

수치사진영상을 이용한 자동 변위계측시스템의 개발과 적용

Development of Automatic Displacement Measuring System Using 3D Digital Photogrammetry Image and Its Application

한 중 근¹ Han, Jung-Geun

홍 기 권² Hong, Ki-Kwon

김 영 석³ Kim, Young-Seok

조 삼 덕⁴ Cho, Sam-Duk

곽 기 석⁴ Kwak, Ki-Seok

Abstract

Recently, for the stabilization estimation of structures, many automatic measuring instruments with expensiveness and high accuracy have been developed and utilized. However, the existing manual measuring systems are almost impossible to measure the real-time for the whole surface of large-scale structures and an automatic measuring system has disadvantages with demanding enormous expense. In this study, 3D digital visual monitoring system was developed by using digital photogrammetry technique. To confirm application of developed system, it was applied to the measurement of the wall displacement of concrete surface and displacement measurement of reinforced-soil wall block. Then, the result of the test was compared with measuring value of total station. Based on the results of the comparison, the application of visual monitoring system was evaluated. The results show that the developed visual monitoring system could be available in displacement measure of structures.

요 지

최근 구조물의 안정성 평가를 위해서 많은 고가의 고정밀도 자동화 계측장치가 개발·사용되고 있다. 그러나 정밀장치를 사용한 기존의 수동계측은 대형구조물 전체에 대해 실시간 계측이 불가능하며 자동화계측에도 막대한 비용이 요구되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 실시간 수치사진영상을 이용한 3차원 자동화 비주얼모니터링시스템을 개발하였다. 그리고 대형구조물의 실시간 계측분야에 있어서 개발시스템의 적용성 및 정밀도에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 콘크리트 벽면의 강제변위에 대한 계측실험과 보강토옹벽블록의 변위계측실험을 실시하였고, 실험결과를 기존의 정밀계측장치인 토탈스테이션의 측정결과와 비교하였다. 이를 바탕으로 개발시스템이 기존 계측시스템의 단점을 해결할 수 있었고, 고정밀도이면서 실시간 계측시스템으로서의 활용이 가능함을 확인할 수 있었다.

Keywords : 3D digital photogrammetry, Application, Displacement measuring, Visual monitoring system

1. 서 론

구조물의 안정을 평가하는 수단으로는 해석에 의한

방법, 각종 실내·외 실험 등에 의한 계측결과를 이용하는 방법이 사용되고 있다. 후자의 경우는 보다 정확하고 정밀한 측정값이 요구되며 이를 위해 많은 계측기들이

1 정회원, 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Chung-Ang Univ.)

2 정회원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 (Member, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Chung-Ang Univ., kkhong@wm.cau.ac.kr, 교신저자)

3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Research Dept., KICT)

4 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Member, Research Fellow, Geotechnical Research Dept., KICT)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2007년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

사용되고 있다. 즉, 측정대상 매체가 되는 기초지반, 사면 그리고 각종 구조물들의 실제 변동상황을 파악함으로써 새로운 이론이나 제안에 대한 평가, 예상치 못한 위험의 예방을 위해 지반의 거동, 기초구조물의 안전성 확인 및 영향평가 그리고 원인규명, 유지관리, 법적분쟁에 대한 증빙자료, 구체적 시공방안 제시를 위한 근거자료로 활용할 수 있다(강준목, 1992). 건물기울기, 경사계, 변형률계, 신축계 등과 같은 측정센서를 자동화하여 이용한 방법들은 고가의 비용, 설치 및 유지관리의 어려움이 있을 뿐만 아니라 측정위치에 대한 변형 및 변위만을 나타내고 있어 대상매체의 전반적 거동을 측정하기에는 상당한 어려움이 따른다. 수동계측에 의한 방법은 변형거동 중에는 계측관리자의 위험성이 잔존하고, 연속적 거동을 알기 어려운 단점이 있다. 따라서 최근에는 보다 저렴하고 정밀한 무인자동화 계측기 등의 개발에 많은 투자가 이루어지고 있는 실정이라 하겠다.

최근, 최첨단의 계측장비 및 장치들을 이용하여 국내·외에서는 중요구조물의 안정평가를 위한 주요수단으로 활용되는 사례가 증가하고 있다. 대부분은 이미지 프로세싱기법을 활용하고 있고, 댐과 같은 대규모 구조물의 경우에는 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 구조물 표면의 변위량을 측정하여 안정성을 판단하는 경우도 있다(M. Stewart and M. Tsakiri, 2001). 또한 대형재난을 발생시킬 수 있는 공공구조물의 관리를 위해 법적으로 관리규정을 제시하는 등의 노력을 보이고 있다. 예를 들어, 미국의 경우에는 GPS를 이용하여 댐 표면의 장기 모니터링에 활용함으로써 지진에 의한 재해가 우려되는 댐을 관리하고 있고, GEOS(Geostationary Operational Environmental Satellite)시스템을 이용하여 댐의 계측자료 및 관련된 기후에 대한 자료들을 실시간으로 관리하고 있다. 캐나다에서는 댐 저수의 탁도(turbidity) 및 온도(thermal) 모니터링, 그리고 비디오 등을 설치하여 계측관리에 적용하고 있다.

국내에서도 학문간의 교류가 원활해지면서, 공학분야에서 첨단화되어 있는 각종 장비 및 장치들을 이용한 토목분야의 활용사례는 점차 증가되어 가고 있다. 특히, 정보화계측을 통한 각종 구조물의 안정해석 및 평가는 최첨단 계측장치 및 장비들이 활용되면서 사면의 활동예측(한중근 외, 2001, 2003), 구조물의 최적화 변위계측(배상호, 2000; 강준목 외, 1995, 1999), 댐의 모니터링(박운용 외, 2001; 한중근 외, 2005) 등에 적극적으로 사용되고 있다. 그러나 대부분의 시스템들은 정밀도에도 불구하고 실시간 계측이 대부분 불가능한 단점을 가지

고 있어 실제 현장에서의 적용성에는 많은 문제점들이 내포되어 있다고 할 수 있다. 특히, 사진영상을 이용한 계측방법 중 소프트카피 사진측량(softcopy photogrammetry)은 사진촬영과 도해, 해석과정을 거치면서 많은 시간이 소요되고 있어 많은 연구결과에도 불구하고 정밀도에 비해 빠른 측정을 요구하는 계측기로서 활용되기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 댐, 대규모사면 및 교량 등과 같은 대형구조물의 실시간 변위 또는 변형계측과 같은 현장 활용성을 검증하기 위해 디지털사진영상을 실시간 획득하고, 3D 좌표변화를 측정가능하도록 개발된 자동화 비주얼모니터링시스템(AVMS, Automatic Visual Monitoring System)을 이용하였다. 이를 위하여 실내·외 적용성 실험을 수행하였고, 개발된 시스템과 기존의 정밀계측장비로 활용되고 있는 토탈스테이션의 측정결과를 비교함으로써 현장적용성 및 정밀도에 대한 신뢰성을 확인하였다.

2. 기존의 영상모니터링 시스템

2.1 영상을 이용한 계측방법 적용현황

지금까지의 사진측량은 감광유체를 이용한 필름을 사용하였기 때문에 원하는 결과를 도출하기까지 많은 처리과정(사진획득, 분석, 해석도화, 이를 통한 3차원 좌표획득과 변환)이 요구되어 적용상의 어려움이 수반되고 데이터의 왜곡과 보관 등도 문제시되었다. 이후 보다 간편하고 경제적인 영상자료의 획득, 처리 및 저장이 가능한 매체로 CCD 카메라의 사용이 거론되면서 과거 고가품이었던 수치영상획득매체는 전기·전자분야의 발달과 함께 영상획득의 해상력과 해석영역이 확대되었고, 카메라 렌즈의 기하학적 왜곡 보정과 영상처리 및 해석에 관한 알고리즘 구축으로 정확도도 많이 향상되었다(C.S. Fraser, 1995). 1990년대 초, 필름을 스캔한 영상 분석기법의 효용 가능성이 제기되면서 다양한 분야에서의 활용방안을 제시하기 위한 많은 연구가 수행되었고, 1990년대 중반에 이르러서는 보다 정확도가 높은 영상분석기법 구축과 알고리즘의 개발, 그리고 실시간 분석을 위한 실용화에 대한 연구가 다수 수행되었다(Wong and El-Hakim, 1990). 또한 수치사진계측의 산업 현장적용(C.S. Fraser, 1991; C.S. Fraser and M.R. Shortis, 1998)을 위하여 수치영상을 이용한 3차원 위치측정에 관한 연구가 수행되었으며, R.A.H. Munjy(1985, 1986)

는 근접사진측량 분야와 MV분야에 폭넓은 활용을 위한 다중 초점렌즈의 검정에 관한 연구를 수행하였다. M.A. Chapman(1995)은 근접사진측량분야 및 초점렌즈 검정연구결과(M.R. Shortis et al., 1994)를 이용하여 CCD 카메라의 렌즈검정과 영상의 해석정확도 향상에 관한 연구를 수행하였다. 또한, Gruen A.(1992)는 로봇 비전에서의 영상분석과 대상물 공간에서의 위치결정을 위해 CCD 카메라를 이용하였다.

최근에는 기존의 연구를 근간으로 한 독립적 수행 프로그램을 시각적 분석 및 연계 분석이 가능한 환경으로 변환·구축하여 통합·관리하고자 하는 관심이 증대되고 있다. 특히, 수치영상을 통한 3차원 데이터 획득의 자동화를 이용하여 동체 움직임, 산업에서의 자동화 측정 등의 활용방안이 연구된 바 있다(Marsha Jo Hannah, 1989; Lee et al., 2006). 또한 최근의 수치영상기술을 활용한 사용자와의 인터페이스 설계를 통해 고정확도 측정기법으로의 비전 시스템화를 완성해 가고 있는 실정이다.

2.2 사진영상계측시스템

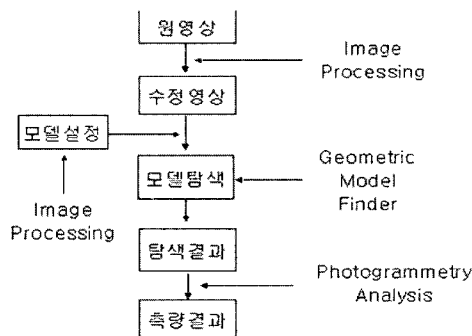
사진을 이용한 영상획득방법으로 소프트카피 사진측량(softcopy photogrammetry)은 측정용 카메라 또는 고화질 CCD 카메라를 이용하여 필름을 획득하고 도화 및 해석과정을 통해 3차원좌표와 연속된 중첩사진을 이용하여 변환된 좌표변환벡터를 구한 후 이를 3차원영상으로 처리하면 계측대상의 형상이 3차원적으로 구해지게 된다(강준묵, 1992; 한중근 외 2001). 그러나 이러한 방법은 좌표변환값을 획득하기 위해 여러 단계의 과정을 거치게 되므로 현장에서 발생하는 각종 변형 및 변화에 대하여 즉각적인 대처가 어려워지게 된다. 따라서 지반

공학분야에서 다루는 터널갱구부, 성토시 지반침하, 사면의 변형상태 그리고 지반굴착시 구조물의 변형 등을 지속적으로 관찰하고 위험시기 등을 예측하는 것과 같은 계측시스템으로의 활용에는 문제가 있게 된다. 또한, 재해위험 발생시 즉각적으로 그 위험을 감지하고 대처하기 위해서는 실시간 측정 가능한 시스템이 되어야 한다.

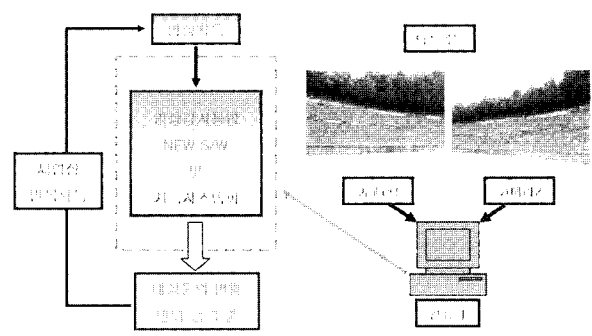
3. 3D 수치사진영상을 이용한 계측시스템의 개발

3.1 자동화 수치영상 모니터링 시스템

소프트카피 사진계측은 앞서 언급한 바와 같이 현장에서 계측된 각종 변형 및 변화에 대하여 즉각적인 대처가 어려워지기 때문에 재해위험 발생을 예측하거나 대처하기 어려운 단점이 있다. 따라서 영상획득에서 각종 구조물의 변화벡터를 추출하는 과정을 통합하면 구조물의 발생변위 및 변형 등을 쉽게 계측할 수 있게 된다. 이를 위해 영상획득에서부터 좌표생성, 변화벡터의 추출과정을 일시에 자동으로 해결하는 통합 소프트웨어를 개발하였으며, 그 과정은 그림 1에서 보는바와 같다. 개발된 통합프로그램은 Delphi를 이용한 Windows 기반으로 하였다. 해석과정은 크게 image processing, geometric model finder, photogrammetry analysis의 순서로 구분할 수 있다. Image processing은 여러 장치를 통하여 영상을 재가공하거나 정보를 추출하고, geometric model finder는 앞서 수정된 영상의 패턴을 인식하여 시스템에서 필요로 하는 자료만을 추출하는 역할을 한다. 그리고 photogrammetry analysis는 3차원 좌표생성 메카니즘으로서 2차원 공간상의 점으로 표현되는 입체사진을 토대로 하여 광학적·수학적 방법으로 3차원 공간의 점으로 재현하는 과정이다.



(a) 해석개념도



(b) 통합 s/w를 이용한 계측흐름도

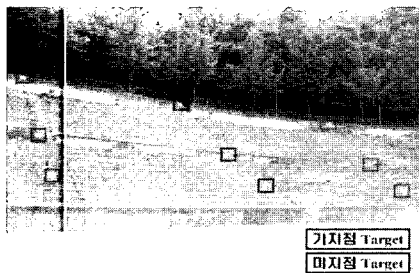
그림 1. 통합 s/w의 해석 흐름도 및 예

한편, 개발된 비주얼모니터링시스템의 변위계측 정밀도는 영상 획득용 CCD 카메라 혹은 디지털 카메라의 화소수와 밀접한 관계를 가진다. 즉, 화소수가 높은 고품질 카메라를 사용하여 획득한 영상을 분석하면 보다 정밀한 계측결과를 얻을 수 있다. 따라서 적용성 판단과 정밀도의 신뢰성을 확인하기 위한 simulation에서는 최근 개발된 고정밀도의 약 1,000만 화소(4000×2672pixels)의 CCD 카메라(IPX-11M5-LC) 2대를 사용하였다. 본 시스템은 적용 현장의 조건 및 요구 계측정밀도에 따라 영상 획득 수단(CCD 혹은 디지털 카메라)의 경제성을 고려하여 선택적으로 활용할 수 있는 장점을 가진다.

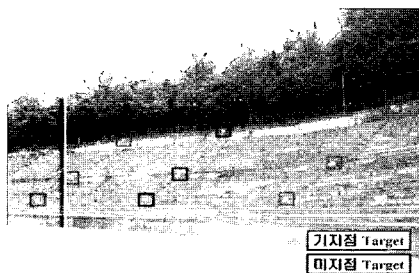
3.2 개발된 프로그램의 실행과정

수치영상기법을 활용한 시설물의 실시간 모니터링 시스템은 대상물에 대한 정보의 획득과 이전에 획득된 정보와의 비교를 통해 대상물의 안정여부를 즉각 판단함으로써, 대형시설물의 효율적인 유지관리에 기여할 수 있도록 하는 실시간 감시시스템이다.

먼저, 그림 2와 같이 대상구조물의 좌·우에서 기지점과 미지점이 포함된 중복영상을 획득한다. 획득된 영상을 모델탐색을 용이하게 하기 위해 그레이영상화하고 잡음제거를 위해 image processing 작업을 수행한 후 생성된 수정영상과 찾고자 하는 모델에 대한 이미지를 가지고 geometric model finder를 이용해서 영상에서 미지



(a) 좌측영상



(b) 우측영상

그림 2. 기지점 및 미지점이 포함된 획득영상

점의 모델위치를 파악한다. 모델탐색과정에 의해서 얻어진 결과와 디지털카메라의 위치와 회전 등에 대한 기본정보 그리고 렌즈에 대한 정보를 이용하여 사진측량 해석모듈을 이용하여 앞서 찾아낸 모델의 공간상의 위치를 결정하게 된다. 간단히 정리하면 그림 2와 같이 좌·우측 기본영상을 획득하고, 해석에 필요한 카메라의 기본정보 및 기지점의 측량값 등을 그림 3과 같이 설정하면 그림 4와 같이 최종적인 미지점의 3차원 좌표값이 구하여진다. 또한 반복된 사진영상의 좌표치리는 초기에 설정된 그림 3의 기준좌표값을 비교하여 가상 생성되도록 한다. 자세한 해석과정은 기존연구를 참고하여도 좋다 (한중근 외, 2005).

4. 현장적용성 및 정밀도의 신뢰성 확인을 위한 Simulation

개발 시스템의 현장적용성을 판단하기 위하여 대규모 구조물의 실험대상에 대한 한계 때문에 콘크리트 벽면으로 이루어진 운동장스텐드를 대상으로 하여 simulation을 실시하였다. 그리고 상·하, 좌·우의 변위량 계측뿐만 아니라 실외실험에서 구현할 수 없었던 구조물의 전면 변위 계측분석을 위해 보강토옹벽블록의 실내하중재하 실험을 모델로 선정하여 목적인 계측점의 3D좌표획득에 대한 정밀도의 신뢰성을 확인할 수 있도록 하였다. 먼저 실내·외 실험 시 사용된 기지점은 각각 6개이며

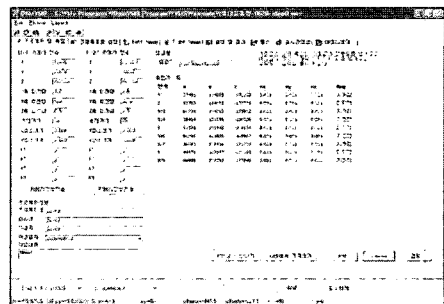


그림 3. 프로그램의 초기 화면

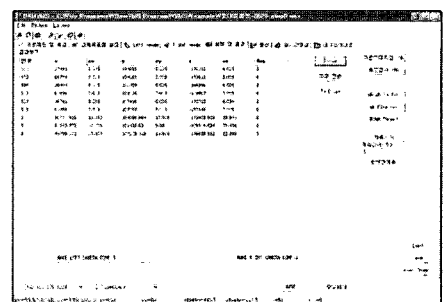


그림 4. 3차원 좌표의 해석결과 화면

미지점은 각각 3개와 9개로 구성하였다. 기지점은 측정하고자 하는 미지점의 개수와 위치에 상관없이 임의적으로 변경이 가능하지만 반드시 1개 이상이 고정되어 있어야 하며 측정대상물을 포함하는 영상에 나타나야 한다. 또한 기지점의 개수가 많을수록 미지점 측정결과 신뢰성은 증가하게 된다. 따라서 본 simulation에서는 측정오차범위를 산정하고 적용되는 실험대상의 상태 및 요구되는 정확도 등을 파악하여 기지점을 미지점 개수의 약 70%~200% 정도로 고려하여 설치하였다.

한편, 개발 시스템의 정밀도 검증을 위하여 현장에서 원거리계측장비로 많이 사용되고 있는 토탈스테이션(model : set 510/SOKKIA)을 사용하였으며, 사용된 장비의 사양은 표 1과 같다.

4.1 대형 구조물 계측을 위한 현장적용성 Simulation

4.1.1 실외실험 개요

대형 토목구조물들(댐, 교량, 건축 등)의 대부분이 콘크리트시멘트 벽면으로 구성되어 있는데 착안하여 현장적용성을 검토하였다. 즉, 계측 대상구조물은 그림 2에서와 같이 콘크리트시멘트로 시공된 OO대학교 내 운동장스탠드를 대상으로 하였다. 측정대상위치는 그림 5와 같이 측정으로부터 각각 약 76m~97m 떨어진 위치

에 영상획득장비인 CCD 카메라 2대를 87.9m 이격시켜 원격제어로 측정하였고, 측정대상물의 측점은 총 9개(기지점 6개, 미지점 3개)의 타겟을 설치하였다(그림 2 참조). 이때 타겟 1, 4, 7번과 3, 6, 9번을 기지점으로 설정하였고, 타겟 2, 5, 8번을 미지점으로 설정하였다. 변위측정을 위해서는 구조물의 변위가 발생되어야 하지만 실제로 대형구조물의 변위는 작은 양이 발생되므로 미지점 3개(측점 : 2, 5, 8번)를 그림 6과 같이 최초 타겟 위치로부터 각각 좌·우로 9cm, 상·하로 5cm 강제변위시켜 미지점 1개의 측점에 대해 각 4회(STEP 1~4)의 발생변위를 측정하였다. Simulation 절차는 그림 7과 같이 먼저, 시스템 및 CCD 카메라를 원격설치하고, 대상물에 측점이 되는 타겟을 설치 후 토탈스테이션을 이용하여 기지점과 미지점 및 카메라의 3차원위치를 획득하였다. 이러한 과정이 끝나면 대상측점에 대해 설치된 CCD 카메라를 이용하여 그림 8과 같이 좌·우측의 이미지를 획득하고, 발생된 변위영상을 연속적으로 측정하여 변위벡터량을 산정하였다.

4.1.2 Simulation 결과의 평가

본 절에서는 측정 대상물에 9개의 타겟을 설치하여 토탈스테이션을 통한 기지점 및 카메라의 위치측정절

표 1. 토탈스테이션의 성능

구분		SET510	
망원경 배율		30×	
측각부	최소표시(선택가능)	H&V	1"/5" 선택 가능
	정도(ISO 12857-2 1997)	H&V	5"
자동 보정 장치		자동 2축 경사 보정 장치, 작동 범위: ±3' (±55mgon)	
측거부	측정범위	반사시트	120m
	정도	유리 프리즘	±(2 + 2ppm X D)mm
		반사시트	±(4 + 3ppm X D)mm

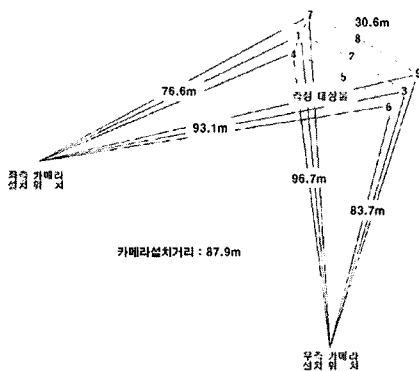


그림 5. 실외실험 배치도

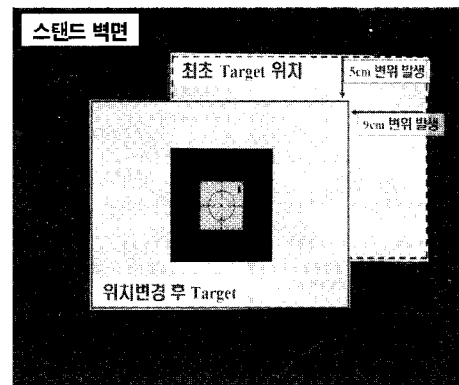
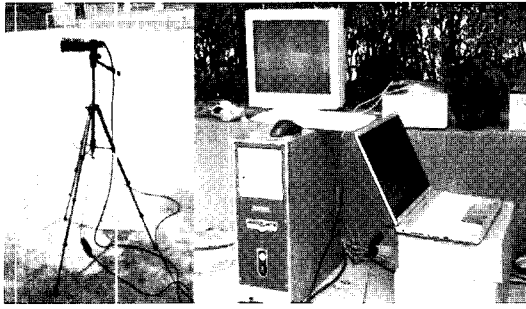
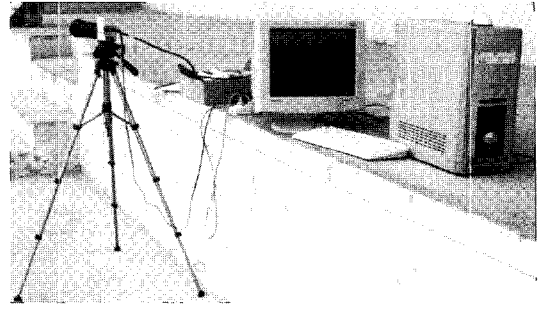


그림 6. 타겟의 강제변위 발생정도

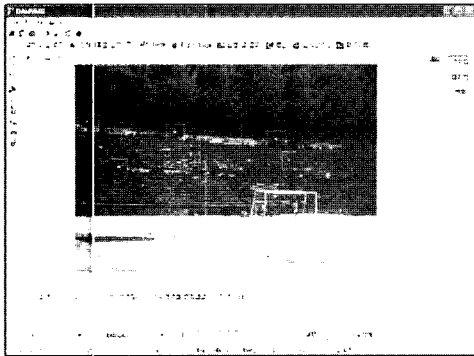


(a) 좌측 카메라 및 시스템

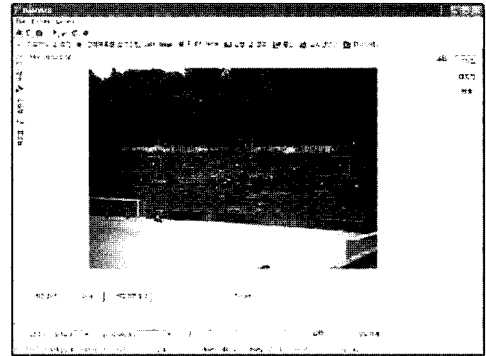


(b) 우측 카메라 및 시스템

그림 7. 카메라 및 시스템 전경



(a) 좌측영상



(b) 우측영상

그림 8. 측정대상물에 대한 좌·우측 획득영상

표 2. 토탈스테이션을 이용하여 측정된 각 측정점의 3차원 초기좌표 값

STEP	STA.	사진측량 값			토탈스테이션 값			구분
		x	y	z	x'	y'	z'	
STEP 0	1	37491	104055	-170330	37491	104055	-170330	기지점
	2	50732	104053	-173430	50797	104052	-173335	미지점
	3	66774	104083	-173912	66774	104083	-173912	기지점
	4	38404	101559	-166586	38404	101559	-166586	기지점
	5	51345	101437	-169566	51398	101445	-169534	미지점
	6	66096	101606	-169967	66096	101606	-169967	기지점
	7	36781	107416	-173733	36781	107416	-173733	기지점
	8	49892	107274	-176846	49971	107247	-176695	미지점
	9	66988	107393	-177548	66988	107393	-177548	기지점

과와 그림 2~그림 4의 과정을 거쳐 획득한 영상자료를 분석하여 개발된 시스템과의 결과를 비교·검토 하였다.

초기 획득영상에 대한 기지점과 미지점의 좌표는 표 2에서 보는 바와 같이 토탈스테이션의 좌표값과 거의 동일하게 측정되었다. 이어 그림 6과 같은 강제발생변위의 좌·우영상을 그림 8에서와 같이 각각 획득하고, 변위가 발생된 측정점에 대해 개발시스템과 토탈스테이션에 의해 각각 변위량을 측정하여 표 3의 결과를 얻었다. 토탈스테이션과 비주얼모니터링시스템을 이용한 사

진측량의 측정결과를 비교한 결과, 발생변위측점에 대한 오차는 0.325mm~10.436mm로 다소 불규칙적인 차이를 나타내고 있지만 카메라 화소수와 대상물의 실제 거리를 고려하여 산정된 오차범위는 0mm~10.978mm로서 개발된 시스템의 정밀도에는 큰 이상이 없음을 확인하였다. 따라서 각종 토목구조물 특히, 대형벽면으로 구성된 구조물들의 벽면변위나 외관변형 및 균열 등의 측정에 활용이 가능함을 알 수 있었다. 또한 렌즈의 왜곡, zooming, 타겟 등의 추가적인 연구에 의해 오차는

표 3. 강제발생변위에 대한 각 축점의 사진계측 값과 토탈스테이션 측정값의 비교

STEP	STA.	사진측량 값			토탈스테이션 값			사진 측량 변위량 (mm)	토탈 스테이션 변위량 (mm)	차 이 (mm)
		x	y	z	x'	y'	z'			
STEP 1	5	51434	101386	-169592	51486	101401	-169558	101.272	106.049	-4.777
STEP 2		51431	101483	-169592	51480	101498	-169554	99.664	101.073	-1.409
STEP 3		51255	101483	-169545	51310	101497	-169511	104.771	102.619	2.153
STEP 4		51253	101392	-169548	51309	101398	-169518	101.912	104.530	-2.619
STEP 1	2	50814	104014	-173452	50888	104008	-173358	103.663	93.227	10.436
STEP 2		50816	104104	-173448	50883	104100	-173352	99.945	99.620	0.325
STEP 3		50641	104104	-173408	50708	104098	-173310	103.257	106.287	-3.030
STEP 4		50636	104017	-173415	50705	104008	-173311	104.766	103.350	1.416
STEP 1	8	49979	107232	-176874	50060	107202	-176724	103.860	100.538	3.322
STEP 2		49978	107321	-176871	50050	107293	-176719	94.515	101.020	-6.505
STEP 3		49796	107323	-176833	49882	107290	-176679	100.130	108.735	-8.605
STEP 4		49799	107228	-176839	49884	107195	-176682	102.186	104.239	-2.052

줄어들게 되므로 비주얼모니터링시스템에 의한 계측정밀도가 더욱 증가할 수 있을 것으로 추정된다.

4.2 시스템 정밀도의 신뢰성 확인을 위한 실내 Simulation

4.2.1 실내실험 개요

원거리 계측의 현장적용을 위한 실험을 통해 CCD 카메라에 의한 비주얼모니터링시스템의 적용성을 확인하였으나 오차범위의 폭이 측정값에 비해 비교적 다양하게 분석되었으며, 이는 좌표값의 전면변위량에 의한 값의 변화로 추정되었다. 따라서 비교적 근거리 계측을 이용한 실내실험을 통해 측정값의 정밀도 및 적용성을 본절에서는 검토해보고자 한다. 이를 위하여 블록식보강토옹벽 블록의 변형 및 구조물의 전체적인 변위계측을 위한 실내하중재하실험을 실시하였다.

실험은 하중재하에 의한 수직변위계측 3회, 임의의 수평변위계측 2회, 수직·수평 동시변위계측 1회로 총 6회 실시하였다. 그리고 실험과정은 그림 10과 같이 블록을 3단으로 쌓고 그림 11과 같이 타겟을 설치한 후 기지점 및 미지점에 대하여 토탈스테이션과 비주얼모니터링시스템을 이용하여 각각 계측을 실시하였다. 변위는 연직하중을 3~5ton으로 변화시키면서 수직변위를 발생시켰으며, 수평변위는 블록 하단의 침하유도를 위한 매트를 움직여 임의의 양만큼 발생시켰다. 이렇게 각 사례별로 변위를 발생시킨 후 앞서 언급한 계측작업을 반복 수행하였고, 실험과정은 그림 12에서 보는바와 같다.

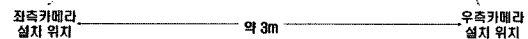
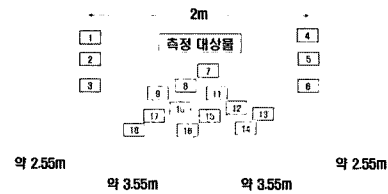


그림 9. 실내실험 배치도

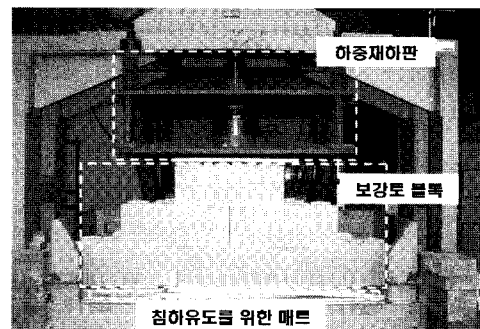


그림 10. 계측대상물 전경

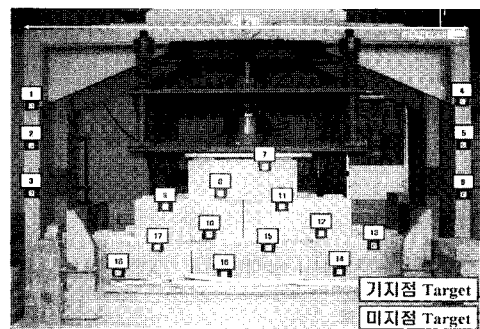
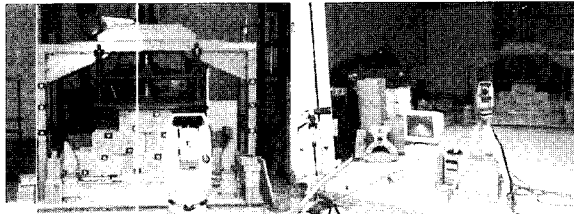
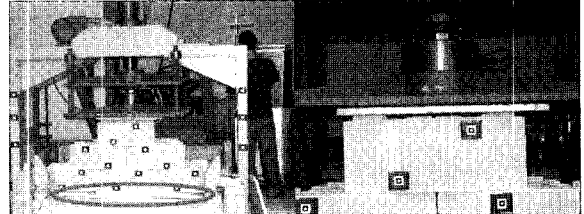


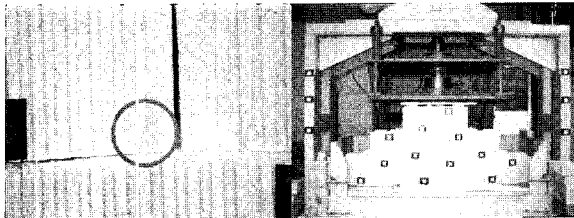
그림 11. 타겟 설치



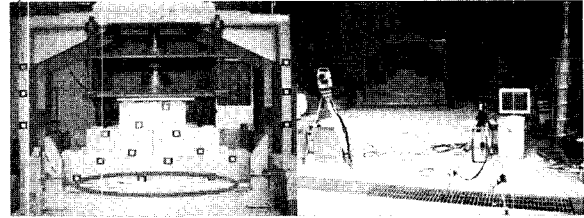
초기좌표 계측(Total Station, 시스템)



하중재하



블록의 균열 발생 후 실험 종료



블록 침하 후 계측(Total Station, 시스템)

그림 12. 실험과정

표 4. 토탈스테이션을 이용하여 측정된 각 측정점의 3차원 초기좌표 값

CASE	STA.	사진측량 값			토탈스테이션 값			구분
		x	y	z	x'	y'	z'	
초기좌표	1	98510.847	100077.900	-101910.649	98510.386	100078.000	-101910.958	기지점
	2	98507.614	99880.990	-101909.354	98507.538	99881.000	-101909.585	기지점
	3	98507.596	99645.986	-101906.579	98508.193	99646.000	-101906.039	기지점
	4	100450.476	100087.975	-101784.031	100450.462	100088.000	-101783.817	기지점
	5	100451.929	99873.744	-101782.688	100451.855	99874.000	-101782.383	기지점
	6	100451.849	99630.405	-101783.277	100451.876	99630.000	-101783.797	기지점
	7	99565.638	99796.911	-101888.142	99563.742	99796.000	-101887.196	미지점
	8	99365.990	99666.749	-101899.349	99365.937	99668.000	-101901.379	미지점
	9	99115.593	99598.716	-101921.668	99116.590	99600.000	-101921.260	미지점
	10	99312.795	99460.631	-101909.151	99312.305	99463.000	-101909.229	미지점
	11	99639.355	99598.882	-101887.289	99639.445	99600.000	-101889.634	미지점
	12	99818.167	99462.401	-101879.520	99818.253	99464.000	-101882.090	미지점
	14	99900.731	99269.404	-101872.955	99900.945	99270.000	-101878.770	미지점
	16	99377.803	99262.640	-101904.771	99378.007	99266.000	-101904.740	미지점
	17	99075.643	99398.641	-101923.286	99076.299	99401.000	-101922.552	미지점

4.2.2 Simulation 결과의 분석

비주얼모니터링시스템과 토탈스테이션을 이용하여 6개의 기지점을 기준으로 하여 9개의 미지점에 대하여 하중 증가에 따른 수직변위와 임의의 수평변위를 계측하였고, 그 결과를 비교하였다.

표 5에서 보는바와 같이 개발 시스템과 토탈스테이션을 이용하여 얻은 측정값을 비교한 결과, 미지점 9개에 대한 발생변위의 계측오차는 0.045~2.085mm의 차이를 나타내었으며 산정된 오차범위는 0mm~2.11mm로서 시스템의 신뢰성을 확인하였다.

를 나타내었으며 산정된 오차범위는 0mm~2.11mm로서 시스템의 신뢰성을 확인하였다.

근거리 측정에서의 오차범위 값이 줄어든 것은 실외 현장적용성 실험 시 사용했던 반사타겟이 원인으로 제시되었으며, 따라서 빛에 의해 발생되었던 명암에 대한 문제점을 보완·제작한 타겟을 사용함으로써 카메라의 화소수에 의한 측정거리의 문제를 다소 해결할 수 있었던 것으로 판단된다.

표 5. 발생변위에 대한 각 측정점의 사진계측 값과 토탈스테이션 측정값의 비교

CASE	STA.	사진 측량 변위량 (mm)	토탈 스테이션 변위량 (mm)	차 이 (mm)	CASE	STA.	사진 측량 변위량 (mm)	토탈 스테이션 변위량 (mm)	차 이 (mm)
CASE1 3ton 하중재하	7	12.891	11.045	1.846	CASE4 임의의 수평변위 (i)	7	22.587	21.954	0.633
	8	13.164	12.083	1.081		8	22.762	22.472	0.290
	9	12.221	12.083	0.138		9	23.792	24.739	-0.947
	10	12.362	12.042	0.320		10	22.710	24.352	-1.642
	11	11.955	11.000	0.955		11	21.886	21.401	0.486
	12	11.894	12.042	-0.147		12	21.410	20.616	0.794
	14	12.182	12.083	0.099		14	20.807	21.260	-0.453
	16	11.706	13.077	-1.370		16	22.029	21.471	0.558
	17	13.742	14.000	-0.258		17	18.788	19.723	-0.935
CASE2 4ton 하중재하	7	17.657	16.062	1.594	CASE5 임의의 수평변위 (ii)	7	31.478	30.676	0.802
	8	17.560	17.000	0.560		8	31.350	31.209	0.141
	9	17.169	17.000	0.169		9	32.599	32.311	0.288
	10	17.439	17.029	0.410		10	31.609	32.342	-0.733
	11	16.767	16.031	0.736		11	31.379	30.545	0.834
	12	17.251	17.029	0.222		12	30.593	29.883	0.710
	14	17.058	17.146	-0.089		14	30.712	31.257	-0.545
	16	16.476	17.059	-0.583		16	31.430	31.385	0.045
	17	19.199	19.053	0.147		17	30.385	30.480	-0.095
CASE3 5ton 하중재하	7	23.852	22.023	1.829	CASE6 임의의 수평변위 후 4ton 하중재하	7	37.526	35.679	1.847
	8	24.034	23.022	1.012		8	37.360	35.958	1.402
	9	22.800	22.023	0.777		9	38.185	37.283	0.902
	10	23.483	23.022	0.461		10	37.744	36.892	0.852
	11	23.576	22.000	1.576		11	37.274	35.511	1.763
	12	23.867	23.043	0.824		12	37.277	35.917	1.361
	14	23.649	22.204	1.445		14	40.373	38.288	2.085
	16	24.303	24.021	0.282		16	38.214	37.229	0.985
	17	23.988	24.083	-0.095		17	36.165	36.401	-0.235

5. 결론

본 연구에서는 구조물의 안정성 평가방법 중 기존 계측체계 및 수동계측이 가지고 있는 단점들을 해결하기 위하여 고가의 계측시스템이면서 해석을 위한 3차원 좌표변환에 많은 시간이 소요되어 실시간 해석이 불가능한 소프트카피 사진측량이 가지고 있는 단점을 개선한 자동화 비주얼모니터링시스템(AVMS, Automatic Visual Monitoring System)을 개발하였다. 개발된 프로그램은 실시간 자동화 변위계측시스템으로서 구조물 변형 및 변위에 대한 즉각적 대처가 가능할 수 있도록 디지털영상을 실시간 획득하여 수치사진영상을 이용한 3차원 좌표값의 변화를 측정함으로써 변위계측을 가능케 할 수 있도록 하였다.

또한 벽면이 콘크리트시멘트로 구성되어 있는 대형

토목구조물 계측을 위한 현장적용성 검토, 성능 평가, 정밀도에 대한 신뢰성 확인 및 문제점 개선을 위하여 비주얼모니터링시스템을 이용한 실내·외 실험을 실시하였다. 실외실험의 경우, 측정점의 실제 발생변위에 대한 사진측량의 측정오차는 0.325mm~10.436mm(오차범위 : 0mm~10.978mm)를 나타내었고, 실내실험에서 발생변위의 측정오차는 0.045~2.085mm(오차범위 : 0mm~2.11mm)로 나타났다. 이와 같은 실험결과에서 알 수 있듯이 시스템의 정밀도는 큰 문제가 없음을 확인하였다.

한편, 각각의 실험결과에서 나타난 오차의 원인을 분석한 결과, 결과비교를 위하여 사용된 정밀계측장비인 토탈스테이션 고유의 기계오차에 의한 원인과 영상 획득 시 빛에 의해 측정용 반사타겟이 번짐현상을 나타내어 영상의 명암문제가 원인으로 분석되었다. 따라서 기계오차에 대한 원인을 배제시키고, 빛에 의한 반사가 없

는 타겟을 사용한다면 개발된 시스템의 정밀도에 대한 신뢰성은 더욱 높아질 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 개발된 수치사진영상을 활용한 실시간 자동 변위계측시스템은 대형벽면으로 이루어진 각종 토목구조물 및 용벽구조물의 벽면변위계측이나 변형 및 균열 등의 측정에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 개발된 비주얼모니터링시스템은 빠른 속도로 발전하고 있는 영상획득매체의 화소수 증가로 인하여 해석의 정밀도가 크게 향상될 수 있기 때문에 벽면변위 뿐만 아니라 대부분의 토목구조물에 발생하는 미소변위 및 변형계측이 가능함으로서 새로운 자동화 계측체계가 마련될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 지원하는 2004년도 건설기술기반구축사업(04기반구축 A06-01)에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 강준복 (1992), *지상사진측량에 의한 구조물변형의 최적해석에 관한 연구* 최종보고서, 한국과학재단.
2. 강준복, 배상호, 송승호 (1999), 원도우 시스템체계를 이용한 수치사진기법 구축, *대한토목학회 논문집*, 제19권 제III-2호, pp. 325-334.
3. 강준복, 윤희천, 배상호 (1995), 교량의 안전진단을 위한 3차원 변형해석에 관한 연구, *한국측지학회*, 13(1), pp.69-76.
4. 박운용, 김진수, 이인수 (2001), GPS를 이용한 불안정 댐의 모니터링, *대한토목학회 논문집*, 21(3-D), pp.383-392.
5. 배상호 (2000), *구조물변위 해석을 위한 수치사진측량의 컴포넌트 개발*, 충남대학교 박사학위논문.
6. 한중근, 배상호, 오다영 (2001), 사면의 지표변위계측을 위한 사진측

- 량기법의 적용, *한국환경복원농화기술학회*, 제4권 제3호, pp.10-18.
7. 한중근, 송영석 (2003), 사면안정해석을 위한 사진측량을 이용한 사면변위계측시스템, *한국지반공학학회 논문집*, 제19권 4호, pp. 23-32.
8. 한중근, 조삼터, 강명진, 홍기권 (2005), Dam 계측을 위한 비주얼 모니터링 System 개발, *중앙대학교 기술과학연구소 논문집*, 제 35-1집, pp.81-89.
9. C.S. Fraser (1991), A resume of some industrial applications of photogrammetry, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
10. C.S. Fraser (1995), Full Automation of Sensor Calibration, Exterior Orientation and Triangulation in Industrial Vision Metrology, *International Workshop on Image analysis and Information Fusion*.
11. C.S. Fraser and M.R. Shortis (1998), State of the Art of 3D Measurement Systems for Industrial and Engineering Applications, *21st International Congress of FIG*.
12. Gruen A. (1992), Recent advances of photogrammetry in robot vision, *Journal of photogrammetry and remote sensing*, Vol.47, 307-323.
13. M.A. Chapman and D.D. Lichti (1995), CCD camera calibration using the finite element method, *Proceedings of SPIE*.
14. Marsha Jo Hannah (1989), A system for digital stereo image matching, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, pp. 1765-1770.
15. M.R. Shortis, T.A. Clarke and T. Short (1994), Comparison of some techniques for the subpixel location of discrete target images, *Proceedings of SPIE*, Vol.2350, pp.239-250.
16. M. Stewart and M. Tsakiri (2001), Long-term dam surface monitoring using the global positioning system, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 6, pp.1-19.
17. R.A.H. Munjy (1985), A finite element analysis of the effect of having fiducial marks in non-topographic photogrammetry, *Annual Meeting 51st*, Washington, DC, 160-169.
18. R.A.H. Munjy (1986), Calibrating non-metric cameras using the finite-element method.
19. Soo Cheol Lee, Een Jun Hwang and Jung Geun Han (2006), Efficient Image Retrieval Based on Minimal Spatial Relationships, *Journal of Information Science and Engineering*, Vol.22, pp. 447-459.
20. Wong and El-Hakim (1990), Working group V/1: digital and real-time close-range photogrammetry, *Close-Range Photogrammetry Meets Machine Vision, SPIE Proceedings*, Vol.1395.

(접수일자 2006. 8. 21, 심사완료일 2007. 5. 24)