

비디오 영상을 이용한 석조 문화재 위치 해석

The Analysis of Position Stone Pagoda Cultural Heritages Using Video Image

장호식¹⁾ · 서동주²⁾ · 이종출³⁾

Jang, Ho Sik · Seo, Dong Ju · Lee, Jong Chool

Abstract

This paper Non-metric digital video camera against subject of study, stone cultural heritages such as stone pagodas(East & West three storied stone pagoda of dansoksa temple site), and easily acquire still-images which are for analyzing, from moving picture part. When we analyze a location of cultural assets using a Non-metric digital video camera, we could get a accuracy from 1.8mm to 8.3mm. Finally, it can be said that study also suggests the efficient measurement when planning to restore prototype of cultural heritages in the future and providing specific three-dimensional information on them.

Keywords : Stone pagoda, Cultural heritages, Video Image, Calibration

요 지

본 연구에서는 비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 석조문화재인 석탑(단속사지 동·서 삼층석탑)을 대상으로 촬영하였다. 그리고, 촬영된 동영상을 가지고 분석하고자 하는 부분인 정지영상을 손쉽게 취득할 수가 있었다. 비측량용인 디지털 비디오 카메라로 문화재 위치 해석에 있어서 1.8mm~8.3mm의 정확도를 얻을 수 있었다. 차후 문화재 원형·보존에 대한 계획의 수행에 있어서 문화재에 대한 삼차원 정보를 제공하기 위한 효율적인 방법을 제시하였다.

핵심용어 : 석탑, 문화재, 비디오 영상, 검정

1. 서 론

최근 급속한 경제개발과 삶의 질 향상에 수반되는 사회 기반시설의 수요증가로 인하여 우리나라는 무분별한 국토 개발이 진행되고 있다.

또한, 20세기 후반부터는 엘니뇨와 같은 자연적인 대규모 기상변동 현상과 이산화탄소나 프로온가스와 같은 온실가스로 인하여 지구온난화가 야기되면서 점차적으로 자연재해가 증가되고 있다.

이에 따라, 역사적 또는 문화적 가치가 있는 고고학적인 문화재가 자연의 풍상을 입어 파손되거나 소실되어 국가적으로 큰 손실을 보고 있다.

따라서, 국토개발과 자연재해로 인한 고고학적인 문화재의 손실을 막기 위해, 최근에 들어서 문화재 원형·보존에 대한 계획의 수행이 필요로 되고 있다.

특히, 보존 대상 건조물 문화재는 국가적 차원에 있어서 중요한 자산으로 국토개발과 자연재해로 인한 문화재의 원형·보존이 관심의 대상으로 대두되고 있으며, 이를 위해 현재 수치 근접 사진측량방법이 다양하게 활용되고 있다.

그리고, 촬영에 사용되고 있는 카메라는 측량용 카메라, 준측량용 카메라, 비측량용 카메라가 있다.

이들 중 비측량용 카메라인 디지털 비디오 카메라는 기존의 측량용 또는 준측량용 카메라에서 하지 못하는 방법이 있으며, 이는 촬영된 동영상을 가지고 분석하고자 하는

1) 연결저자 · 정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:gpsjhs@mail1.pknu.ac.kr)

2) 정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail:dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)

3) 정회원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jctlee@pknu.ac.kr)

부분을 손쉽게 정지영상으로 취득할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 정확도 향상과 영상취득면에 있어서 효율적인 방법을 제공하고자 한다.

2. 수치사진측량의 다중영상표정 이론

다중영상정합의 표정(orientation)이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(ω, φ, κ)에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다.(M. Pollefeys 등, 2000)

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치(X_0, Y_0)와 주점거리(cK)를 결정하는 것이다. 그리고, 외부표정은 카메라 시스템과 대상물 공간사이의 관계를 나타내는 것으로 카메라 외부투영 중심으로 절대좌표계 X, Y, Z 에 관계되는 촬영점 좌표 X_c, Y_c, Z_c 에 의해 표현된다.

그러므로, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전 ω, φ, κ 를 알아야 한다. 영상과 대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소와 표정각 ω, φ, κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 변환을 말한다.

다중영상정합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 이용하며, 표정점의 사진지표와 스케치에 의해 입력된 대략의 외부표정요소, 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다(Paul

R. Wolf, 1999).

공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확한 외부표정을 결정하는 것이며 그림 1에서 나타낸 것과 같다.

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시키므로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 방법으로써 이는 그림 2와 같다.

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 결정에 이용된 표정점은 표정 순서에서 최소 3장의 사진에 나타나야 하며, 맨 처음 두 장의 사진은 공간 전방교회법으로 모델 좌표를 계산하게 된다. 두 장의 사진방향은 3차원 공간에서 $60 \sim 90^\circ$ 의 각도가 이루어지도록 하고 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 하며, 공간 후방교회법의 계산을 위하여 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 한다. 그리고 결과값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정 순서를 결정하여 그에 대한 영향을 최소화해야 한다.

3. 관측방법

3.1 관측대상 석탑의 위치 및 촬영

본 연구의 대상지역은 그림 3과 그림 4와 같이 경상남도 산청군 일원에 있는 보물 72호인 단속사지 동 삼층석탑과 보물 73호인 단속사지 서 삼층석탑을 선정하였다. 모두 통일신

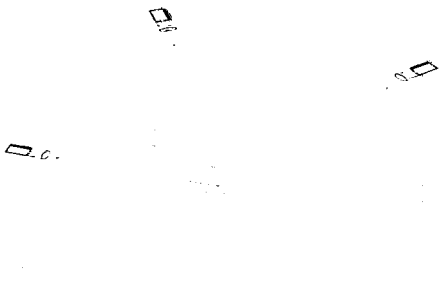


그림 1. 공간 전방교회법



그림 2. 공간 후방교회법

라시대 석탑으로 보존상태가 양호한 문화재를 촬영하였다.

그림 5와 같이 정사각형과 같은 구조물로 된 문화재는 360°로 회전하여 촬영하면 보다 쉽게 정량적인 자료를 얻을 수가 있으며, 본 연구에서는 카메라 삼각대를 사용하여



그림 3. 단속사지 동 삼층석탑



그림 4. 단속사지 서 삼층석탑

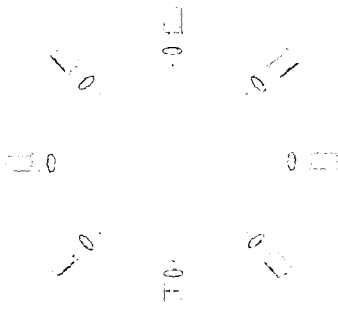


그림 5. 사진촬영방법

총 8구간에서 각각 1단 높이 1.70m, 2단 높이 2.59m, 3단 높이 3.52m, 4단 높이 4.70m, 5단 높이 5.51m로 하여 촬영을 하였다.

3.2 카메라 Calibration 및 관측방법

3.2.1 카메라 Calibration

수치사진측량에서의 기초적이면서 가장 중요한 부분은 카메라 렌즈의 검증이다. 카메라의 렌즈는 제작할 때의 상황에 따라 다소 제원들이 근소한 차이로 값이 변화하며, 시간이 지남에 따라 제원들의 값이 변화하므로 사진촬영하기 전에는 반드시 카메라의 검증이 필요하다.

따라서, 본 연구에서 사용된 관측 카메라는 JVC사에서 제조한 GR-DV3000KR 디지털 비디오 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 6 및 표 1과 같다.

카메라 렌즈의 정확한 파라메타를 검증하기 위하여 본 연구에서는 그림 7에서 보는 것과 같이 35mm 슬라이드를 이용하여 어두운 벽면에 그리드 무늬를 약 1.2m×1m 크기로 투영시켜 Swing을 변화시키면서 8장의 사진을 획득하였다. 여기서 이 그리드는 가로 세로의 비가 1.5인

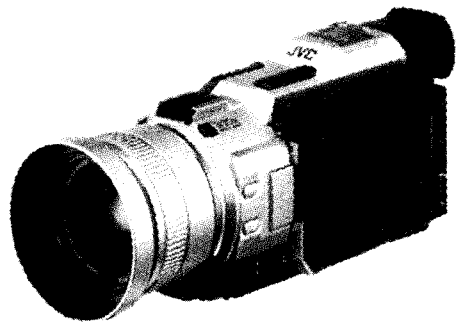


그림 6. Digital Video Camera의 형상

표 1. Digital Video Camera의 제원

제품명	GR-DV3000KR	
기록장치	CCD recode	
총 화소	1.33 Mega Pixel	
유효 화소	비디오 모드	0.69 Mega Pixel
	메모리 모드	1.25 Mega Pixel
셔터	1/100 sec	
초점 길이	f = 4.5~45	
크기	76×90×194 mm	
무게	660g (without batteries)	

흰색과 검은색 삼각형으로 된 직사각형 모자이크로 이루어져 있다.

그림 8은 카메라 캘리브레이션 영상으로써, 2지점에서 찍은 총 8장의 사진이다. 찍은 방향의 이미지는 왼쪽과 오른쪽에서 각각 위에서, 중간에서, 아래 방향에서 향한 6장의 사진을 찍고, 다시 왼쪽과 오른쪽 중간지점의 높이에서 카메라를 Swing(90° 회전)을 변화시켜 찍어진 영상이고 이때 초점의 길이는 4.5mm로 고정하여 촬영

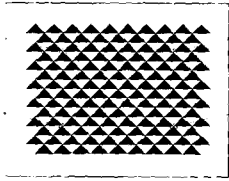


그림 7. 35mm 캘리브레이션 슬라이드

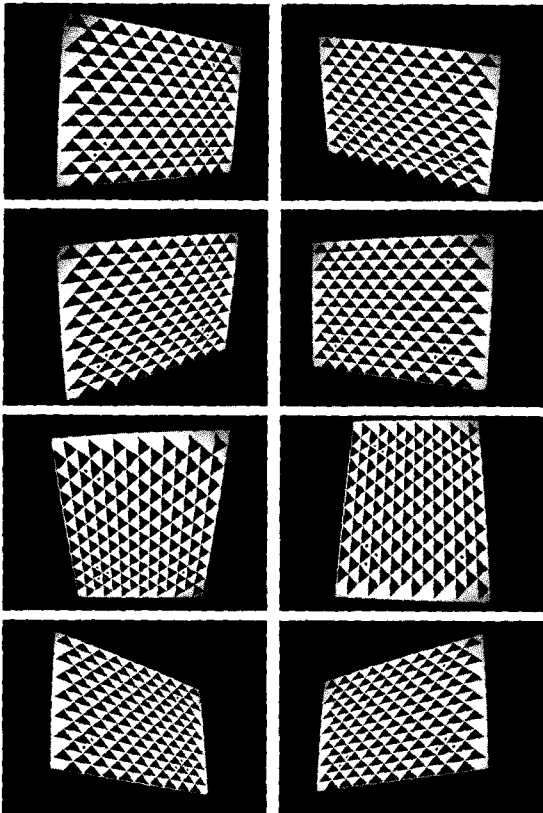
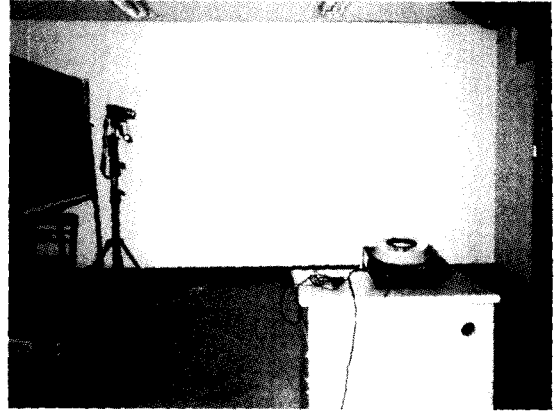


그림 8. 카메라 캘리브레이션 영상

하였다.

그리고 그림 7에서 벽에 비춰진 이미지의 왼쪽 상단 코



(a) 35mm 슬라이드 영상 촬영



(b) 35mm 슬라이드 기준점 삼각수준측량

그림 9. 방사 왜곡의 측정 모습

표 2. 카메라 캘리브레이션의 제원

JVC GR-DV3000KR Digital Video Camera			
Interior Orientation	Focal Length	4.4625mm	
	Format Size	W	2.8454 mm
		H	2.1605 mm
	Principal Point	X	1.3535 mm
		Y	1.0808 mm
	Lens Distortion	K1	-0.003895
		K2	-0.0009427
		P1	0.001147
		P2	0.001082
Image Size	720×480 pixel		

너 부분인 기준점 1번에서 오른쪽 하단 부분인 기준점 4번까지의 길이를 삼각수준측량으로 측정하였으며, 이때 관측 모습은 그림 9와 같다.

렌즈의 검증 방법은 각각의 사진을 차례로 나열하여 모두 8개의 사진 위에 있는 4개의 기준점을 마킹한 다음, 스케일을 맞추기 위해 기준점 1번과 4번의 기선을 입력하였다. 그리고, S/W(Photomodeler 4.0) 상에서 자동 포인트 마킹으로 캘리브레이션 하였다.

표 2는 카메라 캘리브레이션에 의해 보정된 값으로 초점 거리는 4.5mm에서 4.4625mm 변화하였고, 이때 사용된 영상의 크기는 720×480 pixel 이다.

3.3 정지영상 획득

기존의 석조 문화재 사진은 촬영된 사진을 스캐너를 이용하여 수치영상으로 변환하였으나, 디지털 비디오 카메라로 촬영된 영상은 그러한 과정이 필요하지 않는다. 디지털 비디오 영상의 가장 큰 장점 중의 하나는 편집이 용이하다는 것이다. 디지털 비디오 영상은 비선형편집(Non-Linear Editing)이므로 디지털 포맷의 비디오 영상이 I.Link 인터페이스를 통하여 작업을 수행할 컴퓨터로 바로 전송될 수 있으며, 디지털 비디오 편집 전용 소프트웨어에 로딩>Loading>시켜 편집을 수행할 수 있다. 이 작업을 화면 캡처라고 하며, 이 때 필요한 기본장치가 편집보드(Edit Board)이다. 이 비디오 영상을 편집하기 위하여 비디오 자료를 디지털로 변환하는 과정에서 상당한 디스크 공간의 용량이 요구되는데, 초당 약 3.67MB를 차지함으로 10분 당 약 3~4GB 정도의 디스크 공간의 용량이 필요하다(김성삼, 2000 ; 유환희, 2002).

본 연구에서는 촬영된 디지털 비디오 동영상을 정지영상으로 캡처하기 위해 비디오 편집 보드로 시스템 안정성과 고화질의 제공하는 새빛 마이크로사의 VideoCap Pro 2.0을 이용하였으며, 편집 소프트웨어는 CyberLink사의 PowerDirector 2.5 Pro에서 720×480 pixel의 크기를 갖는 정지 영상으로 획득하였다.

3.4 기준점 및 검사점 관측각

기준점 측량은 건조물 석조 문화재 사진측량에 있어서 절대좌표값으로 이용되어지고, 결정되어진 3차원 좌표값의 정확도를 비교하기 위한 최확값으로 사용되는 점으로 건조물 문화재 사진측량에서 매우 중요한 한 부분이다. 따라서 본 연구에서는 수치영상처리 시스템의

광속조정법에서 얻어진 지상좌표값의 정확도를 분석하기 위해 대상 건조물 석조 문화재에 대해서 삼각수준측량방법으로 대상 건조물 석조 문화재에 대한 측량을 실시하여 기준점 및 검사점 측량 성과를 얻었다. 먼저 좌·우측 기준점을 설치하여 Total Station을 이용하여 두 점간의 거리를 관측하여 이 거리를 기선으로 결정하였다. 그리고 좌·우측 기준점에 각각 Total Station을 설치하고 기준점과 대상 건조물 문화재간의 수평각과 고저각을 관측하였으며, 이의 모식도를 나타내면 그림 10과 같다.

기준점 및 검사점 측량에 사용된 Total Station은 TOPCON사에서 제조한 장비를 사용하였으며, 모델명은 GTS-701이고 장비의 제원은 표 3과 같으며, 석탑에 있어서 관측된 기준점 및 검사점의 수평각과 연직각은 표 4와 같다.

그리고, 그림 10에서 삼각수준측량에 의해 취득된 관측 중에서 좌측 기준점을 원점으로 하여 식 (1)에 의해 대

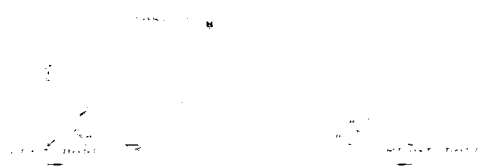


그림 10. 기준점 및 검사점 관측

표 3. GTS-701의 제원

Model		GTS-701	
Telescope	Objective Lens	45mm (EDM : 50mm)	
	Magnification	30 ×	
	Resolving Power	2.5"	
	Minimum Focus	1.3m	
Distance Measurement	Measurement Range	1 Prism	2,400m
		3 Prism	3,100m
		9 Prism	3,700m
	Accuracy	±(2mm + 2ppm) m.s.e	
Angle Measurement	Angle Display	0.5" / 1"	
	Accuracy	1"	

표 4. 기준점 및 검사점의 관측각

	측점	왼쪽		오른쪽		비고
		수평각(A)	연직각(A')	수평각(B)	연직각(B')	
단속사지 동 삼층석탑	기선	0° 00' 00"	342° 23' 24"	0° 00' 00"	343° 47' 17"	-
	1	310° 15' 53.5"	359° 25' 48"	110° 21' 27"	359° 47' 05"	기준점
	2	315° 11' 34"	359° 25' 41.5"	113° 43' 19.5"	359° 49' 33.5"	검사점
	3	309° 13' 17"	1° 22' 31.5"	109° 10' 28"	2° 09' 57"	검사점
	4	315° 01' 52.5"	1° 36' 52.5"	113° 00' 36"	2° 41' 09"	검사점
	5	313° 52' 30.5"	4° 07' 39"	113° 57' 08.5"	5° 44' 27.5"	검사점
	6	315° 50' 45.5"	359° 19' 03"	114° 30' 31"	359° 40' 55"	검사점
	7	320° 46' 20.5"	359° 06' 27"	123° 01' 59.5"	359° 20' 37"	기준점
	8	315° 44' 52.5"	1° 37' 50"	113° 55' 02"	2° 43' 17"	검사점
	9	321° 39' 18"	1° 23' 21"	124° 13' 52"	2° 22' 41"	검사점
10	316° 56' 59.5"	4° 12' 27.5"	117° 36' 39"	5° 59' 04"	기준점	
단속사지 서 삼층석탑	기선	0° 00' 00"	346° 40' 00.5"	0° 00' 00"	345° 32' 05"	-
	1	287° 10' 13"	357° 40' 55"	73° 52' 50"	357° 21' 23.5"	기준점
	2	295° 17' 11.5"	357° 14' 18.5"	77° 27' 32.5"	356° 39' 15.5"	검사점
	3	287° 13' 40.5"	0° 57' 29"	73° 54' 54"	0° 39' 14"	검사점
	4	295° 12' 57.5"	0° 54' 34.5"	77° 28' 53.5"	0° 36' 34"	검사점
	5	290° 23' 17"	4° 24' 12"	76° 53' 15.5"	4° 15' 31"	검사점
	6	294° 16' 34.5"	4° 37' 07.5"	78° 48' 27"	4° 37' 38"	검사점
	7	292° 36' 03.5"	11° 32' 15"	78° 22' 20"	11° 54' 13.5"	기준점
	8	296° 04' 58"	357° 05' 58.5"	78° 21' 27.5"	356° 28' 00.5"	검사점
	9	300° 07' 32"	357° 21' 45"	87° 30' 37.5"	356° 37' 02.5"	기준점
	10	296° 00' 43.5"	0° 50' 30.5"	78° 21' 23"	0° 32' 52.5"	검사점
	11	300° 04' 01.5"	0° 50' 48.5"	87° 24' 12"	0° 38' 27"	검사점
	12	295° 00' 07"	4° 30' 32.5"	79° 35' 25.5"	4° 32' 47.5"	검사점
	13	297° 06' 42.5"	4° 06' 24"	83° 56' 41"	4° 15' 26"	검사점
14	295° 48' 22.5"	11° 33' 17.5"	81° 45' 36"	12° 20' 46"	검사점	

표 5. 절대 기준점 좌표

문화재명	기준점	X(m)	Y(m)	Z(m)
단속사지 동 삼층석탑	1	8.7040	10.2762	-0.1340
	7	10.4250	8.5108	-0.2097
	10	9.5626	8.9330	0.9627
단속사지 동 삼층석탑	1	3.1177	10.0902	-0.4275
	7	4.0378	9.6998	2.1448
	9	5.6132	9.6734	-0.5152

상점의 3차원 좌표를 계산하였으며, 계산된 3차원 기준점 좌표값은 표 5와 같다.

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{P \cdot \sin B \cdot \cos A}{\sin C} \\
 Y &= \frac{P \cdot \sin B \cdot \sin A}{\sin C} \\
 Z &= \frac{P \cdot \sin B \cdot \tan A'}{\sin C} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서,

- P : 기선길이
- A, B, A', B' : 관측각
- C : 180° - (A+B) 이다.

4. 관측결과 및 분석

본 연구에서는 획득된 대상물의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 결정하기 위해 Photomodeler 4.0을 이용하였다.

사진촬영은 360°로 회전하는 링(ring)방식으로 총 8구간에서 촬영하여, 단속사지 동 삼층석탑에서는 42매의

영상을 획득하였다. 그중 분석자료에 사용된 영상은 32매의 영상을 이용하여 표정점 324개의 상좌표를 측정하였다.

단속사지 서 삼층석탑에서는 45매의 영상을 획득하였다. 그중 분석자료에 사용된 영상은 31매의 영상을 이용하여 표정점 336개의 상좌표를 측정하였다.

이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방회회법과 전방회회

표 6. 단속사지 동 삼층석탑의 외부표정요소

Photo No	Center X (m)	Center Y (m)	Center Z (m)	Omega (deg.)	Phi (deg.)	Kappa (deg.)
1	3.957257	3.461681	0.173253	82.9489	-41.867	-4.20643
2	3.618583	14.69256	1.098818	-79.367	-49.3517	-169.319
3	3.840389	14.85873	1.95942	-79.697	-48.6265	-169.75
4	3.856547	14.86328	3.110041	-80.308	-47.9735	-169.66
5	9.635662	16.44392	0.105735	-85.374	-1.67988	-178.299
8	9.49944	16.2283	2.802235	-87.226	2.354661	-178.913
9	14.95036	14.94412	0.158368	-82.7	42.88918	177.8405
12	3.967237	3.440544	1.144608	83.3559	-43.4364	-3.19355
13	14.85429	14.9344	2.981	-84.018	45.3709	176.0449
14	16.98714	9.302227	-0.14161	-0.72179	87.50921	91.86861
16	17.13818	9.496914	1.864073	10.3623	86.17411	81.10117
17	17.19032	9.505034	2.909599	22.4625	88.38733	68.92894
18	15.21344	4.327272	0.115045	82.6857	48.33725	5.429863
19	15.24362	4.312392	1.06911	83.5415	49.35062	5.828173
20	15.17843	4.102313	1.856997	84.1174	53.58421	6.271494
22	9.544871	2.187672	0.054327	84.2126	0.666756	-0.13307
23	4.015459	3.506544	2.009115	83.525	-40.4	-2.75581
27	4.027018	3.43753	3.35427	83.2981	-36.7574	-5.65017
28	2.644417	9.298884	0.0847	35.1317	-85.2105	-53.7938
30	2.682227	9.12985	2.005332	38.0483	-83.8966	-49.7439
31	2.762541	9.305562	3.041835	35.6429	-84.4719	-53.4973
32	3.657607	14.70856	0.182391	-78.817	-48.9963	-169.799
33	9.89848	2.183149	1.10424	83.9221	8.12882	1.517962
34	17.05718	9.768158	1.05291	-55.475	82.24415	147.7597
35	15.03822	14.8761	1.015908	-84.427	44.63152	179.0423
36	9.555451	16.43882	1.217027	-84.086	-1.6177	-177.475
37	2.64781	8.897663	1.208004	59.5196	-79.5418	-27.64
38	9.740026	2.193696	1.950138	84.4043	4.809536	1.014608
39	14.9437	15.08528	1.901572	-84.232	45.66285	179.1699
40	9.384419	16.35736	1.916193	-85.589	-2.83418	-177.614
41	9.88349	2.243806	3.22126	84.7251	5.310823	1.088673
42	15.24882	4.349248	3.157852	82.6556	49.9301	4.237937

표 7. 단속사지 서 삼층석탑의 외부표정요소

Photo No	Center X (m)	Center Y (m)	Center Z (m)	Omega (deg.)	Phi (deg.)	Kappa (deg.)
1	12.11529	8.4423	0.302102	57.2594	78.52159	32.73464
2	3.2895	2.080575	1.322349	87.2982	-3.54093	3.410131
3	3.742805	2.122252	2.189221	87.4634	-1.89789	3.614647
4	4.421216	2.164582	3.356779	87.7194	1.959503	4.891212
5	-1.67166	5.445965	0.201385	88.3402	-51.2969	0.820704
7	-1.67634	5.53683	1.444053	85.4603	-50.8872	-0.90388
9	-1.11418	5.100372	3.176976	87.239	-45.8721	0.365061
10	-3.33993	11.12997	0.40866	-62.532	-81.8025	-149.037
12	-3.39889	11.02653	1.250009	-67.749	-83.686	-153.622
13	-3.3729	10.69211	2.067442	-49.324	-86.7147	-134.851
15	-3.39274	10.48716	3.251361	-38.262	-86.0377	-124.048
16	0.094286	15.75885	0.108137	-85.924	-37.8071	-172.724
18	0.376514	15.95077	1.248893	-84.498	-32.2328	-171.164
20	0.056975	15.76828	2.102666	-84.011	-38.9562	-171.278
22	5.289081	17.78766	0.266415	-85.016	6.01144	-179.251
23	5.306174	17.83505	1.117299	-86.486	3.750143	-178.746
26	5.145398	17.68184	2.094916	-85.492	3.804277	-178.888
27	4.499099	17.76046	3.158624	-84.398	-0.15466	178.9099
28	10.48849	13.84677	0.16658	-84.91	55.99439	178.8345
29	12.17529	8.546272	2.121504	50.4554	81.97819	39.51898
30	10.27962	14.13812	1.340906	-82.686	50.61828	177.5783
33	9.948123	14.2138	2.902295	-84.103	56.07302	177.1061
35	12.12207	9.015839	3.215125	31.2855	85.50887	58.00418
36	8.396065	3.681376	0.311969	82.7622	34.04166	7.367718
37	8.707985	3.910701	1.534987	80.6858	35.63472	9.084737
39	8.703935	4.221977	1.922711	85.4408	39.10098	7.072391
41	8.926691	4.6348	3.104356	84.0315	38.06151	9.352673
42	3.336039	2.115785	0.441158	86.5658	-6.21901	2.585369
43	10.17097	14.00094	2.011482	-85.264	52.33615	-179.976
44	-1.18346	4.934791	1.951496	89.9407	-44.5129	2.964677
45	-0.16361	15.37419	3.030421	-87.781	-40.5323	-173.514

표 8. 검사점에 대한 편차

측점	실측값 좌표(m)			3차원 모델링 좌표(m)			ϵ_x (m)	ϵ_y (m)	ϵ_z (m)	
	X	Y	Z	X	Y	Z				
단속사지 동 삼층석탑	2	8.6794	8.6212	-0.1221	8.6769	8.6278	-0.1316	0.0025	-0.0066	0.0095
	3	8.5215	10.4405	0.3236	8.5314	10.4302	0.3228	-0.0099	0.0103	0.0008
	4	8.4945	8.4853	0.3384	8.4939	8.4979	0.3273	0.0006	-0.0126	0.0111
	5	9.0915	9.4557	0.9466	9.0833	9.4417	0.9437	0.0082	0.0140	0.0029
	6	8.7753	8.5199	-0.1457	8.7764	8.5310	-0.1548	-0.0011	-0.0111	0.0091
	8	8.6120	8.3900	0.3423	8.6166	8.4071	0.3317	-0.0046	-0.0171	0.0106
	9	10.5914	8.3781	0.3275	10.5854	8.3879	0.3276	0.0060	-0.0098	-0.0001
평균	-	-	-	-	-	-	0.0047	0.0116	0.0063	
단속사지 서 삼층석탑	2	4.1022	8.6835	-0.4632	4.0990	8.6940	-0.4531	0.0032	-0.0105	-0.0101
	3	3.1265	10.0826	0.1765	3.1266	10.0910	0.1824	-0.0001	-0.0084	-0.0059
	4	4.1004	8.7076	0.1528	4.0995	8.7207	0.1700	0.0009	-0.0131	-0.0172
	5	3.7091	9.9799	0.8199	3.6950	9.9722	0.8144	0.0141	0.0077	0.0055
	6	4.1939	9.2987	0.8241	4.1821	9.3026	0.8253	0.0118	-0.0039	-0.0012
	8	4.2465	8.6747	-0.4893	4.2478	8.6917	-0.4764	-0.0013	-0.0170	-0.0129
	10	4.2424	8.6935	0.1421	4.2449	8.7202	0.1611	-0.0025	-0.0267	-0.0190
	11	5.5955	9.6655	0.1651	5.5931	9.6743	0.1679	0.0024	-0.0088	-0.0028
	12	4.3286	9.2820	0.8077	4.3201	9.2899	0.8088	0.0085	-0.0079	-0.0011
	13	4.9982	9.7624	0.7874	4.9887	9.7753	0.7830	0.0095	-0.0129	0.0044
	14	4.6432	9.6023	2.1807	4.6449	9.6277	2.1954	-0.0017	-0.0254	-0.0147
평균	-	-	-	-	-	-	0.0051	0.0129	0.0086	

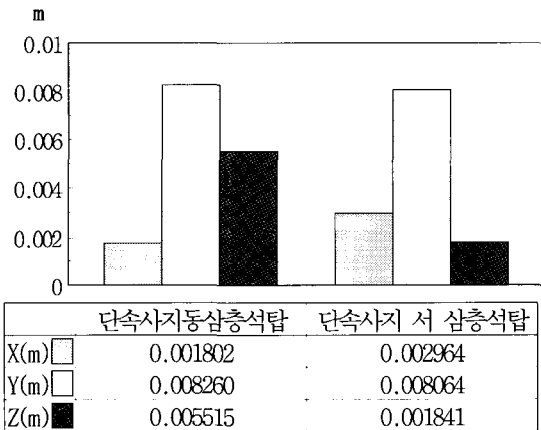


그림 11. 편차에 대한 RMSE

법을 동시에 수행하였다.

또한, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부 표정 매개변수를 결정하였으며, 최종적으로 결정된 각 영

상에 대한 외부표정요소는 표 6 및 표 7과 같다.

그리고, 표 8은 검사점에 대하여 대상점의 3차원 좌표와 Total Station에 의해 정밀하게 측정된 삼각수준측량으로 얻어진 좌표값의 편차를 나타내었다.

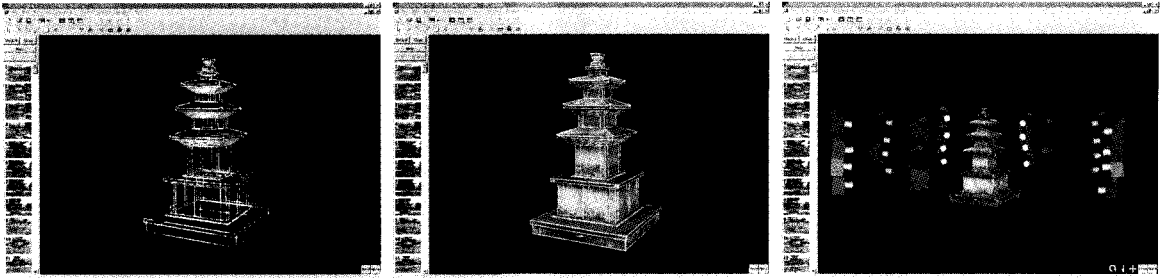
그리고, 표 8에서 검사점에 대한 편차의 RMSE를 도식적으로 나타내면 그림 11과 같다.

그림 12는 단속사지 동 삼층석탑과 단속사지 서 삼층석탑에 대하여 (a)는 3D CAD 단면으로 표현하였고, (b)는 3D로 질감을 넣어서 표현하였으며, (c)는 촬영된 카메라의 위치와 3D 질감을 나타내고 있다.

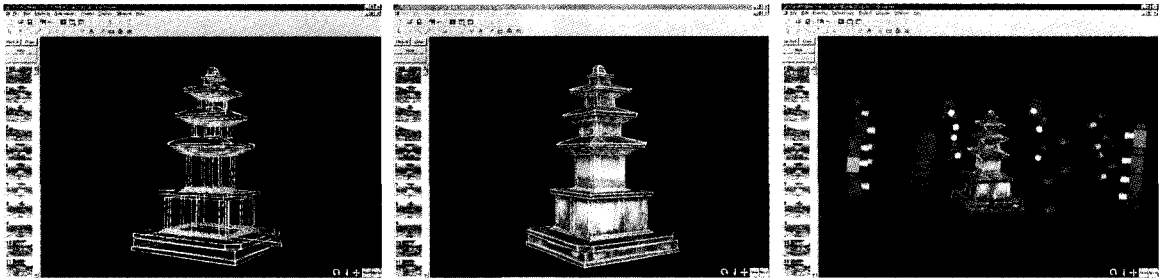
5. 결 론

비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 석조 문화재 위치 해석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 기존의 디지털 카메라에서 하지 못하는 촬영된 동영상과 가지고



단속사지 동 삼층석탑



(a) 3D CAD 단면

(b) 3D로 질감(VRML)

(c) 촬영된 카메라 노출 위치

단속사지 서 삼층석탑

그림 12. 3D 영상

분석하고자 하는 부분인 정지영상으로 손쉽게 취득할 수가 있었으며, 또한 정량적인 자료와 질감을 표현한 정성적인 자료(3D)를 동시에 취득할 수가 있었다.

2. 비측량용 디지털 비디오 카메라로 촬영된 영상으로 문화재 정밀 측량에서 1.8~8.3mm(RMSE) 크기의 양호한 정도를 얻을 수가 있었다.

3. 문화재 원형·보존에 대한 계획의 수행에 있어서 정량적 또는 정성적인 정보를 제공하기 위한 효율적인 촬영 방법이라 판단된다.

참고문헌

- 김성삼 (2000), 비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작기법 개발, 경상대학교 대학원 도시공학과 석사학위논문, p. 37.
- 유환희, 제정형, 김성삼 (2002), 비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작, 한국측량학회지, 제 20권, 제 1호, pp. 59-67.
- M. Pollefeys, R. Koch, M.Vergauwen, L. Van Gool (2000), *Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 55, pp. 251-267.
- Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt (1999), *Elements of Photogrammetry with application in GIS*, 3rd edition, pp. 237-246.

(접수일 2003. 11. 4, 심사일 2003. 11. 15, 심사완료일 2003. 11. 30)