1과 a2, a3와 a4, b1과 b2, b3와 b4는 각각 평균을 취하여 이 평균치들을 A, a, B, b 라 하면 수직 디스플레이 크기는 A+a, 수평 디스플레이 크기는

B+b이다. 디스플레이 중심 맞춤은 각 A, a, B, b를 비교함으로써 수행된다.

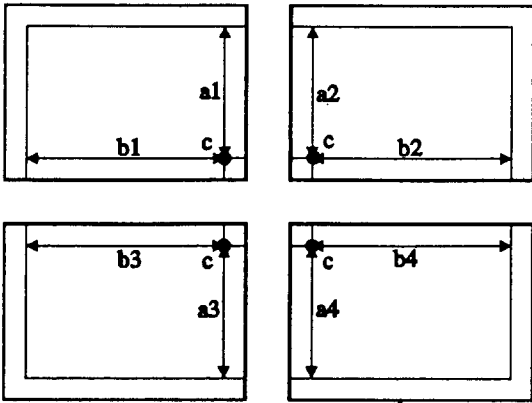


그림 9. 디스플레이의 크기측정 & 디스플레이 중심 맞춤  
Fig. 9. Measuring display size and aligning display center.

2) 선형도(linearity)

① 수평 선형도 검사를 위해서는 수직 검색선으로, 수직 선형도 검사를 위해서는 수평 검색선으로 검색을 수행한다.

② 검색선은 사전 데이터 보정이 되어있는 가상 보정선을 따라 설정한다.

③ 길이 보정을 수행하여 검색을 마친다.

3) 기울기(tilt)

① 그림11처럼 끝에서 한 검색선에서만 데이터를 취득한다.

② 보정선으로 각 끝의 실제 위치를 알아내고 길이 보정을 실시함으로써 검색을 마친다.

4) 왜곡(distortion)

왜곡 검사 역시 궁극적으로는 모니터 화면 표시부의 외곽선을 추출하는 것으로 검사를 수행할 수 있다. 이는 디스플레이 크기와 선형도 검사시 계산된 데이터를 이용함으로써 가능하다.

① 모니터 외곽선 모서리의 위치를 알아낸다.

② 모니터 중앙에서 외곽까지의 위치(디스플레이 크기 검사시 추출한 데이터)와 비교하여 검사를 마친다.

4. 컬러 처리 알고리즘

생산된 모니터의 검사 과정 중, 모니터가 색상을 잘 나타내는가를 검사하는 과정이 있다.

화이트 밸런스 (white valance) 검사는 모니터에

순백 영상을 출력시키고 출력된 영상이 얼마나 백색에 가까운지를 검사하게 된다. 검사는 XYy 색좌표에서 수행되며 X, Y 가 각각  $0.281 \pm 0.030$ ,  $0.311 \pm 0.030$  의 범위에 있으면 양품 판정을 내리게 된다. 현재 화이트 밸런스 검사는 고가의 전용 측정 장치를 사용하여 사람이 수행하고 있는데 이 검사가 비전 시스템을 사용하여 자동화된다면 생산성 향상과 검사 단가의 감소 효과를 얻을 수 있다.

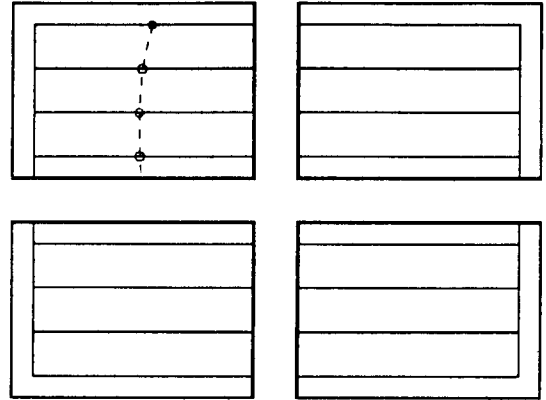


그림 10. 선형도 검사  
Fig. 10. Linearity inspection.

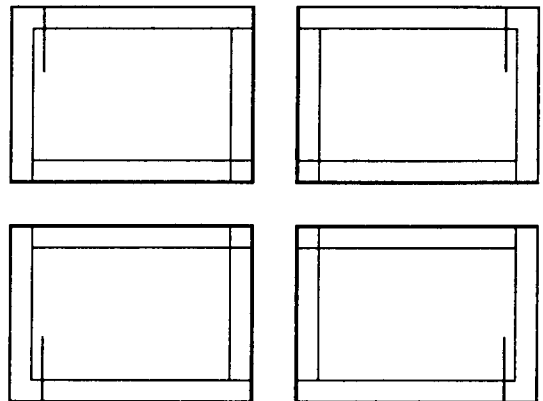


그림 11. 기울기 검사  
Fig. 11. Tilt inspection.

컬러 카메라로 받아들인 데이터는 RGB 화소값이다. 따라서 이를 XYy 색좌표계로 변환하는 것이 컬러 데이터 처리의 기본 목적이다. 이러한 문제는 이론적으로 RGB 좌표계와 XYy 좌표계 사이에는 일의적인 선형 변환이 존재하므로 (1)로 주어진 행렬 계수  $a_i$ 를 구하는 것으로 귀결된다<sup>[11]</sup>.



$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

그러나 실제의 경우, 카메라와 A/D 변환시의 왜곡으로 인한 물리적인 비선형성이 상존 하므로 이와 선형적인 관계를 얻을 수 없다. 따라서 다음에 설명하는 방법들을 선택적으로 결합하여 사용함으로써 비선형성을 극복하고 RGB-XYy 색좌표계 간의 변환을 성공적으로 이룰 수 있다.

1) 최소 자승법 이용

(1)의 행렬 계수를 구하기 위해서는 먼저 실제의 RGB 값과 컬러 분석기(color analyzer) 로 알아낸 XYy 값을 3회에 걸쳐 다른 색에 대하여 측정한다<sup>[7]</sup>. 그러면 (2)와 같은 9 개의 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} X_i &= a_{11}R_i + a_{12}G_i + a_{13}B_i \\ Y_i &= a_{21}R_i + a_{22}G_i + a_{23}B_i \\ y_i &= a_{31}R_i + a_{32}G_i + a_{33}B_i \end{aligned} \quad (2)$$

$i = 0, 1, 2$

그런데 측정의 횟수를 4회 이상에 걸쳐 시행하면 위의 식은 결국 해가 없는 문제 (overdetermined problem)가 된다. 따라서 이를 최소 자승법을 이용하여 오차를 최소화하는 계수를 구할 수 있다<sup>[8]</sup>. 측정 횟수를 크게 하여 최소 자승법을 적용하면 색좌표계의 전영역에 걸쳐 비교적 잘 근사하는 계수를 얻을 수 있으나 최소 자승법 적용시 행렬의 크기가 커져 계산이 어려운 단점이 있다.

2) LUT(Look Up Table) 사용

각 RGB 값에 대응하는 XYy 값을 테이블로 만들어 상응하는 XYy 값을 출력한다. 테이블 내에 존재하지 않는 값은 2차 보간하여 출력한다. 이 역시 테이블의 크기가 커질수록 작성이 어려운 단점이 있다.

3) 국소적 선형화 방법

색좌표계 전영역에 걸쳐서는 비선형성을 가지더라도 국소적인 구간은 선형 함수로 근사화 할 수 있다. 따라서 색좌표계를 국소적으로 나누어 이를 선형 근사화하여 계수값을구간 마다 구한다.

4) 제안하는 적응적 선형화 방법

전술한 방법들은 각기 장단점이 있으므로 몇가지 방법을 선택적으로 결합하여 계수를 구함으로써 오차를 최대한 줄일 수 있다. 먼저 이론적인 행렬 계수값으로 대체적인 XYy 값을 구하고 이를 기준으로 구간을 나

눈다. Y의 값을 구하는 경우 y의 값을 기준으로, y의 값을 구하는 경우에는 Y의 값을 기준으로 각 Yy영역을 국부적으로 나눈 후 나뉜 구간에서 다시 최소 자승법을 적용하여 최종적인 계수값을 구간별로 얻는다. 실제 변환은 입력 영상의 대상의 Yy값을 구해 상응 구간에 따라 계수를 선택, 변환하는 것을 반복하여 오차가 임계값 이하로 내려갈 때까지 수행한다.

5. 사용자 환경

비 전문가인 사용자도 편리하게 조작할 수 있는 사용자 환경을 구축하는 것은 소프트웨어의 설계시 고려되어야 할 중요한 사안이다. 마이크로소프트 윈도우즈(Microsoft Windows)는 사용자가 명령어를 직접 입력하지 않고도 화면 메뉴와 마우스를 가지고 용이하게 작업을 수행할 수 있을 뿐더러 전반적인 작업 상황을 일목요연하게 알 수 있는 장점이 있다<sup>[9]</sup>. 따라서 본 논문의 검사 시스템에서는 사용자 환경을 윈도우즈로 설정하여 사용자의 편의를 도모하였다. 또한, 개발된 윈도우즈 환경에서는 툴박스(tool-box)가 항상 존재하여 편리한 시스템의 관리가 가능하도록 하였다.

V. 실험 결과 및 분석

본장에서는 개발된 시각 시스템을 사용하여 14인치 모니터에 대해 자동 검사를 수행하여 개발된 시스템의 동작 속도, 건실도, 정밀도 등을 평가하였다.

우선 기하학적 왜곡 검사 항목에 대하여 검사 속도에 평가하는 실험을 수행하여 그 결과를 표 1에 제시하였다. 실험에서 검사한 항목은 수평, 수직 크기, 중심 맞춤, 선형도 등 총 10 가지이다. 각 항목의 검사는 데이터 취득, 선의 무게 중심 구하기, 각 분면 취득 데이터와 보정 데이터의 결합, 최종 결과 출력으로 이루어지는데, 데이터 취득을 제외한 나머지 데이터의 계산량은 거의 비슷하다. 표 1에서 각 검사에 소요 시간은 각 검사에서 필요한 취득 데이터 양과 거의 비례함을 알 수 있다. 따라서 소요 시간의 대부분은 데이터 취득에 걸리는 시간일 뿐, 이후의 처리는 고속으로 이루어짐을 알 수 있다. 이는 취득 영상의 분석, 처리를 별도의 GSP가 담당하므로써 얻어지는 결과이다. 실험 결과에 의하면 기하학적인 왜곡 검사를 전부 수행하는 시간은 500 ms 이내 ( 실제 428.8 ms ) 이다. 기하학적 왜곡 검사의 경우에 직사각형 모양의 패턴과 바

독판 모양의 패턴을 사용하게 되는데 패턴 교환 시간 약 500 ms 정도 소요된다. 충분한 여유 시간을 갖기 위해 1 초에 걸쳐 패턴 교환을 수행한다고 하면 전체 기하학적 왜곡 검사 시간은 2.5 초가 걸리게 된다. 따라서 개발된 모니터 검사 시스템을 사용하면 검사 시간이 30 초 주어지는 경우에 약 10 가지의 주파수에 대하여 기하학적 왜곡 검사를 수행할 수 있어 높은 생산성 향상을 기대할 수 있다.

표 1. 각 검사 항목의 동작 속도

Table 1. The execution time of each inspection item.

Inspection item	Execution time(ms)	Number of pixels needed in processing
Horizonatal size	74.3	1600
Vertical size	60.8	1200
Horizontal linearity	81.5	1600
Vertical linearity	66.6	1200
Horisontal center align	29.7	600
Vertical center align	33.3	600
Pincushion	31.2	600
Tilt	34.2	600
Parallelism	8.6	200
Trapezoid	8.6	200

검사의 정밀도와 건실성을 평가하기 위해 수평 디스플레이 크기와 수평 선형도를 20회에 걸쳐 반복 수행하여, 그 오차와 평균, 표준 편차를 구하여 표 2에 기록하였다. 이 실험은 시각 검사 시스템을 블랙박스로서 놓고, 이 블랙박스를 사용하여 여러번 측정을 수행하여, 블랙 박스의 반복 신뢰성(repeatability)에 대한 평가를 내리기 위한 것이다. 실제 시각 시스템에서의 정확한 정밀도 측정을 위해서는 카메라 시스템에 대한 오차 분석이 필요하다. 본 연구에서는 카메라 시스템의 오차는 고려하지 않았다. 수평 디스플레이 크기와 수평 선형도를 실험 항목으로 선택한 이유는 각각 가장 큰 측정치와 가장 복잡한 보정 과정을 가지기 때문이다. 실제 검사 대상 모니터의 실측 수평 디스플레이 크기와 수평 선형도는 243mm와 8.3%이다. 실험 결과 수평 디스플레이 크기의 최대 오차는 0.4mm 인데, 전술한 바와 같이 제작 시스템의 한 화소 정보는 14인치

모니터의 측정시 대략 0.4mm이므로 본 시스템 최대의 정밀도 이내의 오차임을 확인할 수 있다. 또한 0표준 편차 역시 0.18mm로서 제작 시스템의 건실도를 보장하는 결과를 얻을 수 있었다. 한편 수평 선형도의 최대 오차는 0.3%이고 실측치는 8.3%, 측정 평균치는 8.2%, 측정 표준 편차는 0.023%로서 역시 요구되는 정밀도를 만족한다.

표 2. 시각 시스템의 정밀도

Table 2. Accuracy of the vision system.

	Mesruement	Max. measurement error	Average of measurement	Std. dev. of measurement
Horizontal size (mm)	243.0	0.4	243.18	0.13
Horizontal linearity(%)	8.3	0.3	8.2	0.023

표 3에 컬러 데이터 측정 결과를 기록하였다. 컬러 데이터는 모니터의 색상 왜곡을 측정하기 위한 것으로 XYy 좌표를 사용하게 된다. XYy 좌표에서 X와 Y 좌표는 0 ~ 1.0 사이의 값을 갖고 y는 휘도신호(luminance)를 나타내게 된다. 실험에서는 14인치 컬러 모니터에서 임의의 단색 패턴을 디스플레이 한 후 이를 각각 컬러 분석기(color analyzer)와 제작 시스템으로 측정하여 이를 비교하였다. 실제 공정에서 요구되는 정밀도가 0.03 이내임을 고려할때 컬러 데이터 검색 역시 만족할 만한 실험 데이터임을 알 수 있다.

표 3. 컬러 검색의 실험 결과(10회 측정)

Table 3. The experimental results of color inspection(10 repetitive measurement)

	Measured value by using color analyzer			Mean error occurred usign the developed vision system		
	X	Y	y	X	Y	y
1	0.273	0.308	98	0.01	0.008	3.1
2	0.231	0.298	87	0.014	0.014	4.3

이상의 실험에서, 본 논문에서 개발한 모니터 자동 검사 시스템은 자동화 공정에 요구되는 정밀도와 고속 수행 능력을 만족하고 있음을 확인하였다. 개발된 시스템은 범용의 검사 시스템으로서의 요건을 충족하고 있으므로 검사 대상에 따른 적절한 보정 알고리즘의 변

화로써 다양한 분야에서의 자동 검사 시스템으로 이용될 수 있을 것이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 모니터 검사 자동화를 위한 고정밀 시각 시스템의 개발에 대해 기술하였다. 모니터 검사 자동화를 위해서는 정밀한 측정을 할 수 있는 알고리즘과 영상을 취득하고 검사 알고리즘을 수행할 수 있는 하드웨어 장치가 필요하다. 본 논문에서는 III 장에서 제시 한바와 같은 하드웨어의 설계 개념에 입각하여 모니터 자동 검사 시스템을 위한 영상 취득 및 처리 장치를 개발하였다.

첫째, 모니터 검사에 요구되는 정밀도를 고려하여 1대의 컬러 카메라와 4대의 흑백카메라로부터 아날로그 비디오 신호를 입력 받아 512×480의 해상도로 A/D 변환을 수행하는 기능을 갖는다. 둘째, 다기능 비전 보드는 영상 처리 결과를 문자 및 도형으로 나타내기 위한 그래픽 오버레이 기능을 가지며, 검사 알고리즘을 비전 보드 내부에서 자체적으로 처리하도록 하여 주 시스템의 부하를 줄였다. 셋째, 모니터의 화면 보정 알고리즘을 제시하였으며, 모니터 화면의 기하학적인 왜곡과 컬러 정보 왜곡 검사를 수행하는 알고리즘을 제시하였다. 넷째, 개발된 하드웨어와 검사 알고리즘을 마이크로소프트사의 윈도우즈 (MS-Windows) 환경하에서 통합하여 관리하도록하여 사용자의 편의성을 높였다.

공장의 생산 라인에서의 조립 검사나 부품 검사 등에서 자동 검사 장치를 사용하려면 본 논문에서 기술한 모니터 자동 검사 시스템의 경우보다 더 복잡한 검사 사양을 만족시켜야하며 더 높은 해상도의 영상을 요구하게 된다. 현재까지는 대부분의 검사 공정을 사람이 수행 하고 있으나 컴퓨터 비전 기술의 발달로 말미암아 앞으로는 많은 검사 공정이 자동 검사 장치를 사용하게 될 것이다. 따라서 보다 정밀하고 실제 생산 라인에 적용할 수 있는 시각 시스템을 이용한 지능 검사 시스템에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 전 병환, 윤 일동, 김 용환, 황 신한, 이 상욱, 최 종수, "SMT 자동화를 위한 시각 시스템의 실시간 구현", 전자공학회논문지 제 27권 제 6호, pp.129-138, 1990년 6월
- [2] D. Paul, W. Hattich, W. Nill, S. Tatari, and G. Winkler, "VISTA: Visual interpretation system for technical applications-architecture and use," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 10, no. 3, pp. 399-407, May 1988.
- [3] R. S. Wallace and M. D. Howard, "HBA vision architecture: built and benchmarked," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 11, no. 5, pp. 227-232, Mar. 1989.
- [4] B. K. P. Horn, *Robot Vision*, The MIT Press, 1986.
- [5] J. R. Parker, "Gray level thresholding in badly illuminated images," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 13, No. 8, pp 813-819, Aug. 1991.
- [6] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, New York : John Wiley & Sons, 1991.
- [7] 삼성항공, *CRT Color Analyer CA-100*, 삼성항공주식회사
- [8] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C.*, Cambridge university press, 1992.
- [9] J. W. McCord, *Developing Windows Applications with Borland C++3*, SAMS, 1992.

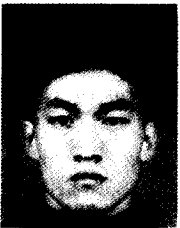
저 자 소 개



梁希秀(正會員)  
1986년 11월 3일생. 1991년 2월 서울대학교 공과대학교 제어계측공학과 졸업. 1993년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1996년 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는

컴퓨터비전.

金在亨(正會員) 1969년 8월 21일생. 1992년 2월 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1994년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1996년 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 VLSI 신호처리



朴祥鎬(正會員)  
1970년 4월 27일생. 1991년 2월 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1993년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1996년 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는

컴퓨터비전.



尹逸東(正會員)  
1965년 7월 21일생. 1989년 2월 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1991년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1996년 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는

컴퓨터비전.

李常郁(正會員) 제 29권 B편 참조  
현재 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 교수