

3차원 영상취득에 의한 매장문화재의 효율적 측정기법

The Efficient Measurement Method of Buried Heritage by 3D Image Acquisition

이계동¹⁾ · 이재기²⁾ · 정성혁³⁾

Lee, Kye Dong · Lee, Jae Kee · Jung, Sung Heuk

Abstract

Recently, industrialization of a country is accelerated and request of society infrastructure is raised so national land development is activity view. Accordingly, the search for a wide-ranging buried heritage do acted in large construction region. Because the buried heritage get buried in land that it is necessary to the precision search and research for a record and a preservation. Until now, Surveying techniques of a historic site have made status map, profile and cross section map through leveling survey, total-station survey and sketch of specialist. So, to solve problems existing relic survey or drawing making method have using digital camera these researches rapidly and economically obtain stereo image of object and present a technique that constructs 3D image model for digital photogrammetry method. Also, these researches construct 3D image model for record and preservation of a historic site through site test and in 3D and graphical express a historic site and support works that produce other maps if we need it, offer base data of GIS (Geographic Information System) to collect and analyze overall, information of a historic site.

Keywords : A buried heritage, Relic survey, Stereo image, Digital terrestrial photogrammetry

초 록

최근 국가의 산업화가 가속되고 사회 간접시설의 요구가 높아지면서 대형 건설 공사를 진행하기 앞서 공사지역 내에 존재하고 있는 매장문화재에 대한 광범위한 조사가 실시되고 있다. 매장문화재는 오랜 시간 땅속에 묻혀 있었기 때문에 그 성격을 밝히고, 기록보존하기 위하여 정밀한 조사와 일정한 연구절차가 필요하다. 지금까지 유적지의 측량방법으로는 수준측량, 토탈스테이션 측량, 전문 작업자가 직접 손으로 스케치하는 과정으로 현황도 및 중횡단도를 제작하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 유적 측량 및 도면제작 방법이 가지고 있던 문제점을 해결하기 위하여 일반 디지털 카메라를 이용하여 경제적이며, 신속하게 대상물의 스테레오 영상을 취득하고, 디지털 지상사진측량기법에 의한 3차원 영상모형을 구축하는 기법을 제시하고, 유적 현장입지를 입체적·사실적으로 표현하는데 연구의 목적이 있다.

핵심어 : 매장문화재, 유적 측량, 스테레오 영상, 디지털 지상사진측량

1. 서 론

최근 국가의 산업화가 가속되고 사회 간접시설의 요구가 높아지면서 국토개발이 활기를 띠고 있으며, 도로의 신설 및 확포장 공사, 공업단지 및 주거지역 조성을 위한

택지개발 등과 같은 대형 건설 공사가 계획 중이거나 추진 중에 있다. 이와 같이 기존의 토지 상태를 변형시키는 과정에서 많은 매장문화재가 드러나고 있으며, 따라서 공사를 진행하기 앞서 공사지역내에 존재하고 있는 매장문화재에 대한 광범위한 조사가 실시되고 있다.

1) 연결저자 · 정회원 · 충북대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:kedo114@gmail.com)

2) 정회원 · 충북대학교 토목공학과 교수(E-mail:leejk@chungbuk.ac.kr)

3) 정회원 · School of Surveying & Spatial Information Systems, Faculty of Engineering, UNSW Visiting Fellow Staff(E-mail: idealharry@gmail.com)

매장문화재는 오랜 시간 땅속에 묻혀 있었기 때문에 그 성격을 밝히고, 기록·보존하기 위하여 정밀한 조사와 일정한 연구절차가 필요하다. 매장문화재의 조사과정은 크게 지표조사, 시굴조사, 발굴조사로 구분되어 실시되고 있으며, 각 단계별로 현장 사진을 촬영하고, 측량을 실시하여 도면을 작성한다.

매장문화재 현장에 관한 실측도면은 미미한 유구 흔적이나 조사지역의 구획, 조사전후 지형과 출토된 유구·유물의 상관관계를 파악하기 위하여 반드시 필요하며, 유적의 입지조건과 분포, 밀집도 등을 분석하기 위한 기초자료로서 활용된다.

지금까지 유적지의 측량방법으로는 평판측량, 수준측량, 토탈스테이션 측량 등으로 실시되어 왔으며, 유적의 지형지물과 출토된 유구·유물의 고저를 측정하고, 유구·유물의 형상 및 위치를 현장 전문 작업자가 직접 손으로 스케치하는 과정으로 현황도 및 중형단도를 제작하고 있다.

최근에는 대상물의 영상을 이용하여 피사체의 정성적·정량적 해석을 하는 디지털 지상사진측량이나 3차원 스캐너를 이용하여 유적지를 3차원으로 모델링하는 방법이 시도되고 있으며, 기존 방법에 비해 정확하고, 사실적인 3차원 영상모형을 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다(권용무, 2002).

따라서, 본 연구에서는 기존의 유적지 측량 및 유적지 도면제작 방법이 가지고 있던 문제점을 해결하기 위하여 디지털 지상사진측량기법 중 측량용카메라가 아닌 일반 디지털 카메라에 의한 2장의 사진만으로 입체영상을 제작하여 경제적이고 신속하게 유적지 현장의 3차원 영상모형을 제작할 수 있는 기법을 제시하고자 한다(정성혁 등, 2003).

또한 현장 실험을 통하여 유적의 기록·보존을 위한 3차원 영상모형을 구축하여 유적 현장입지를 입체적·사실적으로 표현하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 디지털 지상사진측량

사진측량은 사진상에 촬영된 상(像)과 대상물간의 기하학적인 원리를 이용하여 대상물이 지니고 있는 특성을 정량적·정성적으로 측정하는 기법이다(Wolf, P. R., 2000). 디지털 지상사진측량은 접근하기 어려운 지형의 지형도 제작(Halim, R. A., 1982)을 위해 특별히 사용되어 왔을 뿐만 아니라 비지형 측정에 있어서도 항공기 제작, 선박

제작, 고고학, 인류학, 건축, 광산학, 해양학, 의학 등 다양한 분야에서 적용되고 있다(이관우, 1993).

2.1 공선조건

공선조건의 기본적인 변환식은 사진좌표계와 대상물좌표계 사이의 관계로부터 나타낼 수 있다(Hallent, Bertil, 1960).

대상물의 어떤 한 점 $P(X, Y, Z)$ 는 렌즈의 투영중심을 통하여 이에 대응하는 사진상의 한 점 $p(x, y)$ 에 맺는다는 기하학적 관계(Carbonnell, M, 1975)로서 그림 1과 같으며, 이 관계를 수학적으로 표현한 것이 식 (1)의 공선조건식(collinearity condition equations)(Wolf, P. R., 1983)이다.

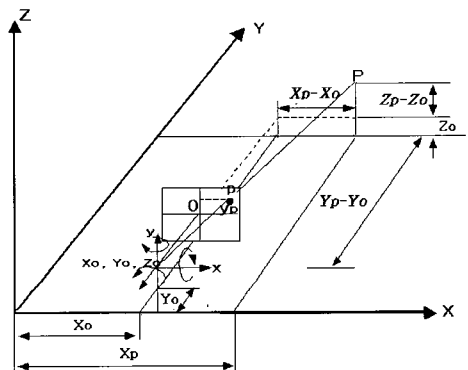


그림 1. 공선조건의 기하학적 관계

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = SM \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

S : 축척인자

M : 회전행렬

X_p, Y_p, Z_p : 공간상의 대상물 좌표

X_0, Y_0, Z_0 : X, Y, Z 좌표계 속에 있는 원점의 좌표이다.

x_p, y_p, z_p : 대상물의 사진좌표

3. 영상매칭 시스템

3.1 카메라 검정

측량용이 아닌 비측량용 카메라의 렌즈는 사진지표가 없

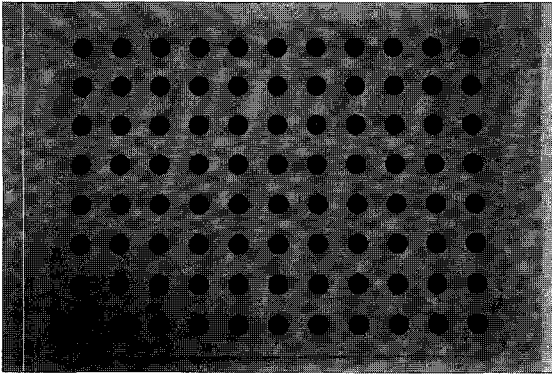


그림 2. 카메라 검정

표 1. 카메라 검정 데이터

Factor	Calibration data	Remark
N_r	70	Camera number
C_k	-67.36	Principle distance
X_h	-0.04	X coordinate of principle point
Y_h	0.09	Y coordinate of principle point
A_1	-1.0270E-005	Fist distortion correction
A_2	1.2700E-009	Secondary distortion correction
R_o	20.00	The radius having RD of zero

고, 초점거리를 조절(Griggs, G. E., 1968)할 수 있으며 상대적으로 큰 왜곡을 갖는 특성(Brown, D. C., 1971)을 가지고 있다. 그러므로 렌즈 검정을 통하여 규칙적인 오차에 대한 최대한의 보정을 해야 한다(Schmitt, G., Hirschberg, U., Grün, A., and Streilein, A., 1995).

카메라 검정에 사용된 보드는 그림 2와 같으며, 카메라 검정 요소는 표 1과 같다.

3.2 3차원 영상모델 구축

3차원 영상은 사진에 찍힌 대상물 표면에 관한 공간정보를 조합한 디지털 사진을 통하여 얻어진다. 입체 영상을 얻기 위해서는 좌우 사진에서의 두점이 공선조건의 원리에 의해 한점으로 수렴되어 입체영상을 얻는 방법(임인섭, 1997)으로 기본 원리는 그림 3과 같다.

동일 영상의 특징점을 통하여 1차적인 두 영상의 매칭을 실시하여 통합한 영상에 대해 불필요한 영상을 삭제하여 프로세싱 상태에서의 오류를 최소화한다. 다음으로 보다 더 정밀하게 특출점을 추출하여 정밀 조정을 실시한 후 스케일을 결정하여 준다.

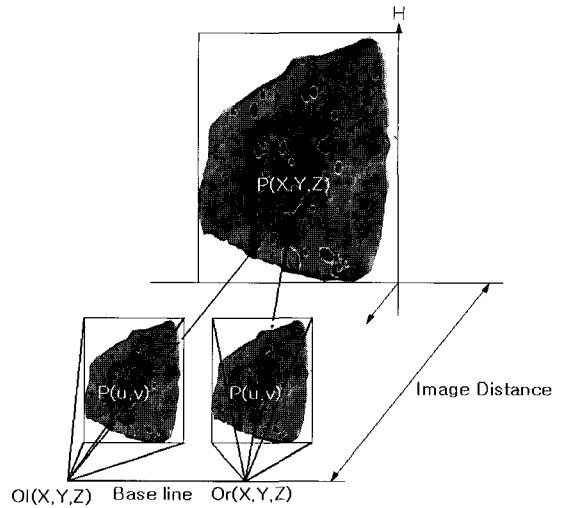


그림 3. 3차원 입체영상 취득 원리

4. 실험 및 결과분석

4.1 대상지역 선정

본 연구에서의 실험 대상지로는 현재 아산배방 택지 개발 사업 및 장항선 고속철도 공사를 위해 지표조사를 하여 유적 발굴 중에 있는 천안·아산역 일대의 충남 아산시 배방면 장재리 문화유적 발굴조사 1구역을 선정하였다.

이 발굴조사 구역에서는 신석기시대부터 조선시대에 이르기까지 많은 주거지, 석곽묘, 건물지, 수혈유구, 토광묘 등의 유적이 발굴되었다. 여러 유적 중 신석기 시대의 대표적인 주거지 형태와 통일신라시대의 석곽묘를 각각 하나씩 대상으로 선정하여 실험을 하였다.

기존의 지상사진측량은 촬영전 타겟 설치 및 지상기준점 측량을 하여 표정점을 취득하였으나 본 연구에서는 문화 유적의 3차원 정밀 수치모형을 생성하기 위해 디지털 지상사진측량방법 중 타겟을 설치하지 않고 2장의 사진만으로 영상매칭하여 특정점을 추출하는 방식으로 3차원 모형을 제작하였다.

그림 4는 본 연구의 대상지로 발굴조사를 위해 표토를 제거하고 발굴된 유적지들의 전경을 보여주고 있으며, 그림 5는 연구의 대상으로 선정된 신석기 시대의 주거지와 통일신라시대의 무덤형태인 외곽을 돌로 쌓아 만든 석곽묘를 나타낸다.

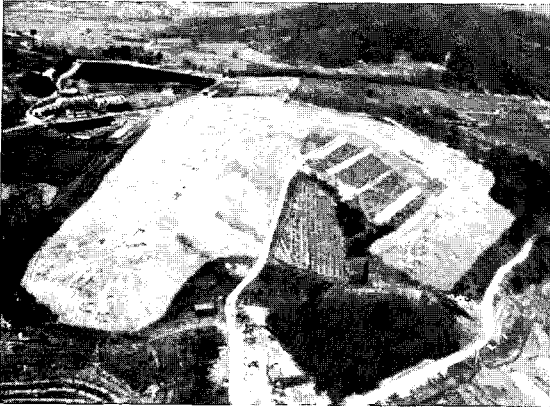


그림 4. 실험 대상지

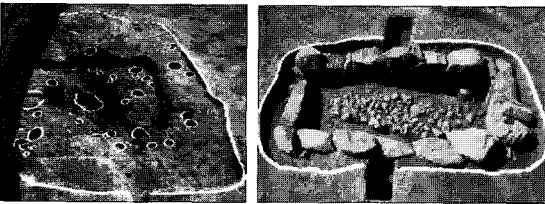


그림 5. 신석기시대의 주거지(좌)와 통일신라시대의 석곽묘(우)

4.2 사진촬영

본 연구에서는 먼저 신석기시대 주거지를 촬영하기 위해 대상물의 전체가 사진 상에 보이고, 프로세싱 후 오차에 영향을 미치는 사각을 최대한 줄이기 위해 대상물 앞에 그림 6과 같이 10m 높이의 사다리를 설치하고 그 위에 올라가 입체쌍을 위한 좌우 사진 한 장씩을 촬영하였다. 다음으로 통일신라시대의 석곽묘를 주거지와 마찬가지로 사다리를 이용하여 위에서 촬영하고 네 방향에서 각각 촬영하였다. 이때, 대상물의 전체 형태가 카메라 앵글에 딱 차게 보이도록 촬영을 실시하여 프로세싱을 할 때 오류가

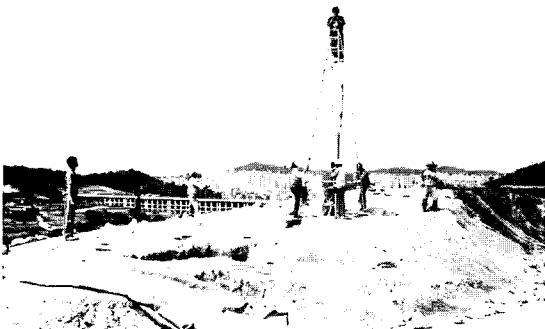


그림 6. 사진촬영

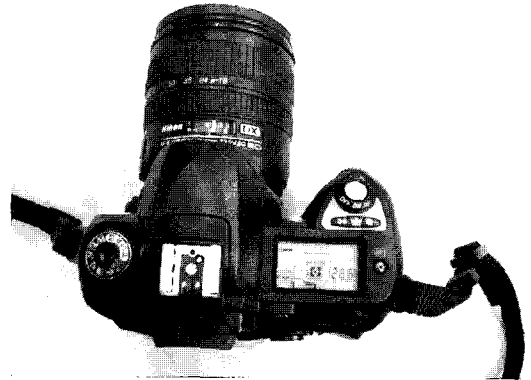


그림 7. Nikon D70s 디지털 카메라

표 2. 카메라의 주요 특징

Classification	Features
Principle distance	-50.15
Lens aperture	f 1 ~ f 32
Shutter speed	30 ~ 1/8000
Lens resolution	30 μ m
CCD size	1:1.5

발생하지 않도록 하였다. 그림 7은 촬영에 사용한 Nikon D70s 카메라이며, 주요 특징은 표 2와 같다.

4.3 영상처리

4.3.1 주거지

촬영한 좌·우 사진이 뒤바뀌지 않도록 주의하여 프로그램 상에서 불러들여 확인한 후 카메라 검정 데이터를 불러들인다.

불러들인 2장의 영상은 영상매칭에 의해 특출점을 추출하여 영상처리를 실시한다.

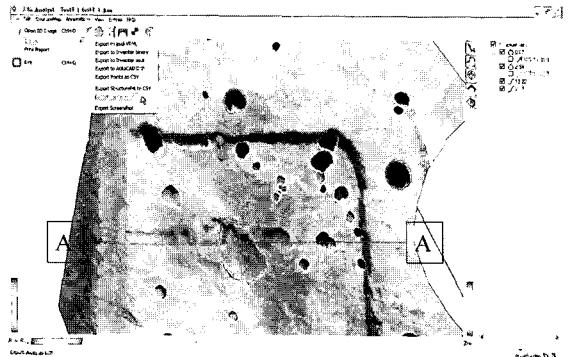


그림 8. 영상매칭 처리

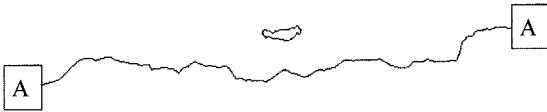


그림 9. A-A 지점의 단면도

그림 8은 신석기 시대의 주거지의 사진을 영상 매칭에 의해 처리한 후 입체 모델을 취득한 것이며, 그림 9는 취득된 모델을 이용하여 A-A단면에서의 단면도를 보여주고 있다.

4.3.2 석곽묘

그림 10은 석곽묘의 좌·우 사진으로 주거지의 촬영과 같은 방법으로 촬영하여 영상처리 후 그림 11과 같이 불규칙삼각망(TIN ; Triangulated Irregular Network)으로 파일 변환하여 3차원 수치표고모형을 위한 CAD상에서 호환이 가능하도록 하였다.

또한, 석곽묘의 네면을 직접 사진 상에서 돌의 모양을

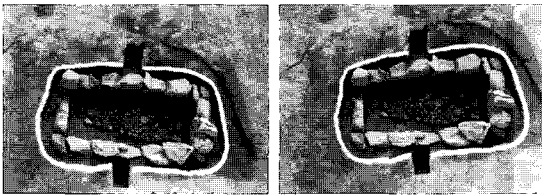


그림 10. 석곽묘의 좌우 사진



그림 11. 석곽묘의 불규칙 삼각망(TIN)

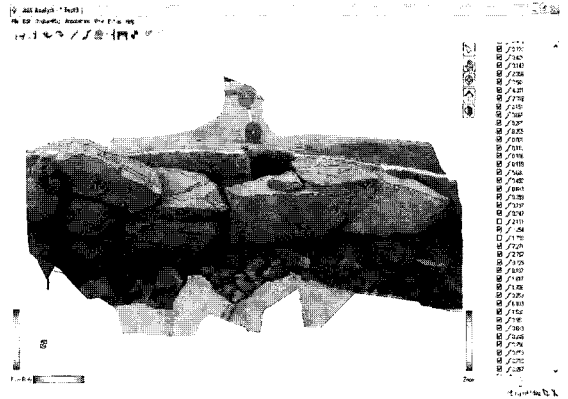


그림 12. 사진 상에서의 석곽묘 도화

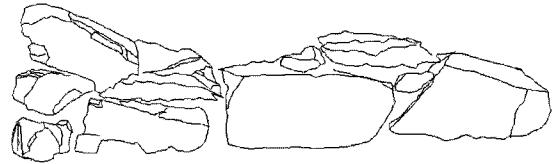


그림 13. 석곽묘 도화 후

보면서 도화를 실시함으로써, 실제적인 돌의 입체적인 모습을 도화 하였으며, CAD파일로 변환하여 각각의 면들을 정합하여 입체적으로 볼 수 있도록 하였다.

그림 12는 사진 상에서의 석곽묘의 도화를 보여주며, 그림 13은 도화를 마친 후 CAD상에서 불러들인 석곽묘의 한쪽 면을 보여준다.

4.4 결과 분석

현재 매장문화재 조사는 발굴이 끝난 이후 미술전공 작업자나 발굴 전문화가가 손으로 스케치하고 다음으로 그 그림을 트레이싱페이퍼를 이용하거나 스캐너를 이용하여 스캐닝을 한다. 이렇게 스캐닝 작업을 한 레스터 데이터를 다시 디지털화 시켜 캐드나 기타 응용프로그램들을 이용하여 매장문화재 전체 모양을 표시하거나 종·횡 단면도를 그려서 완성을 하는 과정을 거치고 있다. 또한, 그림을 그릴 때에도 정확한 위치를 나타내기 위해 실을 이용하여 작업현장에 격자모양이 되도록 일정한 간격으로 방안선을 띄우고 그 방안선을 이용하여 위치를 파악하여 그림을 그리는 방법을 사용하고 있다.

이런 일련의 과정을 통하여 주거지나 유구를 스케치 하

표 3. 작업시간

내용	시간
준비작업	5분
사진촬영	5분
3D 모델링	평면도 1개 : 10분 정면·측면도 4개 : 40분
도면작성	평면도 1개 : 3시간 정면·측면도 4개 : 4시간
도면수정	30분
총소요시간	8시간 30분

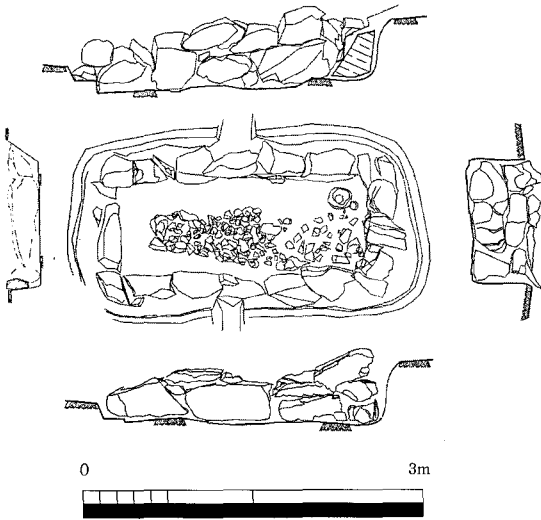


그림 14. 석락묘의 실측 단면도

는 시간은 1일에 약 1개의 매장문화재의 스케치를 완성하며, 그 규모에 따라서 시케치하는 시간이 짧게는 일주일에서 길게는 2개월이 넘게 걸리는 경우가 많이 있다. 그러나 본 연구를 통하여 실험한 결과 1개의 매장문화재에 대해 3D 모델링 및 단면도 작업을 완성하는 데는 표 3과 같이 8시간 30분의 시간이 소요 되었다. 그러므로 장재리 유적현장의 경우 총 41기의 유구가 발굴 되었으므로 기존의 방법대로 한다면 스케치하는 데만 41일이 걸리지만, 본 연구에서 제시한 기법을 사용한다면 모든 작업을 완성하는데 348시간 30분 즉, 약 15일 정도의 시간이 소요됨을 알 수 있다. 그림 14는 본 연구에서 제시한 기법을 이용하여 카드 상에서 완성한 실측도면의 평면도와 정면·측면도를 합성한 모습을 보여주고 있다.

또한, 발굴 작업이 6개월이 넘는 장기간의 작업이어서 장기간 꾸준히 참여할 수 있는 인력을 구하기가 쉽지 않

표 4. 연도별 인건비 기준단가 (단위 : 원)

구분 \ 연도	2005년도 단가	2006년도 단가	2007년도 기준단가 (1일당)
조사 단장	187,163	192,216	196,444
책임조사원	127,852	131,304	134,192
조사원	104,594	107,418	109,781
조사보조원	76,249	78,307	80,029
보조원	61,787	63,455	64,851

은 실정이다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법을 사용함으로써 장기간에 완성할 수 있었던 작업을 인력의 속도도에 관련 없이 단시간에 완성해 낼 수 있었다.

또한, 표 4에서 보는 바와 같이 연도별 인건비의 기준단가는 계속 증가하고 있지만 디지털카메라의 경우는 첨단센서의 개발과 수요의 증가로 인해 그 가격은 점점 낮아지고 성능은 더 좋아지고 있는 실정이어서 본 연구에서 제시한 디지털 지상사진측량 방식을 이용하면 초기 프로그램 가격이 들지만 저렴한 가격에 구입할 수 있는 일반 디지털카메라를 이용하여 측량을 하기 때문에 장기간의 발굴 작업에서는 오히려 기존의 아날로그식 방식보다 저렴하게 작업을 수행할 수 있다.

5. 결 론

매장문화재의 정밀 측정에 있어서 영상 매칭에 의한 디지털 지상사진측량방법을 이용한 3차원 수치모형을 생성하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 디지털 지상사진측량 방법에 의해 매장문화재의 3차원 정밀 모형을 구축할 수 있었으므로 본 연구 기법의 타당성을 제시하였다.

2. 본 연구에서의 유적 현장을 기존의 방법으로 작업을 한다면 스케치하는 데만 41일 이상이 걸리지만, 본 연구에서 제시한 기법을 사용한다면 도면 완성까지 약 15일 정도가 소요 되므로 상당한 시간을 단축할 수 있어 본 연구가 효과적임을 알 수 있었다.

3. 화가에 의해 스케치된 도면을 이용하여 다시 수치화했던 작업공정을 본 연구의 영상매칭에 의한 디지털 지상사진측량기법으로 한번에 3차원 수치모형을 얻음으로써 인력 대체에 의한 인건비를 대폭 줄일 수 있음을 알 수 있다.

이상과 같이 매장문화재의 정밀측정에 있어 영상 매칭에 의한 무타겟 디지털 지상사진측량 방법을 사용함으로써 매장문화재의 발굴에 경제적이고 효과적으로 활용할

수 있으며, 유적 현장입지를 입체적·사실적으로 표현하고, 유적의 종합적 정보를 수집·분석할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

권용무 (2002), 디지털 문화재 기술, KIST.
이관우 (1993), 사진측량에 의한 역사적 건조물의 정밀도화와 해석, 석사학위논문, 충북대학교, pp. 9-11.
임인섭 (1997), 다중영상접합 기법에 의한 인체의 수치 모형 생성, 석사학위논문, 충북대학교, pp. 20-23.
정성혁, 황창섭, 이재기 (2001), 수치사진측량기법에 의한 Fender의 3차원 수치모형 생성, 한국측량학회지, 제 19권, 제 2호, pp. 147-154.
Brown, D. C. (1971), *Close-Range Camera Calibration*, Photo-

grammetry Engineering, pp. 855-866.
Carbournell, M. (1975), *Technical Progress in Architectural Photogrammetry*, P.E.&R.S., Vol. 41, No. 12, pp. 1513-1517.
Griggs, G. E. (1968), *Camera Calibration on Analytical Method*, University of Washington, Ph. D. Dissertation, pp. 6-36.
Halim, R. A. (1982), *The Finite Element Applications in Photogrammetry*, University of Washington, Ph. D. Dissertation, pp. 26-28.
Hallent, Bertil (1960), *Photogrammetry*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, pp. 15-19.
Schmitt, G., Hirschberg, U., Grün, A. and Streilein, A. (1995), *Digital Photogrammetry and Architectural Design*, pp. 1-4.
Wolf, P. R. (1983), *Elements of Photogrammetry, 2nd ed*, McGraw-Hill Inc. Tokyo, pp. 587-592.
Wolf, P. R., *Elements of Photogrammetry, 3rd ed*, McGraw-Hill Inc., Book Company, pp. 430-449.

(접수일 2007. 2. 26, 심사일 2007. 4. 9, 심사완료일 2007. 4. 9)