

# 문화재 보존을 위한 정밀 3차원 모니터링

## The Precision 3D Monitoring to Preserve the Cultural Properties

임 영 빈 \*            이 국 무 \*\*            배 상 호 \*\*\*  
 Nym Young Bin    Lee Kook-Moo        Bae Sang Ho

### 要 旨

문화재의 정밀 수치자료와 분석체계의 구축은 대상물의 보존과 복원을 위한 기초자료로서 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 본 연구는 보다 효율적으로 문화재를 관리하기 위한 수치자료의 획득과 분석시스템의 구축에 관한 것이다. 분청사기 매병에 대해 소프트카피 사진측량기법을 적용하여 정밀 3차원 수치자료를 구축하고 이를 기반으로 다양한 공간분석과 모니터링을 수행함으로써 문화재 보존을 위한 효율적인 방법을 제시하였다.

### ABSTRACT

The construction of precise digital data and analysis system is very important to fundamental data to preserve and repair cultural properties. This study is about to acquire of digital data and to construct of analysis system for efficient maintenance of cultural properties. On the chinaware with white slip and greyish-green glaze acquiring 3D digital data and carrying the spatial analysis and monitoring were done through the softcopy photogrammetry method. So, we intend to offer the efficient method to preserve cultural properties.

### 1. 서 론

문화재는 그 나라의 역사를 표현하는 요소로서 이를 보존하고 복원하는 것은 전통의 유지·발전 측면에서 매우 중요한 의미를 내포하고 있다. 또한, 문화재는 역사적 산물로서 중요한 의미를 내포하고 있으며 시간이 흐를수록 보존 그 자체가 큰 문제로 대두되고 있다. 이에 각 나라마다 고유한 전통문화의 토대 위에서 성장하고 발전한 문화재의 보존·복원 및 유지관리를 위한 정밀측정에 많은 관심이 증대되고 있으며, 우리 나라에서도 이에 대한 대책마련에 관심이 증대

되고 있다.

문화재 분석과 관리를 위한 기존의 자료는 엄격한 양식을 갖춘 문서나 2차원 도면으로 기록·보존되어져 왔다. 그러나 이와 같은 자료들은 대상물에 대해 다양한 분석이 어려우며 자료의 갱신이나 보존에 있어 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 컴퓨터의 H/W 발전을 근간으로 하는 수치영상분석기법이 개발되고 있다. 필름영상의 획득과 처리과정의 단순화 및 자동화를 이룩할 수 있다는 큰 이점으로 인해 수치근접 사진측량기법에 의한 문화재의 정밀 3차원 수치자료 구축의 자동화 실현에 관한 많은 연구가 진행

\* 대전산업대학교 토목공학과 교수

\*\* 대전산업대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\* 충남대학교 토목공학과 박사수료

되고 있다.

문화재의 보존·복원을 위한 정밀 3차원 수치자료는 수정·보완 및 영구보존이 가능하여 그 활용이 증대되고 있으며, 관련조사 및 연구에 가장 우선적으로 요구되는 기본 자료이다. 이러한 수치자료의 활용은 자료의 왜곡이나 축척변경의 어려움이 없어 공간적·시각적 분석의 활용에 매우 유용하다.

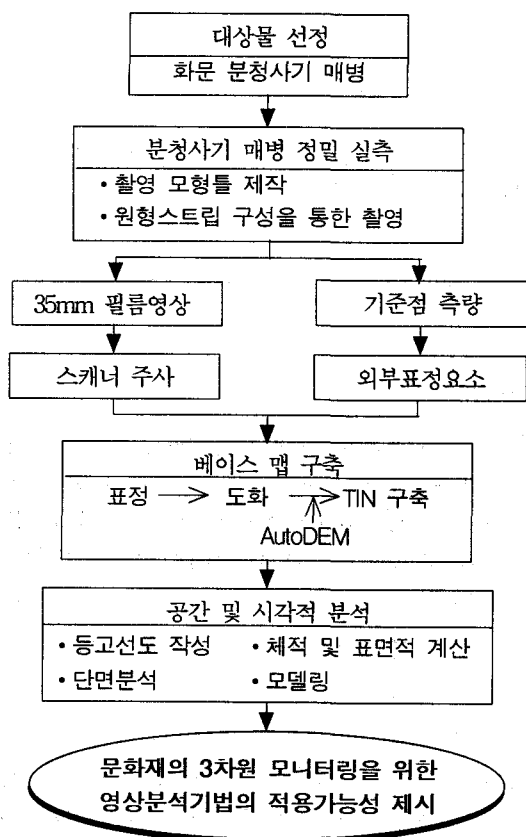


그림 1.1 연구 흐름도

이에 본 연구에서는 문화재의 보존·복원을 위한 보다 효율적인 기법을 제시하고자, 소프트카피 사진측량(Softcopy Photogrammetry) 기법에 의해 대상물에 대한 3차원 수치자료를 구축하고 구축한 수치자료를 이용하여 공간적 형상재현과 단면분석, 면·체적 계산, 중심 편위분석 및 등고선 작성 등의 다양한 공간분석을 수행하였다. 또한, 유사한 크기의 대상물에 대한 3차원 수치자료 획득시에 많은 시간을 요하는 기준점

의 측량과정을 배제하고자 모형틀을 제작하고 이를 활용토록 하였다. 이로써, 소프트카피 방법에 의한 문화재 보존의 효율성 제시와 더불어 DCRP(Digital Close Range Photogrammetry)를 이용한 VM(Vision Metrology)의 잠재능력을 인식케 한다. 그림 1.1은 수치영상을 획득하고 분석하여 소프트카피 사진측량의 활용가능성 제시를 위한 연구 흐름도를 나타낸 것이다.

## 2. 영상획득

본 연구에서는 소프트카피 사진측량을 이용하여 문화재의 정밀 3차원 수치자료를 획득하고 기하학적 위치분석의 수행 가능성을 평가하고자, 조선시대 화문(花紋) 분청사기 매병(梅瓶)을 대상으로 선정하여 이에 대한 고해상도의 스캔영상 획득을 계획하였다.

그림 2.1과 같이 구(球)와 유사한 대상물은 촬영 심도가 비교적 크므로, 영상분석의 원활한 수행과 더불어 정밀 3차원 위치해석을 위해서는 영상획득 조건이 매우 중요하다. 이에 그림 2.2와 같은 모형틀을 제작하고 전면 해석용 기준점으로 구형표지(ball target)를 부착하였으며 촬영거리와 심도, 피복면적, 축척 등의 정확한 수치를 토대로 촬영점을 선정하여 대상물 전면(全面)에 대한 영상획득을 계획하였다. 일면에 대한 영상해석의 경우는 대부분 십자나 원형의 종이 타겟을 사용하여 대상물의 표면에 부착하여

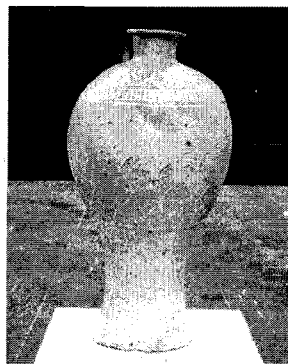


그림 2.1 대상물 전경

표 2.1 기준점 성과(사진좌표계)

No.	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	No.	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	1786.065	2831.573	-818.069	9	1728.195	2947.869	-932.819
2	1851.760	2818.300	-943.954	10	1712.810	2913.094	-835.890
3	1872.293	2873.706	-840.770	11	1735.058	2888.408	-927.966
4	1892.243	2926.089	-827.298	12	1732.656	2837.178	-806.545
5	1874.981	2958.776	-919.063	13	1807.732	2817.305	-723.734
6	1870.550	3004.870	-826.185	14	1875.509	2905.679	-718.837
7	1824.667	3021.978	-796.195	15	1808.387	2988.440	-729.372
8	1736.774	2991.054	-809.530	16	1704.497	2908.578	-729.599

사용하였다.

그러나 문화재는 그 고유의 형상이나 특성이 그 자체로서 보존되어야 하므로 대상물과 비접촉에 의한 해석이 가능하여야 한다. 사진측량은 비접촉 해석기법으로의 잇점을 가지고 있으며 이러한 측면에서 대상물과 격리된 기준점 배치를 필요로 한다.

발라 그 효과를 증대시켰다.

또한, 그림 2.1과 유사한 크기의 여러 문화재에 대한 영상해석의 경우에 요구되는 기준점 측량 과정을 배제하고 대상물과의 접촉에 따른 기준점 성과의 신뢰도 저하를 방지하기 위해 대상물은 기준점과 다른 테이블에 놓이도록 제작하여 사용하였다.

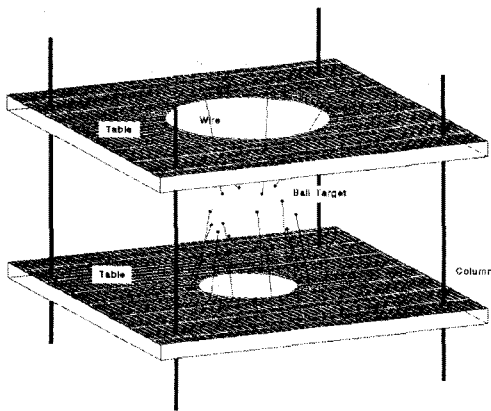


그림 2.2 모형틀

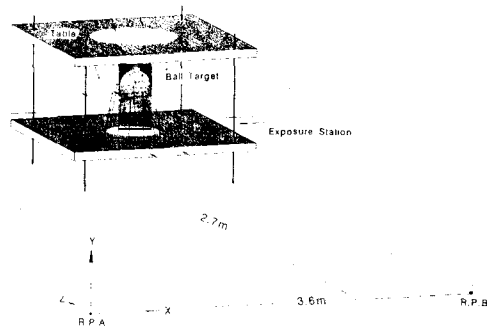


그림 2.3 촬영 계획도

이에, 그림 2.2와 같은 모형틀을 제작하고 어느 방향에서 시준하여도 일정한 크기의 원형형상을 유지하고 그 중심의 위치가 변하지 않는  $\phi 2\text{mm}$  크기의 구형표지를 모형틀 전면에 부착하였다. 모형틀의 상·하부에 배치한 테이블에 총 16개의 기준점을 배치하였으며, 가늘고 탄성이 강한  $\phi 1\text{mm}$  강선 끝에 부착하여 사용하였다. 그리고 불 타겟의 형상이 영상에서 뚜렷하게 인식되도록 검정색의 감광유제(感光乳劑)를

이로서, 구조물의 기하학적 특성 파악을 위한 수치자료의 구축을 위해 동일좌표체계의 3차원 기준점 성과를 획득할 수 있었다. 그림 2.3과 같이 대상물의 일면으로부터 2.7m 앞쪽에 기선장(baseline length) 3.6m의 두 기선점(reference points)을 설정하고 기선방향을 X축, 촬영방향을 Z축, 그리고 그에 직각방향을 Y축으로 한 3차원 좌표를 획득하였다(표2.1). 그리고 측면에서만 뿐만 아니라 상부에서의 영상획득이 가능하도록 상부틀을 개방형으로 제작하였다. 모형틀은 90cm(h)×

90cm(b)×90cm(d)의 크기이며 기등을 조절하여 대상물의 크기에 적절한 높이로 조절 가능하다. 짧은 촬영 거리에 의해 심도(depth of field)가 작으므로 이러한 영향에 따른 해석시의 어려움을 줄이기 위해 노출(f-stop)은 11, 촬영속도는 2초로 계획하였으며, 이 때 심도의 깊이는 매병의 중심으로부터 ±15cm 정도이었다.

표 2.2 영상획득조건

Camera	F-stop	Shutter speed (sec)	Ex. Dis. (cm)	Overlap (%)	Focal length (mm)
Nikon F-801	11	2	40	65	35

대상물에 대한 3차원 형상 재현을 위해, 전면, 후면, 좌·우 측면 4방향과 상 방향에서 총 5모델의 수치영상 획득을 계획하였다. 촬영거리 0.4m에서 대상물의 심도차를 고려한 중복도 65%로 촬영을 계획하여 Nikon F-801 35mm 카메라를 위치시켜 각 방향에서의 입체영상을 획득하였다.

또한, 정밀도화에 의한 수치자료의 획득과 기본도 구축과정에서 발생될 수 있는 입체시의 불일치를 소거하기 위해 촬영점의 선점과 카메라의 자세에 보다 세심한 주의를 기울여 정확한 직각수평촬영을 실시하였으며, 유체가 발라져 있는 매병의 표면 반사 효과를 고려하여 영상을 획득하였다. 그리고, 필름스캐너(photoscan1, Zeiss-Intergraph)를 이용하여 획득한 35mm 필름영상 5모델을 7.5µm 크기의 화소 해상도로 주사하여 그림 24와 같은 4764화소×3193화소의 TIF 영상을 획득하였다.

### 3. 수치자료 구축

고해상도 CCD 소자의 개발과 광학 센서의 발달로 인해 수치사진측량의 영상분석기법(vision metrology)은 급속도로 발전하여 오고 있다. 그리고, 수치사진측량은 처리과정의 자동화에 따른 실시간 측정의 이점을 가지고 있어 영상의 해석정확도 향상과 그응용에

대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 아날로그



그림 24. 스캔 영상

형태의 필름영상에 준하는 해석 분해능을 얻기 위해서는 고 해상도 영상 획득을 위한 H/W의 개발이 시급하다. 소프트카피 사진측량기법은 수치영상의 저해상도를 보완할 수 있으며 준자동화의 개념으로 영상을 처리할 수 있는 방법이다.

분청사기 매병과 같은 소규모의 대상물을 요구정확도 이내로 해석하기 위해서는 고해상도의 영상이 획득되어야 부드러운 곡선의 형태를 따른 대상물의 3차원 형상재현이 가능할 것이므로, 본 연구에서는 소프트카피 방법을 적용하기 위한 수치영상 자료를 획득하였다. 해석에 적합한 수치영상으로의 변환을 위한 전처리과정을 수행한 후 이미지스테이션(Image Station, Intergraph社)을 이용하여 입체모델을 생성하였다. ISDO (Image Station Digital Orientation) S/W를 이용한 입체모델 생성과 자동 DEM 추출기법에 의한 대상물의 3차원 수치자료를 구축하였다. 이는 하나의

프로젝트 내에서 일괄적으로 처리되어진다. 그리고 입체 관측 장비(stereo viewing kit)를 이용하여 세부문양에 대한 세부 도화작업을 실시하므로써, 대상물의 3차원 공간분석 및 형상재현을 위한 기초자료를 구축하였다.

### 3.1 기준점좌표에 대한 해석좌표의 변환

이미지스테이션을 이용한 매병 전면(全面)에 대한 3차원 수치자료의 구축시, 각 해석면에서 얻어지는 입체영상의 좌표성과는 표 3.2와 같이 기준점 좌표계와는 다른 좌표체계를 형성한다.

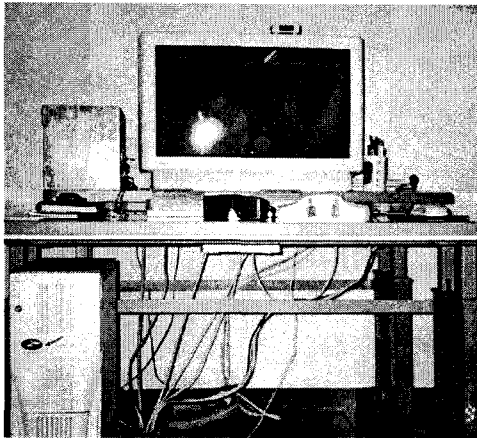


그림 3.1 이미지스테이션

대상물의 3차원 공간분석과 형상재현을 위해서는 각기 다른 해석좌표계의 통일을 기하여야 하므로, 이를 위해 MSPM Bursa-Wolf 3차원 좌표변환 프로그램을 사용하였다. 모델당 4점 이상의 기준점을 변환점으로 사용하여 동일좌표체계의 기준점 성과로 변환하였다. 동일좌표체계는 그림 2.3에서와 같은 좌표체계이다.

그리고, 표 3.1은 번들조정의 비선형 해법을 이용하여 전방교회법과 후방교회법의 반복수행을 거쳐 해석한 촬영점의 위치를 나타낸 것이다.

### 3.2 TIN 구축

표 3.1 외부표정요소

해석면 \ 매개변수		$\omega(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	$\kappa(^{\circ})$	$X_L$ (mm)	$Y_L$ (mm)	$Z_L$ (mm)
		전 면	좌영상	1.9	3.1	1.9	1601.2
	우영상	1.2	2.2	2.4	199.1	2310.3	-829.3
우측면	좌영상	91.4	89.8	270.4	2688.9	2499.3	-860.8
	우영상	92.5	91.1	268.2	2697.4	2845.2	-865.9
배 면	좌영상	-1.1	182	1.0	159.7	3972.3	-871.1
	우영상	1.9	179.1	2.1	1932.2	3111.8	-885.1
좌측면	좌영상	92.0	272.6	91.2	889.2	2499.6	-852.1
	우영상	90.6	278.3	89.1	911.8	2834.5	-847.2
윗 면	좌영상	271.2	-3.2	1.3	1601.8	2787.2	-174.8
	우영상	268.2	2.1	2.1	1898.4	2718.9	-181.5

표 3.2 기준점좌표에 대한 해석좌표의 변환

해석좌표 \ 기준점좌표	x	y	z
	전 면	x	z
우측면	y	z	-x
배 면	x	-z	-y
좌측면	y	-z	x
윗면	x	y	-z

필름영상의 스캐너 주사를 통해 획득한 수치영상 자료를 이용하여 자동 DEM 추출과 세부 도화성과를 획득하였다. 그리고 이를 이용하여 그림 3.2와 같은 불규칙 삼각망TIN(Triangulated Irregular Network)을 생성하였다. TIN은 보다 적은 데이터 용량을 이용하여 대상물의 형태를 표현할 수 있는 방법으로서, 손쉬운 자료의 편집과 실시간 모델링 등의 다양한 기능을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 TIN을 수치분석을 위한 베이스 맵으로 구축하여 활용하므로써 매병에 대한 다양한 공간분석을 실시할

수 있었다.

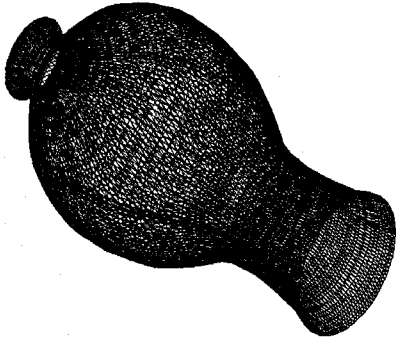


그림 3.2 불규칙 삼각망

의 X, Y, Z축에 대한 평균표준편차를 나타낸 것이며, 그림 3.3은 이를 도식화한 것으로 영상해석의 신뢰도를 나타낸다.

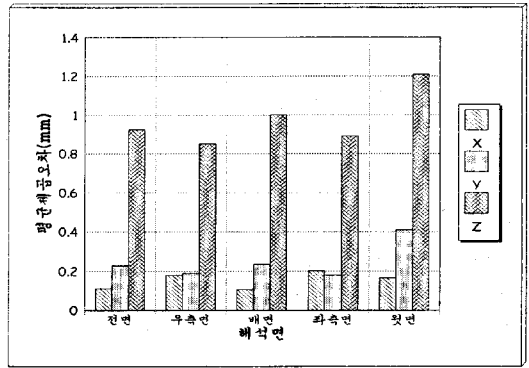


그림 3.3 해석면에 대한 표정 정확도

### 3.3 표정 정확도

영상분석을 위한 표정은 내부표정, 상호표정, 절대표정의 세부과정을 통해 이루어진다. 각 표정과정은 사용자가 최종적으로 획득하고자 하는 3차원 수치자료의 신뢰도에 절대적인 영향을 미치므로, 대상물에 대한 정밀하고 세심한 분석을 위해서는 해석에 적합한 요구정확도 이내의 정확도를 획득하여야 한다. 내부표정 과정에서는 본 실에서의 연구성과인 비측정용 카메라의 준측정용 해석을 위해 설치한 지표(fiducial mark)를 이용하였다. 이는 스캔영상의 모서리를 사용하여 해석한 경우에 비해 양호한 수행능력을 갖는다. 표 3.3은 절대표정 단계에서 얻어진 각 해석 측면에서

표 3.3 표정 정확도

RMSE / 해석측면	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
전면	0.113	0.229	0.923
우측면	0.180	0.190	0.852
배면	0.108	0.236	1.001
좌측면	0.203	0.180	0.890
윗면	0.165	0.410	1.210

### 4. 공간분석

#### 4.1 면·체적 분석

3차원 수치자료를 2차원 수치자료로 변환하고 수치지형모델(DTM)에서의 차에서 표면에 의해 점유되는 공간의 크기를 계산하는 MSM(MGE/SX)지형분석 프로그램을 이용하여 매병에 대한 면·체적을 분석한 결과 표 4.1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 4.1 면·체적 분석

투영면적(cm <sup>2</sup> )	표면적(cm <sup>2</sup> )	체적(cm <sup>3</sup> )
3.37 × 10 <sup>2</sup>	8.55 × 10 <sup>2</sup>	3.03 × 10 <sup>3</sup>

#### 4.2 등고선도

문화재의 조형미 분석 및 미술사적 연구를 위해서는 대상물에 대해 입체감을 느낄 수 있는 높이 데이터와 관련한 분석자료가 필수적이다. 이를 위해 구축한 베이스 맵의 높이값을 이용하여 대상물에 대해 그림 4.1과 같은 5mm 등고선도를 작성하였다. 물레를

이용하여 만들어진 대상물이기 때문에 등고선이 거의 원형이며 대칭형상을 이루고 있음을 알 수 있다.

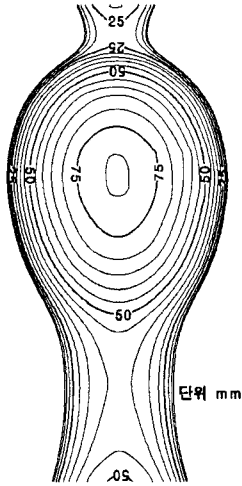


그림 4.1 등고선도

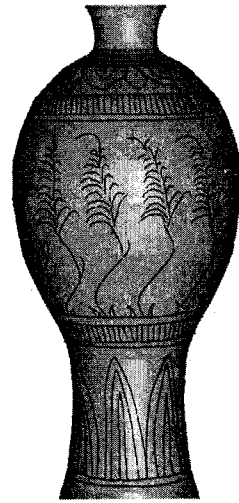


그림 4.2 모델링

#### 4.3 모델링

많은 양의 정보를 갖는 모델링의 원활한 수행을 위해서는 지형공간정보 분석시스템이 필요하며 이러한 모델링은 컴퓨터 그래픽 기술을 이용한 시각화를 통해 다양한 분석을 돕는다. 모델링 기법은 그리드 모델, 등고선도, 렌더링으로 크게 대분되며, 최근에는 컴퓨터 기술의 발달로 렌더링에 의한 모델링을 많이 수행한다. 또한 이는 자연적 조경과 같은 표면에 모습을 3차원으로 나타낼 수 있는 방법이다. 그림 4.2는 정면 방향에서의 3차원 투시성과에 대상물의 재질을 입혀 시각적 분석을 가능케 한 결과로서, 렌더링 기법에 의한 대상물의 3차원 모델링을 나타낸 것이다.

#### 4.4 단면 및 중심축 분석

대상물에 대한 단면 분석을 통해 균형감과 비례감 등의 조형미 분석과 더불어 대상물의 길이, 직경 등의 정량적 분석을 수행하였다. 그림 4.3과 같이 대상물에 대해 일정한 간격으로 횡단면을 분석한 결과,  $a-1-a-1' : c-c' : e-e'$  부분의 지름이 각각

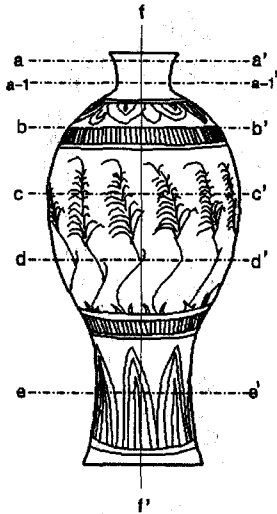
42mm, 155mm, 78mm 정도로서 1 : 3.7 : 1.9의 비를 이루고 있었다. 그리고 각 단면의 중심위치를 계산해 본 결과, 거의 하나의 중심축을 이루고 있었으며, 각 단면에서의 중심편차가 1mm 이내로 매우 안정한 형상을 이루고 있음을 알 수 있었다. 표 4.2는 분석단면에 가장 적합한 원의 지름과 상대적인 비, 그리고 중심편위량을 계산한 결과이며, 그림 4.4는 각 단면의 중심축과 이를 보정한 보정축을 도시한 것이다.

표 4.2 분석단면의 지름, 조형비, 중심편위량

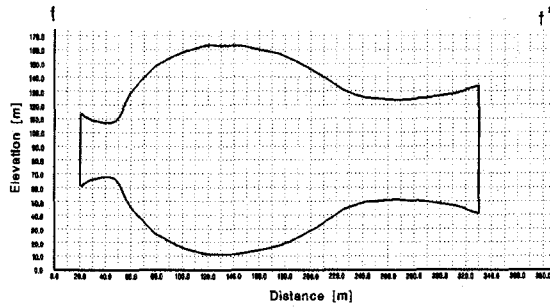
단면	a~a'	a-1~a-1'	b~b'	c~c'	d~d'	e~e'
지름 (mm)	55	42	121	155	142	78
조형비	1.3	1	2.9	3.7	3.4	1.9
중심편위량 (mm)	0.606	0.025	0.145	0.485	0.485	0.310

### 5. 결 론

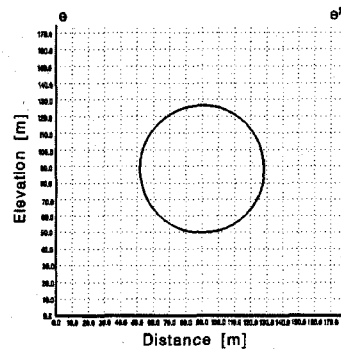
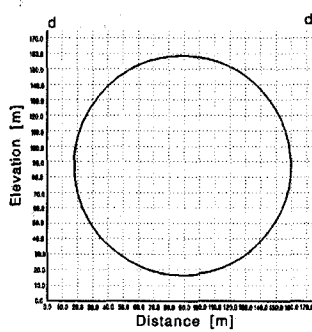
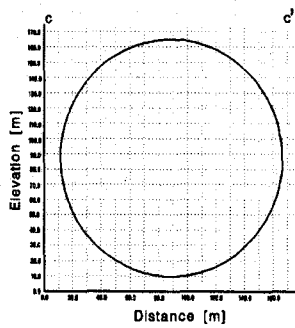
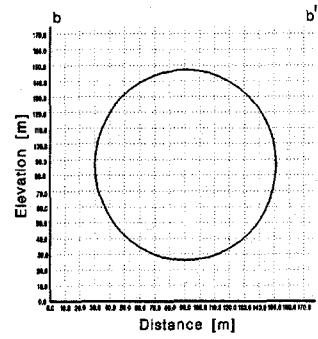
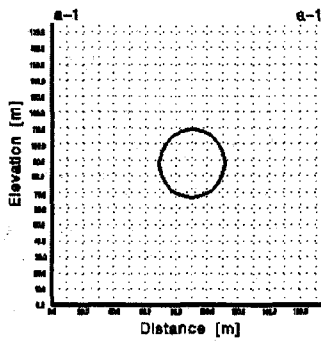
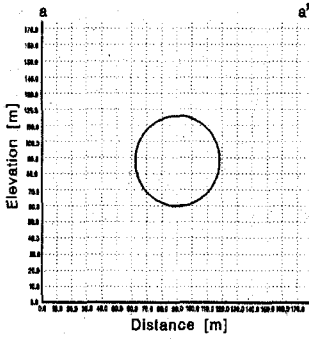
1. 소프트카피 사진측량기법을 이용한 정밀 3차원 수치자료의 구축과 분석체계는 대상물의 정량적 그리고 기하학적 위치관계의 분석을 가능하게 하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 43 단면 분석



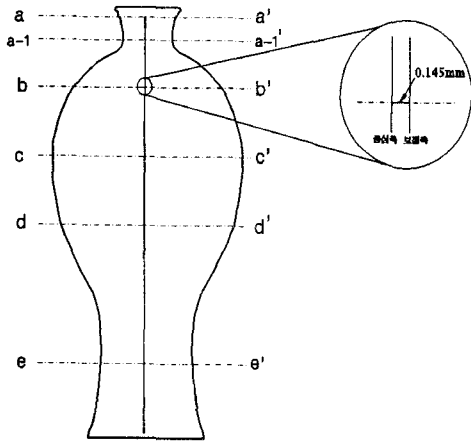


그림 4.4 중심축 분석

2. 소프트카피 사진측량기법을 이용하여 구축한 수치 자료로부터 면·체적계산, 중심축 계산, 단면분석, 모델링 등의 공간분석을 보다 효율적으로 수행할 수 있었다.
3. 구축된 수치자료도면은 기존의 인쇄도면과 달리 수치화 저장이 가능하여 자료처리가 신속하고 검색·수정 및 출력이 용이하므로 이는 문화재의 유지·관리업무를 지원하는데 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.
4. 소프트카피 사진측량기법을 이용한 수치자료의 획득과 분석 체계는 문화재에 대해 다양한 형상분석 및 조형미분석을 가능하게 하였으므로 이는 정밀실측과 주기적 변형해석을 요하는 구조물의 정밀 기하학적 위치해석에도 유용한 기법으로 활용될 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 1997년도 학술진흥재단의 자유공모과제(과제번호:1997-001-E00723)에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. Anne Gisiger, Eben S. Cooper, Yew Yuan, W.Fredrick Limp, "Development and Implementation of a Rapid Low-Cost Photogrammetric Data Archival System for artifact and Osteological Inventory", National Center for Preservation Technology and Training Report, 1996.
2. Clifford W. Greve et al, "Digital Photogrammetry, An Addendum to the Manual of Photogrammetry", ASPRS Publishing, pp.213-238, 1996.
3. Pierre Grussenmeyer, Franck Perdrizet, "Archeological Photogrammetry with Small Format Cameras", ISPRS, vol 31, part B5, pp.200-204, 1996.
4. Sarah Dannel, Hans Muessig, "Archaeological Application for Close-Rang Photogrammetry", ACSM-ASP 46th annual convention, technical paper, pp.335-341, 1980.
5. Yeu. Bock-Mo, Kim. Wonda, Kim. Young-II, Ryu. Yeon, "Cultural Assets Preservation using Digital Photogrammetry Methods", ISPRS, Vol.B5, pp.610-615, 1996.
6. 강준목, 배상호, 주영은, "인체형상 모니터링을 위한 수치근접사진측량의 정확도 분석", 한국지형공간정보학회지, 제5권, 제2호, pp.111-119, 1997.
7. 강준목, 배연성, 배상호, 이성순. "영상분석기법에 의한 문화재의 정밀 수치자료 획득과 공간분석 - 성덕대왕 신종에 대해-", 한국지형공간정보학회지, 제6권, 제1호, pp.65-74, 1998.
8. 강준목, 서만철, 배상호, 이성순, "문화재 보존을 위한 수치자료 구축과 공간분석", 한국지형공간정보학회지, 제5권, 제2호, pp.55-64, 1997.
9. 강준목, 윤희천, 배상호, "수치정보에 의한 문화재의 공간분석", 한국측지학회지, 제14권, 제2호, pp.159-166, 1996.
10. 임영빈, 이국무, 배상호, 조성호, "소프트카피 사진측량에 의한 문화재의 정밀 3차원 Monitoring", 대한토목학회학술발표논문집(IV), pp.451-454, 1998.
11. "무령왕릉 발굴 보고서", 문화공보부 문화재관리국, 1973.

12. “송산리 고분군의 현황과 보존대책”, 충청남도 공주시, 1997.
13. 왕릉탐사를 위한 기초조사② 공주의 역사와 문화“, 공주대학교 박물관 충청남도 공주시, 1995.