

CCD 영상획득 시스템에 의한 피사체의 변위 측정 The Deflection Measurement of Objects by the CCD Image Acquisition System

강준묵* · 배연성** · 주영은*** · 엄대용***

Kang, Joon-Mook · Bae, Yeon-Soung · Joo, Young-Eun · Um, Dae-Yong

요 旨

최근 온라인 영상분석 시스템에 의한 수치영상의 정량적 분석에 관한 연구가 활발히 진행됨에 따라 교량 및 각종 구조물의 안정성 평가에 있어 수치영상의 활용이 모색되고 있다. 본 연구에서는 CCD 카메라로부터 획득된 영상을 이용하여 구조물의 변형을 효율적으로 해석하기 위해 동일시간대 입체영상 획득과 이를 일괄적으로 처리할 수 있는 시스템을 구축하고 콘크리트 하중재하시험을 실시하여 영상해석 정확도 및 공시체의 변위량을 도출함으로써 구축한 시스템에 대한 신뢰도 분석 및 활용가능성을 제시하고자 하였다.

ABSTRACT

These days, the quantitative analysis of digital image by on-line image analysis system is being progressed actively, so the application of digital image is being groped in the safe test of construction. In this study, the synchronized 3D image acquisition and the system for processing that were established for analyzing the deflection of construction by using the acquired image from CCD camera. The reliability and the possibility of this established system are presented by deriving the accuracy of image analysis and the deflection of object through concrete loading test.

1. 서 론

최근 사진측량은 CCD 카메라의 개발과 영상의 해상도 향상 그리고 컴퓨터 처리기술의 발달과 더불어 수치영상의 정확도 향상은 물론 그 처리 시스템의 자동화에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 또한 GUI(Graphic User Interface) 윈도우 환경을 이용한 영상처리 및 분석 시스템의 개발이 보다 손쉬워지면서 수치영상의 실시간 자동분석시스템의 개발이 가능해졌고 지도제작은 물론 구조물 변형측정, 인체 형상측정, 제조업 생산라인의 품질관리를 위한 MV(Machine Vision)분야 등에 활용 가능성이 증대되고 있다.¹⁾

이와 같이 각 분야에서 수치사진측량에 대한 요구가 급증함에 따라 이의 실용화를 위한 다각적인 연구가 절

실히 요망되고 있으며 이를 위해 보다 간편한 방법에 의한 영상획득 시스템의 구축과 사용자의 작업을 최소화할 수 있는 소프트웨어적 처리기법의 개발이 선행과제로 제기되고 있다.^{2,3)}

이에 본 연구에서는 수치근접사진측량기법을 통한 건설 및 산업구조물의 안전진단을 위한 변형 및 순간거동을 보다 효율적으로 해석하기 위해 CCD 카메라를 이용한 순간동기입체영상 획득시스템을 구축하고 GUI 윈도우 환경에 의한 분석시스템과 연계한 수치사진측량 처리 시스템을 구축하고자 하였다. 또한, 안정된 촬영시스템의 활용을 위해 렌즈 검정(Calibration)을 수행하여 CCD 배열에 따른 주점의 편위량과 렌즈 왜곡량을 도출함으로써 해석정확도 향상을 도모한다. 그리고 구축한 시스템의 효용성을 검증하기 위해 콘크리트 공시체를 피사체로 선정하여 하중변화에 따른 변위량을 도출하고 3차원 좌표성과를 이용하여 피사체의 휨 변형을 해석하고자 하였다. 또한 기존의 필름을 이용한 Rollei 6008 측정용 카메라에 의한 측정성과와 구축한 수치사진측량 처리시스템에

*충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

**충청대학교 국토개발학부 조교수

***충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

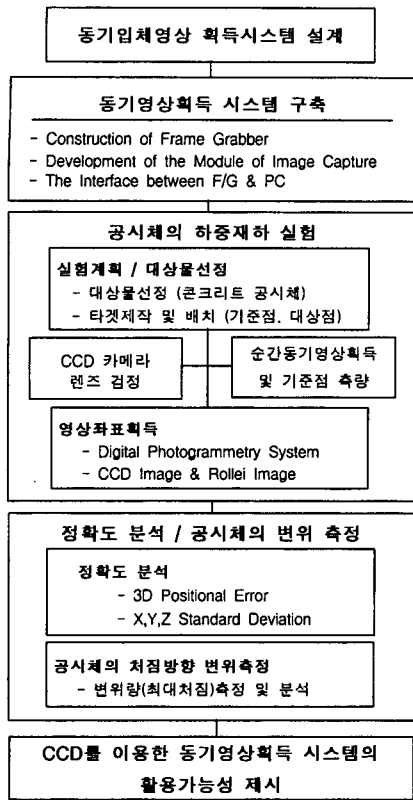


그림 1. 연구수행흐름도

의해 획득한 성과와의 비교·분석을 통해 토목구조물의 안전성평가 뿐만 아니라 다양한 산업분야의 VM(Vision Metrology) 분야에서 본 시스템의 활용가능성을 제시하고자 하였다. 그림 1은 본 연구의 연구수행 흐름도를 나타낸 것이다.

2. 시스템구축

2.1 촬영시스템

수치영상 획득매체로서 자체 저장능력을 가지고 있는 디지털 카메라가 널리 사용되어지고 있으나 촬영에서 저장까지는 2~5초 정도의 시간간격이 필요하여 동체의 연속촬영에는 적합하지 않다. 이에 본 연구에서는 프레임 그래버를 이용하여 연속적으로 입력되는 영상신호를 초당 최대 30프레임의 영상을 캡처하여 저장할 수 있는 CCD 카메라를 이용하였다.

카메라는 두 대 이상의 카메라 상호간의 신호를 동기화 시켜주는 Gen-Lock 기능이 있는 SDC-4303NA

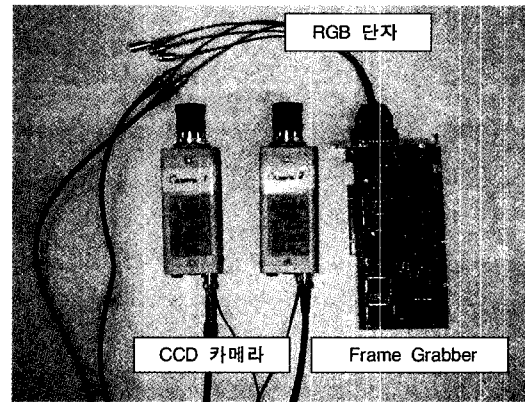


그림 2. CCD Camera & Frame Grabber

Color CCD 카메라(Samsung社)를 사용하였다. CCD 칩의 크기는 6.00 mm(H)×4.96 mm(V)이며 유효화소 수는 768×494 픽셀에 한 화소의 크기는 6.35 μm(H)×7.40 μm(V)이다. 렌즈는 자동조리개 렌즈, CS-마운트 그리고 C-마운트 렌즈 등을 사용할 수 있도록 제작하였다. 본 연구에서는 초점거리 16 mm C-마운트 렌즈를 사용하였다.

영상의 디스플레이 및 저장을 위한 컴퓨터와 CCD 카메라의 인터페이스를 위해 Matrox Meteor-II PCI 프레임 그래버(Matrox Image Inc.)를 사용하였다. 컬러영상 신호를 받아들이는 프레임 그래버의 두 개 RGB input 단자들에 각각 독립적으로 여러 대의 CCD 카메라의 output 단자를 연결할 수 있도록 제작하였다. 이를 통해 최대 6대의 CCD 카메라를 동시에 연결하여 동기 흑백영상을 모니터 상에 디스플레이 할 수 있도록 구현하였다.

좌·우측 카메라로부터 초당 30프레임씩의 영상을 획득할 경우 이들 영상을 저장하기 위해서는 PC내에 상당한 저장공간을 필요로 하게 된다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 디스플레이 된 영상의 저장을 위해 최대 5 frame/sec의 영상을 캡처·자동 저장할 수 있도록 프로그램을 구현하여 프레임 그래버와 인터페이스시켰다. 영상캡처 프로그램은 Visual C를 이용하여 구현하였으며 카메라의 수와 초당 획득영상수의 조절 그리고 획득한 영상의 자동저장을 위해 카메라와 컴퓨터간의 중간적 역할을 담당하도록 계획하였다. 그림 3과 그림 4는 구현한 프로그램의 일부를 나타낸 것이다.

또한 기존의 필름영상에 의한 해석방법으로 변형해석을 위해 두 대의 Rollei 6008 Metric 카메라를 사용하

```

if(ch == '1') {
    // Grab Channel 0 Select
    channel = M_CH0;
    MdigChannel(MIDigitizer,channel);
}
if(ch == '2') {
    // Grab Channel 0 Select
    channel = M_CH1;
    MdigChannel(MIDigitizer,channel);
}

if(ch == 0x1b) key = 1;
if((key == 0) && (ch != '1') && (ch != '2')) {
    MdigHalt(MIDigitizer);
    index = index + 1;
    // Grab mode Select
    MdigControl(MIDigitizer, M_GRAB_MODE, M_SYNCHRONOUS);
}

```

그림 3. 동기영상획득프로그램(I)

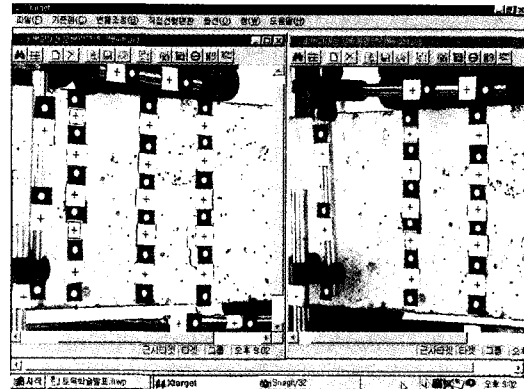


그림 6. 수치영상분석 시스템 윈도우

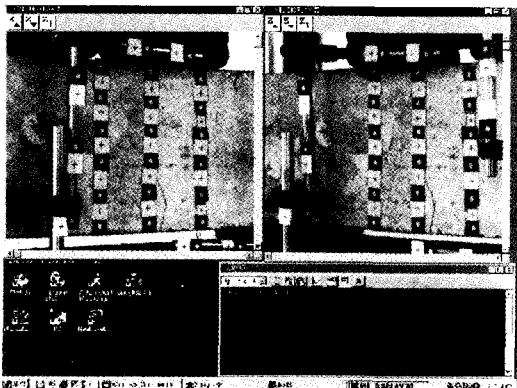


그림 4. 동기영상획득프로그램(II)

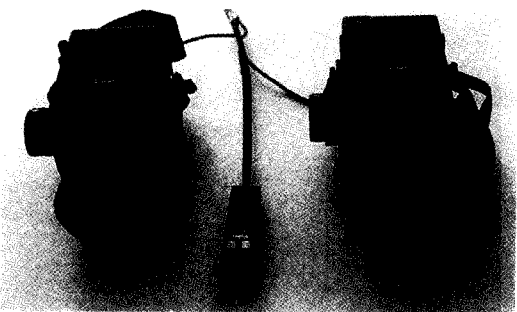


그림 5. Rollei 6008 Metric Camera

였다. 두 대 카메라의 동시촬영을 위해 하나의 셔터로부터 동기 전자신호를 보내 촬영할 수 있는 전자식 릴리즈를 제작하여 연속촬영을 통해 2 frame/sec의 동기영상을 획득할 수 있도록 하였다(그림 5).

2.2 분석시스템

대상물에 부착한 타겟들의 2차원 영상좌표를 획득하기

위해 자체개발한 수치영상측정시스템을 이용하였다. 본 시스템은 윈도우 환경하에서 이벤트의 핸들러를 정의하는 이벤트 드리븐 방식(Event driven method)과 주제별 모듈을 개체화 형태로 작성하는 객체지향기법(OOP: Object Oriented Programming)을 이용한 시스템으로 타겟인식(Target recognition)과 로케이션 기법(Location)에 의한 타겟 이미지의 측정정확도 향상을 위해 광속조정 클래스에 이르는 다양한 해석과정을 모듈화 한 것이다.

또한, 이미지 분할(Segmentation), 위치측정(Positioning), 부결한계(Reject limit), 기준점, 좌표변환, 보정, 3차원 해석 등의 사용자 클래스와 이미지의 자동 타겟팅에 의한 데이터 처리루틴을 완성한 시스템이다. 본 시스템은 이미지 분할 6개의 방법과 타겟 중심위치측정 5개 방법을 조합한 총 30개 방법에 대해 이미지 좌표를 산출하기 위한 클래스로 제작하였다.

이미지 분할은 Global Thresholding, Semi-thresholding, Multilevel thresholding, 그리고 분산과 표준편차를 이용한 임계값(Thresholding)의 알고리즘을 적용하였으며, 중심위치측정은 원형타겟의 중심위치를 측정하기 위해 도형의 도심을 이용한 도심측정기법(Centroid)과 외곽선 검출(Edge detection)에 의한 타원피팅(Ellipse fitting)기법 그리고 부결한계결정 등의 기법을 활용하였다.

본 시스템에는 이미지 분할, 위치측정, 사진좌표, 왜곡 보정좌표, 타겟삭제, 타겟추가, 대칭비, 그룹변화 등의 기능을 수행할 수 있도록 좌표측정패널이 설계되었다. 또한, 싱글 다큐먼트(Single document)로 실행한 좌표산출 결과를 나타낼 수 있는 결과패널에서는 좌표측정 패널에서의 알고리즘 선택키의 번호변경에 따라 그 결과를 제

시하며, 계산된 대칭비를 비교하여 기준이하의 값을 나타낸 타겟은 자동 삭제되도록 설계되었다.³⁾

2.3 렌즈검정

CCD 카메라는 기존 아날로그 방식의 측정용 카메라와 동일하게 렌즈를 통한 투영중심 체계를 이루며, 대상-공간상의 해석점은 시스템 자체의 불안정에 의한 오차를 내포하여 해석정확도의 저하를 나타낸다. 그러므로 공선조건의 원리가 바르게 적용되기 위해서는 카메라의 기하학적 내적 안정성을 확보하여야 한다.⁶⁾

기하학적 해석정확도의 저하를 유발하는 렌즈의 왜곡을 최소화하고자, 본 연구에 이용된 두 대의 CCD카메라에 대해 실험적 방법인 연직선(Plumb Line) 검정방법을 적용하여 CCD배열에 따른 주점의 편위량과 렌즈왜곡량을 도출하였다.

이를 위해, 지름 4 mm의 원형반사타겟 625개를 제작하여 3 cm×3 cm의 격자간격으로 검정판(calibration plate)에 배치하였다.

그리고 검정판으로부터 1 m 거리에 두 대의 카메라를 차례로 배치하여 해석을 위한 영상을 획득하였다. 그림 7은 렌즈검정을 위해 제작한 검정판을 나타낸 것이다.

표 1은 두 대의 카메라(CCD1, CCD2)로부터 각각 획득한 영상의 타겟을 분석하여 카메라에 대한 렌즈 왜곡

계수를 도출한 결과로써, 렌즈의 정오차를 보정하여 기하학적 충실도가 보다 높은 시스템을 기반으로 한 영상 분석을 가능하게 한다.

3. 영상획득 및 정확도분석

3.1 영상획득 및 기준점측량

피사체의 하중변화에 따른 휨변형을 해석하기 위해 55 cm×15 cm×15 cm 크기의 콘크리트 공시체를 제작하고 이에 대한 순간 동기영상획득을 계획하였다. 피사체의 중심부에 디지털 방식의 해석을 위한 원형타겟과 아날로그 방식의 해석을 위한 십자형 타겟을 제작하여, 총 33점의 영상해석점을 배치하였고 피사체의 전면(前面)에 각각 9개씩의 기준점을 배치하였다(그림 8).

원형타겟은 영상해석점들의 측정효과를 증진시키기 위해, 배경영상과 타겟영상의 강한 밝기대조를 유도할 수 있는 영상스케일을 고려하여 10픽셀을 포함할 수 있는 지름 5 mm로 제작하여 사용하였다. 이와 같이 제작한 피사체를 만능재료시험기(UTM : Universal Testing Machine)로 중심부에 하중을 재하시켜 CCD 카메라와 Rollei 6008 Metric 카메라를 이용하여 영상을 획득하였다.

촬영거리는 화각을 고려하여 CCD 카메라의 경우 1.0 m, Rollei 카메라는 1.3 m로 하였으며 90° 수렴 촬영하였다. 초기 하중재하 부분에서는 5초 간격으로 영상을 획득하고 재하 후반부에는 1초 간격으로 영상을 획득할

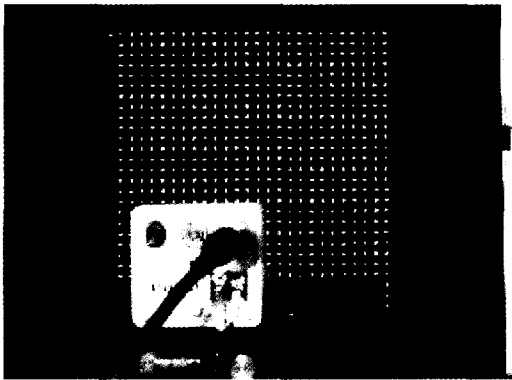


그림 7. Calibration Plate

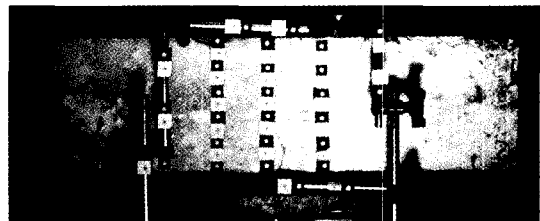


그림 8. 공시체 및 타겟 배치

표 1. CCD 카메라 렌즈왜곡계수($\times 10^6$ mm)

	방사왜곡계수			접선왜곡계수		
	K1	K2	K3	P1	P2	P3
CCD 1	592.07261	134.71970	-12.21163	0.36788	1.45690	0.00001
CCD 2	11.02737	238.15066	-20.01266	-0.01656	-0.79755	0.00000

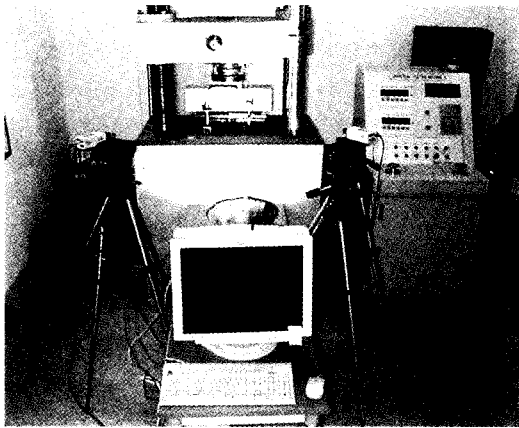


그림 9. 영상 획득 광경

수 있도록 캡춰간격을 조절하여 저장용량과 파괴시점을 고려하였다. 그리고, 영상내에서 타겟과 배경의 대비를 증대시키기 위해 조명을 사용하여 촬영하였다.

CCD영상의 경우, 구축한 영상획득 시스템을 이용하여 좌·우측 카메라로부터 18프레임의 동일시간대영상을 획득하였다. 그리고, Rollei카메라의 경우에는 동일시간대영상을 획득하기 위해 한번의 신호로 두 대의 카메라의 셔터를 동시에 작동하도록 제작한 전자식 릴리즈를 이용하였으며 신호발생 간격은 재하시점으로부터 종점까지 동일한 간격을 주어 10프레임의 영상을 획득하였다. 이때, CCD카메라와 Rollei카메라의 촬영시작과 촬영완료 시점은 동일 시간대가 되도록 계획하여 영상을 획득하였다.

또한, 대상물의 정면으로부터 3m 앞에 기준점 좌표의 원점을 설정하여 기선방향을 X축, 높이방향을 Y축, 촬영

표 2. 기준점측량성과 (단위 : m)

Point No.	CCD			Rollei		
	X	Y	Z	X	Y	Z
501	1.0686	-0.0955	-2.5787	1.0608	-0.0938	-2.5594
502	1.0257	-0.0918	-2.5577	1.0125	-0.0914	-2.5575
503	0.9391	-0.0121	-2.5380	0.9398	-0.1353	-2.5393
504	0.9385	-0.1779	-2.5410	0.9386	-0.1920	-2.5420
505	0.9372	-0.2378	-2.5438	0.9184	-0.2408	-2.5314
506	1.0819	-0.2663	-2.5567	1.0667	-0.2654	-2.5570
507	1.1357	-0.2693	-2.5569	1.1204	-0.2678	-2.5571
508	1.1674	-0.1622	-2.5255	1.1671	-0.1461	-2.5250
509	1.1670	-0.0981	-2.5238	1.1668	-0.1131	-2.5243

방향을 Z축으로 하는 3차원 좌표계를 설정하여 1" 독 세오들라이트 (DKM2A, Kern)를 이용, 간접삼각측량을 통해 기준점들의 3차원 좌표성적을 획득하였다. 표 2는 이로부터 획득한 원형타겟과 십자타겟에 대한 기준점측량 성적을 나타낸 것이다.

3.2 정확도분석

피사체에 대해 하중의 재하 시점으로부터 파괴시점까지 연속적으로 총 18모델의 CCD 영상을 획득하였다. 이들 모델에 대하여 영상해석을 통한 정확도 분석 및 뒀 변형을 해석하였다.

영상분석시스템의 임계값 결정 클래스와 위치측정 클래스에 대한 3차원 위치오차 분석에서 임계값 T-3방법과 타원피팅 1방법의 조합에 의한 해석정확도 분석에서 가장 낮은 오차분포를 가지는 것으로 알려진다. 이에 본 연구에서는 임계값 T-3방법과 타원피팅 1방법을 이용하여 타겟의 자동측정을 수행하므로써 좌표측정 패널에서 각각의 영상좌표와 영상중심좌표, 그리고 영상보정좌표를 픽셀단위와 mm단위로 획득하였다. 또한 렌즈왜곡 보정을 실시하여 방사방향의 렌즈왜곡계수를 도출하고 직

표 3. X, Y, Z축의 평균표준오차 (CCD)

Image No.	A. S. E (mm)			S.E. U.W	A. A. E (mm)		
	σ_{xs}	σ_{ys}	σ_{zs}	σ_u	σ_{xa}	σ_{ya}	σ_{za}
	1	0.4813	0.4119	0.5593	1.123	0.5405	0.4626
2	0.4813	0.4126	0.5607	1.162	0.5593	0.4794	0.6515
3	0.4811	0.4118	0.5591	1.136	0.5465	0.4678	0.6351
4	0.4805	0.4115	0.5587	1.141	0.5483	0.4695	0.6374
5	0.4800	0.4110	0.5581	1.119	0.5371	0.4599	0.6245
6	0.4800	0.4111	0.5583	1.118	0.5366	0.4596	0.6242
7	0.4800	0.4109	0.5578	1.117	0.4811	0.4590	0.6231
8	0.4797	0.4107	0.5575	1.113	0.5339	0.4571	0.6205
9	0.4796	0.4105	0.5574	1.097	0.5261	0.4503	0.6115
10	0.4795	0.4107	0.5579	1.118	0.5361	0.4592	0.6227
11	0.4792	0.4104	0.5575	1.139	0.5458	0.4674	0.6350
12	0.4789	0.4102	0.5572	1.147	0.5493	0.4705	0.6391
13	0.4787	0.4101	0.5569	1.137	0.5443	0.4663	0.6332
14	0.4786	0.4097	0.5563	1.136	0.5437	0.4654	0.6320
15	0.4786	0.4097	0.5563	1.124	0.5379	0.4605	0.6253
16	0.4787	0.4100	0.5570	1.124	0.5382	0.4608	0.6261
17	0.4786	0.4099	0.5569	1.119	0.5356	0.4587	0.6232
18	0.4790	0.4099	0.5567	1.134	0.5431	0.4648	0.6313

접선형변환에 의한 초기 외부표정요소를 결정하였다. 이들 데이터를 이용하여 공선이론을 기초로 번들조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표를 결정하였다. 이때, 기준점의 좌표 X, Y, Z의 표준오차는 1 μm 로 간주하고, 미지점에 대한 영상좌표 x, y의 표준오차는 3 μm 로 하여 표준편차 제곱에 반비례하여 경중률을 부여하였다. 이로서 대상점에 대한 3차원 좌표를 산출하였고, 이들에 대한 평균기하학적 표준오차(Average Simulated Errors : A.S.E)와 평균 실표준오차(Average Actual Errors : A.A.E) 및 단위 경중률의 표준오차(S.E.U.W)를 산출하였다.

표 3은 CCD 영상으로부터 각각 획득한 대상점들의 3차원 위치오차를 평균하여 X, Y, Z축의 평균 기하학적 표준오차와 평균 실표준오차를 나타낸 것이다.

그림 10은 하중재하 시점으로부터 종점까지 획득한 18 pair의 CCD 영상을 분석한 결과로서, X축 0.4796 mm, Y축 0.4107 mm, Z축 0.5578 mm의 평균표준오차를 나타내었다.

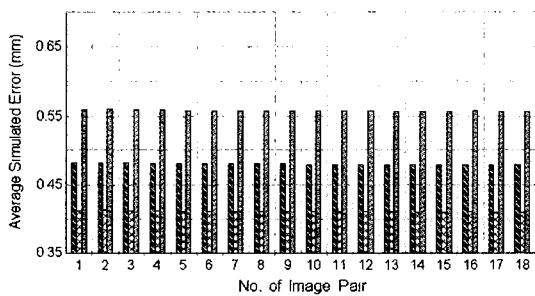


그림 10. 대상점의 평균표준오차 (CCD)

표 4. X, Y, Z축의 평균표준오차 (Rollei)

Image No.	A. S. E (mm)			S.E. U.W	A. A. E (mm)		
	σ_{Xs}	σ_{Ys}	σ_{Zs}	σ_u	σ_{Xa}	σ_{Ya}	σ_{Za}
1	0.0658	0.0516	0.1244	1.493	0.0982	0.0770	0.1857
2	0.0711	0.0939	0.1912	1.143	0.0813	0.1073	0.2185
3	0.0618	0.0494	0.1170	1.081	0.0668	0.0534	0.1265
4	0.0616	0.0511	0.1178	1.013	0.0624	0.0518	0.1193
5	0.0624	0.0479	0.1176	1.069	0.0667	0.0512	0.1257
6	0.0668	0.0903	0.1774	1.279	0.0856	0.1155	0.2269
7	0.0655	0.0577	0.1304	1.161	0.0760	0.0670	0.1514
8	0.0607	0.0468	0.1133	1.136	0.0690	0.0532	0.1287
9	0.0625	0.0518	0.1192	0.896	0.0560	0.0464	0.1068
10	0.0636	0.0568	0.1262	1.022	0.0650	0.0580	0.1290

반면, Rollei카메라에 의한 영상에 대해서도 역시 총 10모델을 획득하고 이들 모델을 정밀좌표측정기를 이용하여 기계좌표를 획득하였다. 그리고 이들 기계좌표는 좌표변환을 통해 영상좌표로 변환하고 CCD 영상과 동일한 방법에 의해 3차원 좌표와 평균기하학적 표준오차, 평균 실표준오차 및 단위경중률의 표준오차를 산출하였다.

표 4는 아날로그 방식에 의해 획득한 Rollei 영상의 미지점들에 대한 3차원 위치오차를 평균하여 X, Y, Z축의 평균 기하학적 표준오차와 평균 실표준오차로 나타낸 것이다. 그림 11은 기존의 아날로그 방식에 의해 획득한 10 pair의 Rollei 영상을 분석한 결과로서, X축 0.0642 mm, Y축 0.0597 mm, Z축 0.1335 mm의 평균 표준오차를 나타내었다. 또한, CCD 영상과 Rollei 영상으로부터 각각 0.8425 mm와 0.1597 mm의 3차원 위치오차를 산출할 수 있었다.

4. 순간거동측정

하중변화에 따른 관측모형의 순간거동을 측정하기 위해, 초기 변위 상태에서 하중을 가하여 피사체에 부착한 33점의 영상점을 해석하였다.

이를 위해 CCD영상과 Rollei영상으로부터 영상점에

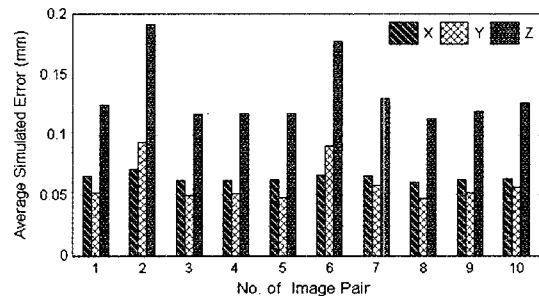


그림 11. 대상점의 평균표준오차 (Rollei)

표 5. Y방향 변위측정 (CCD)(단위 : mm)

No. of Image	Y Coord.	No. of Image	Y Coord.	No. of Image	Y Coord.
1	-243.764	7	-244.515	13	-245.134
2	-243.904	8	-244.572	14	-245.529
3	-244.006	9	-244.642	15	-245.807
4	-244.204	10	-244.726	16	-245.825
5	-244.406	11	-244.831	17	-245.814
6	-244.468	12	-244.968	18	-245.652

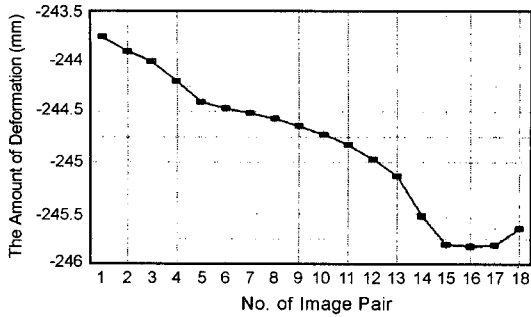


그림 12. Y방향 변위측정 (CCD)

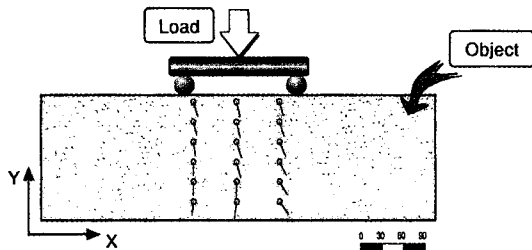


그림 13. 피사체의 휨변형 벡터

대한 3차원 좌표를 획득하였고 이를 분석하므로써 하중의 증가에 따른 변화량과 최대의 처짐량을 산출, 각 점들의 휨변형 양상을 관찰하므로써 피사체의 순간거동을 측정하였다.

표 5는 CCD를 이용한 동일시간대 영상을 획득하여 분석한 결과로서, 피사체 전면에 부착한 18개의 원형타겟에 대해 각 단계별 3차원 좌표를 산출하여 그 중 최대 변형이 예상되는 중앙하단부 타겟(No. 12)의 Y방향 좌표를 나타낸 것이다.

그림 12는 하중의 증가에 따른 Y좌표의 변화양상을 도시한 것으로 하중이 증가함에 따라 Y방향 변형이 점차 커지는 양상을 나타내었으며, 16번째 pair에서 최대 처짐이 일어남을 알 수 있었다. 또한 16번째 pair에서 최대 처짐이 발생함에 따라 이 지점에서 하중증가에 따른 파괴가 발생했음을 추측할 수 있었으며, 재하시점으로부터 파괴점까지 최종 2.061 mm의 처짐이 발생하였음을 산출할 수 있었다.

그림 13은 18개의 해석점들의 X, Y좌표의 변화를 벡터성분으로 도시한 것으로써 각 점들의 하중변화에 따른 휨변형의 양상을 볼 수 있다.

표 6은 아날로그 방식의 Rollei 영상의 경우로서 피사

표 6. Y방향 변위측정 (Rollei)(단위 : mm)

Image No.	1	2	3	4	5
Y-Coord.	-230.383	-230.796	-230.915	-231.017	-231.311
Image No.	6	7	8	9	10
Y-Coord.	-231.512	-231.874	-232.073	-232.433	-232.361

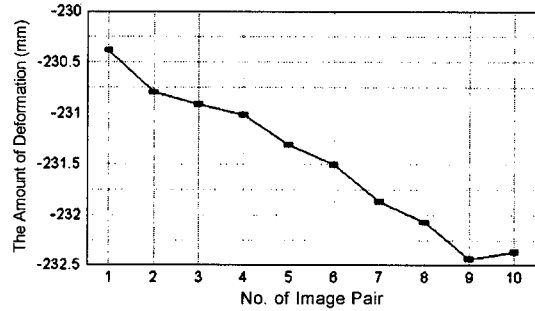


그림 14. Y방향 변위측정 (Rollei)

체 전면에 부착한 15개의 십자형 타겟의 3차원 좌표를 산출하여 이 중 최대변형이 예상되는 중앙하단부(No. 10)의 Y좌표를 각 단계별로 나타낸 것이다.

그림 14는 이를 도시한 것으로서 CCD영상의 경우의 변화양상과 비슷하게 하중이 증가함에 따라 Y방향 변형이 점차 커지는 양상을 나타내었으며, 9번째 pair에서 최대 처짐이 발생하였다. 최대처짐량에서도 CCD영상의 경우와 유사한 값인 2.050 mm가 발생하였다.

Rollei영상과 CCD영상의 경우에 대한 해석정확도를 고려하여 Rollei 영상의 경우의 정확도가 보다 높다고 가정할 때, 도출한 최대처짐량이 매우 근접한 값을 나타내므로 향후 고해상도 영상획득을 위한 하드웨어적 기술과 안정된 영상해석을 위한 소프트웨어의 개발이 뒷받침된다면 건설분야를 비롯한 여러 분야에 본 시스템의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결 론

구조물의 변형 및 거동측정을 위해 순간동기영상 획득 시스템을 구축하고 이로부터 획득한 영상을 영상분석시스템에 의해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. CCD 카메라와 프레임 그래버를 이용한 데이터 인터페이스 모듈을 생성하여 동일시간대 영상획득을 가능하게 하고 영상분석시스템과의 연계모듈을 완성하여

CCD를 이용한 온라인 영상획득과 분석을 효율적으로 수행할 수 있었다.

2. 구축한 CCD 카메라 시스템으로부터 획득한 영상의 정확도를 분석하고 Rollei 카메라 시스템으로부터 획득한 영상의 정확도와 비교한 결과, 각각의 경우 0.8425 mm와 0.1597 mm의 3차원 표준오차를 획득할 수 있었다.

3. 하중재하에 따른 콘크리트 공시체의 변위측정을 위한 영상해석 결과, 하중재하 방향인 Y축에 대한 처짐량은 CCD 영상의 경우 2.061 mm, Rollei 영상의 경우에는 2.050 mm의 매우 근접한 해석결과를 얻을 수 있었다.

추후 고해상도 수치영상의 획득을 위한 하드웨어적 구조의 개발과 보다 안정적인 분석시스템을 위한 소프트웨어적 처리기법의 개발에 관한 연구가 수행된다면 토목구조물의 안전진단은 물론 정밀측정을 요하는 각종 산업분야에서 수치근접사진측량의 응용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 지원 '99산학협력연구'(과제번호 : 1999-31100-002-2) 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강준목, 한승희, 배상호, 주영은, "DPS를 이용한 구조물

의 순간거동 해석", 대한토목학회기술발표논문집 IV, pp. 361-364, 1998.

2. 이진덕, "고해상도의 스틸비디오 카메라를 이용한 수치근접사진측량 시스템의 실용성평가", 대한토목학회논문집, 제18권, 제III-2호, pp. 183-193, 1998.

3. 강준목, 배상호, "윈도우 환경을 이용한 수치사진측량 시스템 구축", 대한토목학회지, 제19권 III-2호, pp. 325-334, 1999.

4. 한승희, 강준목, "구조물 monitoring을 위한 지상사진측량기법의 개발", 대한토목학회논문집, 제14권, 제1호, 1994.

5. Amin W. Gruen, "Digital Photogrammetric Processing System: Current Status and Prospects", PE&RS, Vol. 55. No. 5, pp. 581-586, 1989.

6. D.D Lichti and M.A. Chapman, "CCDCamera Calibration Using the Finite Element Method", SPIE videometrics IV, 1995.

7. Li Weiqian, Ki Guangwen, and Xu Tianning, "Determination of the deformation of the bridge model in real time with CCD solidstate camera", SPIE Close-Range Photo-grammetry Meets Machine Vision, Vol. 1395, 1995.

8. Sabry F. EL-Hakim, "Application and Performance a Evaluation of a Vision-Based Automated Measurement System", SPIE, Vol. 1820, Videometrics, pp. 181-195, 1992.

9. S.F. EL-Hakim, "Real-Time Image Metrology with CCD Camera", PE&RS, Vol. 52, pp. 1757-1766, 1989.

10. K.B. Atkinson, "Close Range Photogrammetry and Machine Vision", Whittles Publishing, 1996.