

문화재 보존을 위한 수치자료 구축과 공간분석

Precision Digital Data Capture and Spatial Analysis for Preserving Cultural Properties

강 준 목* 서 만 철** 배 상 호*** 이 성 순****
Kang,Joon-Mook Suh,Man-Cheol Bae,Sang-Ho Lee,Sung-soon

要 旨

문화재에 대한 정밀 수치자료의 획득과 공간분석 체계의 구축은 대상물의 보존 차원에서 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 본 연구는 문화재를 보다 효율적으로 관리하기 위한 기하학적 수치자료의 획득과 이의 정량적 공간분석에 관한 것이다. 공주 무령왕릉 군에 대한 동일좌표계 상에서의 3차원 정밀 실측과 영상해석을 실시하여 수치자료의 기반을 구축하고 다양한 기하학적 분석은 물론 3차원 모니터링을 수행하므로써 보존대책의 기초자료를 제공할 수 있었다.

ABSTRACT

Precision digital data capture and spatial analysis system to cultural properties play important roles in preserving the existing properties. This study presents the acquisition of digital data in geometrical context and spatial analysis for more effective management to cultural properties. Established in the same coordinates system, precision 3D measurements and image analysis were performed. In addition, geometrical analysis, and 3D monitoring to Songsanri Royals Tombs in Gongju were carried out in generating basedata for conservation plan.

1. 서 론

무령왕릉은 백제 25대 무령왕과 왕비합장릉으로서 삼국사기 및 동국여지승람의 사료를 확인시킨 역사적으로나 학술적으로 그 가치가 매우 큰 우리 나라 중

요 문화 유적중의 하나이다. 그러나 발굴 당시의 상태를 보존함에는 많은 어려움이 뒤따르고 있어, 이의 영구보존을 위한 관리상의 제반 문제점들을 파악하고 보수를 위한 대책을 마련하기 위해서는 우선 현재의 고분 상황에 대한 정확한 실측 자료가 있어야 한다.

* 충남대학교 토목공학과 교수

** 공주대학교 지질환경과학과 교수

*** 충남대학교 토목공학과 박사과정

**** 경동기술공사 기술연구소 연구원

또한, 고분군의 보존을 위해 제기되고 있는 여러 문제점들을 보다 과학적으로 해결하기 위해서는 고분군 전체에 대해 동일한 좌표계로 표현한 3차원적 실측자료가 필요하다.

이에, 본 연구에서는 공중 및 지상 사진 측량 방법과 3차원 측위 시스템을 병용하여 고분군에 대한 동일좌표계의 3차원 수치 자료를 획득하고 구축한 3차원 수치 자료로부터 다양한 공간 분석을 실시하였다. 이로써 문화재 및 각종 산업구조물의 효율적인 유지·관리를 위한 수치자료 획득 및 분석기법으로 영상분석기법의 활용가능성을 제시하고자 한다.

2. 정밀 측량

2.1 좌표계 설정 및 기준점 측량

각 고분의 크기, 천장으로부터 표토까지의 두께, 고분간 거리 및 표고차 등의 자료를 산출하기 위해서는 고분군의 외측과 각 고분의 내측을 동일한 좌표계로 표현하여야만 한다. 본 연구에서는 5호분 앞에 임의의 측점을 설치하여 이를 원점(A)으로 3차원 직각좌표계를 설정하였다(그림 2.1) 고분군 외측의 수치지형 자료는 공중 사진 측량 기법을 이용하여 획득하고자 사진상에 50 μ m크기로 촬영될 수 있도록 6점의 측 기준점에 대공표지를 설치하였으며, 고분군 내측과의 좌표계 연결을 위해 각 고분 입구에 2점씩 6점의 연결점을 배치하였다. 그리고 7호분 북측 벽면을 해석하기 위해 벽면에 5점의 기준점을 설치하였다. 각 기준점은 3차원 측위시스템을 이용하여 동일좌표계의 성과로 획득하였다.

2.2 고분 외측 측정

고분군 외측에 대한 수치지형자료의 획득을 위해 원격조종 촬영시스템(Radio Control System)을 이용한 공중사진측량을 실시하였다. PIPER CUB형의 모형 비행기에 연직 사진 촬영용 자이로(Gyro)를 부착한 본 촬영시스템은 렌즈왜곡 검정계수를 도출하고 지표

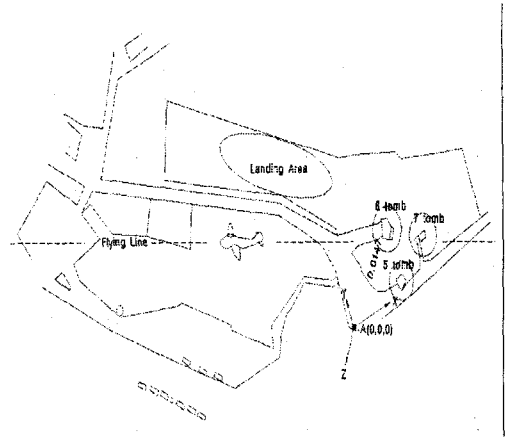


그림 2.1 고분군 위치도 및 좌표계

판(Fiducial Mark Plate)을 고안하여 부착한 Nikon F-801 준 측정용 카메라(Semi-Metric Camera)를 탑재하여 해석적 항공사진측량이 가능하도록 개발한 시스템이다.¹⁾ 이 시스템을 이용하여 f-stop f/11, 셔터 속도 1/500sec, 촬영고도 75m, 중복도 60%의 조건으로 원격조종 촬영하였으며(그림 2.2) 이로부터 촬영된 2매의 입체사진을 해석하여 수치지형 자료를 획득하였다.



(a) Left Photo



(b) Right Photo

그림 2.2 공중 사진 촬영

2.3 고분 내측 측정

각 고분(5, 6, 7호분)의 내측에 대한 측량은 고분 내면의 공간적 위치 변환점들에 대한 좌표산출을 위해 3차원 측위 시스템을 이용하여 수행하였다. 산출한 좌표는 고분 외측의 좌표와 동일한 좌표계상의 좌표로서 공간적

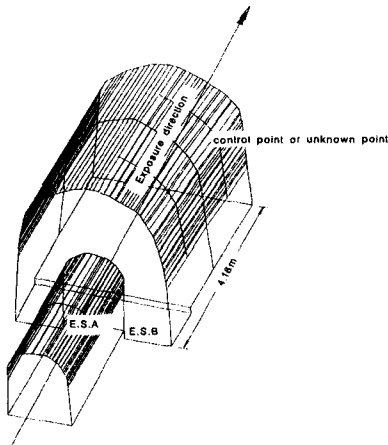


그림 2.3 7호분 북측 벽면 촬영계획도

인 고분 내측 표현을 가능하게 한다. 그리고 7호분 북측 벽면에 대한 정밀 측정을 위해 지상사진측정용 카메라(P-31 metric camera, WILD)를 이용하여 촬영거리 4m, 중복도 60%로 계획하여 촬영하였다(그림 2.3) 이로부터 획득한 입체영상을 해석하여 수치자료를 구축하였으며 그림 2.4는 7호분 북측벽면의 도화성과

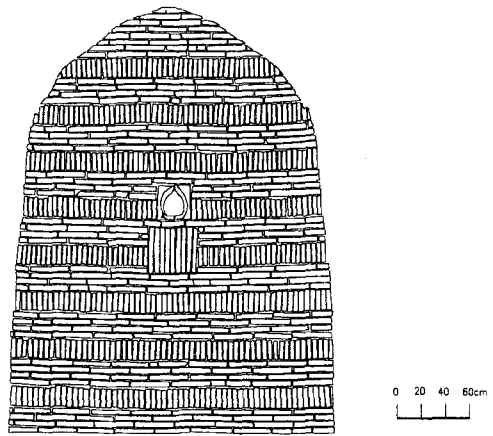


그림 2.4 7호분 북측 벽면 도화성과

3. 공간분석

무령왕릉 군에 대한 영상분석을 통해 구축된 수치자료를 이용하여 기하학적 위치, 단면, 체적, 경사도 그리고 시각적 분석을 수행하였다.

3.1 기하학적 위치 분석

공중사진촬영에 의해 획득한 영상을 해석하여 DEM(Digital Elevation Model)을 추출하고 TIN(Terrain Irregular Network)망을 형성하여 그림 3.1과 같이 0.1m 등고선으로 수치지형을 재현하였다.

고분군 외측 지형과 3개 고분을 중첩하여 연직방향에서 투시한 결과로서 각 현실의 중심과 봉분 중심의 편심거리가 5호분은 4.5m, 6호분은 1.21m, 7호분은 3.8

8m정도로 다소 어긋나 위치함을 알 수 있다(그림 31)

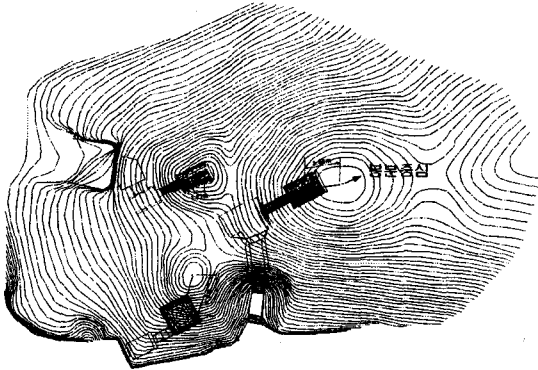


그림 31 고분군 등고선도

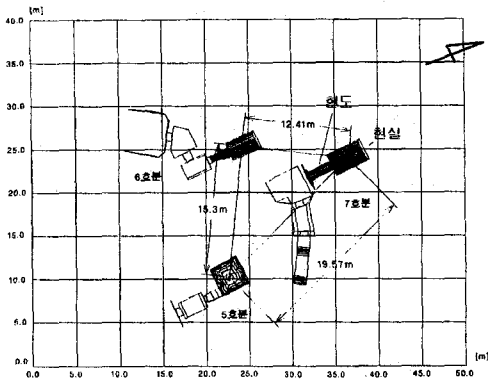


그림 32 고분군 수평면 위치도

이는 고분군 안전성 평가를 위한 다양한 분야에 중요한 자료로 활용되었으며, 현 고분의 변형을 초래하는 중대한 요인으로 작용하는 것으로 분석되었다⁶⁾.

현재(1997.2) 7호분에는 배면현상이 나타나 있으며, 5호분은 역학적 안정성을 완전히 상실하여 인위적인 보조기둥으로 지탱되고 있는 실정이다.

구축된 수치자료를 이용하여 5호, 6호, 7호분에 대한 기하학적 수평위치를 분석하기 위해 그림 32와 같은 현실의 평면적 양상을 재현하였다. 3개 고분의 현실 방향은 모두 북쪽을 향해있으며, 직각삼각형의 형태를 이루고 있다. 고분간 2차원적 수평위치의 경우는

5호분에서 6호분까지의 수평거리는 15.3m, 5호분에서 7호분까지의 수평거리 19.6m이며 6호분에서 7호분까지의 수평거리는 12.4m이었다.

각 고분의 위치가 서로 인접하여 있어 주변지형의 토압과 유수의 유입 및 흐름에 대한 분석을 위해서는 각 고분의 수평적 위치는 물론 수직적 위치도 중요한 요소가 된다. 따라서 구축한 수치자료로 부터 수직위치를 표현한 결과는 그림 33과 같다. 원점 A(0,0,0)를 level 0으로 하여 현실바닥까지의 상대적인 높이를 산출한 결과, 7호분 현실의 평균 높이는 5.3m, 6호분 현실의 평균 높이는 3.3m, 5호분현실의 평균 높이는 1m정도로 5호분이 가장 낮게 위치되어 있었다.

그리고 5호분의 봉분 정점 표고는 8.324m, 6호분의 봉분 정점 표고는 9.607m, 7호분의 봉분 정점 표고는 12.338m이었다. 외부 지형의 지세와 고분 내부의 상대적 수직위치를 비교해 보면 5호분 주위로 유수가 역유입 할 수 있는 가능성이 가장 크게 나타나고 있다. 또한, 6호분과 7호분에는 배수구가 설치되어 있으나, 5호분에는 설치되어있지 않은 점도 5호분의 손괴에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.2 단면분석

지하수 역유입, 토류벽면의 두께, 기하학적 안정해석의 기본자료로 활용하기 위해 각 고분에 대한 단면 분석을 실시하였다. 그림 34는 5호분의 중요 3방향에 대한 단면분석 결과로서, 고분 외측 표도와 내측 고분간의 표층 두께가 최소 약 1m밖에 되지 않는 부분이 존재함을 알 수 있다. 이는 외부 온도변화와 격리되어 항상 일정한 내부 온도를 유지해야 하는 고분 현실의 상황을 변화시켜 이슬과 남조류 등의 미생물 서식을 유발하는 것으로 사료된다. 그림 35와 그림 36은 6호분과 7호분의 현실방향(남북방향)과 현실직각방향(동서방향)에 대한 단면분석 결과이다. 5호분과 7호분은 현실의 중심 위치와 봉분 중심이 다소 편위되어 있음을 알 수 있고, 6호분은 그중 가장 안정적인 양상을 보이며 현실 내부의 훼손 정도도 5호분이나 7호분에 비해 가장 안정한 상태이다.

문화재 보존을 위한 수치자료 구축과 공간분석

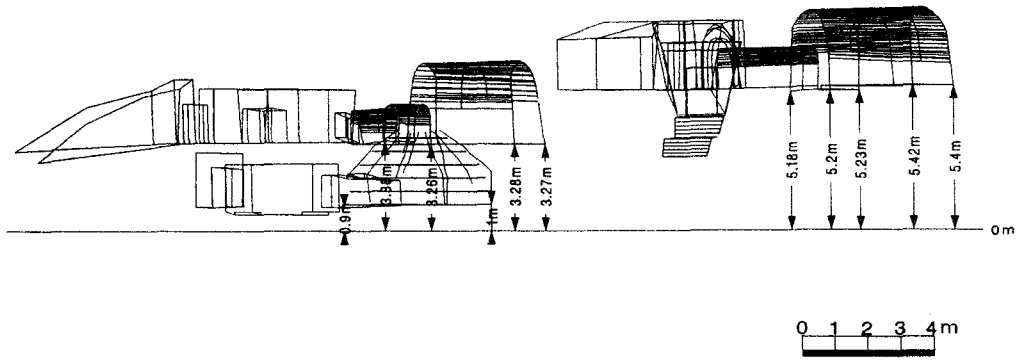
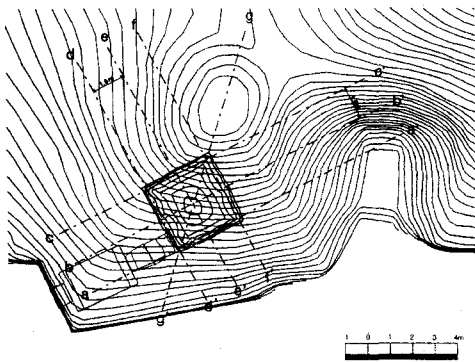
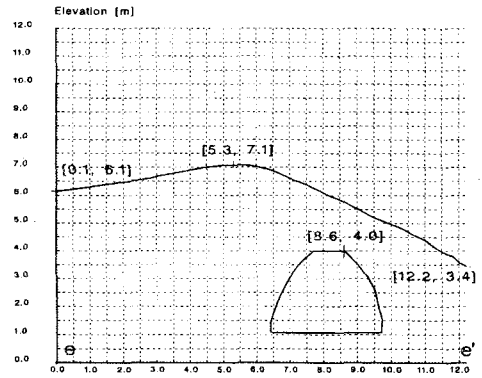


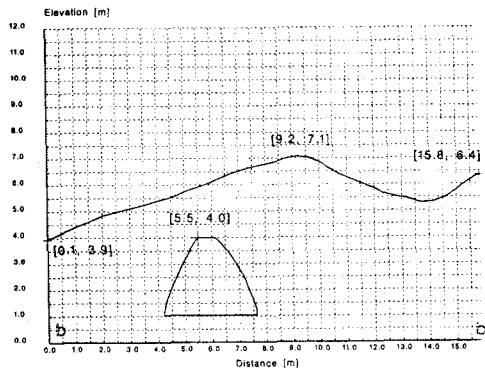
그림 3.3 고분군 수직위치도



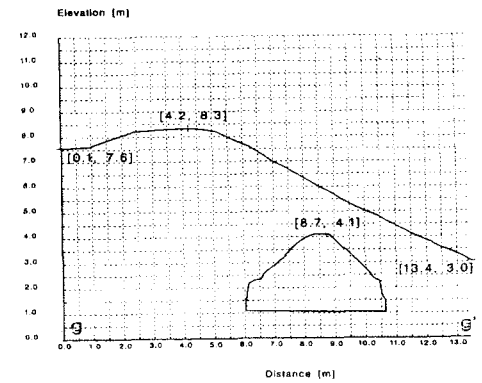
(a) 위치도



(c) ee' 단면도

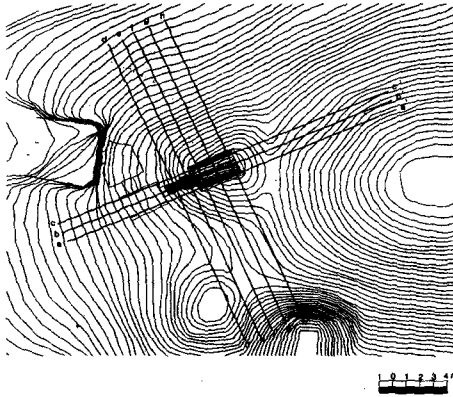


(b) bb' 단면도

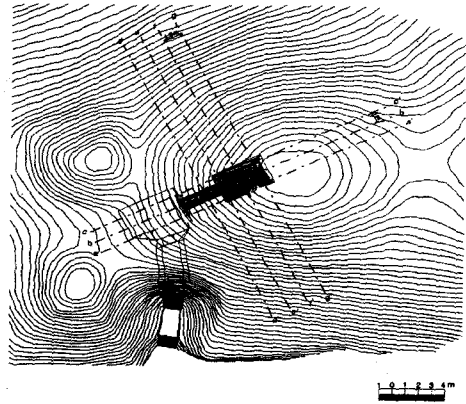


(d) gg' 단면도

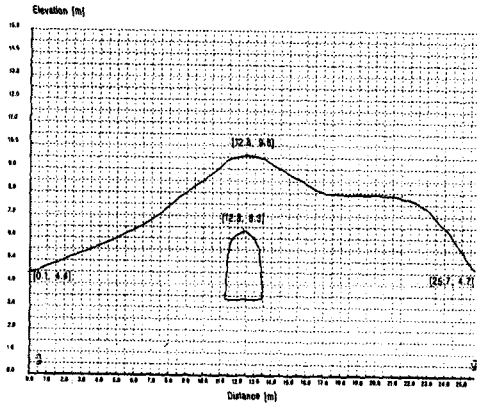
그림 3.4 5호분 위치도 및 단면도



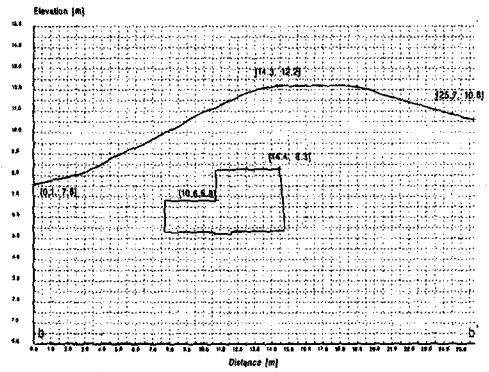
(a) 위치도



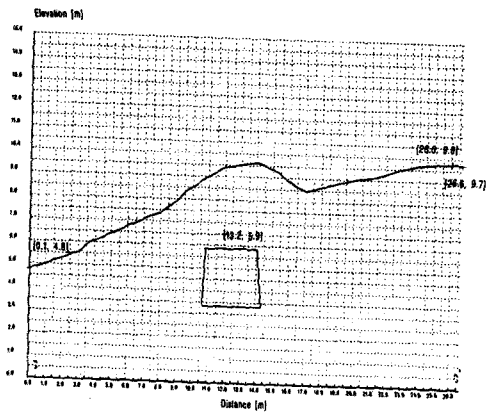
(a) 위치도



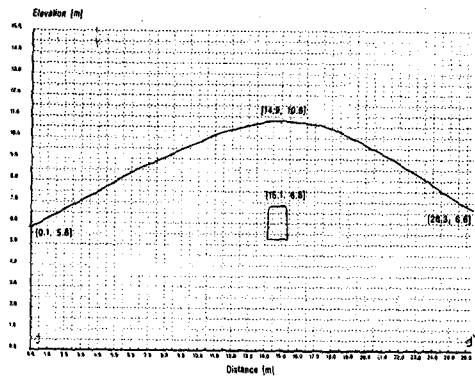
(b) gg' 단면도



(b) gg' 단면도



(c) ee' 단면도



(c) ee' 단면도

그림 3.5 6호분 위치도 및 단면도

그림 3.6 7호분 위치도 및 단면도

3.3 면·체적 분석

고분 현실에 미치는 상부토압의 영향을 조사하기 위한 기초자료의 제공을 위해 각 호분 현실 상부와 현실내 체적 그리고 투영면적을 산출하였다. 현실 상부에 연직으로 재하되는 토량을 계산한 결과 표 3.1과 같다. 현실내 공간크기는 무령왕릉인 7호분이 가장 크고 5호분, 6호분의 순으로 나타났으며, 각 호분 현실 기면의 높이는 고분의 수직위치 분석에서 계산된 원점 A(0,0,0)으로 부터의 상대적인 수치이다.

표 3.1 각 고분의 현실 체적과 투영면적

	현실 내부		현실 상부		현실 기면의 높이 (m)
	체적 (m ³)	투영면적 (m ²)	체적 (m ³)	투영면적 (m ²)	
5호분	19.715	11.741	39.476	11.741	1.00
6호분	19.180	8.042	31.116	8.042	3.27
7호분	24.825	10.470	43.008	10.470	5.40

3.4 경사도 분석

외측 지형에 대한 유수의 흐름과 지세를 판별하기 위해 경사도분석과 유하선 분석을 실시하였다. 그림 3.7은 경사각을 20° 씩 6단계(0° ~90°)로 구분하여 면적별로 도시한 경사도 분석의 결과이다. 그리고 크기와 방향을 갖는 벡터로 표현되는 유하선 분석의 결과는 그림 3.8과 같다. 7호분과 5호분, 6호분 봉분주위 경사는 20° ~40° 정도이나 5호분과 6호분사이 고개의 경사는 0° ~20° 정도의 지세를 보였다. 이러한 지형분석의 결과는 배수구의 미설치이외에 누수, 습기 발생등의 주 요인으로 작용하며, 고분 훼손에 절대적인 영향을 미치는 것으로 나타났다⁶⁾.

3.5 3차원 모델링

많은 양의 정보를 갖는 모델링의 수행을 위해서는 지형공간정보 분석시스템이 필요하다. 모델링의 기법

은 컴퓨터 그래픽 기술을 이용한 시각화를 통해 다분석을 돕는다. 모델링의 기법은 그리드 모델, 등고선도, 렌더링으로 대분할 수 있다. 기존의 그리드모델 또는 등고선도로 3차원 모델링을 표현하였으나, 컴퓨터의 발달로 최근에는 렌더링에 의한 모델링을 수행한다.



그림 3.7 고분군 지형 경사도

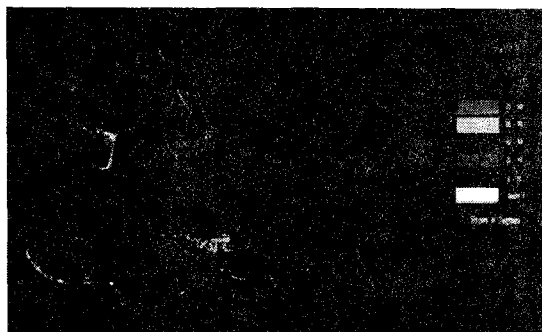


그림 3.8 고분군 지형 유하선도

그림 3.9는 다양한 공간분석과 시각분석을 구현하기 위한 고분군 내·외에 대해 불규칙 삼각망(TIN)을 형성한 결과이다. 그림 3.10은 TIN을 토대로 외부지형을 모델링한 성과이며, 고분군 내부를 모델링한 성과는 그림 3.11과 같다. 그림 3.12는 고분군 외부지형과 내부를 함께 모델링한 성과이다. 이는 실제 지형을 정확하게 재현한 것으로 현 고분군의 추후 변화 양상에 대한 시각적 분석을 가능케 하며 현황 대비분석에 의한 보수와 관리의 측면에서 의사결정의 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

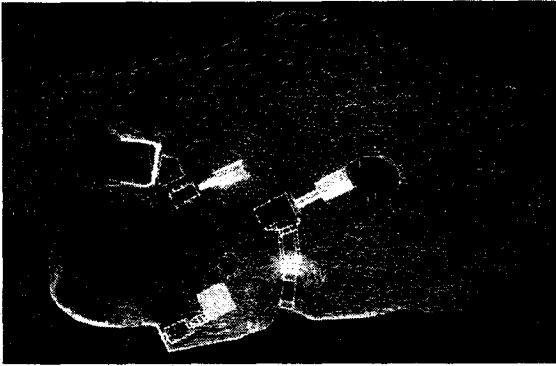


그림 3.9 고분군 내·외측 TIN

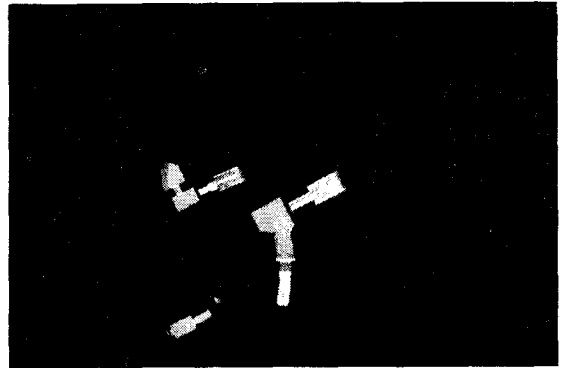


그림 3.12 고분군 내·외측 모델링

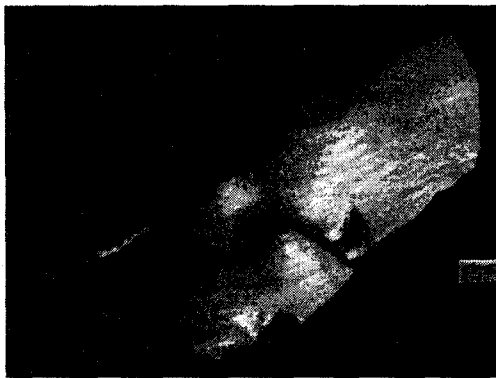


그림 3.10 고분군의 모델링



그림 3.11 각 고분의 모델링

4. 결 론

1. 공중사진측량과 지상사진측량을 이용하여 정확하고 신속하게 고분군 내·외측에 대한 3D 수치자료를 획득할 수 있었다.
2. 고분군 내·외측을 동일 좌표계로 표현함으로써 고분군에 대한 3차원 모니터링이 가능하였으며, 고분내측과 외측 정점간 편위량, 고분간 상대적 위치 및 높이등을 정확히 산출할 수 있었다.
3. 근접사진측량과 3차원 측정시스템을 병용하여 구축한 정밀 수치자료를 토대로 단면해석, 체적계산, 토량산출, 경사도 분석 등의 공간분석을 효율적으로 수행할 수 있었으므로, 문화재의 안전진단이나 보존 대책의 의사결정에 본 기법을 응용할 수 있을 것이다.
4. 문화재의 효율적 관리를 위한 본 연구결과는 송산리 고분군에 대한 보존 대책 입안에 기초자료를 제공할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 강준목, 배연성, "원격조종 공중사진측량에 의한 대축척 지형정보 획득", 한국측지학회지, Vol.13, No.1, 1995.
- 2) 강준목, 윤희천, 배상호, "수치정보에 의한 문화재의 공간분석", 한국측지학회, Vol.14, No.2, 1996
- 3) 윤희천, "GIS에 의한 토지의 효율적 개발에 관한 연

- 구”, 학위논문집, 1996.
- 4) 왕릉탐사를 위한 기초조사② 공주의 역사와 문화“, 공주대학교 박물관 충청남도 공주시, 1995.
- 5) “무령왕릉 발굴 보고서”, 문화공보부 문화재관리국, 1973.
- 6) “송산리 고분군의 현황과 보존대책”, 충청남도 공주시, 1997.
- 7) Kang, Joon-Mook, Oh, Won-Jin, Bae, Yeon-Soung, “Large Scale Geographic Information Acquisition by 35mm Camera”, ISPRS Commission VI, Vol.31, 1996, pp.431-436
- 8) J.P.Erlandson, S.A.Veress, “Monitoring Deformations of Structures”, Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, Vol.41, No.11, 1975, pp.1375~1384