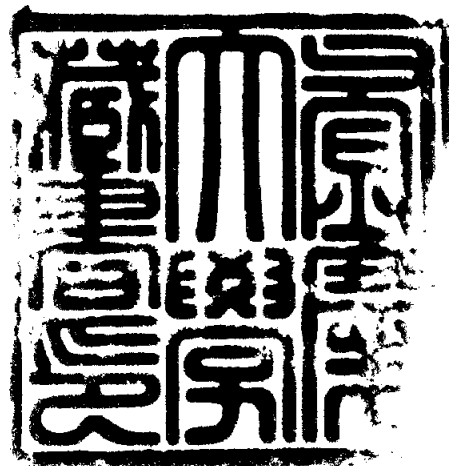


7
402
37
=2

工學碩士 學位論文

영상처리를 이용한 움직이는 다수 물체의 변위측정시스템의 개발



2003年 2月

釜慶大學校 大學院

機械設計學科

金 成 昱

工學碩士 學位論文

영상처리를 이용한 움직이는 다수 물체의 변위측정시스템의 개발

指導教授 金 相 奉

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2003年 2月

釜慶大學校 大學院

機械設計學科

金 成 昱

金成昱의 工學碩士 學位論文을 認准함

2002年 12月 25日

主 審 工學博士

권 순 재



委 員 工學博士

김 동 조



委 員 工學博士

김 상 봉



目 次

Abstract	1
제 1 장 서 론	2
1.1 연구 배경	2
1.2 목적 및 내용	3
제 2 장 시스템의 구성	5
2.1 영상장치	5
2.2 팬/틸트 및 컨트롤박스	8
2.3 모니터링 및 컨트롤 PC	11
2.4 계측소프트웨어 구성	11
제 3 장 영상처리를 이용한 다수의 물체 변위계측	18
3.1 다수의 관측점에 대한 변위계측원리	18
3.2 다수의 관측점에 대한 변위계측의 문제점과 해결방법	19
3.3 영상처리의 개념	23
3.4 관측점 인식과정	24
3.4.1 영상 캡처	25
3.4.2 그레이화	26
3.4.3 이진화	27
3.4.4 영상 축소	36
3.4.5 영상 팽창	38
3.4.6 영상 채움	39
3.4.7 레이블링	41
3.5 관측점 도심계산법	43

제 4 장 실험 및 고찰	45
제 5 장 결론	55
참고 문헌	56

Real-time Displacement Measurement System for Multiple Moving Objects Based on Image Processing Technique

Sung Wook Kim

*Department of Mechanical Design, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

The paper introduces a development result for displacement measurement system of multiple moving objects based on image processing technique. The image processing method adopts inertia moment theory for obtaining the centroid of the targets and basic processing algorithms of gray, binary, closing, labeling and etc. To get precise displacement measurement in spite of multiple moving targets, a CCD camera with zoom is used and the position of camera is changed by a pan/tilt system. The fiducial marks on the fixed positions are used as the sensing points for the image processing to recognize the position errors in directions of X - Y coordinates. The precise alignment device is pan /tilt of X - Y type and the pan/tilt is controlled by DC servomotors which are driven by 80c196kc microprocessor based controller.

The centers of the fiducial marks are obtained by a inertia moment method. By applying the developed precise position control system for multiple targets, the displacement of multiple moving targets are detected automatically and are stored in the database system in a real time. By using database system and internet, displacement datas can be confirmed at a great distance and analyzed. The developed system shows the effectiveness such that it realizes the precision about 0.12mm in the position control of $X-Y$ coordinates.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

오늘날, 건축분야에서는 구조물의 안정성을 중요시하고 있다. 구조물은 날씨와 같은 외부의 많은 요인들로 인하여 붕괴될 가능성을 항상 가지고 있다. 특히 산악지역이 많은 나라에서는 도로나 도로사면의 붕괴, 대형 교각의 붕괴 등 많은 위험이 존재하고 있다. 또한 산업발달과 더불어 건설공사가 대규모화되거나 건설현장이 도심지에 조성되는 사례가 빈번해지면서, 건설재해 발생시 사회적, 경제적인 손실이 과거에 비할 수 없이 커지고 있는 실정이다. 특히, 지반분야의 경우는 현장 조사, 설계, 시공 및 사후관리에 이르기까지 많은 불확실성 요인을 내포하고 있고, 이러한 불확실성 요인으로 인한 재해가능성이 상존하는 실정이어서 위험요인이 존재한다고 판단되는 현장에 대한 정보화시공 및 계측관리가 절실하다.

모든 관측대상물을 사람이 직접 눈으로 관측하는 것은 거의 불가능하며 사람이 관측하는 것은 부정확하다. 그러므로 이러한 계측 및 감시시스템은 무인화와 자동화가 이루어져야 할 것이다. 현재 몇몇 선진국들은 이러한 사고를 사전에 방지하기 위한 연구가 시행되어지고 있다. 이러한 이유로 현재 국내에서도 국가 기관을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있지만 아직까지 부족한 실정이다.

일반적으로, 건설 구조물의 직접적인 변위발생량에 대한 정량적인 계측은 경제적인 문제 혹은 적합한 계측센서 선택의 어려움 등으로 인해 측량에 의한 수동적인 방법이 주로 사용되고 있으며, 실시간에 자동으로

계측하여 시공관리 혹은 시공 이후의 사후 계측관리에 활용하는 경우는 드물다. 특히, 댐, 사면, 흙막이 등 지반공학분야의 경우에는 이러한 문제 이외에도 지표 지반의 변위측정에 사용될 계측센서의 적절한 설치 위치를 결정하기 위하여 사전에 변위발생이 예상되는 지점에 대한 정확한 예측이 선행되어야 하는 문제가 있어 통상 직접적인 지표부분의 변화량을 측정하기보다는 지중경사계, 간극수압계 등을 이용한 지중상태에 대한 계측을 통해 구조물의 안정성을 판단하고 있다.

최근 이러한 어려움을 극복하기 위한 대안으로 비접촉식 방식을 사용하는 경우가 있는데, 예를 들면 초음파, 레이저 등을 이용한 기술들을 말한다. 그러나 이러한 방식은 장비의 고가로 많은 분야에서 적용을 하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 비접촉식 방식을 사용하면서 많은 분야에 저가로 적용할 수 있는 영상처리시스템의 개발이 요구되고 있다.[1]

1.2 목적 및 내용

최근 물체를 인식을 하는데 CCD카메라를 이용한 영상처리기술이 많이 연구되고 많은 부분에서 응용되고 있다. 이러한 영상처리기술을 건축 분야에 적용하여 센서를 설치하거나 사람이 계측기로 직접 측정하기 어려운 구조물의 변위를 계측하고자 한다.[2]

본 논문에서는 줌 CDD카메라로부터 얻어지는 아날로그 영상신호를 이미지그래버(Image Grabber)보드를 이용하여 디지털화하고 이 신호를 컴퓨터로 영상처리 알고리즘을 바탕으로 분석하여 구조물의 변위를 계측하는 영상처리기술과 하나 또는 그 이상의 관측대상물의 많은 부분을 관측하기 위해 마이크로프로세서기술과 PC응용기술을 접목한 실시간 무인

감시 시스템을 소개한다.

이 시스템은 건설 구조물의 변위를 실시간으로 측정함으로써 구조물의 상태를 미리 예측하여 붕괴와 같은 사고로 인한 여러 가지 재산피해 및 인명피해를 사전에 예방하고자 하는데 목적을 두고 있다. 또한 비전문가도 현장을 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 획득되는 데이터를 데이터베이스화하여 효율적으로 저장, 관리하였으며 현장에서의 관측결과를 원거리에 떨어진 중앙관측소에서 관측이 가능하게 하였다. 또한, 관리자가 계측프로그램을 통하여 변화를 바로 확인할 수 있게 하여 시공관리 혹은 시공 이후의 사후 계측관리에 활용될 수 있도록 하였다.

관측대상물의 표적을 인식하기 위해서 여러 가지의 영상처리 알고리즘이 적용되었으며 계측환경에 따라 컬러모드와 흑백모드를 선택할 수 있도록 하였다. 다수의 표적을 관측하기 위해서 마이크로컨트롤러를 사용하여 두 개의 DC모터를 제어하여 CCD카메라의 상하좌우 회전이 가능하게 함으로써 면적이 넓은 구조물도 관측이 가능하게 하였다. 또한 줌 렌즈를 장착함으로써 대상관측물이 매우 먼 거리에 있어도 관측이 가능하게 하였다. 본 시스템의 실험을 통하여 0.12mm의 정밀도를 갖는 것을 알 수 있었다.

제 2 장 시스템의 구성

본 논문에서 소개되는 무인감시시스템은 영상처리부분을 담당하는 소프트웨어부분과 카메라의 움직임을 제어하는 하드웨어부분으로 나뉜다. Fig. 2.1은 이 시스템의 전체구성도를 나타내고 있다.

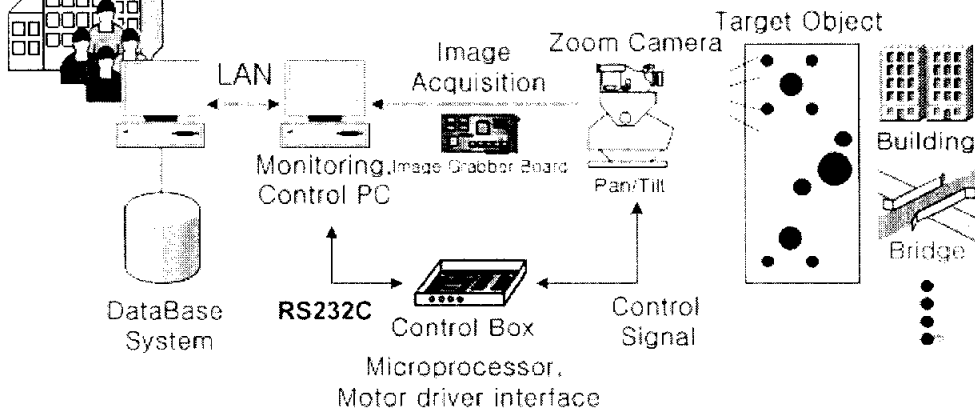


Fig. 2.1 Schematic configuration of developed system

2.1 영상장치

영상장치에는 Fig. 2.1에 나타낸 것과 같이 아날로그 영상신호를 받아들이는 CCD(Charge Coupled Device) 카메라 및 캠코더와 대상물체의 관측점을 확대하여 더 정확하고 정밀하게 얻기 위한 줌 렌즈, 아날로그 신호를 디지털로 바꾸는 이미지 그레버보드로 구성된다. Table 1은 본 시스템에서 사용된 영상장치의 구성을 보이고 있다.

Table 1 Configuration of the vision system

Items	Models	Spec.
CCD-Camera	IK-642K	■ Image pickup device : 1/2" IT CCD Image Sensor ■ Image pickup device : Hor- 6.54mm / Ver-4.89mm ■ Resolution : Hor- 470 TV lines / Ver- 350 TV lines ■ Standard subject illumination : 120 Lux (f1.2, 3000K) ■ Video output : VBS 1V p-p, NTSC
camcorder	CCD-TR315	■ Digital zoom : 180× ■ Optical zoom : 18× ■ Horizontal 280 lines
Frame-grabber board	Bandit	■ Integrated VGA Card and Video Digitizer ■ Display 1600 x 1200 in high color or 1280 x 1024 in true color ■ Simultaneous NTSC/PAL Interlaced and VGA Outputs ■ SGRAM-based VGA Configuration controller features 3D acceleration ■ Double buffering for tear-free displays

Photo. 2.1과 Photo. 2.2, Photo. 2.3은 실제 영상장치를 나타낸 것이다.

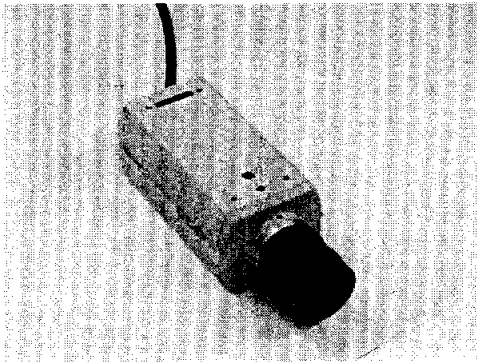


Photo. 2.1 CCD camera



Photo. 2.2 Camcorder

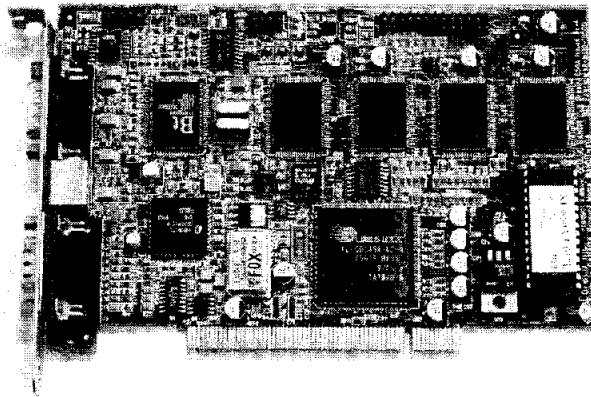


Photo. 2.3 Frame-grabber board

일반적으로 CCD카메라는 컬러가 지원되며 노이즈가 많지 않는 제품으로 선택하는 것이 좋으며 줌 렌즈는 광학 줌이 많이 되는 것이 좋지만 적용할 구조물에 맞는 것을 고르는 것이 중요하다. 이미지 그레버보드는 컬러를 지원하면서 프레임메모리가 많으며 처리속도가 빠른 것을 선택하는 것이 바람직스럽다고 할 수 있다.

2.2 팬/틸트 및 컨트롤박스

팬/틸트는 CCD카메라를 장착하는 장치로서 수평·수직을 자유로이 회전할 수 있다. 상하좌우로 각각 회전하기 위해서 DC모터를 두 개 장착하여 수평방향으로 0°에서 355°, 수직방향으로 -60°에서 30°로 회전가능하게 하였으며 컨트롤박스의 신호에 의해서 구동된다. DC모터의 회전속도는 3000rpm이며 속도를 감속하기 위해서 감속비가 1:10인 기어박스과 원통형 웜기어를 사용하였다. 웜기어에 맞물려 팬/틸트를 직접적으로 회전시키는 기어의 잇 수를 57개로 하여 1분당 약 5바퀴를 회전할 수 있도록 하였다. 기어의 백래쉬에 의해 발생하는 위치오차를 해결하기 위해 목표지점근처에서 기준점 위치 보증에 의한 영상처리의 개념을 이용하였다. Photo. 2.4는 팬/틸트의 외형적인 모습을 나타내고 있다.

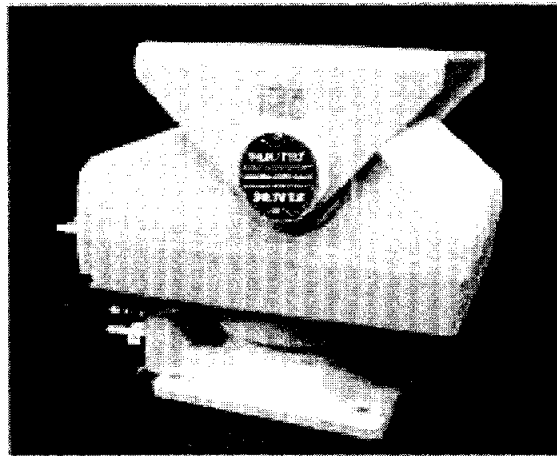


Photo. 2.4 Pan/tilt

컨트롤박스는 마이크로컨트롤러와 모터구동회로, 전원공급장치로 구성된다.

마이크로컨트롤러는 Intel사의 80C196KC를 채택하였으며 모니터링 PC와 통신을 위해서 RS232C를 사용하였고 위치의 검출을 위해 포텐서미터를 사용하였으며 포텐서미터의 값을 읽기 위해서 마이크로컨트롤러의 A/D기능을 사용하였다. Photo. 2.5는 마이크로컨트롤러가 장착된 보드를 나타내고 있다.

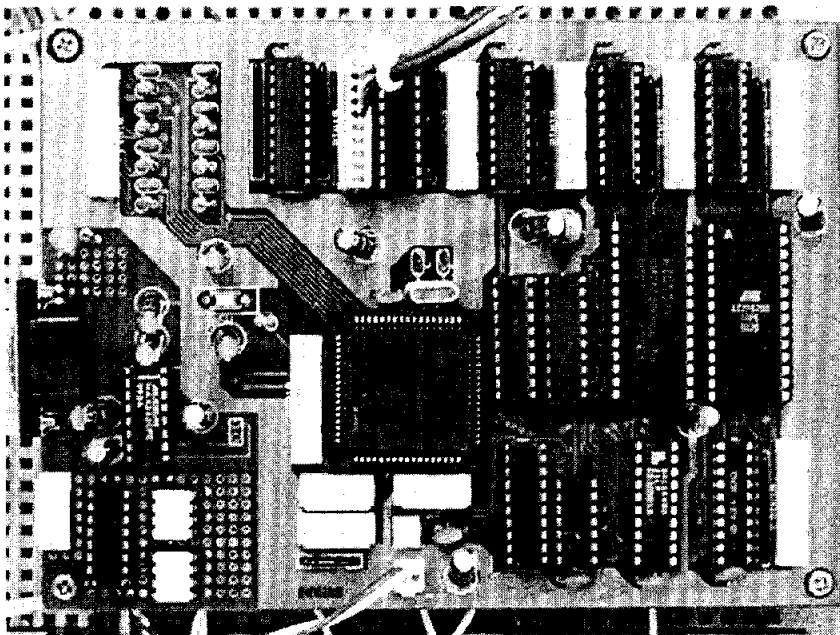


Photo. 2.5 Microcontroller board

또한 마이크로컨트롤러는 PC로부터의 신호에 따라 DC모터를 구동하는 펄스를 발생시키는데 DC모터를 구동하기 위해서는 모터구동회로가 필요하다. Photo. 2.6은 구동드라이버를 나타내고 있다.

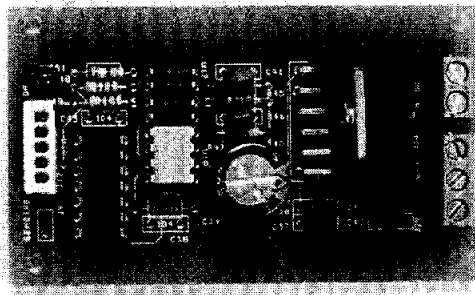


Photo. 2.6 DC motor driver

전원공급장치는 마이크로컨트롤러를 구동하기위한 5V전압과 모터를 구동하기위한 12V전압이 동시에 출력되는 것을 사용하였다.

Photo. 2.7은 컨트롤박스의 옆모습을 나타내고 있으며 여러 개의 케이블연결소켓과 외부전원입력소켓, 컨트롤박스 전원스위치가 있는 것을 알 수 있다.

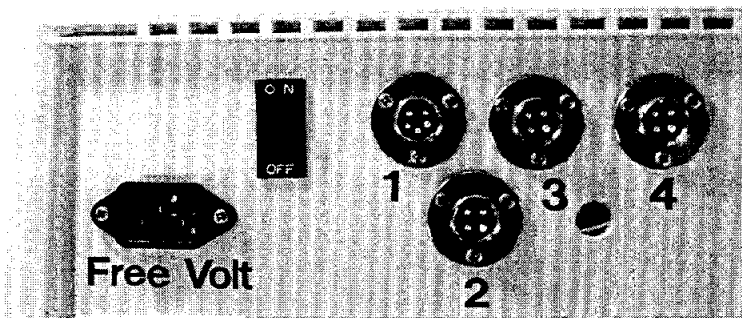


Photo. 2.7 Side of control box

케이블연결소켓은 각각 모니터링PC와 팬/틸트로 연결이 되며 통신을 하게 된다.

2.3 모니터링 및 컨트롤PC

모니터링 및 컨트롤 PC는 이미지 그레버보드로부터의 디지털 영상데이터를 프로그램 화면상으로 관찰자에게 보여줌과 동시에 여러 가지 영상처리 알고리즘을 통해서 영상데이터를 분석하여 대상물의 관측점에 대한 정보를 얻어서 저장하고 이전 데이터들과 비교함으로써 대상물의 변위변화를 계측하는 역할을 한다. 또한 다수의 물체를 관측하기 위해서 RS232C를 이용하여 컨트롤박스로 특정한 신호를 보내 역할을 하며 이 신호에 의해서 마이크로컨트롤러는 두 개의 DC모터를 구동하게 되는 것이다.

관측결과는 데이터베이스에 저장되어 현재의 관측결과와 이전의 관측결과를 비교하여 현재 변위가 얼마나 변했는가 하는 것을 판단하고 데이터베이스 시스템의 데이터를 분석함으로써 지속적으로 얼마의 변위가 생겼는지를 알 수가 있는 것이다.

본 시스템에서는 마이크로소프트사의 윈도우즈98과 펜티엄4 프로세서를 장착한 PC를 사용하였다. PC의 성능은 영상처리의 속도와 관련 있으므로 고성능일수록 좋다.

2.4 계측소프트웨어 구성

계측소프트웨어는 영상을 분석하여 관측점들에 대한 정보를 획득하고 저장하는 부분과 현재관측상태와 관측결과를 확인할 수 있게 하는 디스플레이하는 부분, 다수의 물체를 관측하기 위한 팬/틸트를 구동하는 부분으로 구성된다. Fig2.2는 계측소프트웨어의 실행화면을 나타내고 있으며 각각의 기능에 따라 번호를 표시해 놓았다. 각각의 기능은 다음과 같

다.[12]

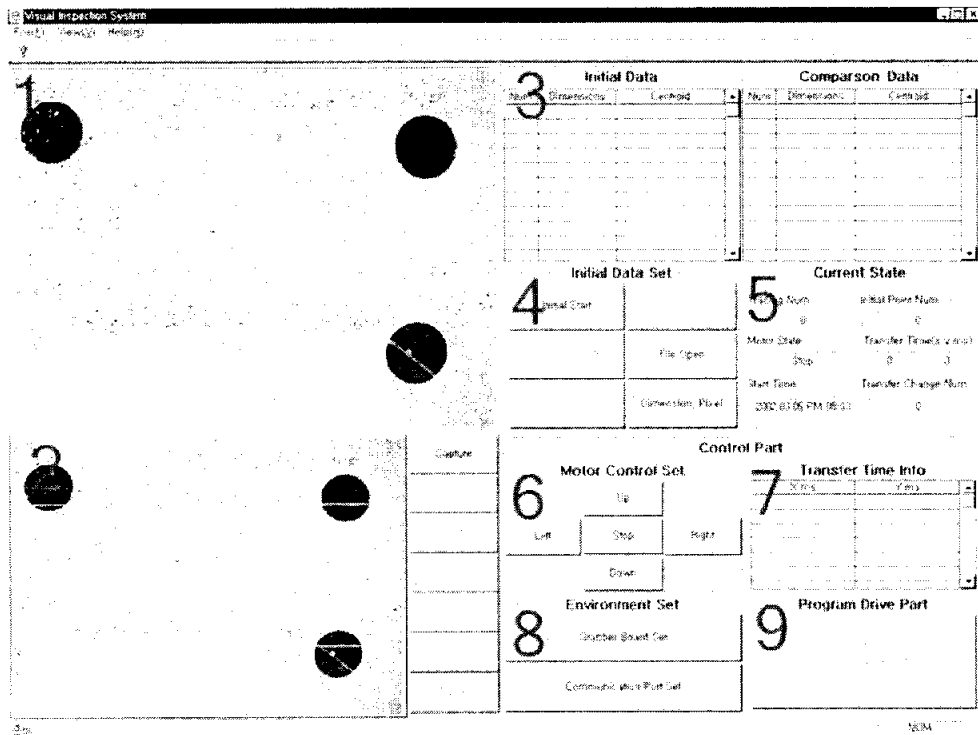


Fig. 2.2 Monitoring display screen of the measurement software

'1'은 실시간 계측을 하는 동안에 실시간 영상이 나타나는 영역이다.

'2'는 '1'에 보이는 실시간 영상을 캡처하여 여러 가지 영상처리를 수행한 후에 결과영상을 보여주는 영역과 여러 가지 영상처리를 수행하는 버튼들로 구성된다. Fig. 2.3은 '2'의 영상처리 기능버튼을 확대하여 각각의 기능을 나타낸 것이다.

Capture
Gray
Binary
Edge
Dilation
Erosion
Closing
Labeling

Fig. 2.3 Function buttons for Image processing

각각의 상세한 영상처리기능은 3장에서 설명하도록 한다.

‘3’은 두개의 그리드로 구성되며 왼쪽에 있는 그리드는 관측점의 초기데이터가 표시되고 오른쪽의 그리드는 관측점의 비교데이터가 표시된다. 초기데이터는 구조물이 변화되기 전의 상태데이터를 말하고 비교데이터는 실시간으로 계측되는 데이터로 계속해서 초기데이터와 비교하게 된다. 이 비교값이 구조물의 변위를 나타낸다. Fig. 2.4는 프로그램의 실제 초기데이터와 관측데이터의 그리드를 나타내고 있다.

Initial Data			Comparison Data		
Num	Dimensions	Centroid	Num	Dimensions	Centroid
1	16437	(288, 159)	1	15932	(288, 160)
2	3646	(541, 312)	2	3949	(542, 312)
3	3805	(67, 322)	3	3695	(67, 322)

Fig. 2.4 Initial data grid and comparison data grid

Fig. 2.4에서 알 수 있는 정보는 관측점의 개수가 3개인 것을 알 수 있으며 각각의 면적, 도심을 알 수 있다. 그리고 세 개의 점들 중에 픽셀 면적이 가장 큰 것을 기준으로 하여 초기데이터와 비교데이터를 비교해보면 x축과 y축에 대한 변위는 없는 것으로 판단된다.

‘4’는 초기데이터를 설정하는데 사용되는 버튼과 환경설정버튼들로 구성된다. Fig. 2.5는 ‘4’의 버튼들을 나타낸 것이다.

[Initial Data Set]	
Initial Start	Save File
Set Inital Data	Open File
Exit Initial	Initial Envir Set

Fig. 2.5 Buttons of initial data set

좌측의 3개의 버튼들은 관측점의 데이터를 초기화하는 버튼이고 우측의 3개의 버튼들은 환경을 설정하는 버튼이다. 이 중에서 “Initial Envir Set”버튼은 관측점의 최대·최소면적을 설정하고, 1mm당 픽셀 수, 계측 반복 횟수를 설정하는 기능을 한다. 최대·최소면적을 설정하는 이유는 영상처리결과에서 최소면적에 미달하는 물체와 최대면적을 초과하는 물체를 노이즈로 판단하기 위한 것이다.

‘5’는 현재의 계측상태를 나타내는 영역으로 Fig. 2.6에 나타나 있다. Fig. 2.6으로부터 전부 10개의 관측점을 계측하고 있고 현재 10개 중에 2번째 관측점을 계측하고 있으며 모터의 상태는 정지해 있다는 것을 알 수 있다. 여기서 중요한 항목은 “Change Num”인데 3개의 변위가 발생했다는 사실이다. 이 변위데이터는 데이터베이스에 저장되고 관리자가

확인할 수 있다.

[Current State]			
Tracing Num		Initial Point Num	
2		10	
Motor State		Transfer Time(X, Y)	
Stop		1255	2341
Error		Change Num	
0		3	

Fig. 2.6 Current state frame

'6'은 Fig. 2.2에 보이듯이 수동으로 모터를 상하좌우로 움직이게 하는 버튼들로 구성되어 있으며 이것은 초기데이터를 얻을 때 사용하게 된다. 또한 마우스의 사용이 힘든 관리자를 위해 키보드의 화살표 키를 이용하여 이와 똑같은 기능을 구현하였다.

'7'은 다수의 관측점을 계측할 때 관측점들 간의 상대적인 위치를 시간으로 나타낸 그리드이다. 이 때의 시간의 의미는 첫 번째 관측점에 대해 초기데이터를 얻은 후 두 번째 관측점으로 카메라를 옮길 때 모터를 구동하게 되는데 이때 모터가 구동된 시간을 말한다. 여기서의 시간은 PC타이머를 이용하였으며 단위는 ms이다. Fig. 2.7은 시간데이터의 예를 나타낸다.

[Time Info]		
X axis	Y axis	
0	0	
1057	0	
1057	963	
-106	963	

Fig. 2.7 Time information between target points

그리드의 위에서부터 차례대로 첫 번째 관측점의 시간정보이고 마지막이 네 번째 관측점의 시간정보이다. 첫 번째 관측점의 시간정보는 항상 (0,0)이 된다. 이것은 기준이 되는 시간을 의미한다. 여기서 두 번째 줄을 보면 (1057,0)이라는 것을 알 수 있는데 이것의 의미는 첫 번째 관측점으로부터 오른쪽으로 1057ms(1000ms당 1.2°회전)만큼 회전하여 두 번째 관측점의 데이터를 얻었다는 의미이다. 세 번째 줄은 (1057,963)인데 이것은 두 번째 관측점으로부터 아래쪽으로 963ms만큼 회전하였다는 의미이다. 즉 그리드의 시간데이터는 각각의 관측점들 간의 상대적인 시간데이터를 의미하는 것으로 이것을 이용하여 다수의 물체를 계측한다. 하지만 팬/틸트내의 기어의 백래쉬나 PC타이머의 부정밀도를 고려해야 한다. 그래서 기준점을 이용한 영상처리를 병행하여 정확한 위치를 찾은 후에 변위를 계측한다.

‘8’은 이미지 그레이보드의 명암, 밝기, 농도, 색, 채널을 설정할 수 있는 버튼과 모니터링PC의 통신포트를 선택하는 버튼으로 구성된다.

‘9’는 모든 관측점에 대한 초기데이터설정이 끝난 후 시스템을 구동하는 버튼이다. 버튼을 누르면 자동으로 모든 관측점에 대한 계측이 시작된다. 자동계측은 관리자가 설정한 횟수만큼 수행할 수 있도록 되어 있다.

이 프로그램은 컬러모드와 흑백모드를 지원하여 관측점의 색깔을 한 가지로 선택하거나 여러 가지로 선택할 수 있도록 하였다. 두 가지 모드를 실제 적용대상에 테스트하여 결과가 좋은 모드를 선택하면 된다. 흑백모드에 비해 컬러모드는 RGB컬러값을 지정하는 과정이 더 추가된다.

본 시스템은 계측과정에서 변위가 발생한 관측점에 대한 정보를 데이터베이스에 모두 저장하며 ‘5’에 현재 변위발생수를 나타낸다. 그러므로 관리자는 변위의 변화를 한눈에 알 수 있으며 이후에 데이터베이스에 저

장된 데이터를 재확인함으로써 얼마의 길이만큼 변화가 발생하였는지 알 수 있다.

제 3 장 영상처리를 이용한 다수의 관측점에 대한 변위계측

3.1 다수의 관측점에 대한 변위계측원리

본 논문에서는 카메라를 고정시켜 놓고 한 부분만을 관측하는 기존 시스템을 벗어나 다수의 대상물에 대한 다수의 관측점을 계측할 수 있도록 하였다.

Fig. 3.1은 두 영역(①, ②)의 관측점을 감시하는 예를 나타내고 있으며 아래에 다수의 관측점에 대한 계측원리를 단계별로 설명하였다.

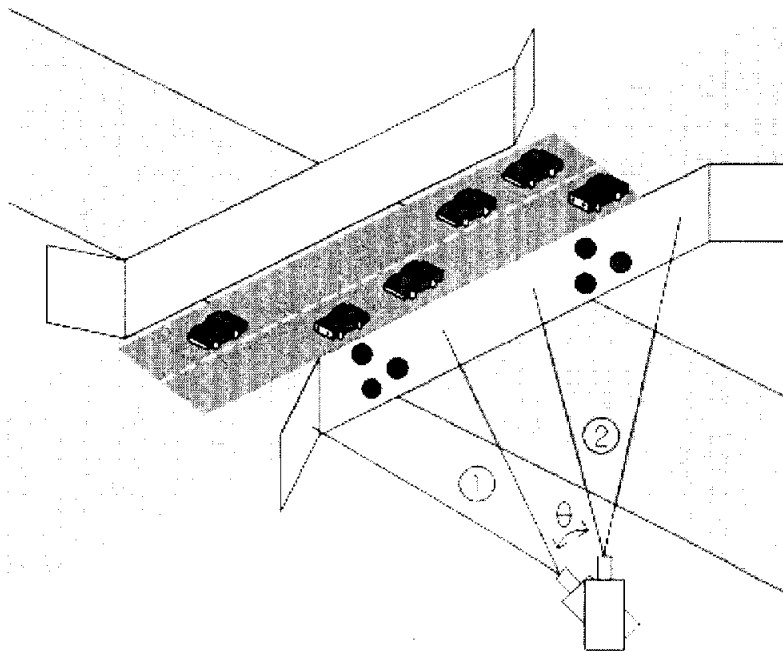


Fig. 3.1 Measurement principle of the multiple observation points

먼저 시스템 관리자는 관측대상물체의 자동계측을 위해 한번은 아래와 같은 과정을 통하여 시스템의 초기데이터를 설정해야 한다.

(1) 모니터링과 컨트롤용PC를 이용하여 팬/틸트의 모터를 구동하여 카메라를 영역①에 위치시킨다.

(2) 관측점 인식과정을 이용하여 영역①에 있는 세 개의 점에 대한 초기데이터(개수, 면적, 도심)를 얻는다.

(3) 다시 PC를 이용하여 팬/틸트를 구동시켜 다음 관측영역인 영역②에 카메라를 위치시킨다. 이때 Fig. 3.1의 θ 만큼 회전할 때의 시간정보가 계측소프트웨어의 시간정보그리드(7)에 저장되고 그 때의 포텐서미터의 값도 계측소프트웨어에 의해 메모리 상에 저장된다. 이 데이터들은 팬/틸트를 자동으로 구동하기 위한 정보이다.

(4) 두 번째 과정과 마찬가지로 관측점 인식과정을 이용하여 영역②에 있는 세 개의 점들에 대한 초기데이터(개수, 면적, 도심)를 얻는다.

이렇게 관측하고자 하는 영역에 대해서 위의 과정과 같은 작업이 모두 끝나게 되면 모든 영역에 대한 점들의 초기데이터는 계측프로그램에 의해서 저장된다. 초기화 작업이 끝난 후 다시 맨 처음 관측영역(여기서는 영역①)으로 카메라를 위치시킨다. 이 과정이 끝난 후 계측소프트웨어의 실행버튼을 누르면 초기데이터를 얻은 영역순서대로 PC타이머의 시간정보와 포텐서미터값을 이용하여 팬/틸트를 구동하고 관측점에 대해 영상처리를 하여 변위를 계측하게 된다.

3.2 다수의 관측점에 대한 변위계측의 문제점과 해결방법

다수의 물체를 관측하기 위해서 팬/틸트를 상하좌우로 회전시키는데 정확한 회전을 하기 위해서는 관측점들 사이의 상대적인 위치를 결정할

수 있는 값들이 필요하다. 그래서 관측점들 간의 상대적인 위치를 결정하기 위해 PC타이머와 포텐서미터를 이용하였다. 하지만 이 방법들은 정확한 위치를 결정하는데 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫 번째는 윈도우즈 운영체제가 가지고 있는 PC타이머의 부정확성이고 두 번째는 노이즈에 의한 포텐서미터값의 오차이다. 여기에 팬/틸트에 사용된 기어의 백래쉬도 고려해야한다. 그러므로 이 두 가지 방법만을 이용하면 정확한 변위를 계측할 수 없다. 만약 팬/틸트의 회전이 0.1° 라도 오차가 생기면 정확한 변위의 측정이 불가능하다. 특히 먼 거리에 있는 물체를 계측하기 위해 고배율의 줌 렌즈를 사용할 경우에는 더욱 그러하다.

본 시스템에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 PC타이머와 포텐서미터를 이용한 방법과 더불어 관측영역에 관측점들과 크기가 다른 기준점을 각각의 영역에 표시하고 이 기준점에 대한 영상처리를 이용하여 팬/틸트의 위치를 보정하였다.

Fig. 3.2는 기준점을 이용한 자동변위계측의 전체적인 순서도를 나타낸 것으로 전체적인 계측순서는 다음과 같다.

먼저 시스템 관리자는 관측하고자하는 대상물에 여러 영역에 대해 관측점과 기준점을 표시한다. 3.1에서 설명한 순서대로 모든 관측영역의 점들에 대한 초기데이터를 계측소프트웨어로 저장한다. 모든 관측영역에 대한 데이터를 얻은 후에 카메라를 다시 첫 번째 영역으로 위치시킨 후 계측소프트웨어를 실행한다. 계측소프트웨어는 다음과 같은 실행을 반복한다.

첫 번째 영역에 대한 초기데이터 중에 기준점의 도심과 실시간으로 계측되고 있는 첫 번째 영역에 대한 기준점의 도심이 일치할 때까지 영상처리를 통하여 팬/틸트의 위치를 보정시킨다. 기준점의 도심을 일치시킨 후에 나머지 관측점들의 도심을 비교한다. 만약 변위가

발생했을 경우에는 계측소프트웨어의 계측결과표시부에 표시되며 데이터베이스에 변위발생시간과 변위량 등이 저장된다.

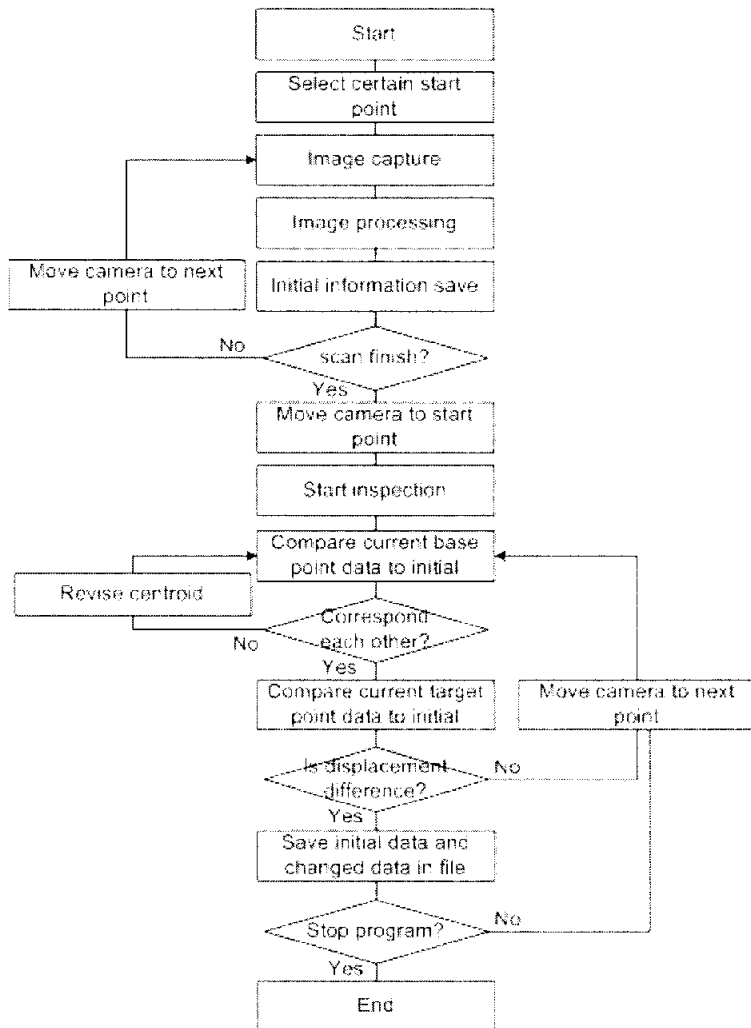


Fig. 3.2 Flow chart of measurement algorithm

첫 번째 영역의 변위계측이 끝나고 나면 두 번째 관측영역으로 팬/틸트를 회전하게 되는데 일단 PC타이머정보와 포텐서미터의 값을

이용하여 목표로 하는 영역의 근접한 위치까지 팬/틸트를 회전시킨다. 그런 다음에 첫 번째 영역에서 설명한 것과 같이 두 번째 영역의 초기기준점의 도심과 현재 관측되고 있는 기준점의 도심이 일치할 때까지 팬/틸트의 위치를 보정한다. 일치한 후 나머지 관측점들의 변위를 계측한다. 이런 과정은 모든 관측영역에서 동일하다. 이렇게 영상처리를 이용하여 기준점의 위치를 정확하게 일치시키는 방법을 이용하여 카메라의 정확한 위치를 결정하였다.

따라서 계측소프트웨어는 실행과 동시에 모든 작업을 자동으로 처리한다. 시스템 관리자는 단지 변위가 발생했는지 소프트웨어의 계측결과 표시부를 확인만 하면 되는 것이다. 또한 자동계측 중에 시스템을 정지시키고 싶으면 언제든지 정지버튼을 누르면 된다.

또 하나의 문제점은 바로 줌렌즈의 사용과 측정거리의 관계에 있다.

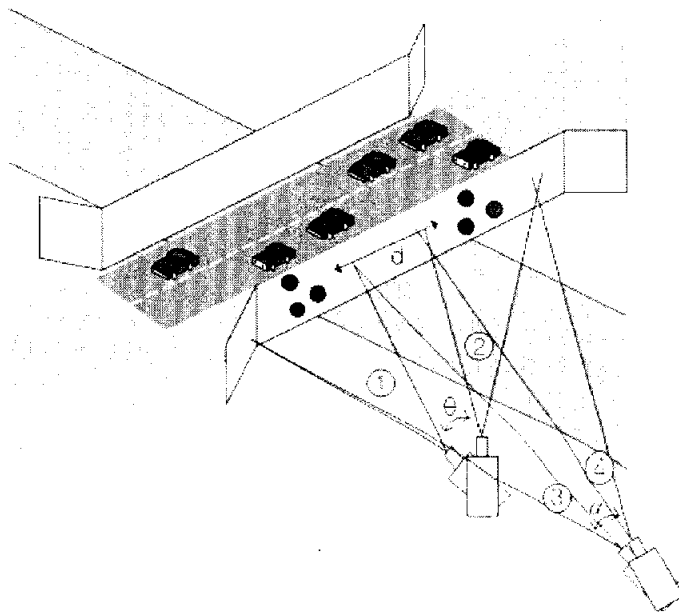


Fig. 3.3 Case of the different measurement distance

예를 들어 Fig. 3.3과 같이 측정거리를 다르게 하여 같은 관측점을 관찰한 경우를 생각해보자. 단, 화면상의 관측점의 크기를 줌렌즈를 이용하여 똑같이 한다. 가까운 위치에서 관측점을 계측한 카메라(①, ②)는 멀리서 계측한 카메라(③, ④)에 비해서 회전각이 크다($\theta > \alpha$). 즉 관측대상과 카메라사이의 거리가 멀수록 약간의 회전오차에도 관측점에 대한 거리오차가 더 크게 생긴다는 것을 Fig. 3.3을 통해서 알 수 있다. 그러므로 고성능 줌을 이용하여 비교적 큰 물체를 멀리서 관측하고자 하는 경우에는 관측영역들 사이거리 d가 팬/틸트의 회전오차범위이내에 있으면 관측점을 감지하지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 팬/틸트의 회전오차범위내에 관측점들을 위치시키면 안 되고 관측영역들사이의 거리를 어느 정도 유지하는 것이 중요하다. 줌렌즈의 역할은 작은 관측점을 계측소프트웨어에 원하는 크기로 나타내게 하여 영상처리를 적용할 수 있도록 하는 점도 있지만 관측점의 선명도를 좋게 위해서 사용하고 있다. 다음 장부터는 관측점을 인식하기 위한 영상처리에 대해서 좀 더 상세히 다뤄보도록 하겠다.

3.3 영상처리의 개념

디지털 영상처리는 멀티미디어 시대에 있어 중요한 역할을 하는 영상을 컴퓨터를 이용하여 처리하는 분야이다. 인간은 기본적으로 시각적인 생물이다. 환경에 대한 정보 중 99%이상을 눈에 의존한다. 영상처리란 이처럼 우리에게 친숙한 영상을 카메라나 스캐너 등을 통하여 전자적으로 얻은 후, 여러 가지 목적에 따라 컴퓨터와 여러 가지 알고리즘을 적용하여 처리하는 것이다.

넓은 의미로의 영상처리는 컴퓨터를 이용하여 영상을 생성, 처리하고 영상을 해석, 인식하는 영상과 관련된 모든 분야를 의미한다. 영상 처리의 분야는 주로 영상조작, 영상분석, 영상인식, 영상통신으로 나뉜다.

본 시스템에서는 이러한 여러 가지 분야에서도 영상분석과 영상인식 알고리즘에 중점을 두고 있다. 즉, 기준점과 관측점의 픽셀면적을 계산하여 기준면적에 만족하는 점들만을 추출하여 노이즈를 제거하고 추출된 관측점들의 도심, 화면상의 좌표와 전체 점들의 개수를 계산하여 데이터 베이스 시스템에 저장, 분석하여 변위를 측정하는데 영상처리를 사용하였다. 또한 기준점을 이용하여 팬/틸트의 회전에 대한 정확한 위치결정을 위한 것이다.

3.4 관측점 인식과정

본 시스템에서는 가로 640픽셀, 세로 480픽셀의 컬러영상을 영상처리를 이용하여 다음과 같은 단계로 관측점의 수와 면적, 도심의 정보를 획득하였다.

- (1) 영상(컬러)을 캡처한다.
 - (2) 영상(컬러)을 그레이화한다.
 - (3) 영상(그레이)을 흑과 백으로 표현되는 이진화를 한다.
 - (4) 대체로 크기가 작은 노이즈 제거를 위해서 영상 축소와 팽창을 한다.
 - (5) 영상축소와 팽창을 적용한 후에 남아 있는 노이즈를 제거한다.
 - (6) 영상인식을 위해 레이블링하여 영상면적, 도심, 개수를 파악한다.
- Fig. 3.4는 위의 단계를 실제 영상에 적용한 것을 나타내고 있다.

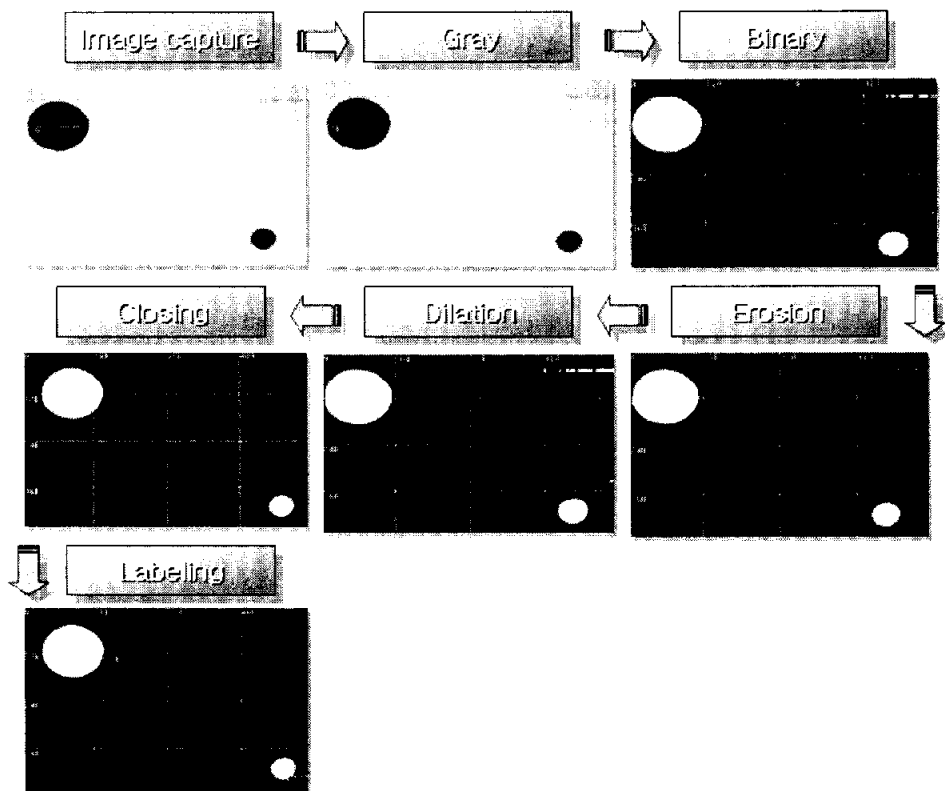


Fig. 3.4 Recognition procedure of the observation point

본 논문에서 적용한 각각의 영상처리단계에 대해 자세히 알아보도록 한다.[6][7][8][9][10][13]

3.4.1 영상 캡처(Capture)

CCD카메라로부터 얻어지는 영상데이터는 모니터링PC에 설치된 이미지 그래픽보드의 버퍼에 컬러데이터로 저장된다. 컬러데이터는 흔히 우리가 일상생활을 하면서 눈으로 보이는 영상이나 영화나 TV에서 보는 영상과 같다. 이 데이터를 영상처리하기 위해서

계측소프트웨어를 이용하여 PC메모리로 다시 저장한 후 소프트웨어 화면상에 나타낸다.

3.4.2 그레이화(Gray)

그레이 데이터는 흑백카메라로 찍은 흑백영상을 생각하면 쉽게 이해할 것이고 색상은 없으며 명암의 농도만으로 입체를 표현하고 주로 영상처리에 많이 이용된다.

컬러영상에서의 각각의 픽셀은 RGB(R:Red, G:Green, B:Blue) 성분으로 구성된다. RGB 모형은 컴퓨터 그래픽 시스템의 설계를 간단히 하지만, 모든 어플리케이션에 이상적이지는 않다. 빨강, 초록, 파랑의 컬러 요소들은 상호관계가 너무 크다. 이러한 이유로 몇몇 영상처리 알고리즘들을 적용하기에는 어렵기 때문에 컬러영상을 명암으로만 표현되는 그레이영상으로 전환한다. 그레이영상을 영상처리하는 방법에는 히스토그램을 주로 이용하는데 예를 들어 히스토그램 평활화와 같은 많은 영상 처리 기술들은 영상의 명암도 요소만으로 진행된다. 영상을 RGB 컬러에서 명암도 등급으로 변환하기 위해서는 다음과 같은 수식을 사용한다.[9]

$$\text{명암도} = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (3-1)$$

R, G, B는 메모리 상에 1바이트(byte)씩 할당되며 각각 256등급을 가진다. 위 식을 보면 R과 B성분보다 G성분에 상대적으로 높은 값을 곱하는 것을 볼 수 있는데 이것은 인간의 눈이 G성분에 더욱 민감하기 때문이다. 이렇게 계산된 명암도를 R, G, B성분 메모리에 각각 동일하게 삽입하면 명암도를 나타내게 된다. Fig. 3.5

는 이 식을 실제 영상에 적용한 것을 나타낸다.

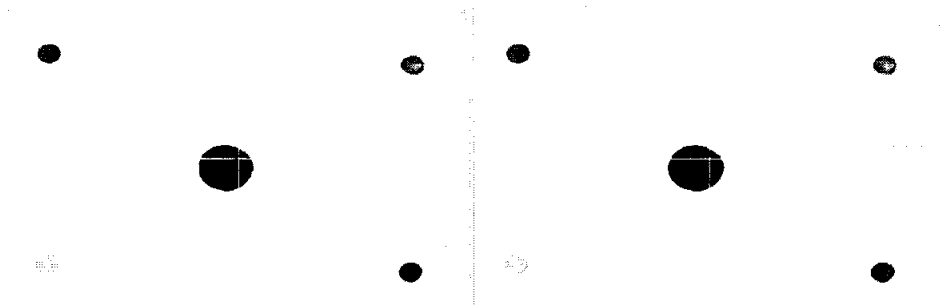


Fig. 3.5 Color image and gray image

본 시스템에서는 흑백모드와 컬러모드를 지원한다고 하였다. 흑백모드에서는 이 단계를 실행하지만 컬러모드에서는 컬러데이터를 그대로 사용하기 때문에 이 단계는 제외된다.

3.4.3 이진화(Binary)

이진화란 그레이 영상을 경계값(threshold)에 따라 흑과 백으로 구성된 두 가지 색으로만 영상을 나타내는 것을 말한다. 입력 영상의 각 화소에 대해서 명도가 있는 일정한 값 이상의 경우에 대응하는 출력영상의 화소값을 1로 하고 그 외의 경우는 0으로 하는데 여기서 말한 일정한 값을 경계값이라고 한다. 경계값 처리를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (3-2)$$

여기에서 $f(x, y)$, $g(x, y)$ 는 각각 영상처리 후의 (x, y) 에 있는

화소의 농담값을 나타내고, t 는 경계값(threshold)을 나타낸다. 이것을 다음 식과 같이 반대로 표현 할 수도 있는데 이것은 시스템 개발자의 선택에 의해 결정된다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \leq t \\ 0 & f(x, y) > t \end{cases} \quad (3-3)$$

영상처리에서 배경과 물체를 구분하는 것은 매우 중요하다. 사람은 학습을 통해서 한 영상을 보고 물체와 배경을 쉽게 구분하지만, 컴퓨터 입장에서 배경과 물체의 구분은 상당히 어려운 부분이다. 이 부분을 해결하기 위한 하나의 방법이 경계값을 이용하는 것이다.

본 시스템에서는 경계값을 어떻게 설정하고, 경계값을 기준으로 어떻게 영상데이터를 처리하는가에 대해서 흑백모드와 컬러모드를 각각 분리해서 알아보도록 한다.

■ 흑백모드

흑백영상을 이진화하는 방법에는 두 가지 방법으로 수동 경계값 입력법[3]과 자동 경계값 계산법[4][5]을 사용하였다.

- 수동 경계값 입력법

시스템의 사용자가 임의로 경계값을 결정할 수 있게 하였다. 경계값을 결정하는 몇 가지 방법 중에 일반적으로 히스토그램을 이용한다. 히스토그램 영상의 명암값의 분포를 보여주기 위해 사용되는 아주 유용한 도구이다. 이 히스토그램을 사용하여 영상의 구

성 즉, 명암 대비 및 명암값 분포에 대해 자세히 알 수 있다. 히스토그램은 단지 화소가 가진 명암값들을 막대그래프로 표현한 것이다. x 축은 화소가 가질 수 있는 명암값을 나타내고 y 축은 각 명암값이 가진 빈도수를 나타낸다. 예를 들어 Fig. 3.6은 4×4 픽셀영상을 나타낸 것이다.

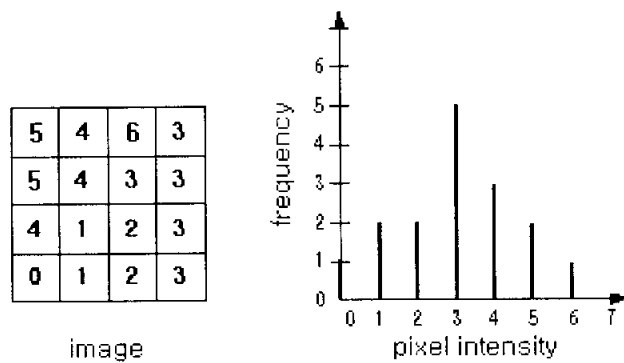


Fig. 3.6 Histogram

Fig. 3.6에서도 알 수 있듯이 '3'값을 가진 픽셀의 수가 가장 많은 것을 알 수 있다. 보통 영상의 히스토그램은 Fig. 3.7의 형태를 갖는다.

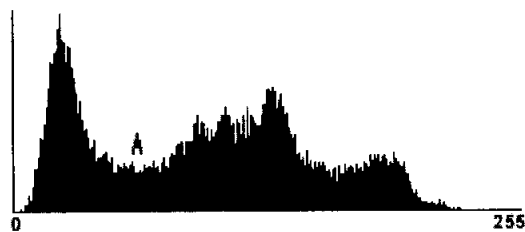


Fig. 3.7 General form of histogram

히스토그램에서 경계값을 선택하는 방법은 일반적으로 골짜기 부분이 깊숙이 나타나는 부분을 선택한다. 보통 Fig. 3.7에서 'A'라고 표시되어 있는 부분이다.

따라서 수동입력방법은 실제 관측영상을 여러 번 이진화해서 히스토그램을 분석한 후 사용자가 알맞은 값을 선택한다. Fig. 3.8에서 Fig. 3.11은 여러 가지 경계값을 적용한 결과를 나타낸다.

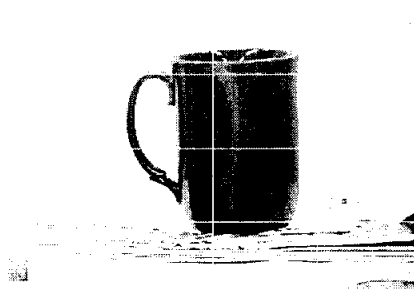


Fig. 3.8 Original image(Cup)

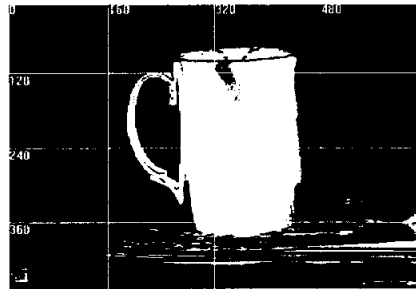


Fig. 3.9 Threshold 100



Fig. 3.10 Threshold 127

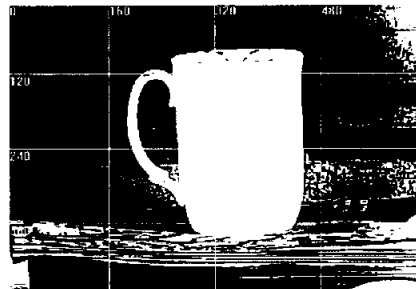


Fig. 3.11 Threshold 200

- 자동 경계값 계산법

자동으로 경계값을 결정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 그 중에서도 본 논문에서는 최대 분산을 이용하는 방법을 사용하였다. 예를 들어 Fig. 3.12는 두 개의 계층을 가지는 히스토그램을 나타내고 있다.

이 그림에 나타난 히스토그램을 이용하여 아래에 열거된 수식

을 적용하면 그림에서 k 부분이 경계값으로 선택되게 된다.

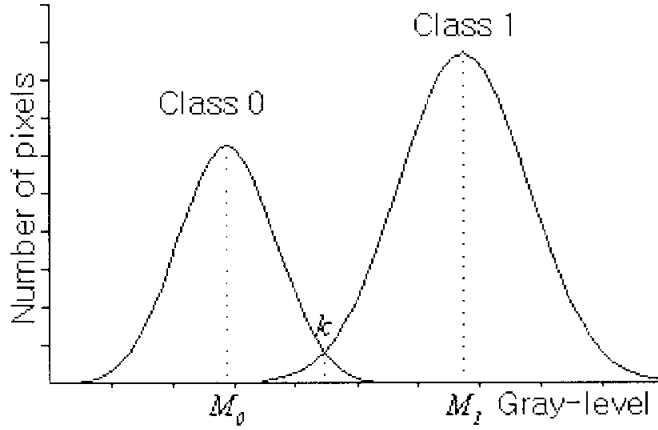


Fig. 3.12 Statistical meanings of bimodal histogram

$$\text{전체 픽셀 수 : } N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (3-4)$$

$$\text{각 그레이레벨의 확률 : } p_i = \frac{n_i}{N} \quad (3-5)$$

$$\text{Class0이 일어날 확률 : } \omega_0 = \sum_{i=0}^k p_i = \omega(k) \quad (3-6)$$

$$\text{Class1이 일어날 확률 : } \omega_1 = \sum_{i=k+1}^m p_i = 1 - \omega(k) = 1 - \omega_0 \quad (3-7)$$

$$\begin{aligned} \text{Class0의 평균값 : } M_0 &= \sum_{i=1}^k i \cdot p(i/C_0) \\ &= \sum_{i=k+1}^m \frac{i p_i}{\omega_0} = \frac{M(k)}{\omega(k)} \end{aligned} \quad (3-8)$$

$$\begin{aligned}
\text{Class1의 평균값} : M_1 &= \sum_{i=k+1}^m i p(i/C_1) = \sum_{i=k+1}^m \frac{ip_i}{\omega_1} \\
&= \frac{M - M(k)}{1 - \omega(k)}
\end{aligned} \tag{3-9}$$

$$M = \sum_{i=1}^m ip_i \tag{3-10}$$

$$M(k) = \sum_{i=1}^k ip_i : \text{전체 샘플링값의 평균값} \tag{3-11}$$

$$M = \omega_0 M_0 + \omega_1 M_1 \tag{3-12}$$

→ 두 클래스 간의 분산 :

$$\begin{aligned}
\sigma_B^2 &= \sigma^2(k) = \omega_0 (M_0 - M)^2 + \omega_1 (M_1 - M)^2 = \omega_0 \omega_1 (M_1 - M_0)^2 \\
&= \frac{[M\omega(k) - M(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]}
\end{aligned} \tag{3-13}$$

→ 클래스내의 전체분산 :

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^m (i - M)^2 p_i = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \tag{3-14}$$

→ 최적경계값은 η 를 최대화한다.

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \tag{3-15}$$

즉, 이때의 경계값(k)는 최적의 경계값이 된다.

Fig. 3.13는 Fig. 3.8을 자동 경계값 계산법을 적용한 결과를 나타내고 있다.

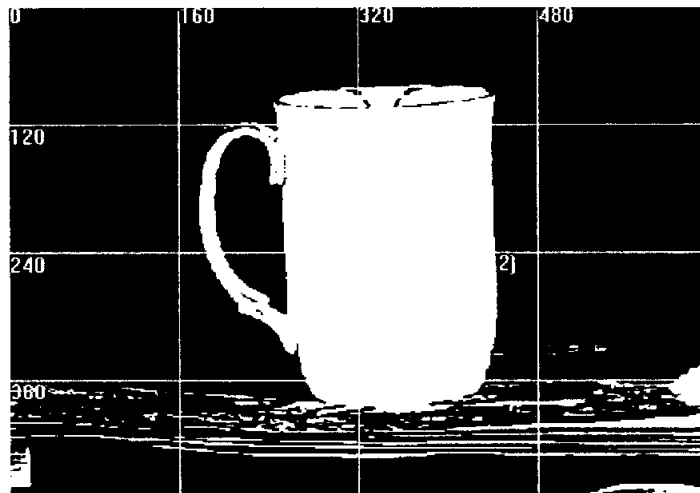


Fig. 3.13 Binary image using auto threshold method

본 시스템에서는 수동계산법과 자동계산법의 결과영상을 분석하여 실제 계측환경에서 좋은 관측결과를 나타내는 조건을 선택하였다. 따라서 실제 계측환경에 따라 관리자의 적절한 선택이 중요하다.

■ 컬러모드

흑백모드에서는 히스토그램을 이용한 명암도의 분포를 이용하여 경계값을 구하여 이진화를 하였다. 하지만 컬러모드에서는 이런 명암도에 대한 분포를 사용하지 않기 때문에 히스토그램을 사용하지 않는다. 즉, 그레이화 단계를 필요로 하지 않는다.

본 논문에서는 캡처된 컬러영상에서 사용자가 직접 마우스를 사용하여 화면상에 원하는 물체의 색상을 드래그하는 방식으로 RGB값을 얻는다. 모든 대상물체의 관측점들에 대한 RGB저장한 후에 HSI로 전환한 후 색상감지를 통해서 자동감시가 시작된다.

Fig. 3.14은 5개의 각각 다른 색깔을 가진 관측점들의 RGB값을 얻는 화면을 나타내고 있다.

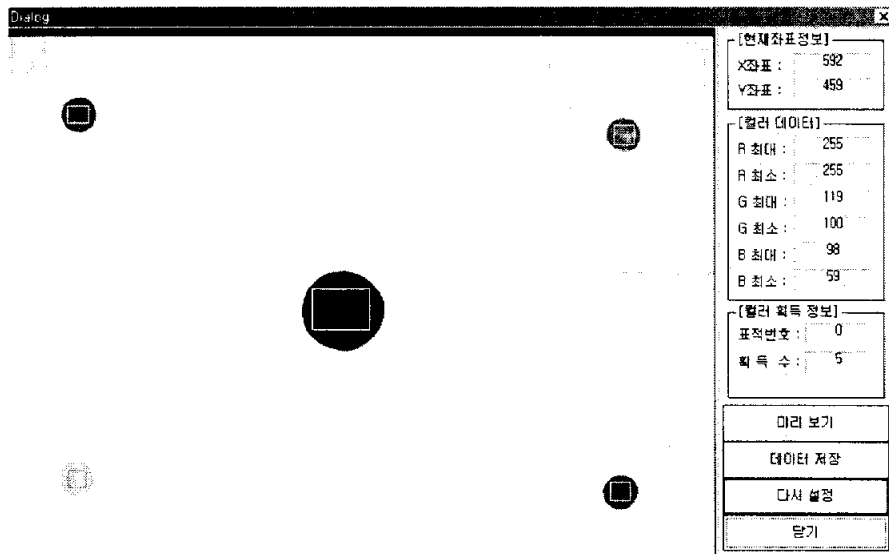


Fig. 3.14 RGB color data acquisition screen

위 그림에서 가운데 큰 점은 기준점을 나타내고 나머지 점들은 관측점을 나타낸다. 모든 점들에 대한 컬러데이터를 얻기 위해 마우스를 사용하여 각각의 점들에 대해 마우스드래그를 하였다. 그림에서 나타나듯이 각 점들 내에 사각형이 그려진 것을 볼 수 있다. 그리고 이렇게 얻어진 컬러데이터를 오른쪽 하단에 위치한 "미리 보기"버튼을 이용하여 컬러영상에 적용해보면 Fig. 3.15의 결과화면을 얻을 수 있다.

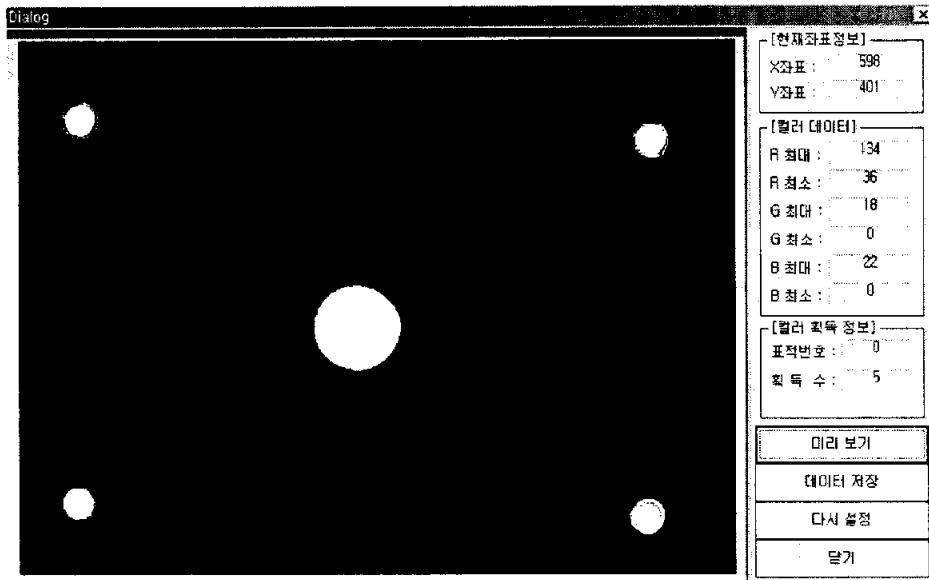


Fig. 3.15 Binary image using RGB color data

이러한 작업을 관측하고자하는 모든 점들에 대해 적용하여 컬러데이터 획득이 완료가 된 후에 자동감시를 시작한다.

RGB값은 순간 변화량이 심하므로 HSI컬러모델로 전환한다. H, S, I는 각각 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Intensity)로 나타나는 컬러모델이다. 많은 어플리케이션이 HSI컬러 모형을 사용한다. 예를 들어 진한 빨강색을 분홍색으로 바꾸기 위해서는 단순히 채도를 조절하면 되고 어두운 것을 밝게 하려면 명도를 변경하면 된다. RGB컬러모델을 HSI컬러모델로 전환하는 식은 다음과 같다.[9]

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (3-16)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \quad (3-17)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} [(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad (3-18)$$

이러한 컬러모드를 사용하는 이유는 대상물체의 관측점에 대해 명암도가 확실하게 구분되지 않는 상황에서는 흑백모드를 사용할 수 없기 때문이다. 하지만 컬러모드는 흑백모드에 비해서 실행속도가 약간 느리므로 두 가지 모드를 적절하게 사용하는 것이 중요하다.

3.4.4 영상 축소(Erosion)

이진화단계를 거친 이진영상은 많은 노이즈를 가지고 있다. 이러한 상태에서 관측점 인식단계를 적용하면 불필요한 노이즈에 대한 정보도 함께 얻어지게 되므로 미리 영상의 잡음을 제거하는 일은 중요하다. 이 과정을 전처리라고 부르며, 이 단계는 이후의 영상처리를 쉽게 하기 위해 미리 영상처리를 행하는 것을 말한다. 그러나 전처리를 수행한 후의 출력 2진 영상에 노이즈가 있을 경우, 후처리로서 노이즈를 제거하지 않으면 안 된다. 후처리 과정은 영상 채움에서 다루도록 한다.

축소연산은 물체의 외각 픽셀을 축소하는 기능을 하여 물체는 작아지고 배경은 커지는 효과를 얻는다. 이것은 영상내의 비교적 작은 입자들, 즉 노이즈라고 판단이 되는 것은 제거하는 역할을 한다.

본 논문에서는 축소연산을 위해 다음과 같은 마스크를 사용하였다.

255	255	255
255	255	255
255	255	255

Fig. 3.16 Mask for erosion operation

Fig. 3.17은 이진영상과 영상 축소한 결과를 서로 비교할 수 있도록 합쳐놓은 영상이다.

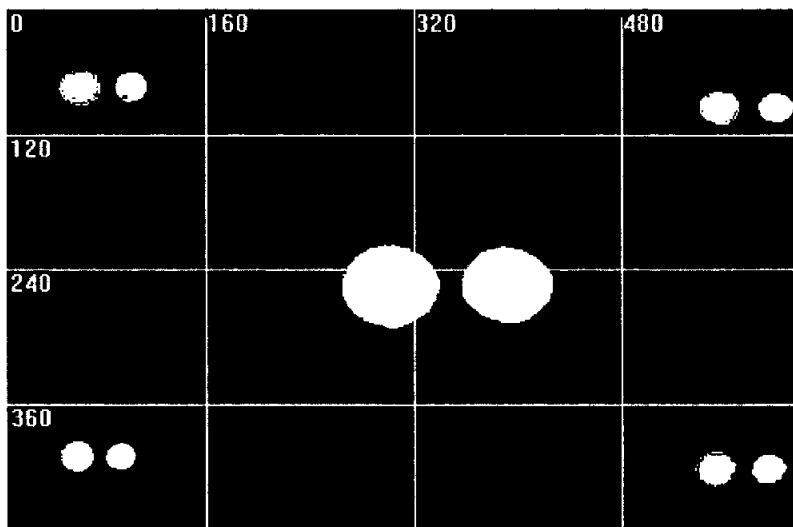


Fig. 3.17 Comparison between binary and erosion images

위의 그림에서 각각의 쌍을 이루는 관측점들에서 왼쪽에 있는 점이 이진영상의 점이고 오른쪽에 있는 점이 영상 축소를 적용한 점이다. 각각의 두 점을 비교해보면 외각이 축소되면서 테두리에 있는 노이즈들이 제거된 것을 알 수 있다.

3.4.5 영상 팽창(Dilation)

팽창연산은 축소연산과는 반대로 물체의 외각 픽셀을 확대하는 기능을 하여 물체는 커지고 배경은 작아지는 효과를 나타낸다. 이 알고리즘을 적용한 이유는 관측점내의 구멍과 같이 비어있는 공간을 채우고 축소연산에 의해서 작아진 외곽을 원래의 크기로 복원하기 위해서이다.

본 논문에서는 팽창연산을 위해 다음과 같은 마스크를 사용하였다.

0	0	0
0	0	0
0	0	0

Fig. 3.18 Mask for dilation operation

Fig. 3.19은 Fig. 3.15의 팽창연산을 적용한 결과를 나타낸 것으로 이진화된 점과 팽창을 적용한 점을 겹쳐서 나타내어 서로를 비교할 수 있도록 나타내었다.

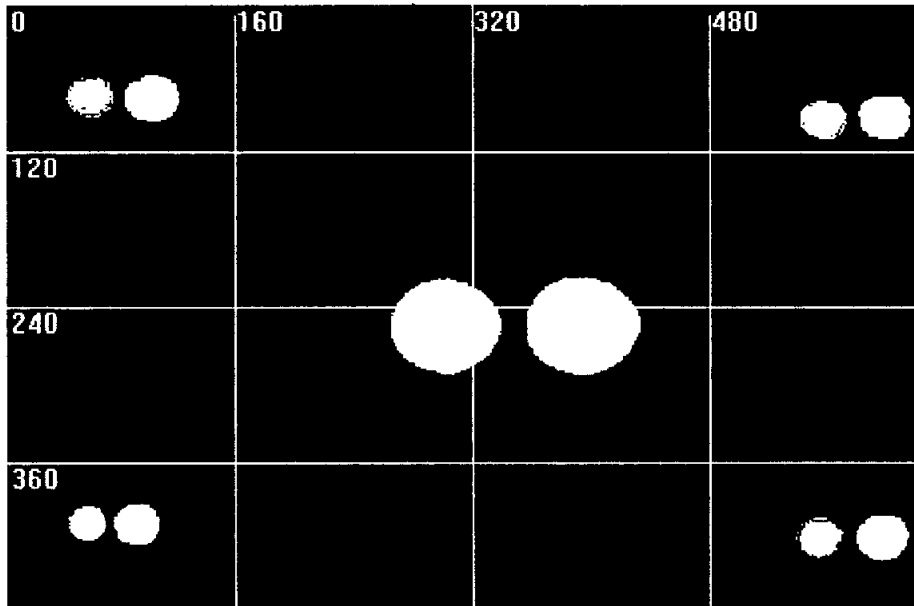


Fig. 3.19 Comparison between binary and dilation images

축소연산의 결과그림인 Fig. 3.17과 마찬가지로 각각의 쌍을 이루는 관측점들 중에서 왼쪽에 있는 점이 이진영상의 점이고 오른쪽에 있는 점이 영상 팽창을 적용한 점이다. 각각의 두 점을 비교해보면 외각이 확대되면서 테두리에 있는 노이즈들과 점들 내에 존재하는 빈공간이 채워지는 것을 알 수 있다.

3.4.6 영상 채움(Closing)

영상 팽창과 영상 축소를 사용하면 노이즈를 제거할 수 있다는 것을 앞에서 살펴보았다. 하지만 이것은 미세한 노이즈에 대해서만 적용되며 어느 정도의 크기를 가지는 점들은 여전히 남아있을 가능성이 있다. 이런 불필요한 점들은 데이터를 처리하는데 시간을 느려지게 할 뿐만 아니라 정확한 정보를 얻는데 방해가 된다.

그래서 점들 중에 사용자가 지정한 픽셀면적이하의 점들은 노이즈로 판단하여 제거하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 관측점의 내부에 구멍이 존재하면 채우는 역할과 관리자가 설정한 최소면적에 미달되는 점들에 대해 노이즈로 판단하여 제거하는 알고리즘을 개발하였다.

Fig. 3.20는 예로서 영상 팽창과 영상 축소를 적용하고 난 후 이진영상을 나타낸 것이다. 우측상단에 보면 면적이 작은 점들을 볼 수 있는데 이러한 작은 점들은 노이즈라고 판단이 된다. 왜냐하면 대상물체에 관측점을 표시할 때 관측점의 크기를 관리자가 미리 알고 있기 때문이다. 계측소프트웨어에서 관측점의 최대·최소면적을 설정해 놓으면 조건에 만족하지 않는 점들은 노이즈로 판단하고 채워버린다.

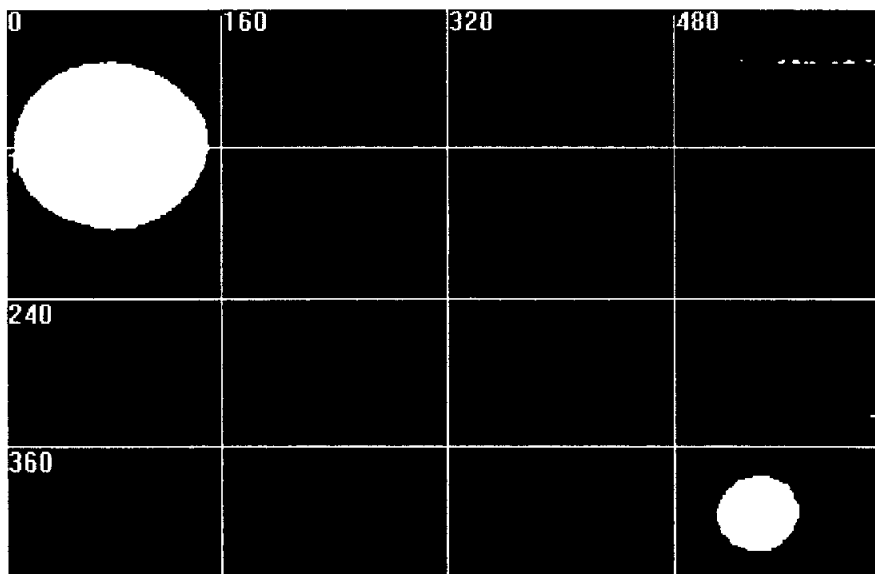


Fig. 3.20 Image before closing operation

Fig. 3.21은 Fig. 3.20에 채움연산을 적용한 결과를 나타내고 있으며 우측상단의 점들이 제거된 것을 알 수 있다.

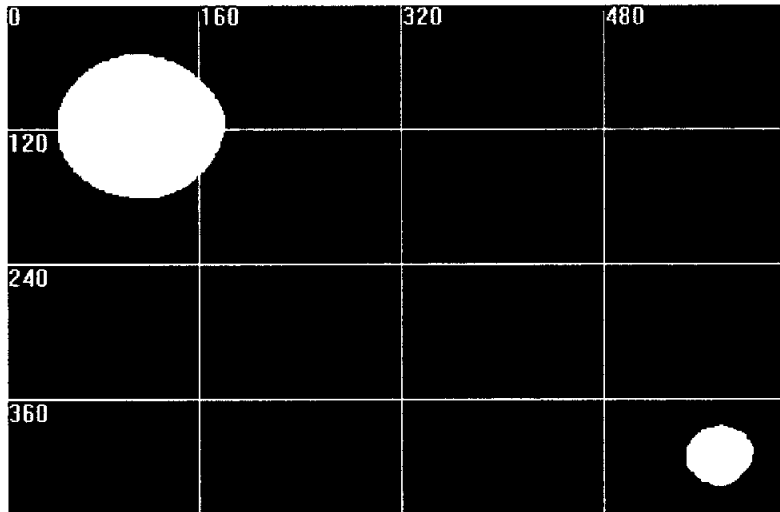


Fig. 3.21 Image after closing operation

3.4.7 레이블링(Labeling)

본 시스템의 최종목표는 관측점들의 변위를 감시하는 것이라고 할 수 있다. 레이블링은 이러한 관측점들의 정보를 얻는 핵심적인 단계라고 할 수 있다.[6][7][11] 이 알고리즘은 관측점의 개수를 파악하는 역할과 각각의 관측점들의 면적, 도심을 정보를 획득하는 역할을 한다. 여기서 가장 중요한 것이 도심 정보인데 이것을 이용하여 변위를 판단하는 것이다. Fig. 3.22은 Fig. 3.21에 레이블링을 적용한 영상이다.

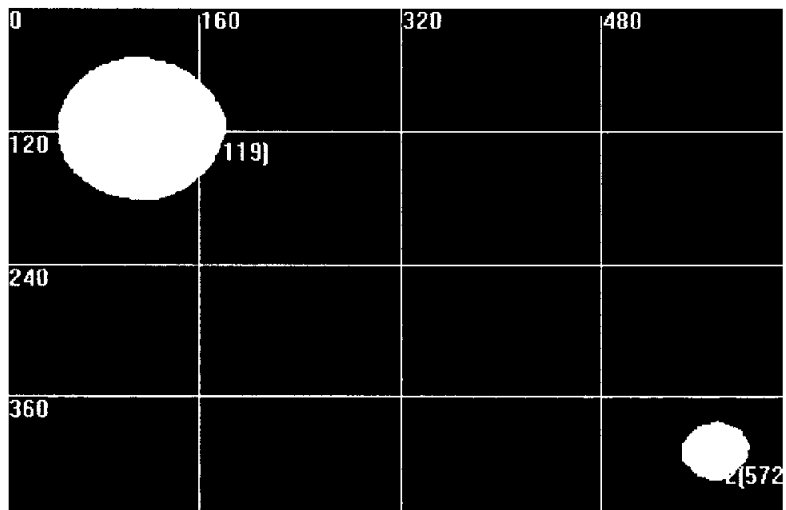


Fig. 3.22 Image after labeling operation

위 그림을 통해 2개의 관측점에 대한 번호와 도심의 좌표를 알 수 있다. 또한 앞장에서 소개한 계측프로그램의 오른쪽 상단에 있는 그리드(3)에 저장되어 Fig. 3.23와 같이 나타난다.

Num	Dimensions	Centroid	▲
1	13112	(114, 119)	
2	2145	(572, 412)	
			▼

Fig. 3.23 Information grid for observation points

3.5 관측점 도심계산법

본 논문에서는 변위를 측정하는데 도심을 사용하였다. 관측점에 대한 초기데이터의 도심과 실시간으로 측정되는 도심 간의 픽셀차이를 실제거리로 환산하여 변위를 측정하였다.

관측점의 도심을 구하기 위해서 관성모멘트법을 적용하였다. Fig. 3.24과 아래의 식은 관성모멘트에 대해서 언급하고 있다.

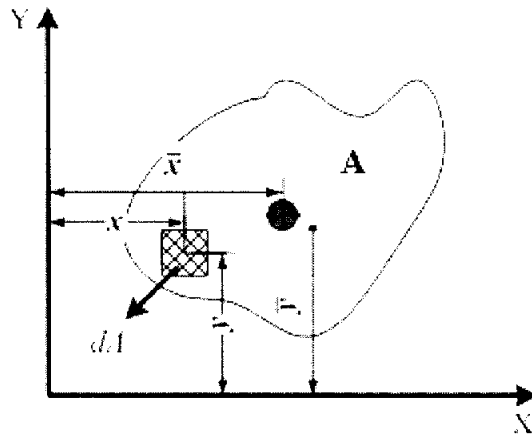


Fig. 3.24 Schematic description of inertia moment

여기서, M_x 와 M_y 는 x 축방향과 y 축방향으로 면적 A 에 대한 각각의 면적1차모우멘트를 나타내며 다음 식과 같이 표현된다.

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \int_A x dA = \bar{x}A \\ M_y &= \int_A y dA = \bar{y}A \end{aligned} \right\} \quad (3-19)$$

위 식에서 $\bar{x}, \bar{y}$ 는 전체면적의 도심좌표를 나타내며 식(3-19)를 다시 표현하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{A} \int_A x dA = \frac{\int_A x dA}{\int_A dA} \\ \bar{y} &= \frac{1}{A} \int_A y dA = \frac{\int_A y dA}{\int_A dA} \end{aligned} \right\} \quad (3-20)$$

위 식에서 알 수 있듯이 도심을 구하기 위해서는 물체의 총면적을 구해야 한다. 식(3-20)을 영상인식과정인 레이블링 알고리즘 내에 적용하여 관측점들의 면적을 구하고 픽셀좌표를 이용하여 도심을 구해낸다.

제 4 장 실험 및 고찰

본 논문에서는 두 가지 실험을 하였으며 첫 번째 실험은 모형상자에 변위를 측정하기 위한 표적과 모래를 채운 후 압축장치로 상자의 상단부에서 아랫방향으로 모래 위를 누른다. 그러면 모래가 압축되면서 모래 속에 설치된 관측점들도 함께 아랫방향으로 함께 내려가게 된다.

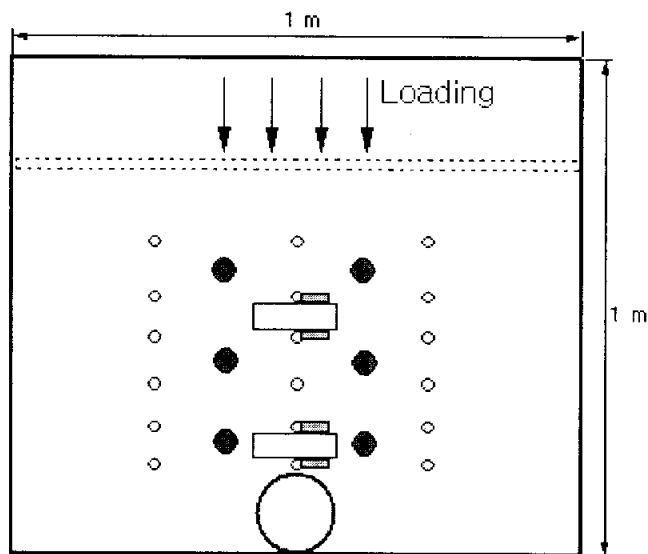


Fig. 4.1 Configuration of experimental apparatus

위 실험에서 사용된 도구들은 다음과 같다.

- 파형강판 : $\phi = 100, 150$ mm 두 종류
- EPS : 두께 5mm, 폭은 파형강판 직경과 동일
- Target Point : 크기 2~5 mm, 개수 10~20 개
- 토압계
- Fiducial Point : 크기 10mm, 개수 6개

Fig. 4.1은 실제 모형상자의 개요도를 나타내며 관측점과 기준점이 일정한 간격으로 배치되어 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 가운데 아랫부

분에는 파형강관에 하중을 최소화하기 위해 EPS 블록을 보강하였다.

이 실험의 목적은 지중에 매설된 파형강관에 작용하는 하중을 저감시키기 위하여 EPS 블록을 보강한 경우, 상재하중의 단계별 재하에 따른 지반, EPS 및 파형강관의 침하특성 및 응력변화특성을 규명하기 위한 실내 모형실험이다. 그리하여 EPS 블록 보강이 파형강관에 미치는 하중을 얼마만큼 줄일 수 있는지를 판단한다. EPS는 화학 명으로 Expandable Polystyrene(발포폴리스티렌)이라 하며 일반적으로 강한 스티로폼이라고 생각하면 된다.

Photo. 4.1은 실험에 사용된 전체 시스템의 모습을 나타내고 있다. 카메라와 모형사이의 거리는 2m로 하였다.



Photo. 4.1 Configuration of measurement system

Photo. 4.2는 실제 모래 내에 표적을 설치하여 계측프로그램으로 캡

처한 영상을 보여주고 있다.

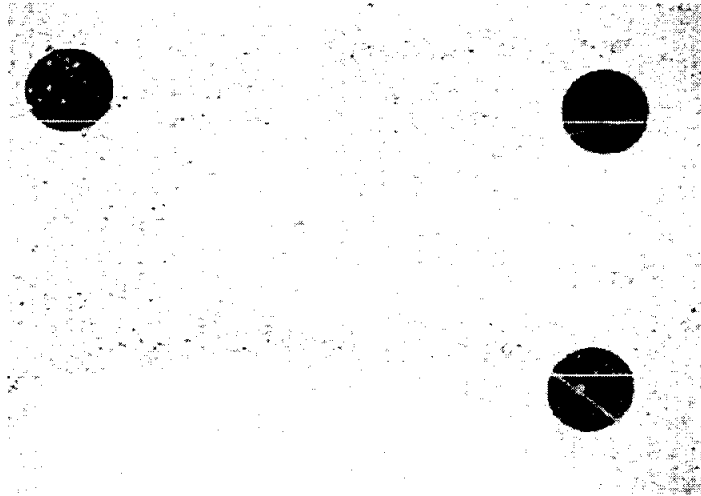


Photo. 4.2 Installed observation points in the experimental apparatus

Fig. 4.2에서 Fig. 4.7은 차례대로 실제 모래속의 관측점 인식과정이
다.

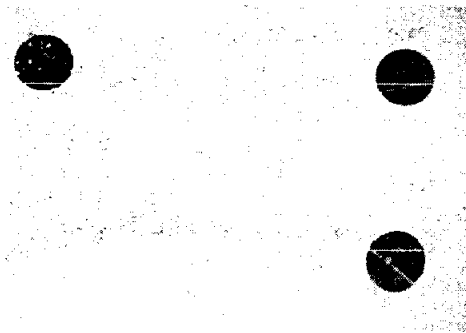


Fig. 4.2 Gray image

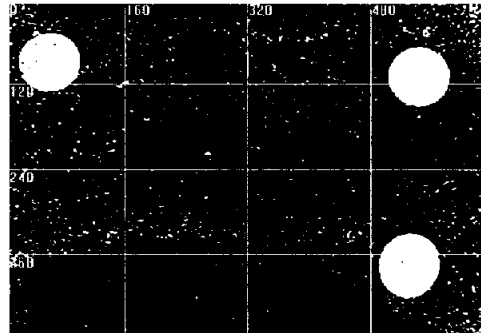


Fig. 4.3 Binary image

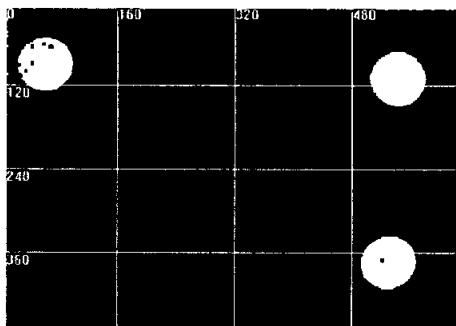


Fig. 4.4 Erosion image

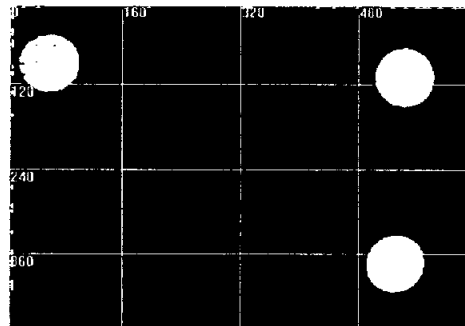


Fig. 4.5 Dilation image

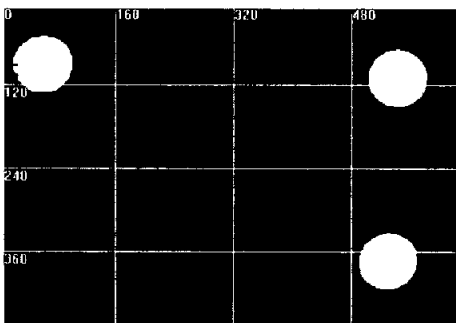


Fig. 4.6 Closing image

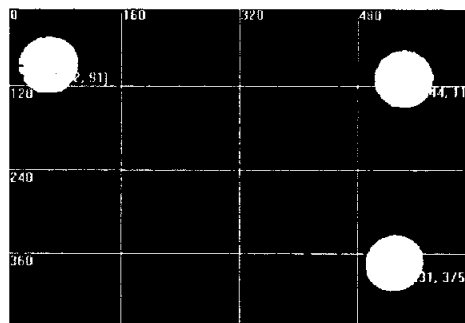


Fig. 4.7 Labeling image

Fig. 4.7을 통해 세 개의 물체가 인식되었다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 4.8은 모형에 압축을 가한 후에 관측점을 인식한 결과를 나타내고 있으며 Fig. 4.9는 관측점들의 초기데이터와 변위가 발생한 후의 비교데이터를 나타내고 있다.

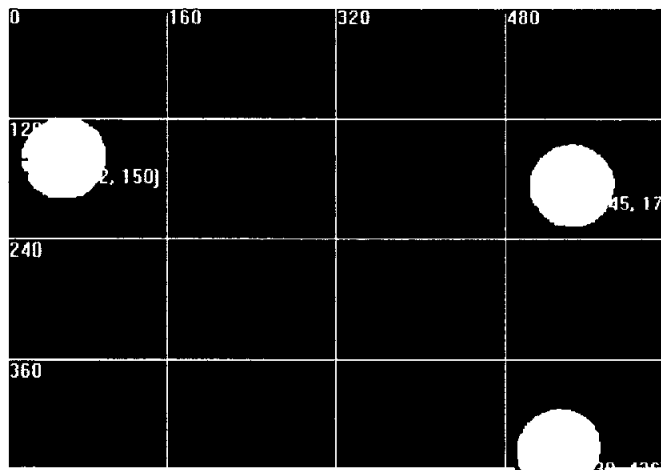


Fig. 4.8 Labeling image after press sand

Initial Data				Comparison Data			
Num	Dimensions	Centroid	▲	Num	Dimensions	Centroid	▲
1	5063	(62, 91)		1	5066	(62, 150)	
2	5153	(544, 111)		2	5150	(545, 171)	
3	5005	(531, 375)		3	5005	(530, 436)	

Fig. 4.9 Initial data and comparison data

Fig. 4.9로부터 각각의 관측점들은 y 축 방향을 60픽셀씩 움직인 것을 알 수 있다. 관측점들의 면적이 약 5000픽셀이므로 Table 2를 참고하면 약 0.6cm씩 이동한 것을 알 수 있다. Table 2는 면적에 대한 1mm당 픽셀 수를 나타낸 것이다.

Table 2 Pixel accuracy

Pixel number	mm accuracy per pixel
1000	0.25
1500	0.2
2100	0.1667
2700	0.143
3100	0.136
3500	0.125
4000	0.119
4500	0.114
5000	0.111
over 6500	approximately 0.1

Table 2에서 알 수 있듯이 화면상에서 관측점의 픽셀면적(Pixel number)을 크게 하며 할수록 정밀도는 좋아지는 것을 알 수 있었다. Fig. 4.10은 Table 2를 그래프로 나타낸 것이다.

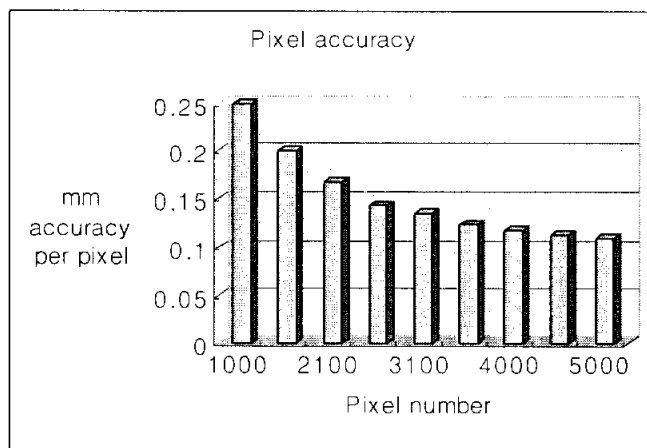


Fig. 4.10 Pixel accuracy graph

위 실험을 통해서 변위를 관측한 결과 EPS 블록이 설치된 가운데 부분은 설치되지 않은 좌우부분보다 작은 변위량을 나타내는 것을 알 수 있었다.

모형상자의 가운데 부분 내에서도 위 부분은 1cm가량의 침하를 보였고 아래로 내려갈수록 점점 작아져서 1cm이하의 침하량을 보였다. 그리고 양쪽은 1.5cm의 변위량을 보이는 것을 알 수 있었다. 계속적인 실험을 통하여 본 시스템의 정밀도가 약 0.12mm까지 가능한 것을 알 수 있다. 또한 위 실험에서 사용된 모든 관측점을 측정하는데 걸린 시간은 2분이내의 시간이 소요되었다.

두 번째 실험은 야외에서 나무로 된 상자에 세 가지 색깔을 가지는 표점을 각각 하나씩 표시하고 변위를 관측하였다. 관측거리는 25m이며 관측과정에서 변위를 발생을 관측하기위해서 인위적으로 상자를 이동시켰다. Photo. 4.2는 관측대상인 상자와 표적점을 나타내고 있으며 Photo. 4.3과 Photo. 4.4는 상자를 이동하기 전과 이동한 후를 나타내는 사진이며 1cm를 이동한 것을 알 수 있다.

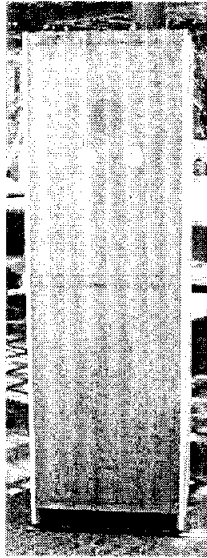


Photo. 4.3 Box and target points for observation

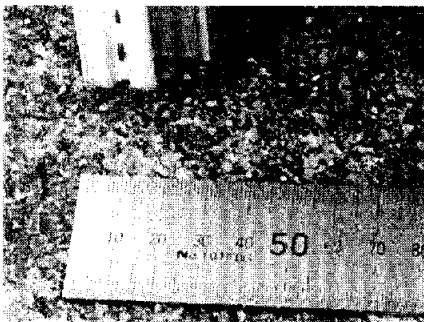


Photo. 4.4 Image before
movement

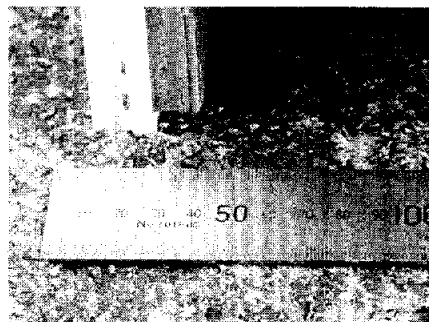


Photo. 4.5 Image after
movement

Fig. 4.11은 카메라를 통해 이동하기 전의 세 개의 표적점을 캡처한 것을 나타내고 있다.

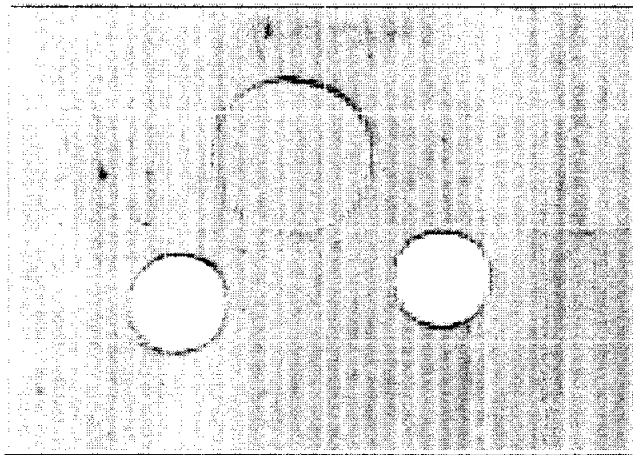


Fig. 4.11 Three target points before movement

Fig. 4.12와 Fig. 4.13은 이동하기 전과 이동한 후의 영상처리를 적용한 영상인식영상을 나타낸다.

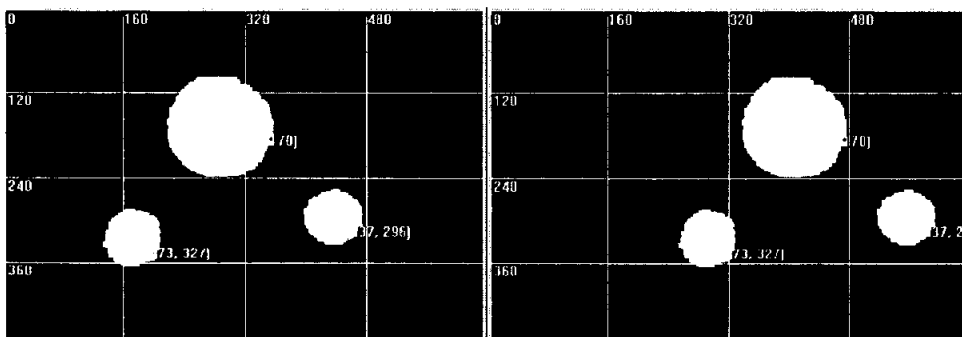


Fig. 4.12 Labeling image before movement

Fig. 4.13 Labeling image after movement

Fig. 4.14는 위 두 그림의 표적점에 대한 데이터를 나타내는 그리드이다.

Initial Data				Comparison Data			
Num	Dimensions	Centroid	▲	Num	Dimensions	Centroid	▲
1	15635	(287, 170)	▼	1	15631	(387, 170)	▼
2	4595	(437, 296)		2	4590	(525, 296)	
3	4816	(173, 327)		3	4813	(266, 327)	

Fig. 4.14 Initial data and comparison data

위의 데이터에서 x 축의 우측방향으로 90픽셀에서 100픽셀정도가 이동된 것을 알 수 있다. 따라서 Table 2에서 면적이 5000픽셀과 그 이상에서는 1픽셀당 약 0.1mm의 변위를 가지므로 1cm의 변위가 관측되었다고 할 수 있다. 이 실험에서도 첫 번째의 실험에서와 마찬가지로 시스템의 정밀도가 약0.12mm라는 것을 보여주고 있으며, 영상처리를 하고 계측하는데 소요된 시간은 10초 정도이었다. 물론 이 실험에서는 하나의 관측점을 사용한 결과이므로 빠른 시간 내에 계측이 되었다고 할 수 있다.

두 실험을 통하여 얻을 수 있었던 사실은 줌카메라를 이용하여 거리에 많은 제약을 받지 않으면서 팬/틸트와 영상처리를 동시에 이용함으로써 실시간으로 계측이 가능하다는 것을 판단할 수 있으며 계속적인 실험을 통하여 카메라의 성능과 이미지그래버보드의 성능이 시스템의 정밀도에 많은 영향을 미친다는 사실을 알게 되었다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 영상처리와 마이크로컨트롤러기술, PC응용기술을 이용한 다수의 물체를 계측하는 실시간 무인자동화 시스템에 대해 소개하였다. 다수의 물체를 감시하기위해 위치컨트롤장치를 사용함으로써 다수의 물체를 자동적으로 변위를 계측할 수 있었다.

실험결과를 통하여 약 0.12mm의 정밀도를 구현을 하였으며 화면상에 나타나는 관측점의 픽셀면적을 크게 할수록 정밀하다는 것을 알 수 있었다. 또한 실험에서는 언급하지 않았지만 이상적인 실험환경에서는 0.0256mm까지의 정밀도가 얻어졌다.

본 시스템은 줌 카메라와 팬/틸트를 사용하고 있으므로 줌이 가능한 범위내의 모든 대상물을 관측할 수 있어 아주 멀리 떨어져 있는 구조물과 같은 물체들을 계측하는데 효과적이라고 할 수 있겠다. 또한 구조물의 관측과 같은 건축분야 뿐만 아니라 무인 자동 계측이 필요한 모든 응용분야에 사용될 수 있을 것이라고 고려된다.

참고 문헌

- [1] Chakravarthy, S.; Sharma, R.; Kasturi, R., Noncontact level sensing technique using computer vision, Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on , Volume: 51 Issue: 2, April 2002, Page(s): 353-361
- [2] Hasegawa, H.; Aoki, H.; Yamazaki, F.; Matsuoka, M.; Sekimoto, I., Automated detection of damaged buildings using aerial HDTV images, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International , Volume: 1, 2000, Page(s): 310-312 vol.1
- [3] Chowdhury, M. H. and W. D. Little, "Image Thresholding Techniques", IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, and Signal Processing, pp. 585-589, 1995.
- [4] Jianzhuang, L. and L. Wenqing and T. Yupeng, "Automatic Thresholding of Gray-level Pictures Using Two-dimensional Otsu Method", International Conference on Circuits and Systems, Vol. 1, pp.325-327, 1991.
- [5] Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms", IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9, pp. 62-66, 1979.
- [6] Pitas, I., Digital Image Processing Algorithms, Prentice Hall, N.Y., pp.254-281, 1993.
- [7] Castleman, K. R, Digital Image Processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 123-645, 1996.
- [8]. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital image

Processing, Addison Wesley, pp. 413-478, 1993.

[9] Randy Crane, A simplified approach to Image Processing,
Prentice Hall PTR

[10] 천인국, 윤영택 , 기초편 영상처리, 기한재, 1998. 2

[11]. 이문호, C언어 영상통신의 신호처리, 대영사, 1999.3.

[12] 장동혁, 디지털 영상처리의 구현, 피씨어드밴스, 1999.12.

[13] 권준식, 디지털 영상처리 이론 및 응용, 에드텍, 2000.7.

Conferences

1. S.Y.Kim S.W.Kim, C.Bae and S.B.Kim, "Development of a Computer Integrated Management System for Hospitals" ASIAR (Asian Symposium on Industrial Automation and Robotics) 2001, Bangkok, Thailand, pp139-143, 2001
2. 이영환, 김석열, 김성욱, 정남수, 김상봉, "DB를 연동한 저가형 디지털 내시경의 개발", 제어·자동화·시스템공학회 학술대회논문집, pp1935-1938, 2001
3. "S.W.Kim, Y.B.Jeon, N.S.Jeong and S.B.Kim, "Real-Time Displacement Measurement System for Multiple Moving Objects Based on Image Processing Technique", In Proceedings of the the 8th Conference on Science and Technology, Control & Automation, pp107-112, 2002

감사의 글

본 논문이 나오기까지 많은 것을 알지 못했던 저에게 아낌없는 충고와 격려 그리고 많은 것을 경험할 수 있게 기회를 주신 김상봉 지도교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 연구실에 찾아오셔서 연구실 멤버들에게 따뜻한 말씀과 맛있는 김치를 가져다주신 사모님께도 감사의 말씀을 드립니다. 논문심사과정에서 잘못된 내용을 지적하고 충고해주신 권순재 교수님, 김동조 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 연구실에 좋은 일이 있을 때마다 같이해주신 이명숙 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

연구실에 처음 들어왔을 때 아무것도 모르던 저에게 많은 가르침을 주시고 졸업하신 많은 선배님들과 처음 영상처리라는 분야를 공부하는데 있어서 많은 도움을 주신 김학경 선생님께 감사의 말씀을 드립니다. 특히, 석사과정동안 같이 프로젝트를 하면서 많은 고생을 같이한 김석열, 신승목, 박성재, 이원기 선배님들께 고마움을 느끼고, 어떤 일을 부탁할 때마다 거리낌 없이 도와준 김해영, 김정기, 김지년, 임재성 후배님께도 그리고 항상 선배님들에게 라면을 끓여준다고 고생한 1학년 후배님들과 군대에서 고생하고 있는 후배님들에게도 감사의 말씀을 드립니다.

영어를 공부하는데 있어서 많은 도움을 받았고 특히 베트남에서 있었던 논문발표때 많은 도움을 주신 휴, 람, 김, 용님과 연구실생활하는데 많은 조언과 격려를 주신 감병오, 이근유, 서진호 선배님들, 이번에 석사과정에 입학하는 여찬수, 이재용님과 미생물공학과와 많은 분들에게도 감사의 말씀을 드리며 하시는 일에 항상 좋은 일만 있으시기를

기원합니다.

마지막으로 지금까지 살아오면서 지켜봐주신 부모님과 고민이 있을 때 항상 같이 해준 오랜 친구, 형, 누나, 동생들에게도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.