

# 영상처리기술을 이용한 구조물의 변위 측정 시스템의 개발

## Development of Displacement Measurement System of Structures Using Image Processing Techniques

서진호\*, 김성욱, 김상봉  
(Jin-Ho Suh, Sung-Wook Kim, and Sang-Bong Kim)

**Abstract :** In this paper, we develop the displacement measurement system of multiple moving objects based on image processing techniques. The image processing method adopts inertia moment theory for obtaining the centroid measurement of the targets and basic processing algorithm of gray, binary, closing, labeling and so on. 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 direction of  $XY$ -coordinates. The precise alignment device is pan/tilt of  $XY$ -type and the pan/tilt is controlled by DC servomotors which are driven by a microprocessor. Moreover, the centers of fiducial marks are obtained by an 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 also stored in the database system in a real time. By using database system and internet, the displacement datum can be confirmed at a great distance and analyzed. Finally, the effectiveness of developed system is shown in experimental results and realized the precision about  $0.12[mm]$  in the position control of  $XY$ -coordinates.

**Keywords :** multiple objects, pan/tilt, image processing technique, CCD camera, displacement measurement

### I. 서론

오늘날에 있어서 외부의 많은 요인들로 인하여 구조물의 안정성에 대한 계측이 중요시 되고 있는 시점에서, 특히 우리나라를 포함한 산악지역이 많은 나라들에서는 도로사면의 붕괴 및 대형 교각의 붕괴 등과 같은 많은 위험이 존재하고 있는 것이 현실이다. 또한 산업발달과 건설공사의 대규모화가 도심지에 근접하여 조성되어지는 사례가 빈번해지면서, 산업재해가 발생했을 때 사회적·경제적 손실이 과거에 비교될 수 없을 정도로 커지고 있는 실정이다. 특히, 공사지반의 경우에는 현장조사, 설계, 시공 및 사후관리에 이르기까지 많은 불확실성 요소들을 항상 내포하고 있으므로 이러한 요소들로 인하여 재해 가능성이 항상 상존하므로 위험요인이 존재할 것으로 판단되는 산업현장에 대한 계측관리가 절실히 요구되어지는 것이 현실이다. 하지만, 계측관리가 필요한 관측 대상물을 사람이 직접 눈으로 계측하는 것은 현실적으로 불가능하고 정확성에 대한 객관성이 결여되어지므로, 계측 및 감시시스템의 무인화와 자동화를 통한 통합관리시스템이 이루어져야 할 것이다. 현재, 몇몇 선진국들에서는 이러한 것들에 대한 많은 연구가 시행되어지고 있으며 국내에서도 국가기관을 중심으로 관련 연구가 활발히 진행되고 있지만 아직까지 여러 부분들에서 부족한 것이 현실이다.

일반적으로, 구조물들의 직접적인 변위 발생량에 대한 정량적 계측은 경제적 문제로 인한 적합한 계측센서 선택의 어려움 등으로 인하여 수동적인 방법이 주로 사용되고 있으며, 실시간적으로 자동계측을 통한 시공관리 및 사후 계측관리

에 활용하는 경우는 드물다. 특히, 지반공학 분야의 경우에는 자동계측의 문제뿐만 아니라 지표 지반의 변화를 고려한 계측센서의 설치 위치에 대한 정확한 예측이 선행되어야 할 것이다. 최근에는 이러한 여러가지 어려움들을 해결하기 위한 방법들로서 초음파, 레이저 등을 이용한 비접촉식 방법들을 사용하는 경우가 있다. 하지만, 이러한 센서들을 이용한 방법들은 고가의 장비를 넓은 작업영역에 설치해야함으로 경제적인 비용부분에서 효율적이지 못하다. 따라서, 본 논문에서는 영상처리기술을 이용한 저가의 개발장비로서 구조물들의 변위측정 시스템을 개발하고자 한다.

본 논문에서는, CCD 카메라(CCD camera)로부터 얻어지는 아날로그 영상신호를 이미지그래버 보드(imagegrabber board)를 이용하여 디지털화하고, 이러한 디지털신호를 영상처리 알고리즘을 바탕으로 하여 분석함으로써 구조물들의 변위를 계측할 수 있는 영상처리 기술을 개발한다. 또한 하나 또는 그 이상의 관측 대상물의 많은 부분을 관측하기 위한 방법으로서는 마이크로프로세서 기술과 PC 응용기술을 접목한 실시간 무인 감시 시스템도 제안한다.

개발되어진 변위측정 시스템은 실시간적으로 변위들을 측정함으로써 구조물들의 상태를 미리 예측할 수 있으므로 균열과 붕괴와 같은 여러가지 사고들을 미리 예방하고자 하는데 연구목적을 두고 있다. 또한 현장에서 관측되어지는 관측 자료들을 원거리의 중앙관측소에서 통합관리 할 수 있도록 관측자료들을 데이터베이스화하여 효율적으로 저장, 관리하도록 개발하였다. 따라서 관리자는 계측 프로그램을 통하여 계측 구조물의 변화를 실시간적으로 확인할 수 있게 함으로써 구조물에 대한 비전문가들이라고 할지라도 현장상황을 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 시공관리 및 시공이후의 사후 계측관리에도 활용되어질 수 있도록 하였다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 8. 26., 채택확정 : 2004. 6. 14.

서진호 : 부경대학교 해양산업개발연구소(suhgang@hanmail.net)

김성욱, 김상봉 : 부경대학교 기계공학과

(ksw221@hotmail.com/kimbs@pknu.ac.kr)

본 논문은 다음과 같이 구성 되어진다 : 2장에서는 본 연구에서 개발되어질 시스템을 나타낸다. 개발되어진 무인감시 시스템은 영상처리를 위한 소프트웨어 부분과 CCD 카메라의 움직임을 제어하는 하드웨어 부분으로 나누어지고 각 부분에 대한 개발 시스템들을 구체적으로 설명한다. 3장에서는 앞장에서 개발되어진 영상처리방법을 이용하여 다수의 관측점에 대한 변위계측 원리를 설명하고 다수의 관측점에 대한 변위계측의 문제점과 이러한 문제점의 해결방법들을 제안한다. 4장에서는, 본 논문에서 개발되어진 변위 측정 시스템의 유효성이 두 가지 실험을 통하여 보여진다. 두가지 실험방법을 통하여, 우리는 CCD 카메라를 이용함으로써 거리에 대한 구속을 받지 않으면서 pan/tilt 와 영상처리를 동시에 이용함으로써 실시간적으로 계측이 가능함을 판단할 수 있게 된다. 마지막으로, 연구결과와 추후의 연구과제 부분을 5장에서 나타낸다.

II. 시스템 구성

본 논문에서 개발되어지는 시스템의 구성도는 그림 1에서 보여진다. 특히, 개발되어지는 무인감시시스템은 다음과 같이 크게 두가지 부분으로 나누어질 수 있다.

- 영상처리를 담당하는 소프트웨어 부분
- CCD 카메라의 움직임을 제어하는 하드웨어 부분

1. 영상장치

그림 1에서 나타내어진 것처럼, 영상장치에는 아날로그 영상신호를 받아들이는 CCD 카메라 또는 캠코더와 대상물체의 관측점을 확대하여 더욱 정밀한 영상을 얻기 위한 줌렌즈, 아날로그 신호를 디지털로 바꾸는 이미지 그레버보드로 구성 되어진다. 본 연구에서 사용되어진 CCD 카메라는 컬러가 지원되며 노이즈가 많지 않은 제품으로 알려져 있는 IK-642K(삼성전자)을 사용하였다. 또한 사용되어진 이미지그레버 보드는 컬러를 지원하고 프레임메모리가 많으면서도 처리속도가 빠른 Bandit 보드를 이용한다.

2. pan/tilt 및 컨트롤박스(control box)

pan/tilt 는 CCD 카메라를 수평·수직으로 자유롭게 회전시킬 수 있는 장치로서, 상하좌우로 각각 회전하기 위하여 DC 모터를 두개 장착하여 수평방향으로 0-355 도, 수직방향으로 -60 도에서 30 도로 회전가능하게 하였으며 이것은 컨트롤 박스의 신호에 의하여 구동되어진다. 사용되어진 Pan/tilt 는 그림 2에서 보여진다. 장착되어진 DC 모터의 회전

속도는 3000[rmp] 이며, 회전속도를 감속하기 위하여 감속비가 1:10 인 기어박스와 원통형 웜기어를 사용한다. 또한 기어의 백래쉬(backlash)에 의해 발생되어지는 위치오차(position error)를 해결하기 위하여, 목표점 근처에서 기준점 위치 보중에 의한 영상처리 개념을 이용하였다.

또한 컨트롤박스(control box)는 마이크로 컨트롤러(micro controller), 모터구동회로, 그리고 전원공급장치와 같이 세가지로 구성되어진다. 마이크로컨트롤러는 인텔(Intel)의 80C196KC 를 채택하였고 모니터링을 위한 PC 통신을 위하여 RS232C 를 사용하였으며 위치검출을 위하여 포텐서메터를 사용하였다. 제작되어진 마이크로컨트롤러 보드는 그림 3에서 보여진다.

또한 DC 모터를 구성하기 위한 구동회로와 구동드라이브를 제작하였고, 더불어서 마이크로컨트롤러를 구동하기 위한 5[V] 전압과 모터를 구동하기 위한 12[V] 전압이 동시에 출력되는 전원공급장치를 제작하였다.

3. 모니터링 및 컨트롤 PC

모니터링 및 컨트롤 PC는 디지털 영상데이터를 프로그램 화면상에서 관리자에게 보여줌과 동시에 영상처리 알고리즘을 통하여 데이터를 분석한다. 또한 대상물의 관측점에 대한 정보를 저장하여 이전의 데이터들과 비교함으로써 대상물의 변위변화를 계측하는 역할을 수행한다. 관측결과는 데이터베이스에 저장되어 현재의 관측결과와 이전의 관측결과를 비교하여 대상물에 대한 변위를 판단하고 데이터를 분석함으로써, 지속적으로 어느 정도의 변위가 발생했는지를 알 수 있는 것이다.

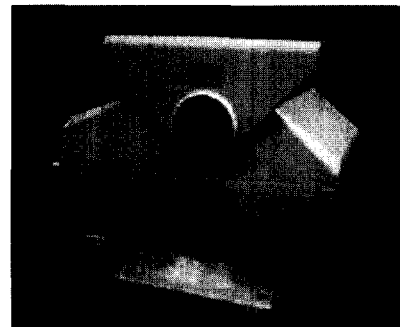


그림 2. Pan/tilt.  
Fig. 2. Pan/tilt.

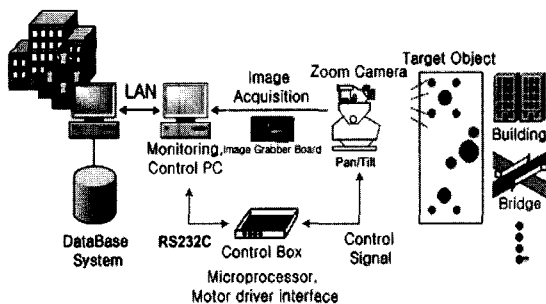


그림 1. 개발되어진 시스템의 구성도.  
Fig. 1. The configuration of developed system.

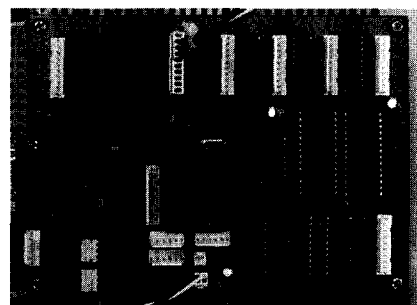


그림 3. 마이크로컨트롤러 보드.  
Fig. 3. Microcontroller board.

4. 계측 소프트웨어

본 연구에서 개발되어지는 계측 소프트웨어는 다음과 같이 세가지 부분으로 구성되어진다.

- 영상을 분석하여 관측점들에 대한 정보를 획득·저장하는 부분
- 현재의 관측상태와 관측결과를 확인할 수 있게 하는 디스플레이 부분
- 다수의 물체를 관측하기 위한 pan/tilt 구동부분

개발되어진 계측 소프트웨어의 실행화면은 그림 4에서 나타내어지고, 각각의 기능에 대한 설명을 위하여 간단히 기능에 따른 번호를 표기하여 설명한다.

그림 4의 계측 소프트웨어에 대한 각 기능에 대한 설명은 표 1에서 간략히 기술되어진다.

No. 3에서는, 두개의 화면으로 구성되며 실시간적으로 초기데이터와 비교데이터를 계측함으로써 구조물의 변위를 나타내게 된다. 그림 5는 수행되어진 프로그램의 실제 초기데이터 및 비교데이터를 나타내는데, 여기에서 우리는 관측점의

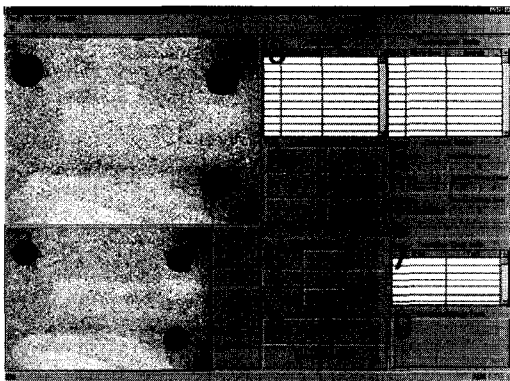


그림 4. 계측 소프트웨어의 모니터링 화면.  
Fig. 4. Monitoring display of measurement software.

표 1. 계측 소프트웨어의 구성도.  
Table 1. The configuration of measurement software.

Number	Operation
1	실시간 영상을 나타내는 영역
2	실시간 영상을 처리결과 및 여러가지 영상 처리를 수행하는 영역
3	관측점의 초기데이터와 비교데이터를 실시간적으로 나타내는 영역
4	초기데이터 설정 및 환경설정 영역
5	현재의 계측상태를 나타내는 영역
6	수동으로 모터를 상하좌우로 움직이는 영역
7	다수의 관측점들 사이의 상대적 위치를 나타낸 영역
8	이미지보드의 설정 및 모니터링 PC 의 통신포트를 선택하는 영역
9	모든 관측점에 대한 초기데이터 설정후 시스템을 구동하는 영역

Initial Data			Comparison Data		
Num	Dimensions	Centroid	Num	Dimensions	Centroid
1	16437	(288, 159)	1	15332	(288, 160)
2	3646	(541, 312)	2	3349	(542, 312)
3	3805	(67, 322)	3	3695	(67, 322)

그림 5. 초기데이터 및 비교데이터.  
Fig. 5. An initial data and comparison data.

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

그림 6. 현재의 계측 상태.  
Fig. 6. Current state frame.

갯수가 3개인 것을 알 수 있고 각각의 면적 및 도심을 알 수 있다. 그리고 세 개의 점들 중에서 화소(pixel)가 가장 큰 것을 기준점으로 하여 초기데이터와 비교데이터를 보면 각 축에 대한 변위가 없는 것을 판단할 수 있다.

No. 5는 현재의 계측상태를 나타내는 영역으로서 그림 6에서 보여진다. 이 그림에서, 우리는 전부 10개의 관측점을 계측할 때 현재 두번째 관측점을 계측하고 있으며 모터의 상태는 정지해 있음을 나타낸다. 여기에서 특히 중요한 부분은 "Change Num"부분으로서 3개의 변위가 발생했음을 보여주고 있다. 이러한 변위데이터는 데이터베이스에 저장되어지고 관리자가 확인할 수 있다.

No. 8의 이미지 그레버보드에서는 명암, 밝기, 농도, 색 그리고 채널을 설정할 수 있는 버튼이 있다. No. 9의 영역에서는, 버튼을 누르면 자동적으로 모든 관측점에 대한 계측이 시작되고 자동계측은 관리자가 설정한 횟수만큼 수행할 수 있도록 설계되어진다.

개발되어진 계측 소프트웨어는 컬러모드와 그레이 모드를 지원하도록 하여 관측점의 색깔을 한가지로 선택하거나 다른 여러가지로 선택할 수 있도록 구성되어 있다. 단, 그레이 모드에 비하여 컬러모드는 RGB 컬러값을 지정해야 하는 과정이 추가 되어진다. 특히, 개발되어진 계측 소프트웨어는 계측과정에서 변위가 발생한 관측점에 대한 정보를 모두 데이터베이스에 저장하여 No. 5에서 현재 변위발생수를 나타내므로 관리자가 변위의 변화를 쉽게 확인할 수 있을 뿐 아니라 데이터베이스에 저장되어진 데이터를 비교함으로써 길이의 변위를 쉽게 확인할 수도 있다.

III. 영상처리에 의한 다중체의 변위계측

1. 변위계측 원리

본 논문에서는, 카메라를 고정시켜 놓고서 한부분만을 관측하는 기존의 계측시스템과는 다르게, 다수의 대상물에 대한 다변위 관측점을 계측할 수 있도록 개발되었다. 변위계측 원리는 그림 7에서 보여주는 것처럼, 교량의 관측점을 감시하는 예제로서 두 영역(①, ②)의 관측점 변위에 대한 계측원리를 단계별로 설명할 수 있다.

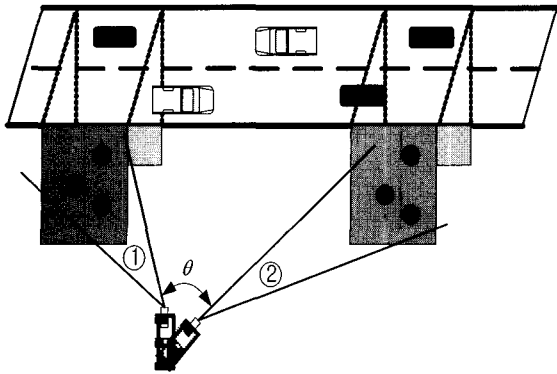


그림 7. 다중 관측점들의 계측 원리.  
Fig. 7. Measurement principle of multiple observation points.

먼저, 시스템 관리자가 관측대상물의 자동계측을 위해서는 반드시 다음의 과정을 통하여 시스템의 초기데이터를 설정해야한다.

- 1) 모니터링과 컨트롤 PC를 이용하여 pan/tilt의 모터를 구동하여 카메라를 영역 ①에 위치시킨다.
- 2) 관측점 인식과정을 이용하여 영역 ①에 있는 세 개의 점에 대한 초기데이터(개수, 면적, 도심)들을 얻는다.
- 3) 컨트롤 PC를 이용하여 pan/tilt를 구동시켜서 다음 관측 영역인 ②에 카메라를 이동시킨다. 이때, 그림 7에서의  $\theta$  만큼의 회전을 위하여 소요되는 시간정보가 표 1의 No.7에서 저장되어지고 그때의 포텐션미터의 값들도 계측 소프트웨어에 의하여 메모리상에 저장 되어진다. 이러한 데이터들은 pan/tilt를 자동으로 구동하기 위한 정보들이다.
- 4) 위의 (2)번 과정과 같이 관측점 인식과정을 이용하여 영역 ②에 있는 세 점들에 대한 초기데이터들을 얻는다.

이와 같이, 관측하고자 하는 영역에 대하여 위의 과정들이 순서적으로 끝나게 되면 모든 영역에 대한 점들의 초기데이터는 개발되어진 계측 프로그램에 의하여 저장되어진다. 이러한 초기화 작업이 끝난 후에는 다시 처음의 관측영역으로 카메라를 위치시킨다. 이 과정들을 마친 후에 계측 소프트웨어의 실행버튼을 누르게 되면 초기데이터를 얻는 영역 순서대로 PC 타이머의 시간정보와 포텐션미터 값을 이용하여 pan/tilt를 구동하게 되어 관측점에 대한 영상처리를 하게 됨으로서 구조물의 변위를 실시간적으로 계측하게 된다.

2. 다관측점에 대한 변위계측의 문제점과 해결방법

다수의 물체를 관측하기 위해서는 pan/tilt를 상하좌우로 회전시킬 때 관측점들 간의 상대적 위치를 결정할 수 있는 정확한 회전값들이 필요하므로, 관측점들의 위치를 결정하기 위하여 PC타이머와 포텐션미터를 이용하였다. 그러나, 이러한 방법들로는 정확한 위치를 결정하는데 다음과 같은 몇 가지 문제점들을 가지고 있다.

- Window 운영체제가 가지고 있는 PC 타이머의 부정성
- 노이즈에 의한 포텐션미터의 오차(단, 여기에서는 pan/tilt에 사용된 기어의 백래쉬를 고려함)

이러한 문제점들로 인하여 PC타이머와 포텐션미터만을 이용한 관측점들의 위치결정 방법으로는 정확한 변위를 계측

할 수 없다. 즉, pan/tilt의 회전이 0.1[deg] 정도의 오차가 생기게 되면 정확한 변위계측이 불가능하게 된다. 특히, 원거리에 있는 물체들을 계측하기 위해서는 고배율의 줌렌즈를 이용해야 함으로 이러한 경우들에서는 더욱 큰 문제점이라 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는, 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 위의 두 가지 방법과 더불어서 관측영역에 관측점들과 크기가 다른 기준점을 각각의 영역에 표시하고 이러한 기준점에 대한 영상처리를 이용하여 pan/tilt의 위치를 보정하였다. 또한 개발되어진 계측 소프트웨어는 실행과 동시에 모든 작업을 자동으로 처리하게 됨으로서, 시스템 관리자는 단지 변위가 발생하였는지를 계측결과 표시부에서 확인만 하면 되는 것이다. 더불어서 자동 계측을 시행하는 중이라도 정지버튼을 클릭 함으로서 언제든지 시스템을 정지시킬 수도 있다.

3. 영상처리기법을 이용한 관측점 인식 방법

본 연구에서 개발되어진 시스템은 영상처리기법을 이용하여 가로 640화소, 세로 480화소의 컬러영상을 다음과 같은 단계를 통하여 관측점의 수와 면적 그리고 도심의 정보를 획득할 수 있다.

- 1) 컬러영상을 캡처함
- 2) 컬러영상의 그레이 영상화
- 3) 그레이 영상을 흑과 백으로 표현되는 이진화를 실행
- 4) 크기가 작은 노이즈 제거를 위하여 영상축소와 팽창 과정을 실행
- 5) 영상축소와 팽창과정을 적용한 후에 남아 있는 노이즈를 제거
- 6) 영상인식을 위하여 레이블링을 함으로서 영상면적, 4) 도심, 개수를 파악

이러한 관측점 인식과정 단계를 실제 영상에 적용하여 나타내어진 결과들을 그림 8에서 나타내고 있다.

특히, 본 연구에서 적용되어진 각각의 영상처리 단계들은 이미 많은 연구결과들[7][8]에서 알려져 있는 일반적인 사항들이므로 구체적으로 기술하지 않음에 유의하자.

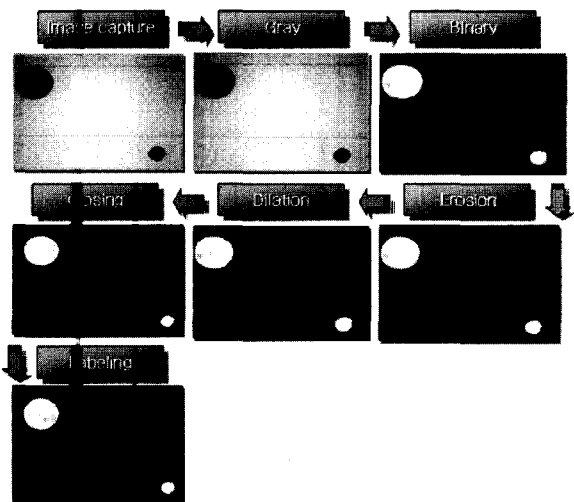


그림 8. 관측점의 인식 과정.  
Fig. 8. The recognition procedure of observation point.

4. 도심 계산법

본 논문에서는 변위를 측정하기 위하여 도심을 사용하였다. 즉, 관측점에 대한 초기데이터의 도심과 실시간으로 측정되어지는 도심 간의 화소 차이를 실제거리로 환산하여 변위를 측정하는 방법이다.

먼저, 관측점의 도심을 구하기 위하여 관성모멘트법을 적용한다. 그림 9는 관성모멘트에 대한 개략도를 나타내며, 이러한 관성모멘트에 대한 계산과정을 다음과 같이 기술될 수 있다. 그림 9에서,  $M_x$ 와  $M_y$ 는  $x$ 축방향과  $y$ 축방향으로 면적  $A$ 에 대한 각각의 면적 1차모멘트를 나타내며 다음과 같이 표현되어진다.

$$\begin{cases} M_x = \int x dA = \bar{x}A \\ M_y = \int y dA = \bar{y}A \end{cases}$$

더구나, 이 식에서  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 는 전체면적의 도심좌표를 나타내므로 다음과 같은 식으로 다시 표현되어질 수 있다.

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{A} \int x dA = \frac{\int x dA}{\int dA} \\ \bar{y} = \frac{1}{A} \int y dA = \frac{\int y dA}{\int dA} \end{cases}$$

위의 식에서 알 수 있듯이, 도심을 구하기 위해서는 물체의 총면적을 구해야 한다. 따라서, 위의 식들을 영상인식 과정인 레이블링 알고리즘내에 적용하여 관측점들의 면적을 구하고 화소 좌표를 이용하여 도심을 구해내도록 한다.

IV. 실험

본 논문에서, 우리는 개발되어진 변위측정 시스템의 유효성을 보여주기 위하여 그림 10에서 보여지는 것과 같이 모형상자에 변위를 측정하기 위한 표적과 모래를 채운 후 압축장치로서 모형상자의 상단부에 힘을 가함으로써 모래 속에 설치되어진 관측점들의 변위를 측정하도록 한다.

그림 (10)에서, 우리는 관측점과 기준점이 일정한 간격으로 배치되어 있는 것으로 볼 수 있다. 특히, 가운데의 아랫부분에는 파형강관에 하중을 최소화하기 위하여 EPS

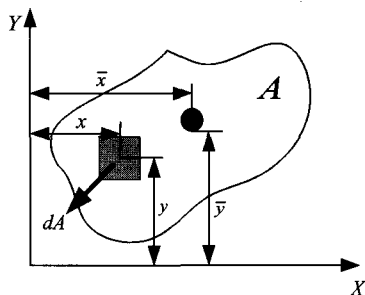


그림 9. 관측점의 인식 과정.  
Fig. 9. The recognition procedure of observation point.

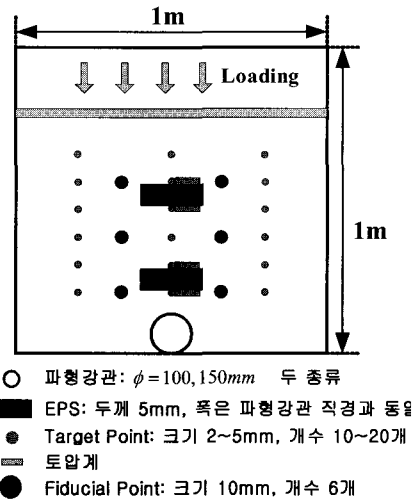


그림 10. 실험장치의 개략도.  
Fig. 10. The configuration of experimental apparatus.

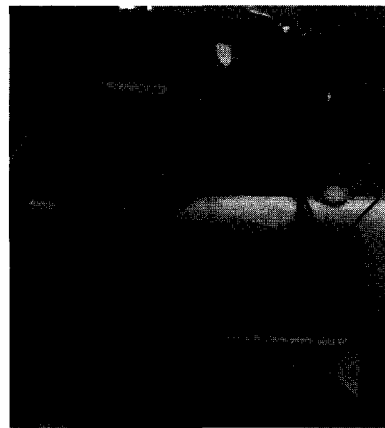


그림 11. 계측시스템의 구성도.  
Fig. 11. The configuration of measurement system.

(Expandable Polystyrene, 발포폴리스티렌) 블록을 보강하였다. 이러한 실험의 목적은 지중에 매설된 파형강관에 작용하는 하중을 저감시키기 위하여 EPS 블록을 보강한 경우에는, 상재하중의 단계별 재하에 따른 지반, EPS 및 파형강관의 침하특성 및 응력변화 특성을 규명하기 위한 실내 모형실험이다. 따라서 본 실험을 토통하여 EPS 블록보강이 파형강관에 미치는 하중을 얼마만큼 줄일 수 있는지를 판단하도록 한다.

실제실험을 위하여 개발되어진 계측시스템은 그림 11과 같이 구성되어지고, 카메라와 모형사이의 거리는 2m로 설정되어졌다.

그림 12는 실제로 모래속에 표적을 설치하고, 본 연구에서 개발되어진 영상처리기법을 이용한 관측점 인식과정을 순서적으로 나타내고 있다.

특히, 그림 12의 (g)는 세 개의 물체가 인식되었다는 사실을 알 수 있고, (h)에서는 모형에 압축을 가한 후에 관측점을 인식한 결과를 나타내고 있다. 또한 관측점들의 초기데이터와 변위가 발생한 뒤의 비교데이터의 값들은 그림 13과 같이 나타내어진다.

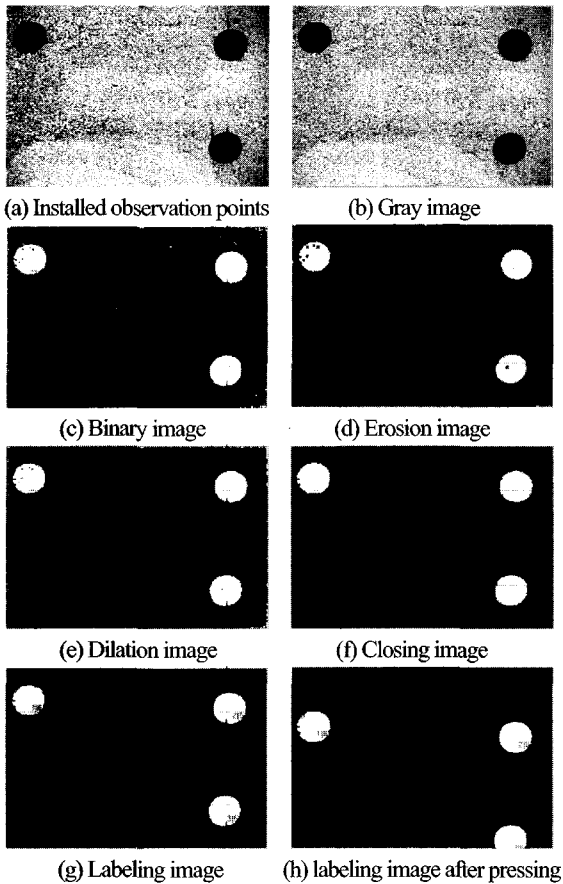


그림 12. 관측점 변위의 인식 과정.  
 Fig. 12. The recognition procedure of variation of observation points in experimental apparatus.

Pixel number	mm accuracy per pixel
1000	0.25
1500	0.2
2100	0.167
2700	0.143
3100	0.136
3500	0.125
4000	0.119
4500	0.114
5000	0.111
Over 5000	About 0.1

그림 13. 초기데이터와 비교데이터.  
 Fig. 13. An initial data and comparison data.

표 2. 화소 정밀도.  
 Table 2. Pixel accuracy.

Pixel number	mm accuracy per pixel
1000	0.25
1500	0.2
2100	0.167
2700	0.143
3100	0.136
3500	0.125
4000	0.119
4500	0.114
5000	0.111
Over 5000	About 0.1

우리는 그림 13으로부터 각각의 관측점들이 y 축 방향으로 60화소를 이동했음을 알 수 있고, 이것은 관측점들의 면적이 약 5000화소이므로 다음의 표 2를 참조하면 약 0.6cm

이동하였음을 알 수 있다. 표 2는 면적에 대한 1mm 당 화소 수를 나타낸 것이다.

표 2에서 나타내어진 결과에서, 우리는 화면상에서 관측점의 화소 수를 크게 하면 할수록 정밀도가 좋아지는 것을 알 수 있다.

또한 이 실험을 통하여, 우리는 변위를 관측한 결과 EPS 블록이 설치된 가운데 부분은 설치되지 않은 좌/우 부분보다 작은 변위량을 나타내고 있음을 알 수 있다. 모형상자의 가운데 부분중에서도 윗부분은 1cm가량의 침하를 보였고 내려갈수록 점점 작아져서 1cm 이하의 침하량을 보였고 좌/우 양쪽에서는 1.5cm의 변위량을 보임을 알 수 있었다. 계속적인 실험을 통하여, 본 시스템의 정밀도가 약 0.121mm까지 가능한 것을 알 수 있었고 또한 실험에 사용되었던 모든 관측점들을 측정하기 위하여 소요된 시간은 2분정도가 소요되었다.

우리는 이러한 실험을 통하여 CCD카메라를 이용하여 계측구조물의 변위를 측정함으로써 거리에 대한 제약을 받지 않고 pan/tilt와 영상처리를 동시에 이용함으로써 실시간적으로 계측이 가능하다는 것을 판단할 수 있었고, 또한 반복적인 실험을 통하여 카메라의 성능과 이미지그래비보드의 성능이 시스템의 정밀도에 많은 영향을 미친다는 사실도 인지하게 되었다.

V. 결론

본 논문에서는 영상처리와 마이크로컨트롤러 기술 그리고 PC 응용기술을 이용하여 다수의 물체를 계측할 수 있는 실시간 무인자동화 시스템을 개발하고자 하였다. 특히, 다수의 관측점 변위들을 계측하기 위하여 위치컨트롤러를 사용함으로써 다수의 변위들을 자동적으로 계측할 수 있었다. 실험결과를 통하여 개발되어진 시스템의 유효성을 검증하였고, 약 0.121mm 정도의 정밀도를 구현할 수 있었다. 또한 본 실험에서는 언급되지는 않았지만 이상적인 실험환경에서는 약 0.0256mm까지의 정밀도를 구현할 수 있었다.

특히, 본 연구에서 개발되어진 시스템은 CCD 카메라와 pan/tilt를 사용하고 있으므로 좁이 가능한 범위내의 모든 대상물들에 대하여 계측이 가능하므로 멀리 떨어져 있는 구조물과 같은 물체들을 계측하는데 더욱 효과적이라고 할 수 있을 것이다.

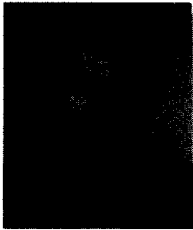
추후의 연구과제로는, 구조물의 관측과 같은 건축분야에 대한 응용뿐만 아니라 무인 자동계측이 가능한 모든 응용분야에 이용되어질 수 있도록 더욱 연구개발이 요구되어진다고 할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] S. Chakravarthy, R. Sharma, and R. Kasturi, "Noncontact level sensing technique using computer vision, Instrumentation and Measurement," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 51, no. 2, pp. 353-361, 2002.

[2] H. Hasegawa, et. al., "Automated detection of damaged buildings using aerial HDTV images," *Proc. of Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 310-312, 2000.

- [3] G. S. Chowdhury, M. H. and W. D. Little, "Image thresholding techniques," *Proc. of IEEE Pacific Rim Conf. on Communications, Computers, and Signal Processing*, pp. 585-589, 1995.
- [4] L. Jianzhuang, L. Wenqing and T. Yupeng, "Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional ostu Method," *Proc. of International Conf. on Circuits and Systems*, pp. 325-327, 1991.
- [5] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. on System, Man, and Cybern*, vol. 9, no. 5, pp. 62-66, 1979.
- [6] I. Pitas, *Digital image processing algorithms*, Prentice Hall, N. Y., pp. 254-281, 1993.
- [7] K. R. Castleman, *Digital image processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 123-645, 1996.
- [8] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison Wesley, pp. 413-478, 1993.
- [9] 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," *Proc. of the 8<sup>th</sup> conference on science and technology*, pp. 107-112, 2002.
- [10] 김성욱, 서진호, 김상봉, "영상처리기술을 이용한 건축 구조물의 실시간 변위측정 시스템의 개발," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 764-769, 2003.



**서진호**

1969년 12월 27일생. 1993년 한양대학교 수학과 졸업(이학사). 1998년 부경대학교 대학원(공학석사). 2002년 동경공업대학 제어시스템공학과(공학박사). 2002년~현재 부경대학교 해양산업개발연구소 선임연구원. 관심분야는 로봇공학, 비선

형제어 및 메카트로닉스 분야.



**김성욱**

1976년 6월 25일생. 2001년 부경대학교 기계공학과(공학사). 2003년 부경대학교 기계설계학과(공학석사). 2003년~현재 (주)Truemobile 연구원. 관심분야는 영상 처리, 이동로봇 제작 및 제어



**김상봉**

1955년 8월 6일생. 1978년 부산국립수산대학교(공학사). 1980년 부산국립수산대학교(공학석사). 1988년 동경공업대학 제어시스템공학과(공학박사). 현재 부경대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 메카트로닉스, 로봇공학, 비선형제어, 영

상처리 관련 분야 및 산업용 로봇.