

봉분(封墳)의 3D구현을 위한 수치사진측량의 적용

Application of digital photogrammetry for 3D embodiment of tumulus

박운용¹⁾ · 이기부²⁾ · 이인수³⁾ · 박홍주⁴⁾

Park, Woon-young · Lee, Kee-Boo · Lee, In-Soo · Park, hong-Joo

¹⁾ 동아대학교 토목·해양공학부 교수(E-mail : uypark@daunet.donga.ac.kr)

²⁾ 영남 이공대학 토목과 교수(E-mail : kblee@yjnet.yeungnam-c.ac.kr)

³⁾ (주)한성 UI ENG 선임 연구원(E-mail : lis9919@smail.donga.ac.kr)

⁴⁾ 동아대학교 대학원 토목공학과 석사 과정(E-mail : phj76@smail.donga.ac.kr)

Abstract

우수한 문화유산을 보유하고 있는 우리나라는 그간 전쟁과 관리소홀로 인하여 많이 파괴되고 유실되는 피해를 입어 왔다. 한번 손실된 문화재는 기존 자료 없이는 완전복구가 어려운 실정이며, 이러한 문화재의 복원을 위해 그 모습을 수치화시켜 영구 보존함으로써 그 활용가치를 높일 수 있다. 또한, 문화재의 복원 전·후의 모습을 체계적으로 정리하기 위해서 문화재의 3차원 구현을 통한 자료의 전산화 작업이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 수치사진측량용 카메라를 이용하여 봉분을 촬영하고, 이렇게 취득 데이터를 사용하여 3차원 형상을 수치화하여 복원 이전의 발굴상태를 영구히 보존함과 동시에 발굴된 유적을 기초로 하여 복원시킨 봉분의 형상을 추측하기는 자료로도 활용할 수 있다. 이러한 복원 작업을 효율적이고, 신속하게 분석하여 재현함으로써 문화재의 유지관리·복원을 위한 기초 자료기반을 구축함에 그 목적이 있다.

1. 서론

최근 우리나라는 많은 국제 행사와 문화 행사를 통하여 국가의 위상이 점차 높아짐에 따라 옛 조상들의 발자취인 문화재를 복원하려는 노력을 많이 하고 있다. 하지만 현실적으로 도시화의 가속화와 도굴로 인하여 문화재의 유지관리, 보존 및 복원에 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이러한 공간유형 문화재들을 휴대가 간편하고 수치영상의 자체 저장능력을 가진 Rollei d7 metric 디지털 카메라로 촬영하여 다중 영상 표정의 과정을 거쳐 봉분의 3차원 좌표를 측정하고, 이를 통하여 형상화한 봉분을 컴퓨터 시스템과 연관해서 3차원으로 시각화 하고자 하였다. 이러한 문화재의 3차원 시각화는 문화유산을 남긴 집단의 문화적·행위적 특징과 환경에 대한 적응양식을 파악할 수 있으므로 보존 가치가 높다고 할수 있다.

본 연구에서는 3차원 수치지형모델 생성이 가능한 Rollei d7 metric 디지털 카메라를 이용하여 경상남도 창원군에 위치한 송현동 고분군일대의 봉분을 관측 대상으로 선정하였다. 이 취득 데이터를 이용하여 후처리과정을 거친 후 3차원 형상을 수치화하여 복원 이전의 발굴상태를 영구히 보존하고, 발굴된 유적을 기초로 하여 복원시킨 봉분의 형상을 추측하기도 용이하며, 이러한 복원 작업을 효율적이고, 신속하게 분석하여 재현함으로써 문화재의 유지관리·복원을 위한 기초 자료기반을 구축함에 있다.

2. 다중영상 처리의 원리

여러 장의 사진을 기하학적 원리를 이용하여 접합함으로써 대상물의 3차원 좌표를 획득하는 것을 말한다. 다중영상접합의 표정은 여러 다른 사진들과 대상물에

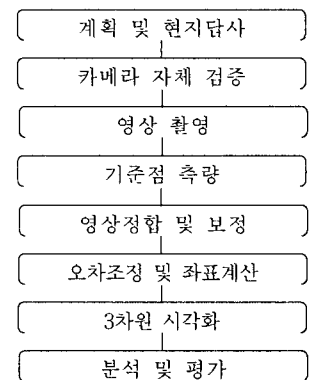


그림 1. 실험 흐름도

관련된 각 사진의 카메라 위치(X_C, Y_C, Z_C)와 회전요소(ω, ϕ, κ)에 대한 계산이며 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것이다. 다중영상접합에서는 표정을 위해 전방교회법과 후방교회법을 동시에 이용한다. 전방교회법과 후방교회법은 영상점 관측에서 측정된 표정점의 사진좌와 스케치에서 입력한 대략의 외부표정요소, 카메라 캘리브레이션 시트로부터 보정한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다. 그림 1은 디지털 카메라의 수행과정을 도시하였다.

2.1 공선 조건

공간상의 임의의 점(또는 대상물의 점: X_p, Y_p, Z_p)과 그에 대응하는 사진상의 점(또는 상점: x, y) 및 사진기의 촬영중심(X_0, Y_0, Z_0)이 동일직선상에 있어야 하는 조건을(그림 2) 공선조건(collinearity condition)이라 한다.(박운용, 2003)

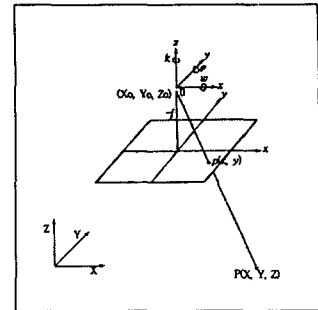


그림 2. 공선 조건

2.2 에피폴라 기하(Epipolar Geometry)

최근 수치 사진측량기술이 발달함에 따라 입체사진에서 공액점을 찾는 공정은 점차 자동화되어 가고 있으며, 공액요소 결정에 에피폴라 기하를 이용한다. 그림 3은 에피폴라 기하를 나타내고 있으며, 그 특징은 다음의 4가지가 있다. 첫째, 에피폴라선(epipolar line)과 에피폴라 평면(epipolar plane)은 공액요소 결정에 이용된다. 둘째, 에피폴라 평면은 투영중심 C', C'' 과 지상점의 P 에 의하여 정의된다. 셋째, 에피폴라 e', e'' 은 평면과 에피폴라 평면의 교차점이다. 넷째, 공액점 결정에 실제 적용하기 위해서는 수치영상의 행(row)과 에피폴라선이 평행이 되도록 하는데 이러한 입체상(stereo pairs)을 정규화 영상(normalized images)이라고 한다.

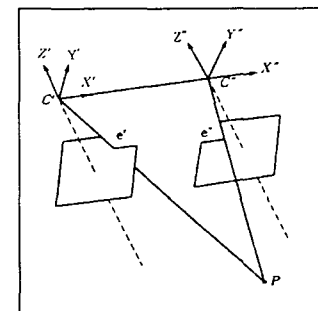


그림 3. 에피폴라 기하

2.3 공간보간법

공간에서 함께 근접해 있는 점들이 멀리 떨어져 있는 점보다는 유사한 값을 가진다는 이론적 근거를 바탕으로 실제로 관측을 통하여 획득한 관측값을 사용해서 관측이 실행된 영역 내에서 조사되지 않은 변수값을 평가하는 과정이다. 이 공간보간법에는 하나의 점을 기초로 하는 점 보간법, 표고격자간의 등고선에 대한 선 대 선 보간법, 자료영역의 한 집합에서 지도화되는 자료집합은 표적영역의 다른 집합에 대한 자료의 값을 결정하는 면 보간법 등이 있다.

2.3.1 크리징(Kriging) 보간법

크리징 보간법은 원래 지질 통계학적 분야에서 널리 이용되었던 기법으로 현재는 많은 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 이 방법은 관측점이 불규칙한 경우에 등고선이나, 곡면의 보간 등에 유용하다. 또한 크리징 보간법은 자료의 경향을 나타낼 수 있다. 식 1은 공간통계학 이론에 기반을 둔 공간 추정법으로 역거리 보간법에서 결여된 문제를 해결한 공간추정법으로 인정되고 있다.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n Z(x_i) w_i \tag{1}$$

x : 미지점, x_i : i 지점에서의 관측값
 $Z(x_i)$: x_i 지점에서의 관측값 (단 : x_i = 경중률)

2.4 Bundle 조정

Bundle 조정법은 상좌표를 사진좌표로 변환시킨 다음 사진좌표로부터 직접 절대좌표를 구하는 것으로

중형접합모형(block) 내의 각 사진상에 관측된 기준점 접합점의 사진좌표를 이용하여 최소제곱법으로 각 사진의 외부표정요소 및 접합점의 정확도를 결정하는 방법이다.

3. 실험 및 분석

경상남도 창원군에 위치한 송현동 고분군일대 봉분을 3차원 형상 구현을 하기 위해 58개의 자동타켓을 실험 대상지에 고른 분포로 부착하였고, 카메라의 촬영 위치 및 방향을 대칭적으로 하여 25장의 영상을 취득하였다. 표정점간의 측척을 위해 대략적인 거리를 관측하였다. 그림 4는 복원하지 않은 봉분의 현황사진이고, 그림 5는 봉분(약 18m×11m)에 대한 타켓 배치를 나타내고 있다.

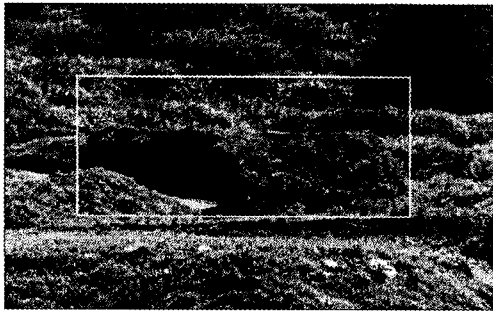


그림 4. 발굴단계의 봉분 현황

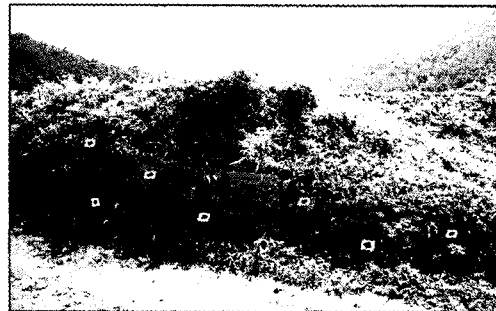


그림 5. 실험대상지의 타켓 배치

디지털카메라로 취득된 영상은 CDW2.1과 Surfer 프로그램을 사용하여 획득된 수치자료들을 크리징(Kriging)보간법으로 처리하였다. 그림 6는 봉분의 등고선 현황을 나타내고 있으며, 그림 7은 봉분의 수치표고모델(Digital Elevation Model ; DEM), 그림 8은 3차원 wire frame으로 표현하여 내었고, 그림 9는 봉분의 모든 발굴 작업을 마친 후 복원할 봉분 크기나 형상을 미리 3차원 영상으로 재현하여 나타내어 본 것이다.(경남문화연구원, 2000)

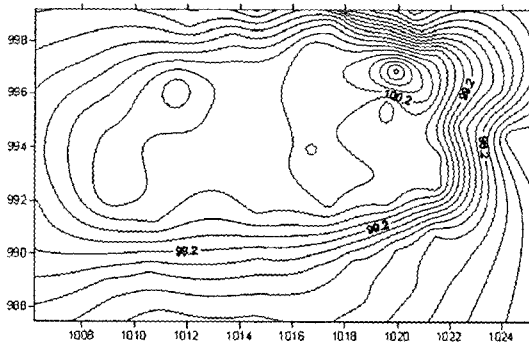


그림 6. 봉분의 등고선 지형

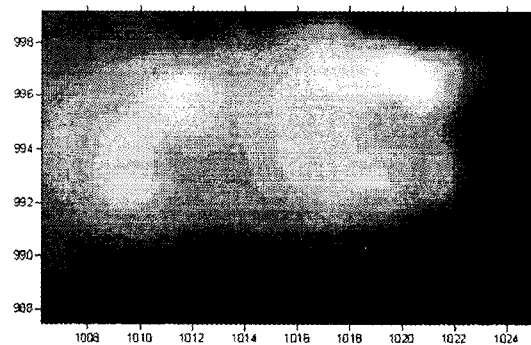


그림 7. 봉분의 DEM

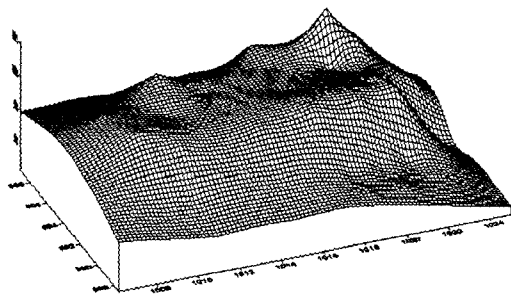


그림 8. 봉분의 3차원 wire frame

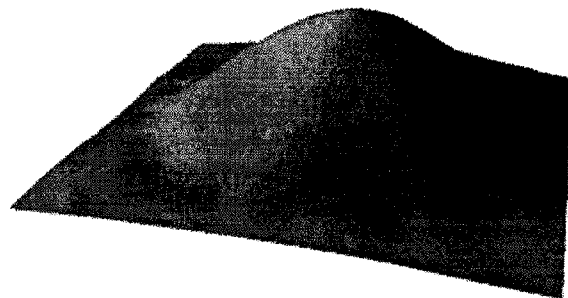


그림 9. 봉분의 복원 후 3차원 영상

여기서 취득된 표정점들은 공선조건을 기초로 한 다중영상접합에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하였다. 그리고 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 되었으며, 최종적으로 결정된 각 영상에 대해서 외부표정요소와 대상물의 3차원 좌표를 얻었다. 대상물의 3차원 좌표값으로부터 각 영상에 대한 표정점의 잔차와 표정점의 표준편차는 표. 1, 2와 같다.

표 1. 광속 조정된 표정점의 잔차

No	dx(m)	dy(m)	dz(m)	No	dx(m)	dy(m)	dz(m)	No	dx(m)	dy(m)	dz(m)	No	dx(m)	dy(m)	dz(m)
1	0	0	0	16	0.0091	0.0070	0.0062	31	0.0045	0.016	0.0049	46	0.0083	0.0002	0.0038
2	0.0003	0.0041	0.0009	17	0.0091	0.0076	0.0062	32	0.0050	0.0165	0.0039	47	0.0024	0.0041	0.0035
3	0.0009	0.0038	0.0058	18	0.0087	0.0079	0.0069	33	0.0032	0.0128	0.0031	48	0.0054	0.0089	0.0034
4	0.0014	0.0073	0.0032	19	0.0073	0.0011	0.0049	34	0.0023	0.0070	0.0031	49	0.0080	0.0070	0.0003
5	0.0003	0.0071	0.0097	20	0.0076	0.0019	0.0054	35	0.0071	0.0003	0.0049	50	0.0003	0.0040	0.0013
6	0.0023	0.0094	0.0069	21	0.0131	0.0816	0.0023	36	0.002	0.0098	0.0036	51	0.0059	0.0010	0.0016
7	0.0028	0.0086	0.0189	22	0.0086	0.0096	0.0077	37	0.0033	0.011	0.0051	52	0.0012	0.0025	0.0002
8	0.0040	0.0107	0.0134	23	0.0043	0.0080	0.0048	38	0.0045	0.0107	0.0055	53	0.0105	0.0019	0.0014
9	0.0041	0.0072	0.0006	24	0.0039	0.0069	0.0045	39	0.0028	0.0087	0.0042	54	0.0057	0.0028	0.0001
10	0.0041	0.0107	0.0067	25	0.0007	0.0150	0.0039	40	0.0027	0.0047	0.0043	55	0.0049	0.0048	0.0034
11	0.0053	0.0108	0.0073	26	0.0010	0.0109	0.0052	41	0.0061	0.0014	0.0045	56	0.0183	0.0023	0.0023
12	0.0066	0.0084	0.0038	27	0.0021	0.0156	0.0055	42	0.0183	0.0100	0.0120	57	0.0081	0.0075	0.0018
13	0.0067	0.0101	0.0057	28	0.0032	0.0211	0.0042	43	0.0142	0.0046	0.0078	58	0.0035	0.0032	0.0034
14	0.0082	0.0099	0.0065	29	0.0018	0.0021	0.0025	44	0.0127	0.0026	0.0047				
15	0.0074	0.0114	0.0078	30	0.0020	0.0147	0.0048	45	0.0127	0.0030	0.0061				

표 2. 광속 조정된 표정점의 표준편차

No	dx(m)	dy(m)	dz(m)	No	dx(m)	dy(m)	dz(m)	No	dx(m)	dy(m)	dz(m)	No	dx(m)	dy(m)	dz(m)
1	0	0	0	16	0.002393	0.003889	0.001383	31	0.003438	0.005020	0.001659	46	0.003355	0.002540	0.001742
2	0.002365	0.002109	0.001137	17	0.002384	0.003824	0.001389	32	0.003453	0.004986	0.001711	47	0.003578	0.003005	0.001637
3	0.002389	0.001872	0.001338	18	0.002415	0.003795	0.001558	33	0.003401	0.004495	0.001750	48	0.003957	0.003216	0.001606
4	0.002282	0.002377	0.001247	19	0.002450	0.004399	0.001410	34	0.003016	0.004268	0.001842	49	0.003929	0.002561	0.001555
5	0.002535	0.002161	0.001756	20	0.002509	0.004035	0.001696	35	0.003129	0.003236	0.001772	50	0.003666	0.002607	0.001667
6	0.002408	0.002503	0.001514	21	0.003577	0.015723	0.000845	36	0.003456	0.004046	0.001709	51	0.003802	0.002241	0.001692
7	0.002980	0.002134	0.002865	22	0.002429	0.003581	0.001644	37	0.003810	0.004221	0.001672	52	0.003695	0.002087	0.001534
8	0.002672	0.002448	0.002110	23	0.002604	0.005132	0.001515	38	0.003965	0.003922	0.001622	53	0.003504	0.001633	0.001658
9	0.002268	0.002973	0.001380	24	0.002723	0.004826	0.001643	39	0.003830	0.003650	0.001673	54	0.003662	0.001506	0.001473
10	0.002371	0.002868	0.001477	25	0.003353	0.006569	0.001807	40	0.003455	0.003489	0.001686	55	0.002352	0.001325	0.001485
11	0.002381	0.003003	0.001510	26	0.002966	0.004993	0.001555	41	0.003278	0.003156	0.001784	56	0.004296	0.001697	0.002315
12	0.002230	0.003553	0.001319	27	0.003191	0.005286	0.001612	42	0.003336	0.002270	0.002126	57	0.003812	0.001978	0.002184
13	0.002311	0.003354	0.001377	28	0.002514	0.004258	0.001321	43	0.003238	0.002290	0.001895	58	0.002184	0.003485	0.003154
14	0.002376	0.003515	0.001464	29	0.003215	0.003254	0.001942	44	0.003310	0.002142	0.001797				
15	0.002426	0.003211	0.001544	30	0.003187	0.005161	0.001638	45	0.003211	0.002435	0.001784				

광속조정 후의 평균잔차는 X좌표에서 4.84mm, Y좌표에서 7.28mm, Z좌표에서 4.77mm의 분포를 나타내고 있다. 평균표준편차는 X좌표에서 2.98mm, Y좌표에서 3.28mm, Z좌표에서 1.64mm이다. 밑의 그림 8, 9는 광속조정 후의 잔차와 평균잔차를 나타낸 그래프이며, 그림 10, 11은 광속조정후의 카메라의 표준편차와 평균표준편차를 그래프로 보여주고 있다.

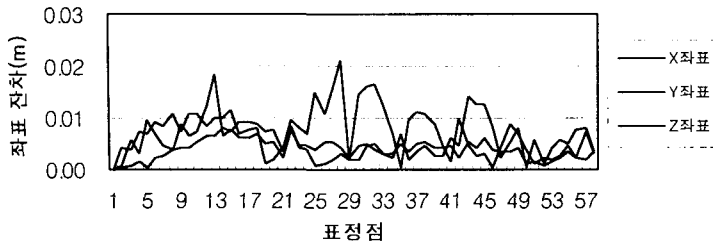


그림 10. 표정점의 간차

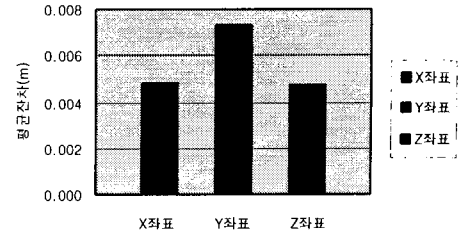


그림 11. 표정점의 평균간차

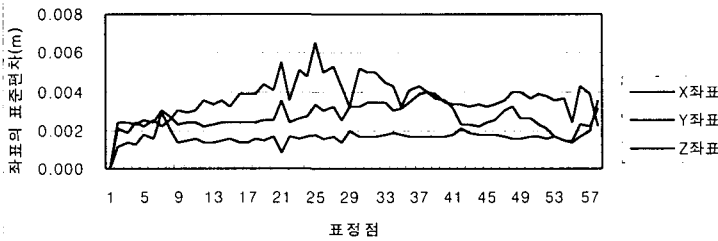


그림 12. 표정점의 표준편차

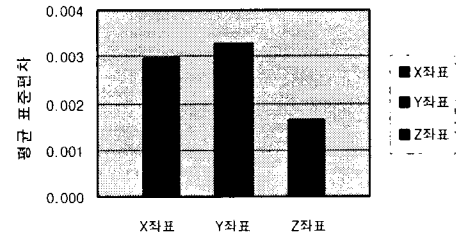


그림 13. 표정점의 평균표준편차

4. 결론

본 연구에서는 Rollei d7 metric 디지털 카메라를 이용하여, 봉분의 3차원 좌표를 나타내었으며, 지형 모델을 생성한 결과 다음과 결론을 얻었다.

1. 봉분의 3차원 시각화는 대상물 데이터베이스 영구보존이 가능하고, 각 지역에 많이 산재해 있는 봉분 데이터베이스화의 통일화, 전산화 작업에 보다 효과적으로 활용할 수 있다.
2. 광속조정 후의 평균간차는 X좌표에서 4.84mm, Y좌표에서 7.28mm, Z좌표에서 4.77mm의 분포를 보이고 있으며, 평균표준편차는 X좌표에서 2.98mm, Y좌표에서 3.28mm, Z좌표에서 1.64mm로 나타났다.
3. 지형 및 문화재 정보를 관독할 수 있는 수치 영상은 봉분의 복원 전·후의 지형 변화나 상태를 알 수 있는 근거 자료로써 그 가치가 높다고 할수 있다.

참고문헌

1. 박운용 (2003), 測量工學 概論(下), pp.165~300
2. 강준목, 배상호 윤희천 (1996), 수치정보에 의한 문화재의 공간분석, 한국측지학회지, 한국측량학회, 제14권, 제1호 pp. 159~166
3. 강준목, 배상호, 배연성, 주영은 (1996), 문화재 보존을 위한 3D 수치 정보 구축, 대한토목학회, 학술발표회, pp. 125~128
4. 김진수 (2003), 수치사진측량을 이용한 교통사고차량 변형해석, 석사학위논문, 부경대학교
5. 나중기 (2003), 근거리 수치 사진측량의 정확도 분석, 석사학위논문, 동아대학교
6. 경남 문화재 연구원(2000), 창녕 송현동 고분군 정밀집표조사 보고서 학술조사연구총서 제6집
7. Rollei Fototechnic GmbH (2002), Rollei metric CDW User Manual