韓國地形空間情報學會誌 第17卷 第2號 2009年 6月 pp. 91-99

연구논문

비측량용 카메라를 이용한 3차원 형상 해석

The Analysis of 3-Dimensional Shape Using Non-Metric Cameras

정 수*

Jeong, Soo

要 旨

지형공간정보 분야에서 대상물의 3차원 형상에 대한 자료는 기본 자료로 취급되고 있다. 특히, 공간에 관련하여 계획, 유지, 관리 등을 업무를 수행하기 위해서는 다양한 물리적 형상 정보가 필요하다.

종래의 사진측량은 고가의 측량용 카메라와 숙달된 전문가가 운용하는 해석도화기를 이용하여 수행되어 왔으나 최근에는 수치사진측량의 발달로 인하여 저가의 비측량용 디지털 카메라를 이용해 컴퓨터 환경에서 수행하는 것이 가능해졌다.

본 연구에서는 비측량용 디지털 카메라를 이용한 근거리 사진측량에 의해 신속하게 3차원 형상정보를 생성하기 위한 기술을 연구하고, 이를 지형공간정보 분야에 적용할 수 있도록 함으로써, 지형공간정보 분야에서 필요로 하는 3차원 형상에 대한 정보의 취득을 원활하게 하는 것을 목적하였다.

비측량용 카메라 중에서 보급형 컴팩트 디지털 카메라를 사용하고 대상물 내의 단 하나의 길이 성분만을 관측하여 대상물의 3차원 형상을 해석한 결과 1화소 이하의 정확도로 대상물의 크기를 해석할 수 있었다.

핵심용어 : 근거리 사진측량, 비측량용 디지털 카메라, 3차원 형상 해석

Abstract

In the field of geospatial information, 3D shape information has been considered as a frame data for GIS. Many kind of physical shape information is, especially, required for the works related with space, such as planning, maintenance, management, etc.

Conventional photogrammetry was implemented under the conditions with expensive metric cameras and analytical plotters operated by experts. Nowadays, however, the metric cameras and analytical plotters are replaced by low price non-metric digital cameras and personal computers by virtue of the progress in digital photogrammetry.

This study aims to investigate the technology to easily and promptly produce 3D shape information required in geospatial information system using close-range photogrammetry with non-metric digital cameras.

As the results of this study, 3D shape of an experimental object was made out with a common compact digital camera and only a known length of a line component in the object and the accuracy of the dimension of 3D shape was analyzed to be less than one pixel.

Keywords : Close-range photogrammetry, Non-metric digital camera, 3D shape analysis

1. 서 론

사진측량은 대상물을 직접 측량하는 대신에 대상물을 촬영한 영상을 관측하여 대상물의 위치, 크기, 형상 등에 대한 정보를 얻는 기법이다. 근거리 사진측량은 관측 범위가 약 100 m 이내인 대상물에 대해 카메라를 근접시켜 실시하는 사진측량을 말한다. 근거리 사진측량이 항공사진측량과 구별되는 특성은 대상물에 대한 영상을 얻는 카메라의 위치가 자유롭고 주로 대상물의 중심 방향으로 수렴사진촬영이 이루어진다는 것이다 (Cooper, 1996).

수치사진측량은 수치영상으로부터 사진측량의 결과를 이끌어내는 하드웨어 및 소프트웨어를 지칭하는 것으로 다양한 수치영상을 활용할 수 있으며 실시간 처리, 비용절감, 작업속도 향상 등의 장점이 있어서 지형공간정보체계의 자료기반 구축과 연계되어 광범위한

2009년 5월 7일 접수, 2009년 6월 5일 채택

* 정회원 · 안동대학교 토목공학과 부교수(soo@andong.ac.kr)

분야에 활용되고 있다. 수치사진측량은 주로 수치표고 모델, 정사투영영상 생성 등을 위해 실무적으로 활용되고 있다(정수, 2001).

최근에 비측량용 카메라의 성능 및 기하학적 안정성이 계속적으로 향상되고 있으며, 특히 디지털 카메라를 이용해 손쉽게 수치영상을 얻을 수 있게 됨에 따라 사진측량 작업에 있어서 비측량용 카메라의 활용이 지속적으로 증대될 것으로 기대되고 있다(정수, 2005).

수치사진측량을 기반으로 하는 근거리 사진측량에 대한 연구는 주로 수치사진측량의 활용 타당성 조사를 위한 연구, 카메라의 왜곡 보정에 관한 연구, 최적 적용 방안 도출을 위한 연구 등으로 이루어져 왔다.

근거리 수치사진측량의 활용 타당성에 관련된 연구로서는 정성혁 등(2004)이 사진측량을 이용하여 자동차의 외형을 정밀 측정하고, 사고 등의 원인으로 변형이 발생하였을 때 변형량을 측정하는 방법을 제시하였다. 배연성(2004)은 35mm 필름 기반의 측량용 카메라와 21mm의 초광각 렌즈를 이용하여 수로에 설치된 강판의 표면의 변형을 0.1～0.2mm의 등고선으로 표현한 결과를 구하였다. 엄대용과 이성순(2004)은 3차원 수치영상 생성 시스템을 개발하고, 이의 활용성을 입증하기 위해 도로 인접 암반 사면의 현장지표지질조사에 3차원 수치영상을 적용하여 불연속 선구조의 추출 및 분석을 위한 기초 자료를 획득하기 위한 연구를 수행하였다. 정성혁과 이재기(2004)는 터널의 내공변위 및 첨단침하를 정밀하고 신속하게 관측하기 위한 방법으로서 사진측량을 활용하는 방법을 제시하고 그 가능성과 유용성을 실험을 통해 입증하였다. 김진수 등(2004)은 사진측량용 카메라를 이용한 수치사진측량기법에 의해 토공의 체적을 산정하고 이를 토탈스테이션을 이용한 방법과 비교 분석하여 사진측량기법의 적용이 가능함을 입증하였다. 서정훈 등(2004)은 디지털 비디오 카메라를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장의 도로 노면 정보를 추출한 결과 약 15cm의 평균오차로 3차원 위치 결정이 가능하였고, 균열율, 소성변형량, 종단평탄성 등의 정보를 얻을 수 있었다. 김기홍 등(2006)은 재난이 발생한 후에 공공시설물의 피해조사를 신속하게 할 수 있도록 두 대의 디지털 카메라를 프레임에 고정시켜 촬영하기 위한 시스템을 제작하고, 이를 실제 피해현장에 적용하여 활용성을 확인하였다. 서동주와 김종원(2006)은 사진측량용 카메라를 이용하여 철도의 선형을 3차원으로 해석하고 정확도를 분석하였다. 서동주와 김가아(2008)는 교량의 신축이음부의 신축량을 영상을 이용하여 관측하고 그 유용성을 수치적으로 입증하였다.

지상카메라의 왜곡보정에 관한 연구로는 오재홍 등(2006)이 비측량용 카메라의 자체검정을 통해 내부표정요소를 계산하기 위해서 지상기준점의 수, 사진의 수, 기준점의 차원 등의 조건의 변화에 따른 카메라 자체검정의 정확도를 분석하였다. 정성수 등(2008)은 줌렌즈를 사용할 경우에 렌즈의 줌, 포커스, 조리개 수치 등의 변화에 따라 렌즈모델의 변화를 실험적으로 조사하고 특정한 변화 패턴을 찾을 수 있는 가능성을 제시하였다.

근거리 수치사진측량의 최적 적용 방안 도출을 위한 연구로는 서동주와 이종출(2003)이 지상측량용 카메라에 대해 촬영거리, 수렴각, 촬영방향을 변화시켜가면서 촬영을 실시하고 촬영 기하에 따른 정밀도를 분석하였다. 강진아 등(2008)은 피복면적이 넓은 광각렌즈를 활용하여 사진매수를 줄임으로써 신속한 사진측량이 이루어지도록 하기 위해, 격자보드를 촬영하고 격자점을 자동인식하여 왜곡을 자동 보정하는 방법을 개발함으로써 광각렌즈의 방사왜곡과 접선왜곡을 보정하기 위한 방법을 제시하였다. 이효성(2008)이 근거리 사진측량에서 대상물 전면에 기준점을 부착하고 기준점 측량을 실시해야 하는 시간적 지체와 번거로움을 해결하기 위해 자체 제작한 이동식 표정판을 이용한 사진측량 방법을 제안하여 보강토 옹벽을 대상으로 변형량을 신속하게 측정하였다. 그러나 실내 모의 실험만 실시하였으며, 실제 현장에 적용을 하지 않고 있다. 최현(2008)이 디지털카메라와 휴대용 GPS를 결합한 근접수치사진측량시스템을 개발하여 적용하였으나 1주파 GPS를 사용하였으므로 GPS로 얻어지는 5m 이상의 오차가 발생하여 실용적으로 활용하는 데에는 한계가 있었다.

그밖에 근거리 수치사진측량의 이론 개발에 관련된 연구로서는 전재춘(2007)이 3차원 직선을 이용하여 외부표정요소를 계산하는 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

해외 관련분야에서의 최근 연구동향을 살펴보면 Habib와 Morgan(2005)이 저가의 상용 디지털 카메라에 대해 직선을 이용하여 내부표정에 대한 검증을 실시하였다. Maas와 Hampel(2006)은 사진측량을 토목공학 분야에서 다양한 크기의 재료의 거동에 대해 실험하는데 적용하기 위한 연구를 수행하였다. Fraser와 Al-Ajlouni(2006)는 줌렌즈가 장착된 디지털 카메라의 검정방법을 제안함으로써 내부표정과 렌즈왜곡을 초점거리의 함수로 표현하는 방법을 제안하였다.

기존의 연구들을 살펴보면, 실무에 활용 가능할 정도의 정밀한 결과들은 모두 측량용 카메라를 이용하여 구해졌다. 비측량용 카메라를 이용한 경우에는 활용 가능성만 입증했을 뿐 실무에 활용이 원활하지 못할 것으로 파악된다. 또한 상당한 수의 기준점을 이용하여 적용을

하였으므로 실무에서 요구하는 신속한 적용에는 한계가 있을 수도 있는 것으로 판단된다.

지형공간정보 분야에서는 대상물에 대해 신속하게 3차원 형상 정보를 수집하여야 할 필요가 많다. 특히 3차원 지형공간정보에 대한 관심이 높아지고, 실생활에서 3차원 공간정보의 활용이 일반화되어 가고 있으므로 정확한 3차원 형상 정보를 신속하게 취득하여 활용하기 위한 필요성이 지형공간정보 분야에서 매우 높아지고 있다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해서는 기준점 측량을 최소화하여야 하며 촬영도 간편하여야 하고, 무엇보다 자료처리과정이 쉬워야 한다.

본 연구에서는 저가의 컴팩트형 디지털 카메라와 단 1개의 기지의 길이를 이용하고, PC 기반의 저가의 사진측량 소프트웨어를 활용하여 신속하게 3차원 형상정보를 생성하기 위한 기술을 연구하고, 이를 지형공간정보 분야에 적용할 수 있도록 함으로써, 지형공간정보 분야에서 필요로 하는 3차원 형상에 대한 정보의 취득을 용이하게 하는 것을 목적으로 한다.

2. 기본이론

기존의 번들조정 기반의 항공삼각측량의 경우 정확도는 높지만 많은 기준점이 필요하므로 신속한 사진측량의 적용이 곤란할 수 있다. 따라서 사진측량을 신속하고 간편하게 적용하기 위해서는 항공삼각측량에 의한 형상해석보다는 내부표정(relative orientation) 후에 모델별로 접합점(tie point)을 이용한 상호표정을 실시하고, 각 모델들을 접합표정(successive orientation)하여 모델공간에서의 3차원 형상을 구현한 다음 여기에 축척을 고려하여 실제 축척으로 재현하는 방법이 보다 적절할 수 있다. 이 경우에 기준점 측량은 3점으로 최소화시킬 수 있고, 굳이 절대좌표가 요구되지 않는 경우에는 단 1개의 실제 선길이만으로도 충분히 대상물에 대한 형상정보를 구할 수 있다.

2.1 상호표정

상호표정은 사진좌표(photo coordinate, 좌우사진좌표)로부터 해석적으로 입체모델을 이루는 작업이다. 상호표정의 경우, 최소한 사진상에서 5점의 표정점이 필요하다(유복모와 토니 쉥크, 2003).

그림 1과 같은 사진좌표계에서 표정요소, 즉 왼쪽의 회전각(k_1, ϕ_1, ω_1)과 오른쪽의 회전각(k_2, ϕ_2, ω_2) 및 평행인자(by, bz)를 고려한 공면조건을 이용하여 상호표정 방법을 유도할 수 있다. 공면조건식의 행렬식은 식(1)과 같다.

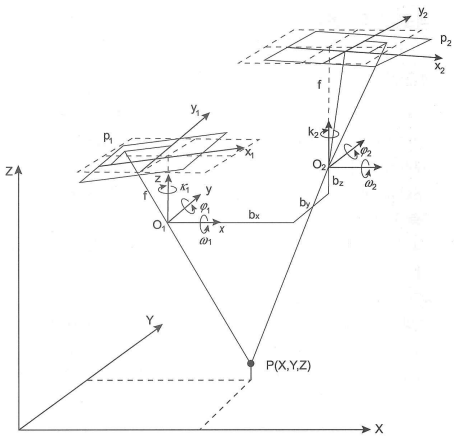

그림 1. 공면조건을 이용한 상호표정

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & bz & -by \\ -bz & 0 & bx \\ by & -bx & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = 0 \qquad (1)$$

여기서

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = R_1 \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ f \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = R_2 \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ f \end{bmatrix}$$

R_1, R_2는 k, ϕ, ω로 구성된 3×3 회전행렬이다. 그러므로 식(1)은

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & f \end{bmatrix} R_1^T \begin{bmatrix} 0 & bz & -by \\ -bz & 0 & bx \\ by & -bx & 0 \end{bmatrix} R_2 \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -f \end{bmatrix} = 0 \qquad (2)$$

이다. $U_x = \frac{by}{bx}$, $U_z = \frac{bz}{bx}$, $\bar{x} = \frac{x}{f}$, $\bar{y} = \frac{y}{f}$라 하면 식(2)는 식(3)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \overline{x_1} & \overline{y_1} & 1 \end{bmatrix} R_1^T \begin{bmatrix} 0 & U_z & -U_y \\ -U_z & 0 & 1 \\ U_y & -1 & 0 \end{bmatrix} R_2 \begin{bmatrix} \overline{x_2} \\ \overline{y_2} \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \qquad (3)$$

식(3)는 비선형방정식이므로 표정요소 근사값을 표정요소 근사값을 κ_1^o, ϕ_1^o, ω_1^o, κ_2^o, ϕ_2^o, ω_2^o, U_y^o, U_z^o라 하고 그 보정량을 $\Delta\kappa_1$, $\Delta\phi_1$, $\Delta\omega_1$, $\Delta\kappa_2$, $\Delta\phi_2$, $\Delta\omega_2$, ΔU_y, ΔU_z라 하여 다음과 같은 테일러 전개에 의해 선형화된다.

$$
\begin{aligned}
&F(\kappa_1, \phi_1, \omega_1, \kappa_2, \phi_2, \omega_2, U_y, U_z) \\
&\fallingdotseq F(\kappa_1^o, \phi_1^o, \omega_1^o, \kappa_2^o, \phi_2^o, \omega_2^o, U_y^o, U_z^o) \\
&+\frac{\partial F}{\partial \kappa_1}\Delta\kappa_1+\frac{\partial F}{\partial \phi_1}\Delta\phi_1+\frac{\partial F}{\partial \omega_1}\Delta\omega_1 \\
&+\frac{\partial F}{\partial \kappa_2}\Delta\kappa_2+\frac{\partial F}{\partial \phi_2}\Delta\phi_2+\frac{\partial F}{\partial \omega_2}\Delta\omega_2 \\
&+\frac{\partial F}{\partial U_y}\Delta U_y+\frac{\partial F}{\partial U_z}\Delta U_z
\end{aligned} \tag{4}
$$

식(3)을 식(4)에 대입하여 정리하면 식(5)과 같은 공면조건을 이용한 관측방정식이 얻어진다. 즉 두 사진의 관계를 공면조건으로 이용한 비선형 종시차방정식은 식(5)과 같다.

$$
\begin{aligned}
&(\overline{x_2}-\overline{x_1})\Delta U_y+(\overline{x_1y_2}+\overline{x_2y_1})\Delta U_z \\
&+\overline{x_1}\Delta\kappa_1-\overline{x_2}\Delta\kappa_2+\overline{x_1y_2}\Delta\phi_1-\overline{x_2y_1}\Delta\phi_2 \\
&-(\overline{y_1y_2}+1)\Delta\omega_1+(\overline{y_1y_2}+1)\Delta\omega_2 \\
&=-(y_2-y_1)=-L
\end{aligned} \tag{5}
$$

이며, 여기서

$$
L=\begin{bmatrix}\overline{x_1} & \overline{y_1} & 1\end{bmatrix}R_1^T\begin{bmatrix}0 & U_z & -U_y \\ -U_z & 0 & 1 \\ U_y & -1 & 0\end{bmatrix}R_2\begin{bmatrix}\overline{x_2} \\ \overline{y_2} \\ 1\end{bmatrix}
$$

이다.

2.2 접합표정

접합표정은 입체모델을 종방향으로 접합시켜 스트립 좌표계나 스트립을 횡방향으로 접합시켜 불록좌표계로 만들기 위한 λ, κ, φ, ω, Sx, Sy, Sz 인자의 처리를 의미한다(유복모와 토니 쉥크, 2003).

접합표정의 방법은 크게 나누어 상호표정에서 얻어진 표정요소를 이용하는 방법과 상호표정에서 얻어진 투영중심과 공통인 접합접의 입체모델 좌표계만을 이용하는 방법이 있다.

상호표정요소를 이용하는 경우는 왼쪽 사진기 좌표계를 고정시키고, 오른쪽 사진의 경사 및 투영중심을 표정요소로 하는 접합표정을 실시한다. 이는 식(6)으로 표현되며, 투영중심을 연결한 선을 입체모델좌표의 X축으로 하고, 회전각만을 표정요소로 접합표정을 하는 경우는 식(7)에 의한다.

$$
\begin{bmatrix}X_{oi} \\ Y_{oi} \\ Z_{oi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}X_{oi-1} \\ Y_{oi-1} \\ Z_{oi-1}\end{bmatrix}+S_{i-1}R_{i-1}\begin{bmatrix}bx_{(i-1)} \\ by_{(i-1)} \\ bz_{(i-1)}\end{bmatrix} \tag{6}
$$

$$
\begin{bmatrix}X_{oi} \\ Y_{oi} \\ Z_{oi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}X_{oi-1} \\ Y_{oi-1} \\ Z_{oi-1}\end{bmatrix}+S_{i-1}R_{i-1}R_iR_{(i-1)}^T\begin{bmatrix}bx \\ 0 \\ 0\end{bmatrix} \tag{7}
$$

투영중심과 공통인 접합점의 모델좌표계를 이용하는 경우는 상호표정에서 얻어진 표정요소를 전혀 이용하지 않는다. 이 경우 오른쪽 입체모델의 왼쪽 사진의 투영중심 및 공통접합점의 입체모델좌표와 왼쪽 입체모델의 오른쪽 사진의 투영중심 및 공통접합점의 입체모델좌표가 일치하도록 좌표변환을 하는 방법이다. 그러나 이 방법은 비선형방정식을 풀어야 하므로 잘 이용되지 않는다.

3. 실험 및 자료처리

3.1 실험 대상과 사용 장비

본 연구의 실험 대상물은, 그림 2에 나타나 있는, 안동대학교 구내에 위치한 역동서원 입구에 있는 높이와 가로폭이 각각 약 2.5 m인 석조 조형물이다. 실험 대상은 각 구성 부분들이 직사각형으로 이루어져 있어서 대상물의 치수를 이용한 결과의 검증이 용이할 것이라는 것을 염두에 두고 선정하였다.

촬영에 사용된 디지털 카메라는 그림 3과 같은 일본 캐논사의 보급형 컴팩트 디지털 카메라인 IXUS 750 모델로서 2005년도에 출시되어 현재에는 단종된 구형 제품이다. 이미지 센서는 1/1.8인치 CCD이며 유효화소수가 710만개이다. 렌즈는 약7.7mm～23.1mm의 줌렌즈로 되어 있으며, 렌즈 조리개의 f수는 광각시 2.8, 협각시 4.9이다. 대부분의 컴팩트 카메라와 마찬가지로 오토포커스를 비롯하여 대부분의 기능이 자동으로 설

그림 2. 실험 대상물

그림 3. 사용 카메라(일본 Canon사의 IXUS 750)

정되어 촬영된다. 영상은 JPEG 압축 방식으로만 저장된다. 카메라는 일상생활에서 사용되고 있는 저가의 일반 디지털 카메라를 활용하는 것을 가정하여 선정하였다.

본 연구에서 사용된 수치사진측량시스템은 EOS Systems Inc.에서 시판하는 PhotoModeler Ver.6.0이다. PhotoModeler는 기본 모듈이 $1,000 이하인 저가의 수치사진측량시스템으로서 입체시 기능을 제공하고 있지는 않지만, 비측량용 카메라 검정과 3차원 형상 모델 재현 등 근거리 사진측량과 관련된 다양한 기능을 포함하고 있다(EOS Systems, 2009).

3.2 카메라 검정

저가의 비측량용 카메라는 내부표정 매개변수에 대한 정보가 전혀 제공되지 않으며 렌즈왜곡도 또한 측량용 카메라와 비교할 수 없이 크다. 따라서 비측량용 카메라를 사진측량에 활용하기 위해서는 반드시 카메라 검정 과정을 거쳐야 한다.

비측량용 카메라를 검정하기 위해서는 일반적으로 자체검정과정을 거친다(오재홍, 2006). 자체검정과정을 위해서는 다량의 기준점을 이용해야 하는데, 다량의 기준점에 대한 위치를 취득하는 것은 작업물량이나 기술적 난이도에서나 모두 적용하기가 쉽지 않다. 더구나 비측량용 카메라의 경우 내부표정이 불안정하여 시간에 따라 변화할 가능성이 있으므로 사진측량 작업을 수행할 때마다 매번 자체검정과정을 거쳐야 하는 경우도 있고, 이는 사진측량의 활용성을 크게 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다.

본 연구에서는 PhotoModeler에서 제공하는 카메라 검정 기능을 활용하여 카메라 검정을 실시하였다. PhotoModeler는 카메라 검정을 위해 그림 4와 같은 인쇄물을 PDF 포맷의 컴퓨터 파일로 제공하고 있으며, 이를 플로터를 사용하여 가로, 세로 각 36인치 크기로 인쇄하여 이용하도록 하고 있다. 카메라 검정을 위해서는 인쇄물을 상하좌우 네 방향에서 가로사진과 −90도 세로사진과 +90도 세로사진 등 3개의 사진을 가급적 인쇄물의 형상이 사진 전면에 최대한 꽉 차도록 총 12매를 촬영한 후에 프로그램에 입력하면 자동으로 카메라 검정을 수행하도록 되어 있다. 검정용 인쇄물에는

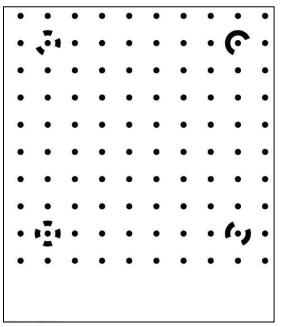

그림 4. PhotoModeler의 카메라 검정용 인쇄물

표 1. 카메라 검정 결과

항목	내용
카메라 이름	Canon IXUS 750
영상크기(화소)	3072 × 2304
초점거리(mm)	7.7507
CCD 크기(mm)	7.2149 × 5.4102
주점위치(mm)	(3.6472, 2.7550)
K1(mm)	2.460e-003
K2(mm)	-3.632e-005
K3(mm)	0
P1(mm)	1.292e-005
P2(mm)	-8.056e-005
잔차의 RMS(화소)	0.0524
최대 잔차(화소)	0.2230

coded target이 4개 배치되어 있어서 프로그램에서 인쇄물의 방향을 자동으로 인식한다.

사용된 카메라는 일반 컴팩트 카메라와 마찬가지로 줌렌즈로 되어 있으므로 최대 광각으로 하여 카메라 검정을 실시하였고, 사진촬영도 최대 광각으로만 실시하였다. 검정용 사진의 촬영 시에는 일반적인 활용을 염두에 두고 삼각대 없이 손으로 들고 촬영을 하였다.

본 연구에서 카메라 검정을 실시한 결과는 표 1에 나타나 있다.

3.3 사진촬영 및 자료처리

사진촬영은 대상물을 중심에 두고 전후좌우 방향과 네 대각선 방향에서 총 8매을 사진을 원형으로 촬영하였다. 촬영은 일반 스냅사진을 촬영하는 것처럼 카메라를 손으로 들고 촬영하였다. 촬영시간은 오후 5시 전후로서 대상물의 전면으로 해가 비치고 있었다. 촬영 후 썸네일 영상을 검사한 결과 대상물의 배면의 경우 하단부분에 경계석 턱에 의해 가려져서 사각이 발생하였으므로 이 부분에 대해서는 5배의 사진을 근접하여 추가

촬영하였다. 본 연구에서 사진 촬영 위치는 그림 5와 같다.

사진 촬영에 앞서서 자료처리시 사진간의 접합점(tie point)의 선정을 용이하게 하기 위해 지름 9mm의 오렌지색 원형 스티커를 대상물의 특징점에 그림 6과 같이 부착을 하였으며 이는 작업의 효율을 높이기 위한 목적으로 시행되었다.

촬영된 사진은 PhotoModeler 프로그램의 프로젝트 파일을 구성하여 그림 7에 나타나 있는 작업 화면에서 자료처리를 실행하였다.

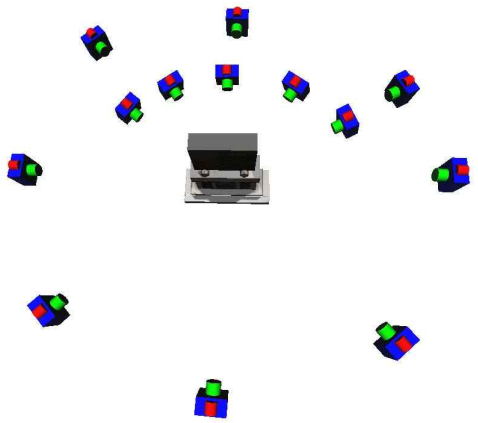

그림 5. 사진 촬영 위치

그림 6. 접합점 선정을 위해 부착된 스티커

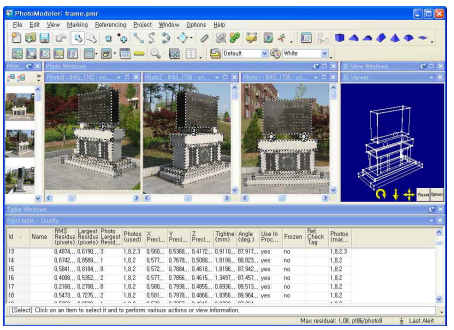

그림 7. PhotoModeler에서의 작업 화면

원형으로 구성된 8매의 사진과 후면 하단을 촬영한 5매의 보조사진 전체에서 총 132점의 접합점을 관측하여 상호표정을 실시하면서 동시에 모델좌표계 상에서 형상도화를 실시하였다. 접합점은 사진당 최소 8점에서 최대 61점으로 분포되어 있었다.

132점의 접합점에서의 RMS 잔차의 최대값은 0.894화소로서, 1화소 내의 적절한 값으로 구해졌다. 따라서 카메라 검정이 안정적으로 이루어졌으며, 상호표정도 양호하게 이루어진 것으로 추정할 수 있다. 프로그램에서는 각 사진의 상호표정인자들은 조회할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

모델좌표계 상에서 3차원 형상 모델이 완성된 후에는 실제 형상의 크기를 관측할 수 있도록 하기 위해 하나의 기선을 설정하여 실제 크기로 축척을 조정하였다. 기선은 두 개의 실린더 형상의 석조 받침대 바로 아래의 좌대의 정면 폭 길이(그림 9의 F4 선분)로 설정하였으며, 최소눈금 단위가 2mm인 일반 50m 줄자를 이용하여 관측하였다. 아울러 편의를 위해 기선을 X축으로, 높이 방향을 Z축으로, X축과 Z축의 교차점에서 배면으로의 수직방향을 Y축으로 설정하였다. 그러므로 생성된 형상 모델의 좌표계는, 축척은 실제 형상의 축척과 동일하며 좌표축과 원점은 임의로 설정되어 있는 상태이다. 이 상태에서 실제 좌표계를 부여하기 위해서는 완성된 3차원 형상 모델에서 3점의 절대표정점을 선정하고 그 점에 대한 실좌표를 부여하여 절대표정을 하여야 한다. 하지만 일반적으로 대상물의 치수에 대한 정보가 중요한 경우에는 반드시 실좌표계로 절대표정을 할 필요가 없다.

그림 8에는 촬영 대상물에 대해 제작된 최종 3차원 형상 모델이 나타나 있으며 왼쪽부터 프레임 모델, 쉐이드 모델, 텍스쳐 모델을 나타내고 있다.

4. 결과 분석 및 고찰

4.1 결과 분석

본 연구에서의 수행한 근거리 수치사진측량에 의한 3차원 형상 해석의 결과를 분석하기 위해 대상물의 네 면에서 그림 9에 나타나 있는 각각의 길이를 줄자로 직

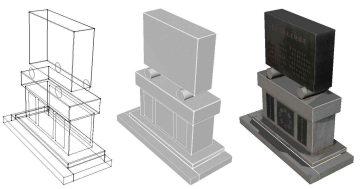

그림 8. 제작된 3차원 형상

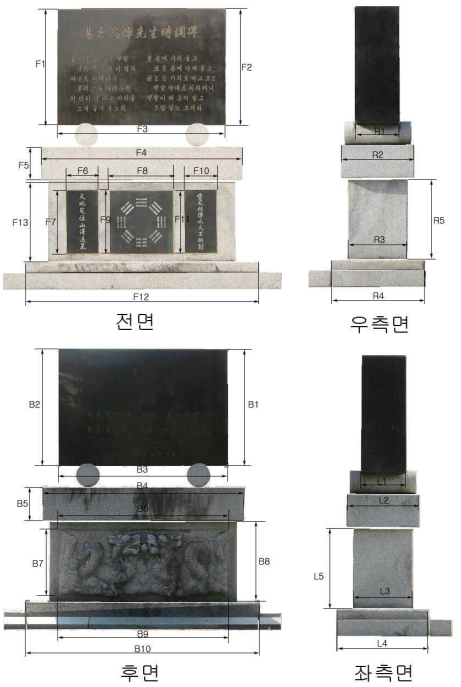

그림 9. 대상물의 관측 위치

접 관측하였다. 관측된 길이는 본 연구의 3차원 형상 해석을 통해 구해진 길이와 비교를 하였으며, 표 2에는 그 결과가 나타나 있다.

그림 9와 표 2에 나타나 있는 기선(F4)을 제외한 32개의 길이 성분에 대해 줄자로 관측한 길이와 형상 해석을 통해 구한 길이의 평균제곱근오차는 ±1.287 mm로 나타났다.

4.2 결과 고찰

본 연구의 실험 대상물에 대해 근거리 수치사진측량을 실시하여 구한 3차원 형상에서 택한 32개의 길이 성분을 최소단위가 2mm인 줄자로 대상물에서 직접 실측하여 정확도를 산정해본 결과 RMSE가 ±1.287 mm로 나타났다. 이는 실측에 사용된 줄자의 최소 눈금이 2mm라는 것을 감안하면 허용범위 내에 있는 오차라고 판단할 수 있다.

본 연구의 실험에서의 최대 촬영거리는 약 5m이며, 카메라 초점거리의 검정결과가 7.7507 mm이므로 대상물에서의 거리관측 RMSE ±1.287 mm는 CCD 면에서의 거리로 환산할 때 약 2.0 μm가 된다. 본 연구에 사용된 카메라의 CCD 크기는 약 2.3 μm이므로 이 경우에 있어서도 거리관측의 RMSE 값은 허용 범위 내에 있는 오차라고 판단할 수 있다.

표 2. 길이 비교 결과

(단위 : mm)

제원	줄자관측	형상해석	잔차
F1	1045	1044.033	0.967
F2	1052	1050.974	1.026
F3	1518	1518.638	−0.638
F4	1798	1798	기선설정
F5	288	285.379	2.621
F6	302	300.824	1.176
F7	591	589.024	1.976
F8	590	587.852	2.148
F9	588	588.497	−0.497
F10	302	303.662	−1.662
F11	588	587.756	0.244
F12	2098	2097.004	0.996
F13	726	725.864	0.136
B1	1044	1046.395	−2.395
B2	1052	1052.35	−0.35
B3	1524	1524.605	−0.605
B4	1798	1799.157	−1.157
B5	286	286.391	−0.391
B6	1538	1535.269	2.731
B7	605	604.4	0.6
B8	726	726.234	−0.234
B9	1540	1540.51	−0.51
B10	2100	2099.137	0.863
R1	402	400.75	1.25
R2	648	647.723	0.277
R3	528	527.181	0.819
R4	822	820.311	1.689
R5	724	725.555	−1.555
L1	401	401.359	−0.359
L2	646	645.182	0.818
L3	526	524.491	1.509
L4	828	827.086	0.914
L5	724	723.921	0.079
32개	RMSE		±1.287

스냅사진 촬영을 목적으로 하는 일반적인 보급형 컴팩트 디지털 카메라를 사용하였다는 것과 기준점 측량을 생략하고 대상물에서 단 하나의 길이 성분만을 관측하여 대상물의 3차원 형상을 해석하였다는 것을 감안할 때, 본 연구의 결과는 일반 보급형 컴팩트 카메라를 이용하여 근거리 사진측량을 하는 것이 정확도와 효율성 면에서 충분이 가능하다는 것을 입증한다. 따라서, 본 연구의 방법은 지형공간정보분야에서 다양한 시설물과 현상에 대한 3차원 형상을 해석을 하는데 매우 편리하게 활용될 수 있을 것이다.

실좌표계 등록이 되어 있지 않다는 점에서 본 연구의

3차원 형상해석 방법은 한계를 갖는다. 하지만 이것은 모델좌표계로 구해진 3차원 형상 중에서 3점에 대해서만 기준점 측량이 이루어진다면 충분히 해결될 수 있다. 더구나 바닥면이나 수직면 등 평면이라는 제약조건을 활용한다면 2점만으로도 실좌표계 등록이 가능하다.

본 연구의 실험 대상물과는 달리 매우 복잡한 곡면으로 이루어져 있는 형상의 경우에는, 입체시를 통해서 부점(floating point)을 활용하지 않고서는 세밀한 3차원 형상 해석이 어려울 것으로 판단된다. 근거리 사진측량의 경우 주로 수렴사진촬영에 의해 영상을 얻으므로 입체시 구현이 쉽지 않고, 입체시 상태에서의 도화는 숙달된 전문가에 의해 수행이 되어야 하므로 이는 쉽게 해결되기 어렵다. 따라서 향후에는 이러한 난제를 해결하기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 저가의 컴팩트형 디지털 카메라를 이용하여 신속하게 3차원 형상정보를 생성하기 위한 기술을 연구하고, 이를 지형공간정보 분야에 적용할 수 있도록 함으로써, 지형공간정보 분야에서 필요로 하는 3차원 형상에 대한 정보의 취득을 용이하게 하는 것을 목적하여 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 원형이 격자로 배치된 표정판에 대해 3종류의 카메라 자세에 대한 4방향의 총12매의 사진을 이용하여 일반 디지털 카메라의 자체검정을 자동으로 수행할 수 있었으며, 그 성과는 이후의 표정 결과에 비추어 볼 때 충분히 효과적임을 알 수 있었다.

둘째, 가로폭과 높이가 약 2.5m인 석조 조형물을 대상으로 하고, 대상물의 8방향에서 3.5～5m의 촬영거리로 촬영된 8매의 사진과 하단의 사각지역을 보완하기 위해 근접 촬영한 5매의 사진 등 총 13매의 사진을 컴팩트형 디지털 카메라를 손에 들고 촬영한 후, 13매의 사진 상에서 식별이 가능한 총132점의 접합점을 이용하여 상호표정, 접합표정을 수행한 결과, RMS 잔차의 최대값이 0.894화소로서 1화소 이하로 나타났으므로 비측량용 카메라를 이용한 표정 결과가 활용 가능한 수준임을 알 수 있었다.

셋째, 모델좌표계 상에서 도화된 형상모델 상의 1개의 거리 성분을 이용하여 형상 모델에 실체 축척을 부여하고 형상 모델의 4면에 골고루 분포된 32개의 선분을 선정하여 길이를 줄자로 실측한 결과 RMSE가 ±1.287 mm로 얻어졌다. 이는 CCD 상의 화소크기로 환산했을 때 1화소 이하의 크기이므로 일반 컴팩트형 디지털 카메라를 사용하여도 양호한 정확도로 형상해석을 하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 안동대학교 특성화 추진 지원 사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 강진아, 박재민, 김병국, 2008, “사진측량 기법을 사용한 광각렌즈 왜곡보정에 관한 연구”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제26권, 제2호, pp.103- 110.
2. 김기홍, 이석군, 송영선, 2006, “재난피해조사를 위한 영상촬영시스템 개발”, *한국지형공간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 제14권, 제1호, pp.75- 83.
3. 김진수, 서동주, 이종출, 2004, “수치사진측량기법을 이용한 토량환산계수 산정”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제22권, 제4호, pp.339-347.
4. 배연성, 2004, “Close-Range Photogrammetry에 의한 절대변형해석 시스템의 개발”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제22권, 제2호, pp.127-135.
5. 서동주, 이종출, 2003, “근접수치사진측량의 촬영위치에 따른 정밀도 해석”, *지형공간정보*, 한국지형공간정보학회, 제11권, 제3호, pp.3-11.
6. 서동주, 김종원, 2006, “디지털 영상을 이용한 철도선형 정보 추출”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제24권, 제5호, pp.399-408.
7. 서동주, 김가야, 2008, “영상을 이용한 교량 신축이음부의 신축량 추출”, *한국지리정보학회지*, 한국지리정보학회, 제11권, 제4호, pp.139-149.
8. 서정훈, 서동주, 이종출, 이성록, 2004, “디지털 비디오 카메라를 이용한 아스팔트 콘크리트 포장 노면 정보획득”, *지형공간정보*, 한국지형공간정보학회, 제12권, 제3호, pp.51-59.
9. 엄대용, 이성순, 2004, “3차원 수치영상을 이용한 암반사면의 불연속명 정보 추출”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제22권, 제3호, pp.233-244.
10. 오재홍, 이창노, 어양담, 2006, “비측정용 디지털 카메라의 효율적인 자체 검정을 위한 대상지 구성”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제24권, 제3호, pp.281-288.
11. 유복모, 토니 쉥크, 2003, *현대 디지털 사진 측량학*, 피어슨 에듀케이션 코리아, pp.187-199.
12. 이효성, 2008, “사진측량용 이동식 표정판을 이용한 모형지반 변형량 측정”, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제26권, 제4호, pp.323-331.
13. 전재춘, Min Ding, Sastry Shankar, 2007, “3차원 데이터상에 영상등록을 위한 카메라 외부표정 계산”, *한국측

량학회지, 한국측량학회, 제25권, 제5호, pp.375, 381.
14. 정성수, 허준, 우선규, 2008, "초점거리 변화에 따른 렌즈 왜곡의 경험적 모델링", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제26권 제1호, pp.93-100.
15. 정성혁, 박찬홍, 이재기, 2004, "산업 사진측량에 의한 자동차의 외형 정밀 측정", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제22권, 제2호, pp.179-186.
16. 정성혁, 이재기, 2004, "산업사진측량을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위 관측", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제22권, 제3호, pp.209-215.
17. 정수, 박정환, 정인성, 유복모, 2001, "대상공간 최소제곱 영상정합에 의한 지형복원", *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제21권, 제1-D호, pp.125- 134.
18. 정수, 이창노, 오재홍, 2005, "직접선형변환 매개변수로부터 사진기 매개변수의 산정", *지형공간정보*, 한국지형공간정보학회, 제13권 제2호, pp.39-43.
19. 최현, 안창환, 홍순헌, 2008, "네비게이션과 연동된 근접수치사진측량시스템 적용", *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제26권, 제5호, pp.465-473.
20. Cooper, M. A. R. and S. Robson, 1996, "Theory of Close Range Photogrammetry" In *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*(Eds. K. B. Atkinson), Whittles Publishing, pp.9-51.
21. EOS Systems, 2009, PhotoModeler - Measuring & Modeling the Real World, http://www.photomodeler.com/indexn.htm
22. Fraser, C. S. and S. Al-Ajlouni, 2006, "Zoom-Dependent Camera Calibration in Digital Close-Range Photogrammetry", *PE&RS*, ASPRS, Vol. 72, No. 9, pp.1017-1026.
23. Habib, A. and M. Morgan, 2005, "Stability Analysis and Geometric Calibration of Off-the- Shelf Digital Cameras", *PE&RS*, ASPRS, Vol. 71, No. 6, pp.733-741.
24. Maas, H. and U. Hampel, 2006, "Photogrammetric Techniques in Civil Engineering Material Testing and Structure Monitoring", *PE&RS*, ASPRS, Vol. 72, No. 1, pp.39-45.