

# 비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용한 문화재 3차원 해석

## Three-Dimensional Analysis of Cultural Heritages Using Non-Metric Digital Video Camera

장호식\* · 서동주\*\* · 이종출\*\*\*

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

### 要 旨

본 연구는 비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 석조문화재인 석탑을 대상으로 촬영하였다. 비측량용 카메라인 디지털 비디오 카메라는 기존의 측량용 또는 준측량용 카메라에서 하지 못하는 방법이 있으며, 이는 촬영된 동영상을 가지고 분석하고자 하는 부분을 손쉽게 정지영상으로 취득할 수가 있었다. 비측량용인 디지털 비디오 카메라로 문화재 3차원 해석에 있어서 2mm ~ 4mm의 정확도를 얻을 수 있었다. 차후 문화재 원형·보존에 대한 계획의 수행에 있어서 문화재에 대한 자세한 정보를 제공하기 위해 효율적이고 경제적인 방법을 제시하고자 한다.

### Abstract

This paper Non-metric digital video camera against subject of study, stone cultural heritages such as stone pagodas. Non-metric digital video camera can perform functions that metric or quasi-metric camera can not. Thus we could easily acquire still-images which are for analyzing from moving picture part. When we analyze a location of cultural heritages using a Non-metric digital video camera, we could get a accuracy from 2mm to 4mm. 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.

### 1. 서 론

최근 급속한 경제개발과 삶의 질 향상에 수반되는 사회기반시설의 수요증가로 인하여 우리나라는 무분별한 국토개발이 진행되고 있으며, 자연훼손으로 인한 20세기 후반부터는 전 세계적으로 엘니노와 같은 자연적인 대규모 기상변동 현상과 이산화탄소나 프로온가스와 같은 온실 가스로 인하여 지구온난화가 야기되면서 점차적으로 자연재해가 증가하고 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 하고 있다.

그리고 문화재 원형·보존에 대하여 기존에는 실측에

의한 방법을 주로 이용하여 관측하였으나, 최근에는 측정기술의 발달로 더불어 측량분야에서도 비약적인 발전을 가져와 수치 근접 사진측량(Digital Close-Range Photogrammetry : DCRP)을 도입하고 있다.

수치 근접 사진측량은 촬영 조건의 재현으로 입체 영상의 해석을 통해 저장된 2차원 데이터로부터 정확한 3차원 데이터를 획득할 수 있어 정밀 수치자료 측정기법으로 많이 응용되어지고 있다. 수치 근접 사진측량은 사진기의 자세와 반복측정이 가능하며, 토목구조물인 교량, 터널, 건축 구조물의 위치와 크기 및 변형 해석, 의상 및 인체공학, 경찰 및 법과학 분야뿐만 아니라 교통사고 조사·분석·정밀 관측을 요하는 분야, 도로 현황 파악, 영상처리에 의한 의학분야 및 국방분야 그리고 고고학 분야에서 부서지거나 훼손되기 쉬운 대상물의 원형·보존을 위한 형상 해석으로 공간 분석 해석에 널리 응용되고 있다<sup>1),2),3),4),5)</sup>.

\* 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료

\*\* 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사

\*\*\* 부경대학교 건설공학부 교수

특히, 보존 대상 건조물 문화재는 국가적 차원에 있어서 중요한 자산으로 국토개발과 자연재해로 인한 문화재의 원형·보존이 대두되고 있으며, 이를 위해 현재 수치근접 사진측량방법이 다양하게 활용되고 있는 실정이다. 그리고, 이 수치 근접 사진측량에서는 측량용 카메라, 준측량용 카메라, 비측량용 카메라가 있다. 그러나, 이들 중 비측량용 카메라인 디지털 비디오 카메라는 기존의 측량용 또는 준측량용 카메라에서 하지 못하는 방법이 있으며, 이는 촬영된 동영상을 가지고 분석하고자 하는 부분을 손쉽게 정지영상으로 취득할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

따라서, 비측량용 비디오 디지털 카메라를 이용하여 소요의 정도를 획득하고 디지털 카메라로 촬영할 당시 누락된 부분이 있을 경우, 다시 촬영을 하여야 하는 번거로움을 없애는 방법을 고려하면, 이는 상당한 효율적인 촬영 방법이라고 판단된다.

## 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( $\omega, \varphi, \kappa$ )에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다<sup>6)</sup>.

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치( $X_0, Y_0$ )와 주점거리( $cK$ )를 결정하는 것이고, 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 표현되며, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전( $\omega, \varphi, \kappa$ )를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각( $\omega, \varphi, \kappa$ )는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 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.<sup>7)</sup>

그림 1과 같이 공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확

한 외부표정을 결정하는 것이다.

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.

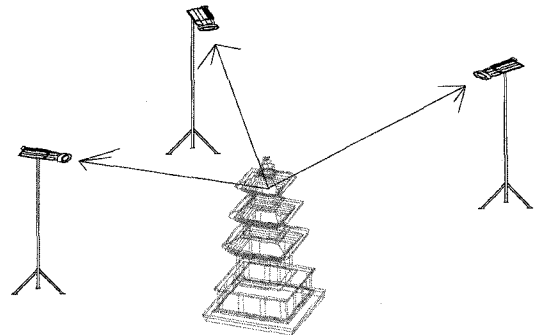


그림 1. 공간 전방교회법

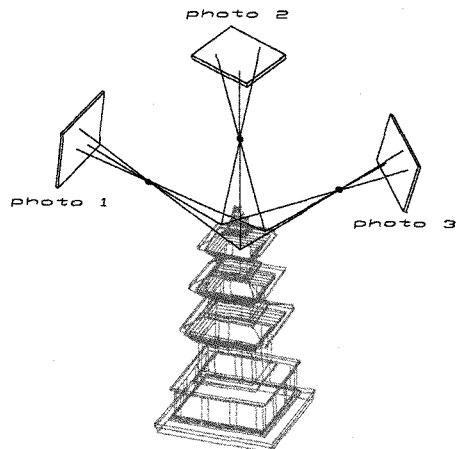


그림 2. 공간 후방교회법

### 3. 관측방법 및 영상취득

#### 3.1 관측대상

본 연구의 대상지역은 그림 3과 같이 경상남도 창원군 일원에 있는 국보 34호인 창녕 술정리 동삼층석탑과 보물 520호인 창녕 술정리 서삼층석탑을 선정하였다.

창녕술정리 동삼층석탑은 그림 3과 같이 이중기단위에 삼층의 탑신을 형성한 신라석탑의 일반형으로 규모와 조각수법 등이 불국사 석가탑과 비교될 만한 통일신라시대의 우수한 석탑이고, 서삼층석탑은 그림 4와 같이 통일신라시대의 작품이나 전체적인 조각수법으로 보아 동삼층석탑보다 다소 떨어지며, 조성시기도 뒤지는 것으로 추정되고 현재 보존상태가 좋지 않아 많은 부분이 파손되어 있다.<sup>8)</sup>

#### 3.2 카메라 캘리브레이션

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

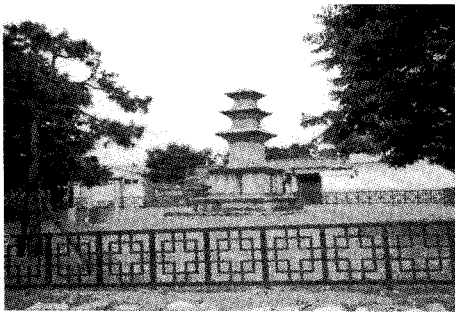


그림 3. 창녕술정리 동 삼층석탑



그림 4. 창녕술정리 서 삼층석탑

따라서, 본 연구에서는 기존에 건조물 문화재들을 수치영상획득하기 위하여 측량용 사진기를 이용하여 왔으나, 이는 가격이 고가이면서 사진기를 조작하기가 매우 불편하여 각 연구소에 이를 접해 보기는 힘든 사정이고, 준 측량용 카메라는 필름을 도화하여야 하므로 이도 역시 여러 가지 처리과정을 거쳐야 하므로 국내에서도 접해보기는 힘든 사정이다. 그러므로 가격이 저렴하고 누구나 사용이 간편한 대중적인 디지털 비디오 카메라를 사용하여 건조물 문화재에 대한 수치영상자료를 생성하는데 요구되는 정확도를 충분한 만족을 얻을 수 있다면, 이는 효율적인 방법이라 생각된다.

따라서, 본 연구에서 사용된 관측 카메라는 JVC사에서 제조한 GR - DV3000KR 디지털 비디오 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 5와 표 1과 같다.

카메라 렌즈의 정확한 파라메터를 검증하기 위하여 본 연구에서는 그림 6에서 보는 것과 같이 35mm 슬라이드를 이용하여 어두운 벽면에 그리드 무늬를 약 1.2m×1m 크기로 투영시켜 Swing을 변화시키면서 8장의 사진을



그림 5. 디지털 비디오 카메라

표 1. 디지털 비디오 카메라의 제원

Classification		GR-DV3000KR
Recording mode		CCD recode
Total pixels		1.33 Mega Pixel
Efficient pixels	Video mode	0.69 Mega Pixel
	Memory mode	1.25 Mega Pixel
Shutter		1/100 sec(Auto)
Focal Length		f = 4.5~45 mm
Dimensions		76×90×194 mm
Weight		660g (without batteries)

획득하였다. 여기서 이 그리드는 가로 세로의 비가 1.5인 흰색과 검은색 삼각형으로 된 직사각형 모자이크로 이루어져 있다.

그림 7은 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 Swing을 변화시켜 찍어진 사진이고, 측정 모습은 그림 8과 같다. 그리고 그림 6에서 벽에 비춰진 이미지의 왼쪽 상단 코너 부분인 기준점 1에서 오른쪽 하단 부분인 기준점 4까지의 길이를 삼각수준측량을 측정하였으며, 이때 관측 모습은 그림 9와 같다.

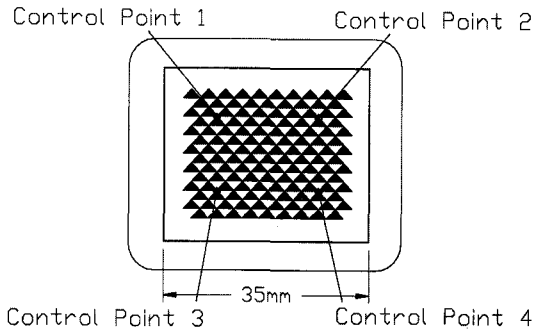


그림 6. 35mm 캘리브레이션 슬라이드

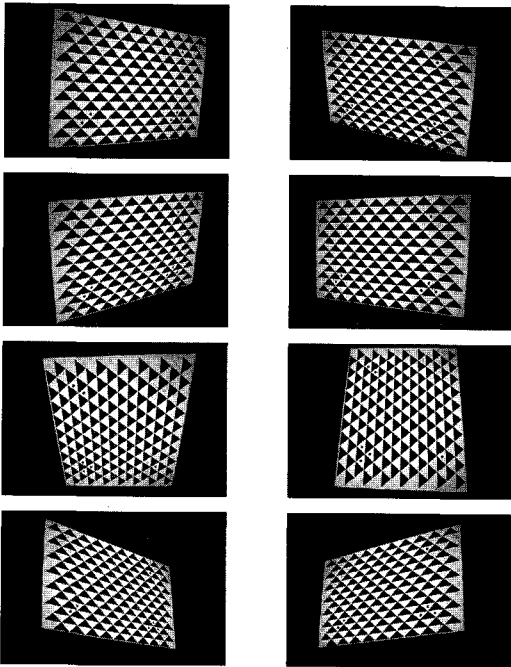


그림 7. 카메라 캘리브레이션 영상

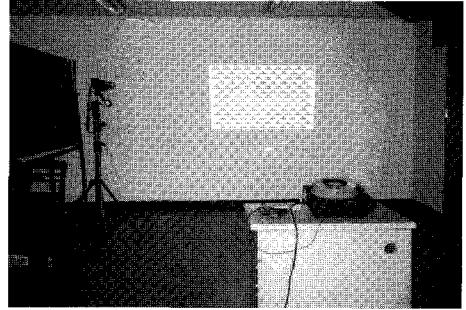


그림 8. 캘리브레이션 관측 모습

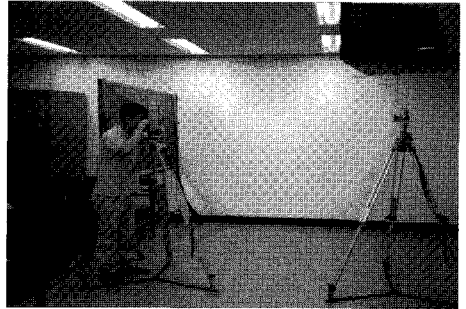


그림 9. 삼각수준측량 모습

표 2. 카메라 캘리브레이션의 자료

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

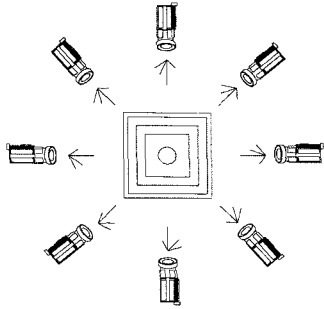


그림 10. 카메라의 촬영 위치

**3.3 관측방법**

석조 문화재에 속하는 석탑은 정사각형에 가까운 모양으로 이루어진 구조물로서 촬영시에는 그림 10과 같이 카메라를 전체 360°로 회전시키는 링(Ring) 방식을 적용하면서 3D 영상으로 구현하였다.

접근하기 어려운 석탑을 촬영하기 위해서 지상에서 약 6m까지 높이 세울 수 있는 카메라 삼각대를 사용하여 총 8구간으로 나누어서 각각 1단 높이 1.70m, 2단 높이 2.59m, 3단 높이 3.52m, 4단 높이 4.70m, 5단 높이 5.51m인 카메라 삼각대에 디지털 비디오 카메라를 장착하여 촬영을 하였다.

**3.4 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-Liner 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 10분당 약 3~4GB 정도의 디스크 공간의 용량이 필요하다.9) 본 연구에서는 촬영된 디지털 비디오 동영상상을 정지영상으로 캡처하기 위해 비디오 편집 보드로 시스템 안정성과 고화질의 제공하는 새빛 마이크로사의 VideoCap Pro 2.0을 이용하였으며, 편집 소프트웨어는 Cyber - Link사의 PowerDirector 2.5 Pro에서 그림 11과 같이 720×480의 크기의 영상소를 갖는 정지 영상으로 획득하였다.

**4. 관측결과 및 분석**

획득된 정지 영상을 사진계측 S/W를 이용하여 3D 모델링을 하기 위해, 기준점을 고르게 배치하여 0.5" 독 Total Station으로 정밀하게 삼각수준측량을 하였다. 기선길이는 창녕술정리 동 삼층석탑과 서 삼층석탑이 각각 3.1280m와 3.5118m이고, 계산된 모델링 결과값과 Total Station에 의해 정밀하게 측정된 삼각수준측량으로 얻어진 실측된 좌표값의 오차는 표 3과 표 4에 나타내었다.

표 3인 창녕술정리 동 삼층석탑에서는 크게 X방향으로 -0.0075m~0.0111m이고, Y방향으로는 -0.0194m~0.0198m이고, Z방향으로는 -0.0216m~0.0023m로 나타났으며, 오차의 평균값은 X방향으로 0.0029m, Y방향으로 0.0023m, Z방향으로 -0.0072m로 나타났다.

또한, 오차에 대한 RMSE를 나타내며, X 방향으로는 0.002177m, Y방향으로 0.004873m, Z방향으로 0.003307m

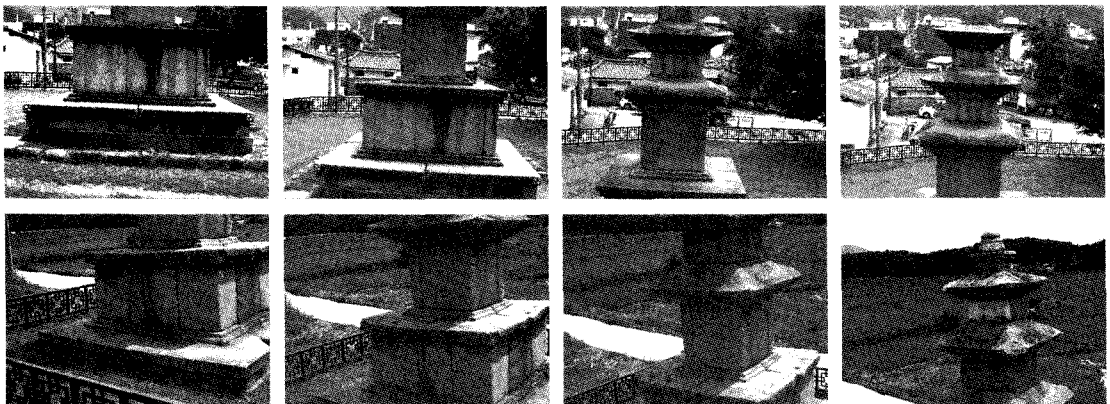


그림 11. 획득된 정지영상

표 3. 창녕술정리 동 삼층석탑 기준점 오차 분석

측점	왼쪽		오른쪽		실측값 좌표(m)			3차원 모델링 좌표(m)			$\epsilon_x$ (m)	$\epsilon_y$ (m)	$\epsilon_z$ (m)
	수평각	연직각	수평각	연직각	X	Y	Z	X	Y	Z			
기선	0°00'00"	334°55'25"	0°00'00"	336°18'23"									
1	247°45'47"	352°49'54"	48°16'20"	354°27'49"	-2.6478	6.4763	-0.8800	-2.6478	6.4763	-0.8800	0.0000	0.0000	0.0000
2	273°53'59"	349°43'25"	58°58'24"	351°32'51"	0.3184	4.6710	-0.8488	0.3084	4.6904	-0.8314	0.0100	-0.0194	-0.0174
3	257°36'57"	17°03'15"	55°39'01"	14°47'20"	-1.4807	6.7435	2.1180	-1.4918	6.7237	2.1396	0.0111	0.0198	-0.0216
4	269°47'37.5"	20°04'36.5"	61°36'54"	18°07'26"	-0.0210	5.8276	2.1299	-0.0135	5.8148	2.1276	-0.0075	0.0128	0.0023
5	275°08'56"	349°53'05"	60°11'35"	351°33'48"	0.4251	4.7181	-0.8451	0.4184	4.7300	-0.8516	0.0067	-0.0119	-0.0065
6	286°07'00.5"	353°49'37"	83°12'41"	353°54'12.5"	2.2153	7.6668	-0.8632	2.2153	7.6668	-0.8632	0.0000	0.0000	0.0000
7	271°33'20.5"	19°51'15"	63°13'39"	18°10'29"	0.1598	5.8831	2.1251	0.1598	5.8831	2.1251	0.0000	0.0000	0.0000
8	278°19'53.5"	15°55'50"	74°25'27"	15°47'44.5"	1.0773	7.3566	2.1222	1.0744	7.3393	2.1368	0.0029	0.0173	-0.0146
평균											0.0029	0.0023	-0.0072

표 4. 창녕술정리 서 삼층석탑 기준점 오차 분석

측점	왼쪽		오른쪽		실측값 좌표(m)			3차원 모델링 좌표(m)			$\epsilon_x$ (m)	$\epsilon_y$ (m)	$\epsilon_z$ (m)
	수평각	연직각	수평각	연직각	X	Y	Z	X	Y	Z			
기선	0°00'00"	334°44'44"	0°00'00"	339°30'31"									
1	299°03'12"	0°19'57.5"	103°21'35"	1°13'05"	6.1342	11.0422	0.0733	6.1342	11.0422	0.0733	0.0000	0.0000	0.0000
2	304°05'51.5"	357°28'53.5"	106°29'04.5"	358°05'07.5"	6.2389	9.2156	-0.4895	6.2400	9.2011	-0.4789	-0.0011	0.0145	-0.0106
3	302°07'35.5"	5°06'20.5"	106°30'16"	6°38'16"	6.6493	10.5890	1.1172	6.6378	10.6043	1.1136	0.0115	-0.0153	0.0036
4	304°28'35"	3°22'15"	108°04'07"	4°49'12.5"	6.6905	9.7434	0.6962	6.6857	9.7404	0.6984	0.0048	0.0030	-0.0022
5	304°48'30"	0°34'01"	107°15'49.5"	1°40'01"	6.3505	9.1343	0.1101	6.3536	9.1331	0.1279	-0.0031	0.0012	-0.0178
6	311°33'54.5"	357°46'55.5"	116°51'43"	358°17'08"	8.1894	9.2353	-0.4780	8.1894	9.2353	-0.4780	0.0000	0.0000	0.0000
7	305°01'15.5"	6°01'08.5"	108°39'47"	7°52'48"	6.7795	9.6746	1.2456	6.7795	9.6746	1.2456	0.0000	0.0000	0.0000
8	308°15'01.5"	2°52'46"	113°05'51"	4°16'49"	7.6507	9.7048	0.6216	7.6313	9.7189	0.6224	0.0194	-0.0141	-0.0008
평균											0.0039	-0.0013	-0.0035

로 나타났다.

표 4인 창녕술정리 서 삼층석탑에서는 크게 X방향으로 -0.0031m~0.0194m이고, Y방향으로는 -0.0153m~0.0145m이고, Z방향으로는 -0.0178m~0.0036m로 나타났으며, 오차의 평균값은 X방향으로 0.0039m, Y방향으로 -0.0013m, Z방향으로 0.0035m로 나타났다.

또한, 오차에 대한 RMSE를 나타내며, X 방향으로는 0.002734m, Y방향으로 0.003379m, Z방향으로 0.002504m로 나타났다.

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

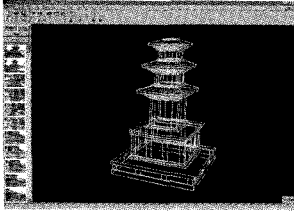
### 5. 결 론

비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 문화재인 석탑을 대상으로 3차원 해석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

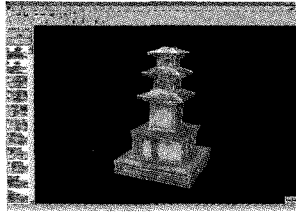
첫째, 비측량용 디지털 비디오 카메라를 이용하여 석탑에 대한 3D CAD File과 3D 시각화(VRML)시키는 wrl File를 획득 할 수 있었으며, 기존 디지털 카메라에서 하지 못하는 촬영된 동영상과 가지고 분석하고자 하는 부분인 정지영상으로 손쉽게 취득할 수가 있었다.

둘째, 비측량용 디지털 비디오 카메라로 촬영된 영상으로 문화재 정밀 측량에서 평균 2~4mm(RMSE) 크기의 양호한 정도를 얻을 수가 있었다.

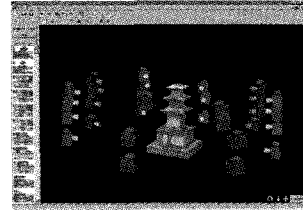
셋째, 문화재 원형·보존에 대한 계획의 수행에 있어



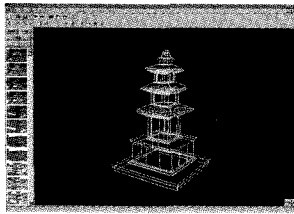
(a) 3D CAD 단면



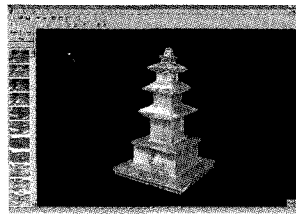
(b) 3D 질감(VRML)  
창녕술정리 동 삼층석탑



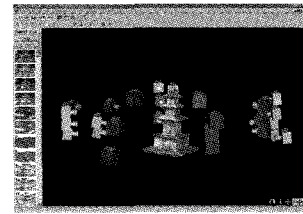
(c) 촬영된 카메라 노출 위치



(a) 3D CAD 단면



(b) 3D로 질감(VRML)  
창녕술정리 서 삼층석탑



(c) 촬영된 카메라 노출 위치

그림 12. 3D 영상

서 문화재에 대한 자세한 정보를 제공하기 위해 효율적 이고 경제적인 방법이라 판단된다.

### 참고문헌

- Henri v. George V, The 3D Reconstruction of Straight and Curved Pipes Using Digital Line Photogrammetry, ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 53, pp. 6-16, 1998.
- Younian Wang, Principles and Applications of Structural Images Matching, ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 53, pp. 154-165, 1998.
- Frank A. van den Heuvel, 3D Reconstruction from a Single Image Using Geometric Constraints, ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 53, pp. 354-368, 1998.
- Petros Patias, Medical Imaging Challenges Photogrammetry, ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 56, pp. 295-310, 2000.
- Nicola D' Apuzzo, Surface Measurement and Tracking of Human Body Parts from Multi-Image Video Sequences, ISPRS Journal and Photogrammetry and Remoting, Volume 56, pp. 360-375, 2000.
- M. Pollefeys, R. Koch, M.Vergauwen, L. Van Gool, Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 55, pp. 251~267, 2000.
- Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt, Elements of Photogrammetry with application in GIS, 3rd edition, pp. 237~246, 1999.
- <http://www.ocp.go.kr/>
- 김성삼, 비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작기법 개발, 경상대학교 대학원 도시공학과 석사학위논문, 2000.

(접수일 2003. 9. 6, 심사 완료일 2003. 10. 1)