

비디오 카메라를 이용한 문화재 3차원 해석

Three-Dimensional Analysis of Cultural Heritage Using Video Camera

이 종 출¹⁾ · 박 윤 용²⁾ · 장 호 식³⁾ · 김 진 수⁴⁾

Lee, Jong Chool · Park, Woon Yong · Jang, Ho Sik · Kim, Jin Soo

¹⁾ 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

²⁾ 동아대학교 공과대학 토목·해양학부 교수(E-mail:uypark@daunet.donga.ac.kr)

³⁾ 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:gpsjhs@mail1.pknu.ac.kr)

⁴⁾ 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:pkssurveying@mail1.pknu.ac.kr)

Abstract

This paper used Non-Metric digital video camera against subject of study, stone cultural assets such as stone pagodas, and examine an error of photographing preliminarily without re-photographing. After that, precise surveying for cultural assets can obtain enough precision of accuracy. Finally, it can be said that study also suggests the efficient and economical measurement when planning to restore prototype of cultural assets in the future and providing specific information on them.

1. 서론

최근 급속한 경제개발과 삶의 질 향상에 수반되는 사회기반시설의 수요증가로 인하여 우리나라는 무분별한 국토개발이 진행되고 있으며, 자연훼손으로 인한 20세기 후반부터는 전 세계적으로 엘니뇨와 같은 자연적인 대규모 기상변동 현상과 이산화탄소나 프로온가스와 같은 온실가스로 인하여 지구온난화가 야기되면서 점차적으로 자연재해가 증가하므로서 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.

특히, 보존 대상 건조물 문화재는 국가적 차원에 있어서 중요한 자산으로 국토개발과 자연재해로 인한 문화재의 원형·보존이 대두되고 있으며, 이를 위해 현재 수치 근거리 사진측량방법이 다양하게 활용되고 있는 실정이다. 그러나, 이 수치 근접 사진측량에서는 측량용 카메라, 준측량용 카메라가 고가이고 사용방법에 있어서 일반 대중인이 접근하기란 상당한 부담을 초래하고 있는 실정이다.

따라서, 비측량용 비디오 디지털 카메라를 사용하여 소요의 정도와 촬영에 대한 사전의 오류를 검사하여 재촬영을 하지 않는 것을 고려하면, 이는 상당한 경제성이 있는 것으로 본다.

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.¹⁾

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 ω, φ, κ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각 ω, φ, κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다.

다중영상접합에서는 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.²⁾

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 지지방향으로 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.

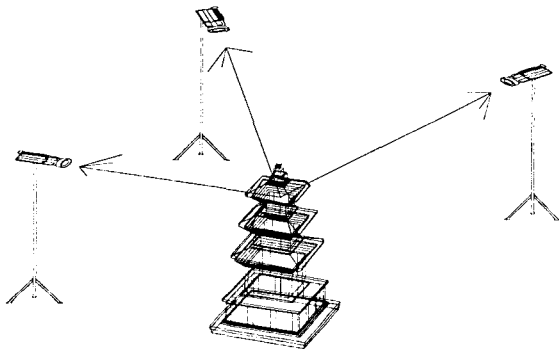


그림 1. 공간 전방교회법

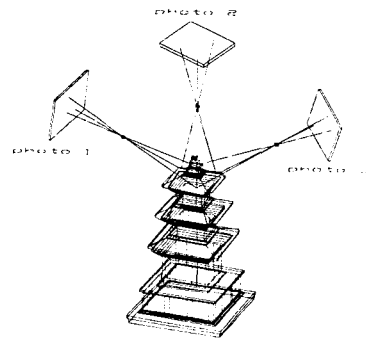


그림 2. 공간 후방교회법

3. 관측방법

3.1 관측대상 석탑의 위치와 현황

본 연구의 대상지역은 그림 3과 같이 경상남도 산청군 일원에 있는 보물 73호인 단속사지 서삼층석탑을 선정하였다. 이 탑은 단속사 옛터의 금당터 앞에는 동서로 두 탑이 서 있는데 그 중 서쪽에 세워진 탑이다. 2단의 기단에 3층의 탑신을 올린 전형적인 모습이나, 동탑에 비하여 많이 부서지고 안에 봉안된 사리함의 도난 당하는 등 많은 수난을 겪었다. 그리고, 기단에는 각 면의 모서리에 기둥 모양의 조각을 두었는데, 아랫단은 가운데에 2개씩을 두고 윗단은 1개씩 두었다. 탑신의 지붕돌은 처마를 직선으로 처리하였으며, 밋밋한 경사가 흐르는 윗면은 네 귀퉁이에서 하늘을 향해 살짝 들어 올렸다. 지붕돌을 경쾌하게 처리한 점이나, 탑의 윗부분으로 갈수록 크기가 알맞게 줄어드는 수법에서 통일신라 석탑의 전형을 계승하고 있는 것을 볼 수 있다. 아래기단의 너비가 넓어지고 4면에 새긴 가운데기둥의 수가 아래기

단은 2개, 윗기단은 1개로 줄어든 점으로 보아 통일신라 후기의 수법을 잘 보여주는 작품이라 할 수 있으며, 이 단속사지 서삼층석탑의 제원은 표 1과 같다.



그림 3. 단속사지 서삼층석탑 현재의 모습

표 1. 단속사지 서삼층석탑의 제원

지정 번호	보물 제73호
소유자	대한민국
소재지	경남 산청군 단성면 윤리 333
재료	화강암
시대	통일신라

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 4와 표 2와 같다.

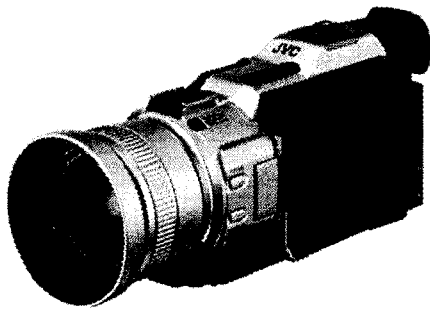


그림 4. Digital Video Camera의 형상

표 2. Digital Video Camera의 제원

제품명	GR-DV3000KR
기록 장치	CCD recode
셔터	1/100 sec
초점 길이	f = 4.5 ~ 45
크기	76×90×194 mm
무게	660g (without batteries)

카메라 렌즈의 정확한 파라메타를 검증하기 위하여 본 연구에서는 그림 5에서 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 흰색과 검은색 삼각형으로 된 직사각형 모자이크로 이루어져 있다.

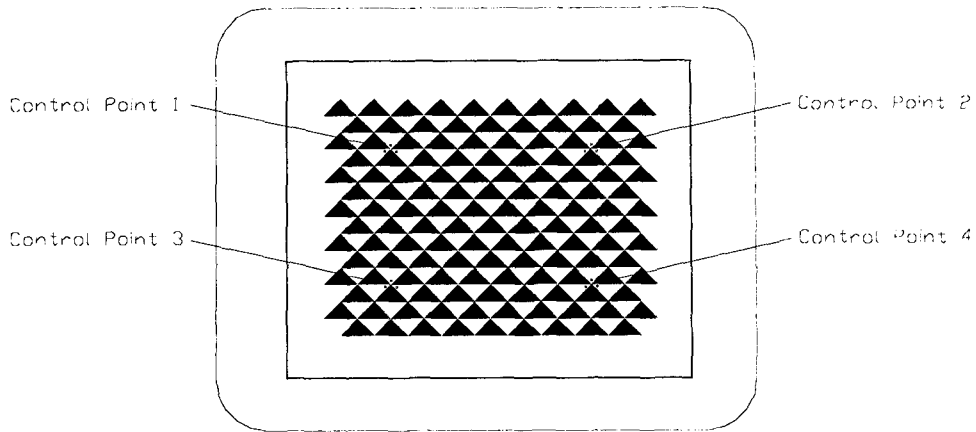


그림 5. 35mm 캘리브레이션 슬라이드

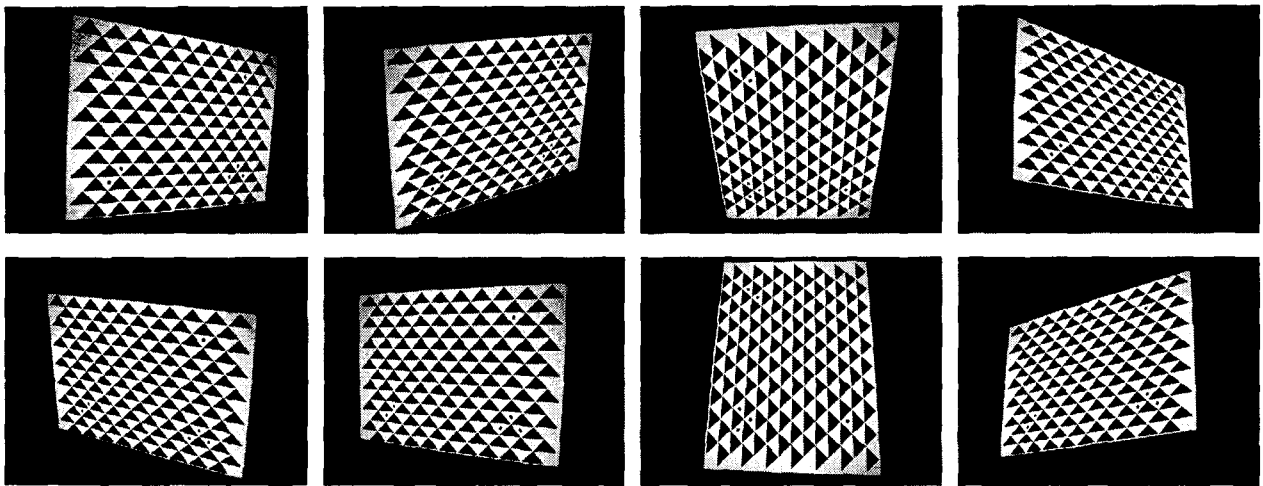


그림 6. 카메라 캘리브레이션 영상

그림 6은 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 사진이다. 그리고 그림 5에서 벽에 비춰진 이미지의 왼쪽 상단 코너 부분인 기준점 1번에서 오른쪽 하단 부분인 기준점 4번까지의 길이를 삼각수준 측량을 측정하였으며, 이때 관측 모습은 그림 7과 같다.

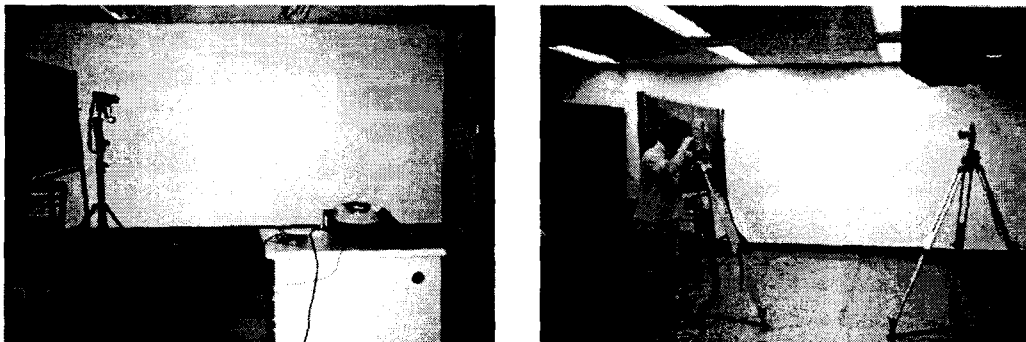


그림 7. 방사 왜곡의 측정 모습

렌즈의 검증은 방사방향 왜곡 수차와 편심방향 왜곡 수차를 보정해야 하지만, 편심방향 왜곡 수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 유사하므로, 본 연구에서는 실험을 되풀이하여 최소제곱법에 의해 구해진 1차 왜곡상수와 2차 왜곡상수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

표 3은 카메라 캘리브레이션에 의해 보정된 자료를 나타낸 것과 같이 검증된 카메라의 초점 거리는 4.4625mm이며, 주점 좌표는 X방향으로 1.3535mm, Y방향으로 1.0808mm이다. 그리고 방사왜곡의 매개변수는 $K1 = -0.003895$, $K2 = -0.0009427$ 이고 편심왜곡의 매개변수는 $P1 = 0.001147$, $P2 = 0.001082$ 이며, 영상 크기는 720×480 이다.

표 3. 카메라 캘리브레이션의 제원

Calibration [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	K1	-0.003895
		K2	-0.0009427
		P1	0.001147
		P2	0.001082
	Image Size	720×480	

4. 관측결과 및 분석

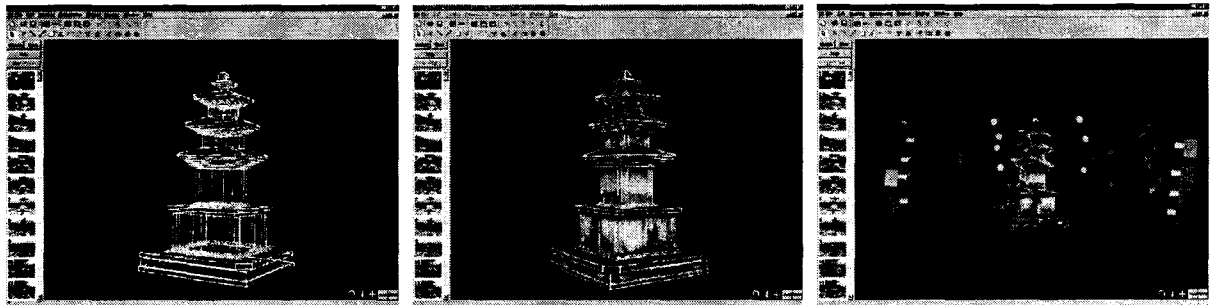
획득된 정지 영상을 사진계측 S/W를 이용하여 3D 모델링을 하기 위해, 기준점을 고르게 배치하여 0.5" 독 Total Station으로 정밀하게 삼각수준측량을 하였다. 기선길이는 6.0338m이고, 계산된 모델링 결과값과 Total Station에 의해 정밀하게 측정된 삼각수준측량으로 얻어진 실측된 좌표값의 잔차를 표 4에 나타내었다.

표 4. 실측값 좌표와 3차원 모델링 결과에 얻어진 좌표와의 비교

측점	왼쪽		오른쪽		실측값 좌표(m)	3차원 모델링			ν_x (m)	ν_y (m)	ν_z (m)		
	수평각	연직각	수평각	연직각		좌표(m)							
기선	0° 00' 00"	346° 40' 00.5"	0° 00' 00"	35° 32' 05"	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	287° 10' 13"	357° 40' 55"	73° 52' 50"	357° 21' 23.5"	3.1177	10.0902	-0.4275	3.1177	10.0902	-0.4275	0.0000	0.0000	0.0000
2	235° 17' 11.5"	357° 14' 18.5"	77° 27' 32.5"	356° 39' 15.5"	4.1022	8.6835	-0.4632	4.0999	8.6902	-0.4715	0.0023	-0.0067	0.0083
3	287° 13' 40.5"	0° 57' 29"	73° 54' 54"	0° 39' 14"	3.1265	10.0826	0.1765	3.1253	10.0802	0.1873	0.0012	0.0024	-0.0108
4	235° 12' 57.5"	0° 54' 34.5"	77° 28' 53.5"	0° 36' 34"	4.1004	8.7076	0.1528	4.1004	8.7076	0.1528	0.0000	0.0000	0.0000
5	290° 23' 17"	4° 24' 12"	76° 53' 15.5"	4° 15' 31"	3.7091	9.9799	0.8199	3.6953	9.9500	0.8198	0.0138	0.0299	0.0001
6	294° 16' 34.5"	4° 37' 07.5"	78° 48' 27"	4° 37' 38"	4.1939	9.2987	0.8241	4.1835	9.2787	0.8198	0.0104	0.0200	0.0043
7	292° 36' 03.5"	11° 32' 15"	78° 22' 20"	11° 54' 13.5"	4.0378	9.6998	2.1448	4.0449	9.6545	2.1509	-0.0071	0.0453	-0.0061
8	236° 04' 58"	357° 05' 58.5"	78° 21' 27.5"	356° 28' 00.5"	4.2465	8.6747	-0.4893	4.2489	8.6881	-0.4946	-0.0024	-0.0134	0.0053
9	300° 07' 32"	357° 21' 45"	87° 30' 37.5"	356° 37' 02.5"	5.6132	9.6734	-0.5152	5.6132	9.6734	-0.5152	0.0000	0.0000	0.0000
10	236° 00' 43.5"	0° 50' 30.5"	78° 21' 23"	0° 32' 52.5"	4.2424	8.6935	0.1421	4.2456	8.7064	0.1444	-0.0032	-0.0129	-0.0023
11	300° 04' 01.5"	0° 50' 48.5"	87° 24' 12"	0° 38' 27"	5.5955	9.6655	0.1651	5.5962	9.6621	0.1675	-0.0007	0.0034	-0.0024
12	235° 00' 07"	4° 30' 32.5"	79° 35' 25.5"	4° 32' 47.5"	4.3286	9.2820	0.8077	4.3218	9.2663	0.8032	0.0068	0.0157	0.0045
13	297° 05' 42.5"	4° 05' 24"	83° 56' 41"	4° 15' 26"	4.9982	9.7624	0.7874	4.9918	9.7531	0.7851	0.0064	0.0093	0.0023
14	235° 48' 22.5"	11° 33' 17.5"	81° 45' 36"	12° 20' 46"	4.6432	9.6023	2.1807	4.6487	9.5818	2.1981	-0.0055	0.0205	-0.0174
평균											0.0043	0.0128	0.0046

표 4에서 크게 X방향으로 $-0.0071\text{m} \sim 0.0138\text{m}$ 이고, Y방향으로는 $-0.0134\text{m} \sim 0.0453\text{m}$ 이고, Z방향으로는 $-0.0174 \sim 0.0083\text{m}$ 로 나타났으며, 잔차의 평균값은 X방향으로 0.0043m , Y방향으로 0.00128m , Z방향으로 0.0046m 로 나타났다. 이는 비측량용 디지털 비디오 카메라에 의해 측정된 관측된 값이 문화재 정밀 측량에 적용이 가능하다고 판단된다.

그림 8에서 (a)는 3D CAD 단면으로 표현하였고, (b)는 3D로 질감을 넣어서 표현하였으며, (c)는 촬영된 카메라의 위치와 3D 질감을 나타내고 있다.



(a) 3D CAD 단면

(b) 3D로 질감

(c) 촬영된 카메라의 위치와 3D 질감

그림 8. 3D 영상

5. 결론

비디오 카메라를 이용하여 문화재 3차원 해석하기 위해 촬영된 영상을 획득하여 3차원 수치모형 및 3D영상으로 생성할 수 있었고, 비측량용 비디오 카메라로 문화재 정밀 측량에 양호한 정도를 얻을 수 있었다. 차후 문화재 원형·보존에 대한 계획의 수행에 있어서 문화재에 대한 자세한 정보를 제공하기 위해 효율적이고 경제적인 방법이라 판단된다.

참고문헌

1. 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.
2. Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt, "Elements of Photogrammetry with application in GIS", 3rd edition, pp. 237~246, 1999.
3. L. Dorffner, G. Forkert, "Generation and visualization of 3D photo-models using hybrid block adjustment with assumptions on the object shape", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 53, pp. 369~378, 1998.