

수치정보에 의한 문화재의 공간분석 Spatial Analysis of the Cultral Properties Using the Digital Informations

강준목* · 윤희천** · 배상호***

Kang, Joon-Mook* · Yoon, Hee-Cheon** · Bae, Sang-Ho***

요 旨

문화재의 보존을 위한 3차원 정밀 측위와 이의 분석시스템에 대한 연구는 전통문화의 계승·발전 측면에서 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 본 연구는 문화재의 보존·복원을 보다 효율적으로 하기 위해 정밀 측위법과 수치정보 분석에 관한 연구를 수행한 것이다. 국보 제 9호인 정림사 5층석탑에 대한 영상을 획득하고 표준오차 1mm 이내의 정확도로 3차원 수치정보를 구축하여 공간분석을 시도하였다. 연구결과 정확하게 3차원 모델링이 가능하였고 면적·체적 산정 및 각 단면의 기하학적 해석을 효율적으로 할 수 있었으며 중심축의 위치와 기울기 등도 도출할 수 있었으므로 앞으로 문화재의 보존을 위한 안전진단은 물론 미술사 연구 등에도 효율적으로 활용될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

It has the important significance to study of 3 dimensional precision surveying and analysis system for conservation of cultural properties. This study is about to efficient precision surveying methods and analysis of digital information data for conservation of cultural properties. We acquire the photos and construct the 3 dimensional digital information in 1 mm accuracy, and carry the spatial analysis to five story pagoda at Chongrimsa temple site of National Treasure No. 9 of Korea. In result, we carry the 3 dimensional modelling accurately and the efficient geometrical analysis of sections, calculation of the area, volume, and position and slope of central axis. So, we expect efficient use of as well study of art history as safety diagnosis for the preservation of cultural properties

1. 서 론

수치자료는 수정·보완 및 보존이 용이하여 여러 분야에서 활용이 증대되고 있다. 문화재의 유지와 관리 분야에서도 수치자료를 활용한다면 이의 보존과 조사에 있어 유용할 것이다.

또한, 공간적 도형의 문화재를 보다 정확하게 재현하기 위해서는 2차원적 자료를 획득을 탈피하여 3차원적 자료 획득이 필요하다. 본 연구에서는 공간적 도형의 문화재에 대한 3차원 수치자료를 보다 효율적으로 획득하고 분석하기 위해 정밀 측위와 영상해석 기법을 구형의 대상물에 적용하였다. 대상물의 전면해석과 공간적 재현을

위해서 측량자료를 동일좌표계로 구현하며 이에따른 오차 특성을 분석하므로써 획득한 수치자료의 정확도를 검토하고자 한다. 그리고 모델링, 면적, 체적, 중심축의 편심 및 기울기, 단면분석 등의 다양한 공간분석(spatial analysis)을 수행하여 문화재의 효율적인 유지·관리를 위한 자료기반을 구축하므로써 근접사진측량에 의한 수치자료 획득과 분석기법의 효율성을 제시하고자 한다.

2. 촬영 및 기준점측량

삼국시대 탑중 완전하게 남아있는 유일한 탑이며 목탑의 구조형태를 갖는 석탑인 부여 정림사지 5층석탑(국보 제 9호)을 대상으로 선정하였다. 석탑은 矩形로서 3차원 형상을 구현하기 위해서는 4면에 대한 각각의 입체영상을 획득하고 이를 해석하기 위한 각 면에

* 충남대학교 토목공학과 교수

** 충남대학교 측량 및 지형정보연구실 연구원

*** 충남대학교 토목공학과 박사과정

서의 기준점이 필요하다. 이 기준점들은 동일좌표계로 측정하여야 하므로 3차원측정시스템을 이용하였다.

좌표계는 대상물의 남측에 두점 A(0,0,0)와 B를 설정하고 이를 기선으로 하여 기선방향을 X축, 촬영방향을 Y축, 높이방향을 Z축으로하여 3차원 좌표계를 설정하였다. 대상물 전면에 배치한 기준점은 원점 A로부터 상대 좌표성좌이다. 기선 및 촬영점의 배치 양상은 그림 1과 같다. 기준점은 각 면에 5점씩 총 20점을 배치

하였고, 오차전과 특성을 해석하기 위한 미지점들은 13점씩 총 52점을 대상물 전면에 배치하였다.

촬영점은 대상물의 전면해석을 위해 각 면에서 2점씩 8점과 각 모서리 방향의 4점을 포함하여 총 12점의 촬영점을 배치하였다(그림 1). 촬영은 측정용 카메라(metric camera, WILD P-31)를 이용하였으며 촬영거리는 12 m이다. f-stop은 f/11, 셔터속도는 1/4~1/8, 촬영기선거리는 4.2 m(60% 중복도)로 계획하여 촬영하였다(그림 2).

3. 결과분석

대상물 전면해석시 동일좌표계의 기준점 사용에 따른 오차전과 양상을 분석하고, 획득한 수치자료에 의한 단면, 기울기, 체적, 모델링 등의 공간분석을 수행하였다.

3.1 기준점의 사용에 따른 해석정확도

대상물의 전면해석은 남측의 기준점을 기준으로 기준점의 사용을 달리하였다. 남측(S), 동측(E), 북측(N), 서측(W)방향에 각 5점씩 총 20점의 기준점을 사용하여 해석한 경우(경우. 1), 남측방향 5점의 기준점과 동측, 북측, 서측방향 각각 1점씩 총 8점의 기준점을 사용하여 해석한 경우(경우. 2), 남측방향 5점의 기준점과 북측방향 1점의 기준점을 사용하여 해석한 경우(경우. 3)로 구분하여 미지점의 좌표 및 표준오차를 산출할 수 있었다. 표 1은 12매의 사진을 모두 사용하여 해석한 결과와

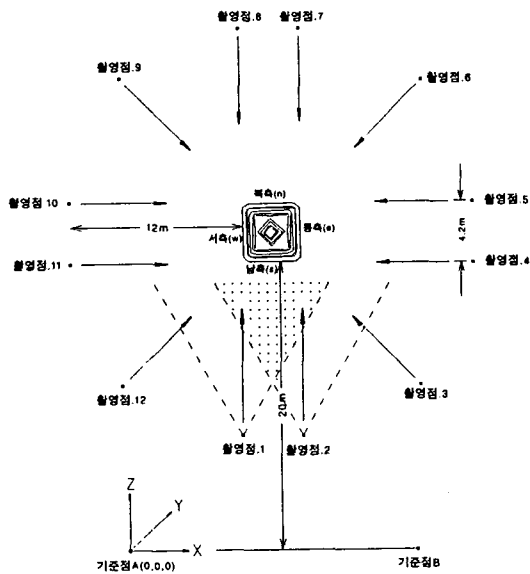


그림 1. 촬영계획도

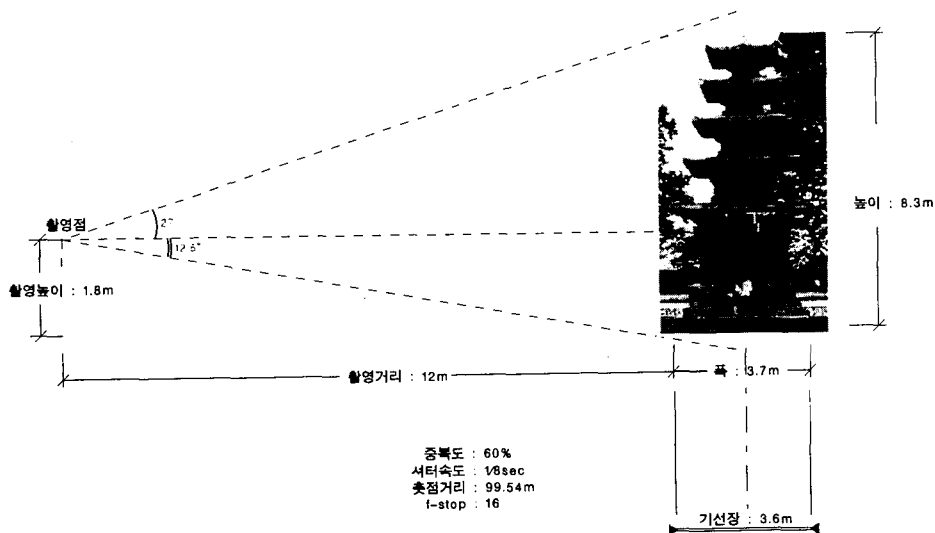


그림 2. 촬영조건

4매의 사진으로 해석한 결과를 기준점 사용에 따른 경우. 1, 경우. 2, 경우. 3으로 구분하여 나타낸 것이다.

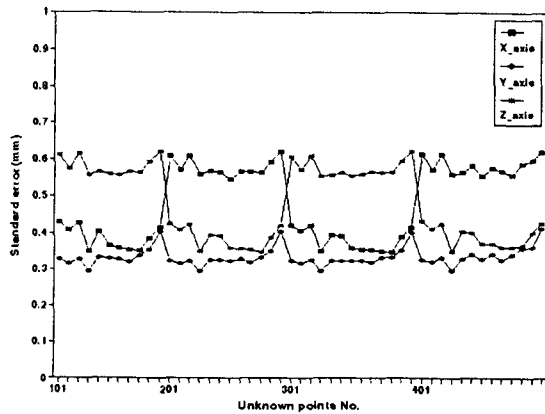
대상물의 全面해석시, X축, Y축, Z축 각각의 실 표준오차는 경우. 1, 경우. 2, 경우. 3 모두 1 mm정도로서 1.5 mm이내의 평균 3차원 위치오차를 나타내었다. 矩形의 구조물을 전면해석시, 기준면의 최소 기준점과 타면의 연결점(tie points)을 사용(경우. 2, 경우. 3)함

으로서 전면의 기준점을 사용한 경우(경우. 1)와 유사한 결과를 나타내었으나, 전면의 기준점을 모두 사용하여 해석한 결과가 연결점(tie points)을 두어 해석한 결과보다 나은 정확도를 보임을 알 수 있었다.

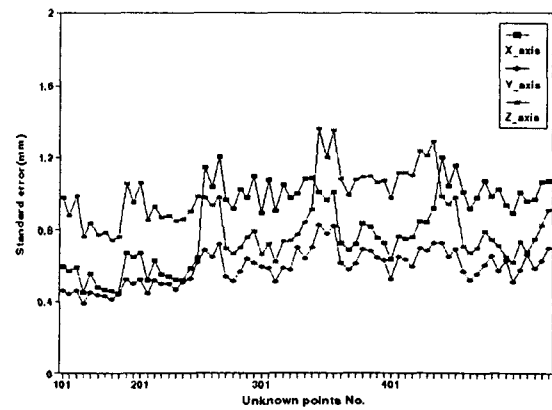
또한, 모서리 4매를 사용하여 해석한 정확도는 全面 12매 사진을 사용하여 해석한 정확도에 근접되므로 기준점 사용 여부와 구조물 형태에 따라 효율적 촬영방법

표 1. 기준점 사용에 따른 strip의 해석정확도

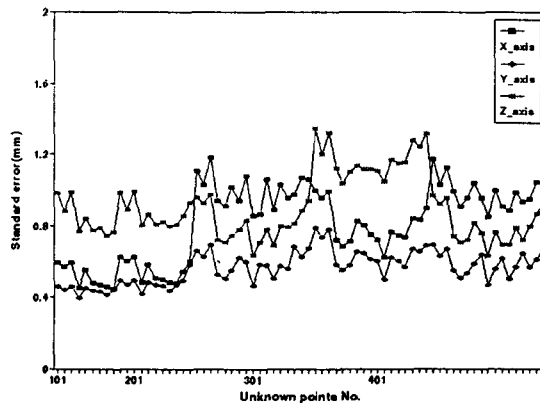
	Average Simulated Error (12 photos)			Actual Standard Error (12 photos)			Average Simulated Error (4 photos)			Actual Standard Error (4 photos)		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
경우. 1	0.4432	0.3051	0.4404	0.4844	0.3335	0.4814	0.5844	0.4105	0.5846	0.6405	0.4499	0.6407
경우. 2	0.5997	0.4155	0.6074	0.7622	0.5281	0.7720	0.8557	0.5480	0.8625	1.4307	0.9163	1.4421
경우. 3	0.5945	0.4025	0.6313	0.8614	0.5832	0.9148	0.8830	0.5523	0.8895	1.5223	0.9522	1.5335



(a) 경우.1 (12매)



(b) 경우.2 (12매)



(c) 경우.3 (12매)

그림 3. 미지점들의 X,Y,Z방향 표준오차 분포

표 2. 정림사지 5층석탑 네면의 도화 좌표계

기준점 좌표계	x	y	z
해석좌표계			
남편(S)	x	z	y
동편(E)	y	z	-x
북편(N)	x	-z	-y
서편(W)	y	-z	x

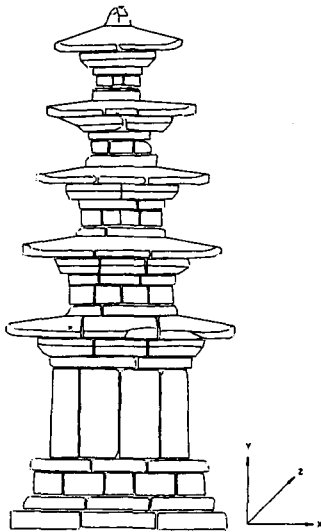


그림 4. 남측방향의 정면 실측 도화성과

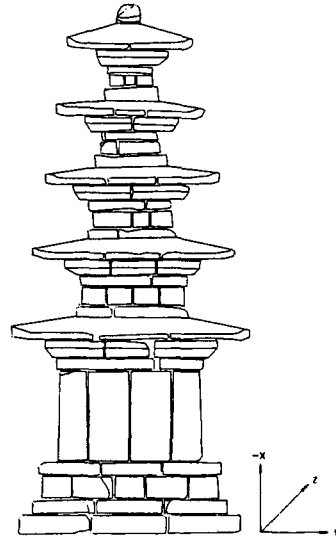


그림 5. 동측방향의 정면 실측 도화성과

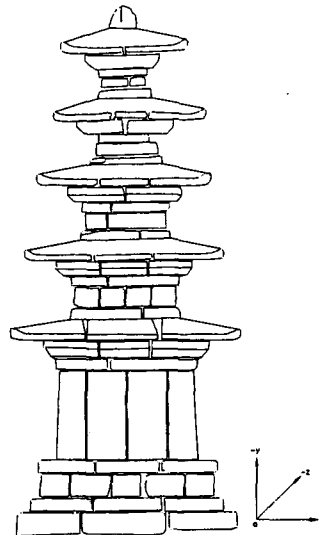


그림 6. 북측방향의 정면 실측 도화성과

을 택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

그림 3의 (a), (b), (c)는 12매의 사진에 대해 기준점 사용을 달리하여 대상물을 전면해석한 경우로서, 미지점들의 X,Y,Z방향 표준오차를 도기한 결과이다. 그림 3(a)는 20개 기준점을 사용하여 해석한 결과로서(경우.1), 미지점들의 X,Y,Z방향 표준오차가 0.3~0.6 mm, (b)는 8개 기준점을 사용하여 해석한 결과로서(경우.2), X,Y,Z방향의 표준오차가 0.4~1.2 mm, (c)는 8개 기준점을 사용하여 해석한 결과로서(경우.3), X, Y,Z방향의 표준오차가 0.4~1.2 mm 범위에서의 오차 양상을 보였다. 남측에 배치한 기준점은 100번, 동측 방향은 200번, 북측방향은 300번, 서측방향은 400번 단위로 차별화하여 미지점의 표준오차 분포 양상을 도기한 결과, 그림 3과 같이 각 면에서의 X,Y,Z방향 오차 특성은 표 2에서 제시된 해석좌표계를 토대로 다르게 분포하였다. 대상면간의 좌표계를 고려하면 오차분포 양상은 촬영방향(Z방향)의 오차가 가장 크며 기선방향(x방향), 연직방향(Y방향)의 순으로 분포

함을 알 수 있었다.

3.2 정밀도화

해석도화기(Pa2000A, Topcon)를 사용하여 정림사지 5층석탑 전체를 도화시, 각 면에서의 입체영상이 갖는 좌표축(해석좌표계)은 삼각측량성과(기준점좌표계)와는 다르게 제시되었다(표 2). 입체영상으로 모니터상에 전개되는 개개의 도화대상면이 x와 y축으로 선정되어 짐에 따라, MSM PM 3차원 좌표변환을 활용하여 4개의 각기 다른 수치자료를 기준점 좌표체계로 변환하였

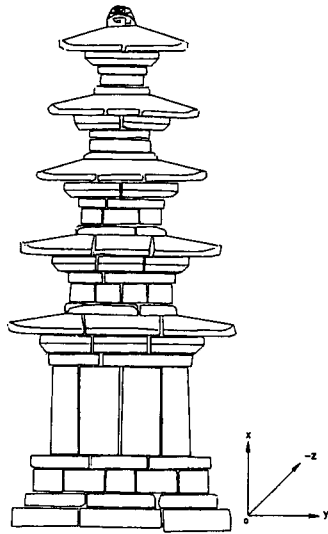


그림 7. 서측방향의 정면 실측 도화성과

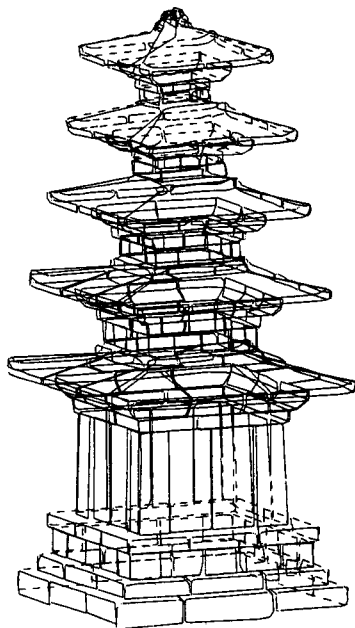


그림 8. 3차원 도화성과의 경사투시도

다. 그림 4~ 그림 7는 각각 남측(S), 동측(E), 북측(N), 서측(W)방향 도화성과를 나타낸 것이며 그림 8은 이 4개의 도화성과를 동일좌표계로 변환하여 경사방향에서 투시하여 본 결과이다.

3.3 단면분석

구축된 수치데이터를 TIN망으로 변환하고 MSM 지

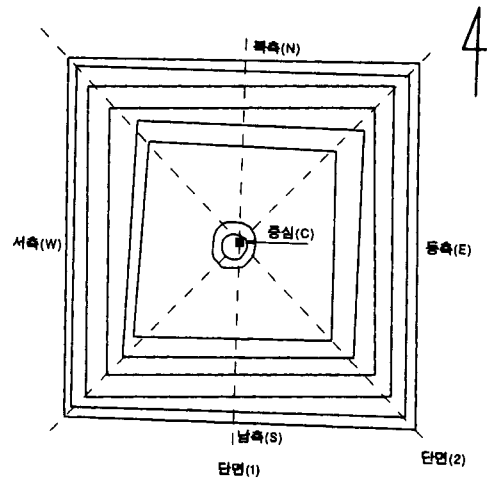


그림 9. 평면도

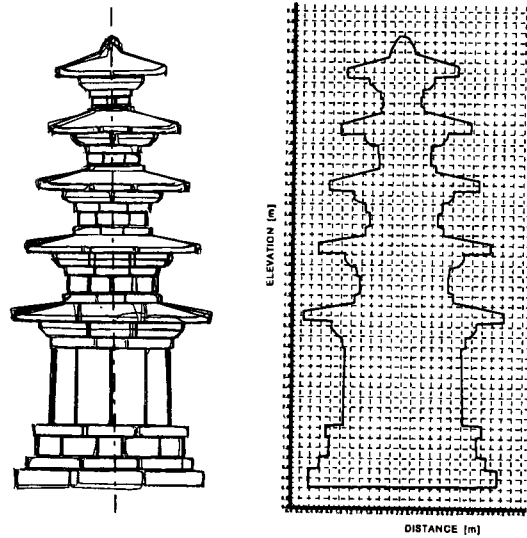


그림 10. SN 방향의 단면도

형분석 프로그램을 이용하여 단면분석을 실시하였다. 그림 9는 대상물의 주요 외곽 frame만을 도시한 평면도이다. 평면도에서 두 대각선의 교차점을 중심(C)으로 남북(SN)방향(단면 1)과 남동-북서(SE-NW)방향(단면 2)으로 구분하여 단면분석을 실시하였다. 그림 10은 단면(1)방향으로 단면의 경계를 이루었을 때 생성된 분석 결과이다. 단면(2)방향으로 단면의 경계를 이루었을 때 생성된 분석결과는 그림 11와 같다.

그림 9에서 중심(C)에서 현 석탑의 중심 위치가 SW 방향으로 다소 편심되었음을 알 수 있으며, 단면도나 기울기 분석에서도 동일한 결과를 유추할 수 있었다.

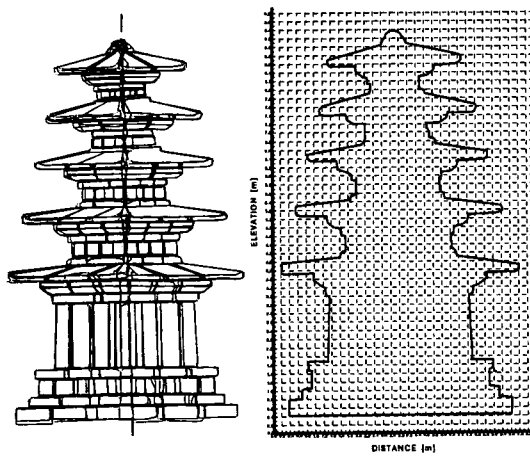


그림 11. SE-NW 방향의 단면도

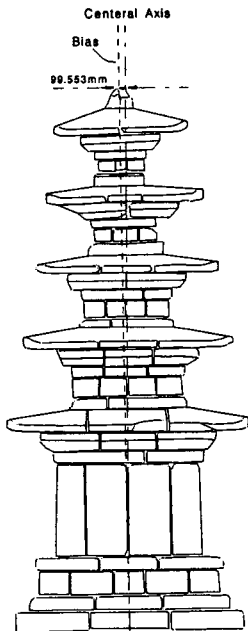


그림 12. 남측(S) 방향의 중심축 산정

3.4 기울기 분석

정림사지 5층석탑의 안정성을 검토하기 위해 그림 9에서의 탑 중심(C)을 연직방향으로 내린 중심축을 결정하였다. 중심축을 기준으로 각 단면에서 탑의 기울어진 정도를 파악하였다. 각 측에서의 기울어진 양상은 그림 12와 그림 13과 같다. 그림 12는 남측(S)방향에서의 기울기를 산출한 것으로서, 기울기가 서측(W) 방향으로 0.6384°, 최대편심량은 99.5530 mm로 계산되었다. 또한, 동측(E)방향에서의 기울기를 계산해 본 결과,

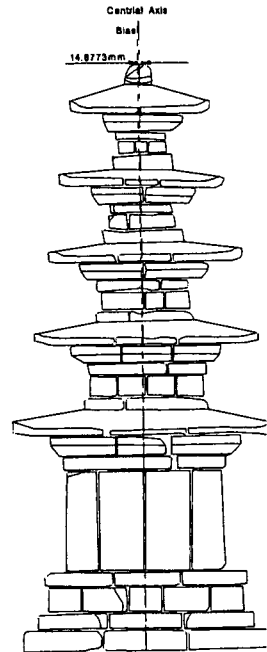


그림 13. 동측(E) 방향의 중심축 산정

표 3. 정림사지 5층석탑의 편심량

단 면	기울기(°)	편심량(mm)
남측방향(S)	0.6384° (W)	99.5530
동측방향(E)	0.0945° (S)	14.6773
북측방향(N)	0.6384° (W)	99.5530
서측방향(W)	0.0945° (S)	14.6773

기울기가 남측(S) 방향으로 0.0945°, 최대편심량은 14.6773 mm로 계산되었다. 그리고, 북측(N) 방향의 기울기는 남측(S) 방향의 기울기와 대칭을 이루며, 마찬가지로 서측(W) 방향의 기울기는 동측(E) 방향의 기울기와 동일한 결과를 보인다(표 3).

3.5 체적계산

수치지형모델(DTM)에서 표면에 의해 점유되는 공간의 크기를 계산하기 위해 MSM(MGE\SX) 지형분석 프로그램을 활용하여 정림사지 5층석탑의 체적을 7단계로 구분하여 계산한 결과, 총 체적이 63.79 m³으로 계산되었다(그림 14). 표 4는 각 단계별 체적과 총 체적을 계산한 결과이다.

공간분석을 통해 체적계산이 가능하므로 석탑 재질의 단위중량을 알 수 있다면 간접적으로 중량 계산의

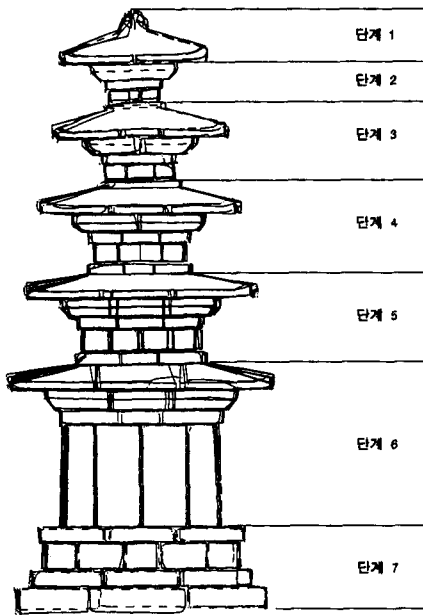


그림 14. 체적계산

표 4. 체적계산표

단 계	체적(m ³)
1	3.00
2	1.89
3	6.20
4	8.64
5	10.64
6	20.49
7	13.11
Σ	63.79

활용에도 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

3.6 3차원 모델링

많은 양의 정보를 갖는 모델링의 수행을 위해서는 지형공간정보 분석시스템이 필요하다. 모델링의 기법은 컴퓨터 그래픽 기술을 이용한 시각화를 통해 다분석을 돕는다. 모델링의 기법은 그리드 모델, 등고선도, 렌더링으로 구분할 수 있다. 기존의 그리드모델 또는 등고선도로 3차원 모델링을 표현하였으나, 컴퓨터의 발달로 최근에는 렌더링에 의한 모델링을 수행한다.

그림 15(a)는 정림사지 5층석탑을 남측에서 본 렌더링의 결과이며, 그림 15(b)는 경사방향에서 본 렌더링의 결과이다.

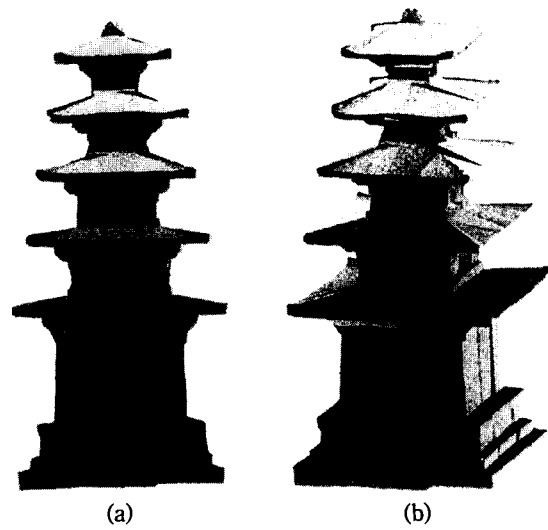


그림 15. 3차원 모델링

4. 결 론

문화재의 보존을 위해 부여 정림사지 5층석탑에 대한 영상을 획득하고 수치데이터에 의한 정확도 및 공간 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 矩形구조물을 15 m에서 촬영하여 12매 사진에 의한 strip 해석을 실시한 결과, 전면의 기준 점을 사용한 경우가 일면의 기준점과 연결점을 사용한 경우보다 양호하나 일면기준점으로 1 mm정도의 평균표준오차를 획득할 수 있었다.

2. 矩形구조물의 strip해석시, 모서리 4매 사진의 해석정확도가 全面 12매 사진의 strip 해석정확도에 접근되므로 구조물 형태에 따른 효율적 촬영방법을 택하는 것이 바람직함을 알았다.

3. 영상정보로부터 영구보존이 가능하고 각종 목적에 응용할 수 있는 수치데이터를 1 mm이하의 정확도로 구축할 수 있었다.

4. 근접사진측량에 의해 구축된 수치정보로부터 단면 해석, 체적계산, 重心軸의 기울기등 공간 분석을 효율적으로 수행할 수 있었으므로, 문화재의 안전진단이나 보존대책입안에 유용한 기법으로 활용이 기대된다.

참고문헌

1. 강준목, 배연성, "원격조종 공중사진측량에 의한 대축척

- 지형정보 획득”, 한국측지학회지, Vol.13, No.1, 1995.
2. “왕릉탐사를 위한 기초조사② 공주의 역사와 문화”, 공주대학교 박물관 충청남도 공주시, 1995.
 3. 유복모, 최철순, 오이균, “사진측량에 의한 우리나라 주요 석탑의 시대별 조형비 분석”, 한국측지학회지, 제 10권, 제12호, 1992, pp.73-81.
 4. 윤희천, “GIS에 의한 토지의 효율적 개발에 관한 연구”, 학위논문집, 1996.
 5. A.S.P., Manual of photogrammetry, 4th ed., 1980, pp. 827-839
 6. Kang Joon Mook, Oh Won Jin, Bae Yeon Soung, “Large Scale Geographic Information Acquisition by 35 mm Camera”, ISPRS Commission IV, Vol.31, 1996, pp. 431-436.
 7. Wolf, P.R., Adjustment Computations, P.B.L. Publishing Co, 1980.
 8. Wolf, P.R., Element of photogrammetry, 2nd ed, McGraw-Hill, 1983.
 9. Youssef I.Abdel-Aziz, “Accuracy of the Normal Case of Close-Range Photogrammetry”, PE & RS, vol.48. No.2., 1982, pp.207-213.