

# 다각촬영카메라의 3차원 위치정확도 분석

## The Analysis of 3D Position Accuracy of Multi-Looking Camera

고 종 식\*      최 윤 수\*\*      장 세 진\*\*\*      이 기 욱\*\*\*\*  
 Jong Sik Go      Yoon Soo Choi      Se Jin Jang      Ki Wook Lee

**요 약** 항공사진을 이용한 3차원공간정보구축 방법이 대두됨에 따라, 효율적인 작업 방법과 활용 방안에 대한 논의가 지속되어져 오고 있다. Pictometry를 활용한 3차원공간정보구축에는 경사사진과 수직 사진이 동시에 획득되어지므로 기존 사진측량이론과 상이한 다각촬영(Multi-Looking)카메라의 작업방법에 따라 3차원 위치결정을 수행한다. 이때 지상기준점의 관측수량 및 배치는 최종성과물인 정밀정사영상(True Orthoimage)의 절대정확도에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 지상기준점 수량 및 배치에 따른 정밀정사영상의 정확도 평가를 수행하고 허용오차범위를 만족시키는 지상기준점 선점 기준을 확인하였으며 다각촬영카메라의 3차원위치결정 작업방법에서 효율적인 지상기준점 관측 방안을 제시하였다.

**키워드** : 3차원국토공간정보, 픽토메트리, 경사영상, 다각촬영카메라, 정밀정사영상

**Abstract** Since the method of generating 3D Spatial Information using aerial photographs was introduced, lots of researches on effective generation methods and applications have been performed. Nadir and oblique imagery are acquired in a same time by Pictometry system, and then 3D positioning is processed as Multi-Looking Camera procedure. In this procedure, the number of GCPs is the main factor which can affect the accuracy of true-orthoimage. In this study, 3D positioning accuracies of true-orthoimages which had been generated using various number of GCPs were estimated. Also, the standard of GCP number and distribution were proposed.

**Keywords** : 3D Spatial Information, Pictometry, Oblique Imagery, Multi-Looking Camera, True Orthoimage

### 1. 서 론

국토해양부에서는 '04~'05년까지 2년간 현실세계를 그대로 반영할 수 있는 3차원공간정보구축 기술에 대한 관심을 갖고 대전지역에 대한 시범사업을 수행하였다. 또한, 시범사업의 성과를 바탕으로 하여 '10년까지 춘천, 여수, 광양을 비롯한 모두 24개 지자체의 3차원공간정보를 구축해왔다. 이와 같이 국가적인 차원에서 도시지역에 대한 3차원공간정보를 구축하는 이유는 국민들에 대한 지리정보서비스를 혁신하고 관련업무의 고도화를 통한 효율적 국토관리의 필요성이 지속적으로 제기되고 있기 때문이다[8]. 그러나 지금까지의 3차원공간정보구축을 위한 방법은 이미 구축되어져 있는 1/1,000 수치지도, 항공레

이저측량 성과와 지상촬영을 통한 가시화자료 획득을 통하여 이루어짐으로써 변화지형에 대한 객체정보의 누락, 도화방법에서 비롯되는 부정확한 객체정보, 가시화자료의 비현실성 등에 대한 제약요소가 있으며, 이런 제약요소로 인한 현실성의 결여로 제작되어진 공간정보의 활용과 서비스 품질 개선 논의가 지속되어져 오고 있다[13].

지난 '09년 국내에 최초로 도입되어진 Pictometry 시스템은 항공기에 장착되어진 다각촬영카메라로부터 수직 및 경사영상을 촬영하고 이를 통해 3차원공간정보를 구축함으로써, 기존 구축방법에 비해 실세계와 유사한 고품질의 3차원공간정보 구축을 가능하게 한다. 이런 새로운 방법은 3차원공간정보구축에 있어 기존 구축 방법에 비해 자료제작의 효율성과

\*\*\*\* 서울시립대학교 공간정보학과 박사과정, jump-go@caas.co.kr  
 \*\*\*\* 정회원, 서울시립대학교 공간정보학과 교수, choiys@uos.ac.kr(교신저자)  
 \*\*\*\* 중앙항공(주) 지리정보연구소 수석연구원, tino0459@paran.com  
 \*\*\*\* 중앙항공(주) 지리정보연구소 연구원, lkw1404@naver.com

구축성과의 품질을 향상시켜 구축 자료의 활용을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

국내에서 최초로 시도되어진 이와 같은 항공사진에 의한 3차원국토공간정보구축 방법은 기존의 항공사진에 의한 수치지도 제작 방법과 동일하게 정확도 확보를 위해 지상 및 사진기준점 측량을 수행해야 한다. 이 과정에서 사용되는 기준점의 수량과 배치는 구축되는 최종 성과의 절대정확도에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 다각촬영카메라의 사진기준점 측량의 정확도 확보를 위한 표준화된 작업 방안이 필요하다.

본 연구에서는 Pictometry 시스템으로부터 획득되어진 수직영상과 경사영상을 사용한 3차원국토공간정보 구축의 정확도 확보를 위한 절대위치결정에 이용되는 기준점의 배치 및 수량이 최종 정확도에 미치는 영향을 다양하게 평가하고 가장 효율적인 기준점 운영 방안을 제시하는데 목적이 있다. 이에 2장에서는 다각촬영카메라에 대한 소개와 기본이론을, 3장에서는 실험 방법 및 절차, 4장에서는 결과분석 그리고 5장에서는 최종적인 결론을 서술한다.

## 2. 다각촬영카메라 소개 및 기본이론

### 2.1 다각촬영카메라 소개

다각촬영카메라는 기존의 항공사진측량용 카메라와 달리 1개 이상의 카메라를 동시에 탑재하여 공간정보를 획득하는 시스템이다. 현재 국내에서 대표적으로 운영되고 있는 다각촬영카메라시스템은 미국 Pictometry사에서 개발하여 국내 항공사진측량 전문회사에서 운영하고 있는 Pictometry Image Capture 시스템이다.

Pictometry 시스템의 특징은 1대의 사진기 몸체에 5대의 카메라를 설치하여 동시에 1장의 수직사진과 4개의 경사사진을 획득하므로, 연직방향으로 촬영된 일반 항공사진에 비해 현장에 대한 다양한 정보를 획득한다. Pictometry 시스템의 경사카메라 촬영영상은 모두 직각으로 서로 다른 방향을 바라보고 있으며 경사각은 약 40도 정도이다. 따라서 1회 관측으로 수직, 동, 서, 남, 북 방향의 영상을 생성할 수 있어 폐색 영역이 없는 공간정보를 생성할 수 있다. 또한, 수직사진에 비해 고품질의 건물정보를 획득함으로써 구축된 공간정보의 가독성과 품질을 향상시킨다. 그림 1은 Pictometry 카메라 시스템을 항공기

에 장착한 모습이다.



그림 1. Pictometry 카메라 시스템

### 2.2 다각촬영카메라에 의한 3차원위치결정

지금까지 ADS, DMC 및 UltraCam과 같은 대측척 지도제작용 디지털 카메라를 활용한 연구는 활발히 이루어져 왔다. Alhamlan et al(2004)은 삼각측량에서 ADS40자료의 지상기준점의 영향에 대하여 연구하였으며[1], Borner et al(2000)는 획득한 ADS40의 항공디지털센서 자료의 테스트를 실시하여 정확도를 입증하였고[2], Reulke et al(2000)는 ADS40의 항공디지털센서 컬러채널의 다중분광과 천연색의 최적화 관계에 대해 정립하였다[5].

국내에서는 장휘정(2007)이 항공디지털카메라 ADS40을 위한 다중영상매칭에 관한 연구를 통해 영상의 기하학적, 방사학적 특징을 조사하고, 영상으로부터 3차원 공간정보를 추출하기 위한 영상정합 전략을 제시하였다[14]. 하지만 동시에 여러 장의 사진을 취득하여 3차원위치결정을 수행하는 다각촬영카메라에 대한 연구는 이창노(2008)가 플랫폼 실험연구[12]와 2009년 지능형 국토정보기술혁신사업 이외에는 거의 전무한 실정이다.

Pictometry 시스템과 같은 다각촬영카메라의 수직카메라에 대한 경사카메라의 기하학적 관계는 6개의 외부표정요소에 의해 모델링 될 수 있으며, 그 기하학적 관계가 결정되면 경사사진에 대한 외부표정요소는 수직사진의 외부표정요소로부터 계산될 수 있다[6]. 3차원 위치를 결정하기 위해서는 수치도화기 또는 좌표측정기에 의하여 사진상에서 측정된 지점의 모델좌표 또는 사진좌표를 지상기준점 및 GPS/INS 외부표정 요소를 기준으로 지상좌표로 전환시키는 과정이 필요하다[14].

해석사진측량에서는 관측된 사진좌표, 지상기준점, 카메라 보정자료를 입력 자료로 하여 지상점의 좌표와 카메라 위치 및 자세요소를 수학적으로 계산

해 낸다. 이렇게 계산된 결과를 이용하여 항공사진의 좌표를 지상의 좌표로 전환시키게 된다[12]. 이와 같은 “노출점, 대상점, 대상점의 영상점이 한 직선을 이룬다”는 조건을 기본으로 하는데 이를 공선조건식이라 하며 다음 식(1)과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} x_a &= -f \left( \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right) \\ y_a &= -f \left( \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

관측된 사진좌표  $x_a$ 와  $y_a$ 에 각각 하나의 방정식이 성립되었다. 식의 우변에는 지상기준점의 지상좌표( $X_A, Y_A, Z_A$ )와 카메라 외부표정 6요소( $\omega, \phi, \kappa, XL, YL, ZL$ )의 총9개의 미지수로 구성되어 있다. 위 식(1)은 투영중심좌표( $X_o, Y_o, Z_o$ )는 GPS/INS로부터 처리되기 때문에, 미지수 항목은 회전량( $R_{\kappa, \phi, \omega}$ )만 존재한다[10]. 따라서 위 수식을 축척계수와 함께 정리하면 식(2)와 같이 간략히 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F &= x_a + f \frac{m_{11}\Delta X + m_{12}\Delta Y + m_{13}\Delta Z}{m_{31}\Delta X + m_{32}\Delta Y + m_{33}\Delta Z} = 0 \\ G &= y_a + f \frac{m_{21}\Delta X + m_{22}\Delta Y + m_{23}\Delta Z}{m_{31}\Delta X + m_{32}\Delta Y + m_{33}\Delta Z} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $x_a = x - x_p, y_a = y - y_p, \Delta X = X_A - X_L, \Delta Y = Y_A - Y_L, \Delta Z = Z_A - Z_L,$

$$R_{\kappa, \phi, \omega} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\kappa & \cos\phi\sin\kappa + \sin\omega\sin\phi\cos\kappa & \sin\omega\sin\phi\sin\kappa - \cos\omega\sin\phi\cos\kappa \\ -\cos\phi\sin\kappa & \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\phi\sin\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\phi\sin\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega\cos\phi & \cos\omega\cos\phi \end{bmatrix}$$

즉, 위의 공선조건식을 통해 그림 2와 같이 3차원 위치 결정을 수행한다.

다각촬영카메라는 일반적인 수직카메라와 달리 경사카메라의 상대적인 6개의 외부표정요소를 추가적으로 계산하여야 한다. 이 과정은 항공용 디지털 카메라 영상 처리와 대부분 동일한 처리 절차를 가진다. 즉, 각각의 카메라는 보정을 통해 내부표정요소를 결정하고, 경사카메라 각각에 대해 6개씩의 외부표정요소가 카메라시스템의 내부에서 계산되어진

다. 외부표정요소가 정해지면 각 영상으로부터 하나의 가상영상으로의 변환식이 계산되어 가상영상으로 투영된다. 이때 투영중심의 3차원 위치는 실내 실험을 통해 정확히 알 수 있지만, 자세에 관한 3개의 각은 요구되는 정확도에 맞게 구할 수 없으므로 항공촬영을 통해 얻어진 영상을 이용하여 계산된다. 먼저 영상들의 중복된 영역에서 매칭기법에 의해 접합점을 추출하고, 추출된 접합점을 이용하여 번들블록조정에 의해 자세에 대한 정확한 각을 계산한다[4]. 다만 수직영상과 경사영상을 동시에 계산하기 때문에 기존프레임 방식에 비해 추가되는 경사사진의 사진매수에 비례하여 접합점(Tie Point)과 기준점을 관측하여야 하므로 작업량이 크게 늘어나게 된다[3].

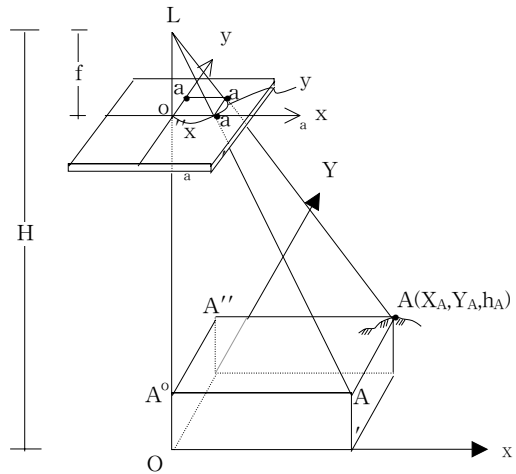


그림 2. 수직사진으로부터 지상좌표의 계산

### 3. 실험 및 평가

#### 3.1 실험 지역

기준점 배치 및 수량에 따른 최종성과의 정확도를 평가하기 위하여 실험대상지역으로 선정한 곳은 춘천시 도심지역 일대이며, 그림 3과 같다. 전체 면적은 40.3km<sup>2</sup>이며, 2009년 4, 5월에 촬영된 성과를 활용하였다.

춘천시를 대상지역으로 선정한 이유는 3차원국토공간정보구축을 위해 Pictometry 시스템을 최초로 촬영한 대상지역이며, 안정적인 정확도 확보를 위하여 1점/km<sup>2</sup>의 기준점을 선점하여 총 42점의 충분한 기준점 수량을 확보하고 있기 때문이다.

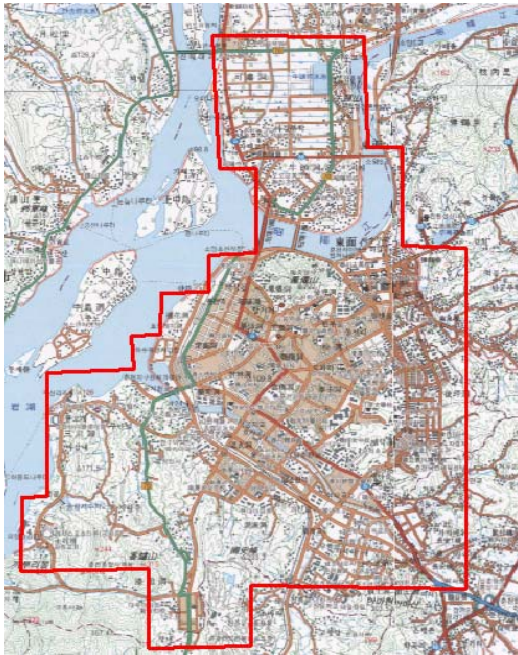


그림 3. 연구대상지역(춘천시)

### 3.2 실험 방법

3차원 위치결정에 있어 기준점은 접합점과는 달리 지상 측량 성과를 이용하여 정확한 절대위치를 결정하는 역할을 하게 된다. 지상기준점측량은 GPS 2급 기준점 측량에 준하여 평면위치를 관측하고 표고기준점은 간접수준측량에 의한 GPS Leveling을 이용하여 측정되었다.

국토지리정보원의 항공사진측량작업내규에 의하며 디지털카메라의 경우 평면기준점 수량은 4모델당 1점으로 정의되어 있었지만 경사사진과 수직사진을 동시에 3차원 위치결정을 진행 할 때 사용하여야 할 수량에 대해서는 국내에서는 논의되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 춘천시에서 촬영되어진 촬영 성과에 대한 전처리를 수행하고 Pictometry사로부터 권고 받은 기준점 수량을 균등한 간격으로 제거해가며 사진기준점측량을 수행하고 그 결과인 정밀정사영상의 정확도를 평가함으로써 최적의 기준점 수량 및 배치를 판단하고자 노력하였다.

### 3.3 촬영 및 데이터 전처리

Pictometry 시스템의 촬영계획은 County Planner라고 불리는 Pictometry사의 소프트웨어를 사용하

여 수립되어진다. 촬영된 성과는 GPS/INS 성과, 촬영영상 및 보조 자료로 구성되어지며, Build Mode라는 전처리 소프트웨어를 사용하여 전처리를 수행한다. 전처리 결과로 생성되어진 성과는 PLW Model Works사에서 개발되어진 PLW 모델링 소프트웨어로 사진기준점측량을 수행하게 된다. 일반적으로 사진기준점 측량 수행결과는 대상 영상의 각 화소에 대한 3차원 위치정보이며, 이 성과를 기반으로 3차원국토공간정보를 구축하게 된다.

3차원국토공간정보구축성과, 사진기준점 측량성과와 영상정보를 활용하여 정밀정사영상을 제작하며, 최종적인 정확도는 정밀정사영상의 정확도로 수립되어진다 할 수 있다. 따라서 구축되어진 정밀정사영상의 정확도를 다양한 기준점 배치를 통하여 평가를 수행함으로써 Pictometry 영상에 대한 적정 기준점 배치 및 수량을 평가한다. Pictometry 시스템의 일반적인 전처리단계는 그림 4와 같다.



그림 4. 데이터 처리절차

전처리 소프트웨어를 사용하여 처리한다. 촬영시 획득된 GPS/INS데이터와 GPS기준국 데이터를 통해 값을 획득하고 각 영상에 적용 가능한 SBET형태로 하며, 주기적인 캘리브레이션 처리를 통해 보정된 카메라 보정값을 적용하여 오차를 제거한다. 이와 같은 전처리작업을 통해 3차원위치결정을 위한 준비단계를 마친다. 위 데이터처리는 국토해양부에서 제작한 작업규정을 준용하여 진행한다.

3차원위치결정 단계에서는 수직사진과 경사사진의 각 영상간의 결함을 위한 접합점(Tie Point)관측

을 수행한다. 접합점은 중복된 영상에서 명확히 구분되는 곳(예를 들어, 주차선의 모서리, 안전지대 표시선의 모서리나 도로상에 설치된 맨홀 등)에 관측하였으며, 한 점당 최소 3장 이상의 영상에 대해서 동시 관측하였다. 또한, 접합점은 모든 영상에서 균등하게 분포 될 수 있도록 그림 5와 같이 관측을 수행하였다.

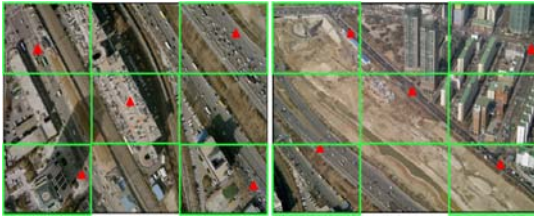


그림 5. 접합점 배치도

본 연구에서 측정된 접합점 수는 약 6,039점이며, 접합점 계산을 수행하여 최대 허용오차(RMSE 1.5 화소 이하)를 벗어나는지 확인하였다. 만약 허용오차를 벗어나는 경우에는 해당 접합점을 재관측하여 허용오차 이내에 만족하도록 조정하였다. 본 연구에서의 접합점 오차는 그림 6과 같이 0.52 화소로 나타났으며, 허용오차 이내의 범위를 만족하였다.

Image	Flag	No. Ties	Comp	Scale	# Est	Spread	Core Err (mm)	Plan Err (pix)	Disabled	# Abs	Abs Err (mm)
Wfhsc001007img0...	no	no	no	23	5	0.415	0.685	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	26	5	0.489	1.193	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	13	5	0.599	1.017	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	27	5	0.494	0.522	no	1	0.056	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	27	5	0.414	0.813	no	1	0.056	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	27	5	0.290	0.859	no	1	0.056	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	27	5	0.466	0.963	no	1	0.056	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	23	5	0.407	0.708	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	19	5	0.445	0.894	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	14	5	0.542	0.979	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	16	4	0.431	0.847	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	34	5	0.477	0.870	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	29	5	0.424	0.770	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	19	5	0.504	0.969	no	0	n/a	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	37	5	0.496	0.989	no	1	0.056	
Wfhsc001007img0...	no	no	no	32	5	0.419	0.834	no	1	0.056	

그림 6. 접합점 계산결과

접합점에 대한 관측이 끝나면 측정된 지상기준점에 대한 영상좌표를 측정하여야 한다. 본 연구에서는 지상기준점의 배치 및 관측 수량에 따라 성과물의 정확도 평가를 수행하므로 관측의 정확도를 향상시키기 위하여 원 해상도의 영상을 두 배로 확대하여 총 4회 이상의 관측을 실시하여 평균값을 취하였다.

기준점관측이 완료되면 계산을 수행하여 허용오차 범위 내에 수렴하는지 여부를 확인한다. 허용오차가 벗어나는 지상기준점이 있을 경우 해당 영상에서 재관측을 수행하여 허용오차 이내에 만족하게 조정하였다.

그림 7은 본 연구에서 사용된 접합점과 기준점의 오차를 3차원 윈도우에 나타낸 것으로 실제값보다 과장해서 표현한 그림이다. 여기서 녹색으로 표시된 선은 지표면에 선점한 것을 나타내며, 적색으로 표시된 선은 건물이나 구조물과 같이 일정 표고를 갖고 있는 지점에 선점한 것을 나타낸다. 점검되어진 오차가 허용오차 내에 만족하게 되면 3차원 객체 모델링 과정을 수행한다.

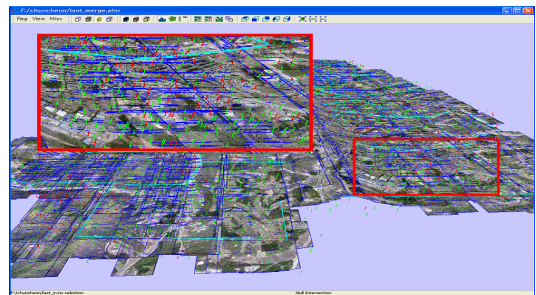


그림 7. 접합점 및 지상기준점 오차

### 3.4 3차원국토공간정보구축 및 정밀정사영상제작

3차원국토공간정보구축은 사진기준점측량을 수행한 수직사진과 경사사진을 대상으로 PLW Model-Works라는 모델링 소프트웨어를 사용하여 추출한다. 3차원국토공간정보구축 작업규정의 LOD(Level Of Detail) 4수준의 공간정보를 생성하고 생성되어진 객체를 기반으로 정밀정사영상을 제작하게 된다.

정밀정사영상은 일반적인 정사영상과 다르게 지형을 비롯한 건물에 대한 기복변위 오차를 보정한 영상으로 수치지도와 같은 완전한 정사투영 영상을 말한다. 정밀정사영상이 수치지도와의 완전한 결합이 이루어짐으로써 영상 활용측면에서 보다 정확하고 활용성 높은 성과를 제작할 수 있게 된다. 그림 8은 정밀정사영상과 수치지도를 중첩한 모습이다.



그림 8. 정밀정사영상과 수치지도의 중첩분석

### 3.5 기준점 배치 조절에 따른 정확도 평가

연구대상지역의 면적이 약 40km<sup>2</sup>이므로 기준점의 배치 및 수량은 권고 받은 1점/km<sup>2</sup>을 적용하여 최대 40점을 적용하고 단계적으로 기준점 수량을 절반씩 감소시킨 20점, 10점, 5점을 선택하여 적용하였다. 대상지역의 면적을 기준으로 한다면, 각각 1km<sup>2</sup>, 2km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>, 8km<sup>2</sup> 당 1점을 기준으로 하여 지상기준점을 적용한 것과 동일한 것이다. 영상간 접합점은 각각의 방법 모두 같은 영상 자료들을 활용하였으므로 동일하게 사용하였다. 실험되어진 4가지 방법에 따른 기준점의 대략적인 위치 및 수량은 그림 9와 같다. 각각의 사진기준점측량 성과는 기준점의 수량과 배치에 따라 상이한 정확도를 보이게 되는데 그 결과는 사진기준점측량 성과를 이용하여 제작되어지는 정밀정사영상의 정확도에 영향을 주게 되므로 제작 정사영상의 정확도 평가를 통해 적정 기준점의 배치 및 수량을 제시할 수 있게 된다. 정밀정사영상 제작을 위해 사용되어진 소프트웨어는 PLW Model-Works이다.

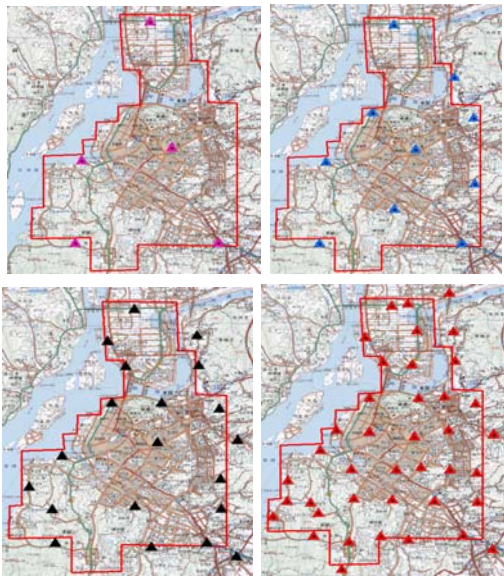


그림 9. 기준점 수량별 분포도

제작되어진 정밀정사영상의 정확도 평가는 일반적으로 지자체에서 가장 대축적으로 활용하고, 다양한 자료와 중첩 운영되는 1/1,000 수치지도를 기준자료로 하여 동일 지역에 대한 좌표를 비교하여 평가한다. 정확도 평가는 제작되어진 정밀정사영상으로부

터 명확하게 식별되어지는 5점을 선별하여 실시하였으며, 각 점의 분포는 그림 10과 같다. 일반적인 검사점(Check Point)의 위치는 3차원공간정보 구축대상인 건물의 모서리 점을 사용한다. 또한, 검사점에서 높이값(H)에 대한 정확도 평가를 동시에 수행하기 위하여 해당지역의 도화 원도를 추가적으로 활용하여 X, Y, Z의 3차원 정확도 분석을 수행하였다.



그림 10. 검사점의 분포 및 예시

### 4. 결과분석

표 1은 기준점 수량 및 배치의 조절에 따른 정밀정사영상의 정확도 비교결과이며, 각 영상의 좌표와 수치지도 좌표간의 오차를 계산한 것이다. 정확도평가 결과를 보면 지상기준점을 40점 사용한 경우 평면정확도는 약 18.2cm, 표고정확도는 약 7.7cm의 오차를 보였다.

지상기준점 20점을 사용한 경우는 평면정확도 19.9cm, 표고정확도 13.8cm였으며, 지상기준점을 10점 사용한 경우에는 평면정확도 29.7cm, 표고정확도 15.6cm였다. 마지막으로 지상기준점 5점을 사용한 경우 평면정확도 40.1cm, 표고 정확도 22.5cm의 오차가 발생하여 가장 높은 오차를 보였다. 표 1의 기준점 분포에 따른 오차 X, Y를 2차원 분포도로 표현하면 그림 11과 같다. 지상기준점 사용수가 적을수록 상대적으로 오차범위에서 벗어나는 것을 볼 수 있으며, 또한 상대적인 오차 크기의 차이에도 불구하고 전반적으로 1/1,000 수치지도 수준의 범위를 만족하는 것을 알 수 있다.

국토해양부 국토지리정보원에서 고시한 영상지도 제작에 관한 작업규정에 따르면 공간해상도 10m급 이하에서는 2화소이내의 정확도를 확보하여야 한다. 따라서 본 연구에서 연구대상지역을 지상해상도 10cm급으로 촬영하였으므로 오차허용범위는 20cm 이내로 볼 수 있다.

표 1. 기준점수량에 따른 수평, 수직위치 정확도 평가

ID	1/1,000 수치지도			정밀정사영상(5점)			오차(m)			평면거리
	X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	
1	265246.932	491883.429	85.715	265247.619	491883.402	86.132	-0.687	0.027	-0.417	0.687
2	263899.988	490215.323	81.030	263899.892	490215.518	81.187	0.096	-0.195	-0.157	0.217
3	265928.034	486518.388	113.490	265928.227	486518.382	113.550	-0.193	0.006	-0.060	0.193
4	260887.833	483972.198	100.390	260888.003	483972.191	100.394	-0.170	0.007	-0.004	0.170
5	266286.941	482548.667	163.660	266287.005	482548.435	163.662	-0.064	0.232	-0.002	0.241
표준편차							0.371	0.152	0.225	0.401

ID	1/1,000 수치지도			정밀정사영상(10점)			오차(m)			평면거리
	X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	
1	265246.932	491883.429	85.715	265247.384	491883.340	85.894	-0.452	0.090	-0.179	0.460
2	263899.988	490215.323	81.030	263900.112	490215.487	80.983	-0.125	-0.164	0.047	0.206
3	265928.034	486518.388	113.490	265928.199	486518.325	113.467	-0.165	0.063	0.023	0.177
4	260887.833	483972.198	100.390	260887.968	483972.281	100.466	-0.135	-0.083	-0.076	0.158
5	266286.941	482548.667	163.660	266286.936	482548.872	163.899	0.005	-0.205	-0.239	0.205
표준편차							0.257	0.148	0.156	0.297

ID	1/1,000 수치지도			정밀정사영상(20점)			오차(m)			평면거리
	X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	
1	265246.932	491883.429	85.715	265247.237	491883.311	85.720	-0.305	0.118	-0.005	0.327
2	263899.988	490215.323	81.030	263900.065	490215.431	80.880	-0.077	-0.109	0.150	0.133
3	265928.034	486518.388	113.490	265928.163	486518.322	113.429	-0.130	0.065	0.061	0.145
4	260887.833	483972.198	100.390	260887.907	483972.277	100.401	-0.074	-0.079	-0.011	0.108
5	266286.941	482548.667	163.660	266286.925	482548.668	163.884	0.016	-0.002	-0.224	0.017
표준편차							0.174	0.095	0.138	0.199

ID	1/1,000 수치지도			정밀정사영상(40점)			오차(m)			평면거리
	X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	
1	265246.932	491883.429	85.715	265247.153	491883.333	85.596	-0.221	0.097	0.119	0.241
2	263899.988	490215.323	81.030	263899.862	490215.459	81.099	0.126	-0.136	-0.069	0.185
3	265928.034	486518.388	113.490	265928.143	486518.360	113.445	-0.109	0.027	0.045	0.113
4	260887.833	483972.198	100.390	260887.976	483972.160	100.336	-0.142	0.038	0.054	0.147
5	266286.941	482548.667	163.660	266287.004	482548.635	163.661	-0.063	0.032	-0.001	0.071
표준편차							0.159	0.088	0.077	0.182

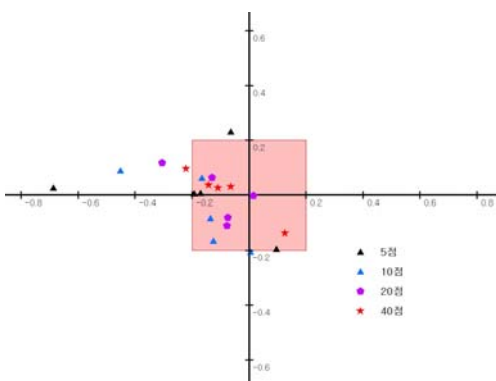


그림 11. 기준점 수량 변화에 따른 오차 분포도 (단위 : m)

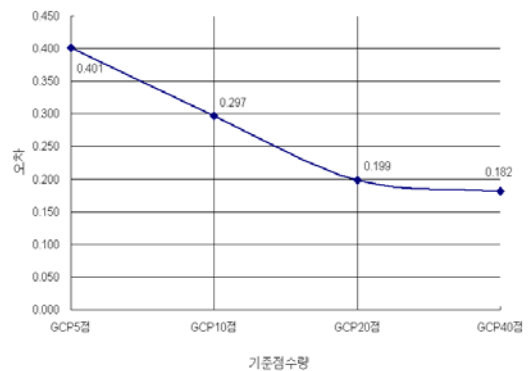


그림 12. 기준점 수의 변화에 따른 평면거리오차 (단위 : m)

2006년도에 개정된 항공사진측량작업내규에도 1/1,000 수치지도 기준으로 평면위차 20cm, 표고점 15cm의 표준편차를 허용하고 있으며, 최대오차는 평면위차 40cm, 표고점 30cm까지 인정하고 있다[7].

따라서 본 연구에서 실험한 4가지 경우 중 지상기준점을 1km<sup>2</sup>당 1점, 혹은 2km<sup>2</sup>당 1점을 기준으로 작업한 경우인 지상기준점 40점, 20점의 사용 경우가 오차 허용범위 내에 포함된다고 할 수 있다. 그림 12는 각 기준점 수량 및 배치에 따른 오차를 그래프로 보여주고 있다.

그림 13은 기준점 수량의 변화에 따른 오차변화량을 보여주고 있다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 기준점 수량은 5점에서 10점으로 변화되어지는 경우 오차변화량은 0.104, 10점에서 20점으로 변화되는 경우는 0.098, 20점에서 40점으로 변화되는 경우 0.017로 나타났다. 이는 기준점 수량을 경제적으로 조절하는데 있어 오차를 최소화 할 수 있는 방안을 알려준다. 일반적으로 기준점의 배치는 대상지역에 고르게 분포할 때 오차를 최소화 할 수 있으며, 그 중에서도 비용 및 효과 측면에서 권고 받은 1km<sup>2</sup>당 1점의 기준점 수량 및 배치를 2km<sup>2</sup> 당 1점으로 조절하여 배치하여도 그 정확도가 1/1,000 수치지도의 허용 오차수준을 만족 할 수 있다는 것을 알려준다.

최근 논의되고 있는 3차원국토공간정보구축에 있어 위치정확도의 기준을 1/1,000 수치지도 수준으로 하고 있고 다각촬영카메라가 비사진측량용 카메라로 분류되고 있어 실험결과만을 기준으로 Pictometry 시스템에 대한 기준점 수량 및 배치를 제시하는데 다소 무리가 따를 수 있다. 따라서 본 연구에서는 위의 실험 평가를 기반으로 하되 연구대상 지역의 특성과 작업상의 제약 등을 감안하여 적당한 안전율을 고려한 대안을 제시하였다.

본 연구에서 제안하는 Pictometry 시스템의 최적 지상기준점 수량 및 배치 방안은 기존의 지상기준점 선점 기준을 고려하여 대상지역 외곽의 경우에는 1km<sup>2</sup>당 1점을 선점하고 대상지역 내부에는 2km<sup>2</sup>당 1점을 선점하여 작업을 진행하는 것이다. 이와 같은 작업방법은 기존방법에 비해 약 25% 이상의 작업의 효율을 증대시키고 기준점 수량을 감소시켜 3차원국토공간정보구축과 정밀정사영상 제작을 위한 비용 절감을 모색할 수 있는 기준으로 고려되어질 수 있을 것이다.

그림 14는 최적의 기준점 배치 및 수량에 따라 분

포되어진 연구대상지역의 기준점 배치 현황을 보여준다. 기준점 수량은 30점으로 초기 권고 사항인 42점에 비해 12점을 감소시켰으며 정확도 측면에서는 20점 이상을 설치함으로써 1/1,000 수준의 정확도를 충분히 확보 할 수 있게 된다.

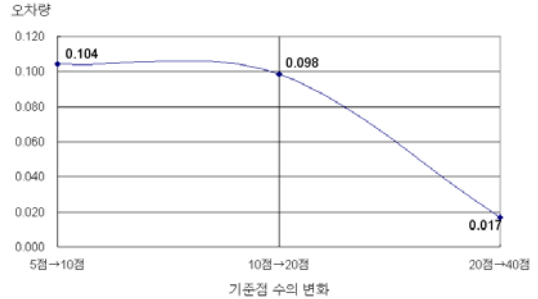


그림 13. 기준점 수의 변화에 따른 오차변화량 (단위 : m)

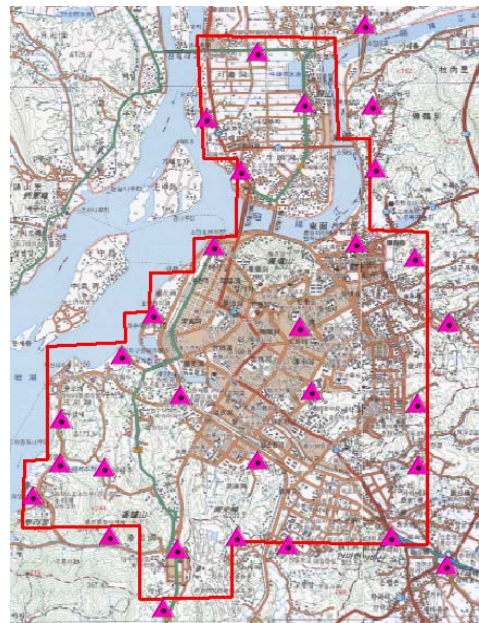


그림 14. 최적 기준점 배치 및 수량

#### 4. 결론

본 연구에서는 최근 국내 최초로 3차원국토공간정보구축에 활용되어지고 있는 Pictometry 시스템과 같은 다각촬영카메라의 적정 기준점 배치와 수량을 조절하는 방법을 4가지 사례로 평가하였다. 평가 결과는 Pictometry 시스템을 활용한 공간정보구축이



적정 수준의 기준점 수량과 배치를 고려한다면 1/1,000 수준의 고품질 공간정보 구축이 가능할 수 있다는 것이다. 이러한 활용 가능성을 기반으로 수직사진과 경사사진의 3차원 위치결정에 이용하는 기준점의 배치 및 수량이 정확도에 미치는 영향을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 다각촬영카메라를 이용한 3차원 위치결정에서 기준점의 수량은 최종성과물의 절대 정확도에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 1km<sup>2</sup>, 2km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>, 8km<sup>2</sup> 당 1점을 기준으로 조절하며 기준점 수량이 정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과 1km<sup>2</sup> 또는 2km<sup>2</sup> 당 1점의 기준점을 사용하였을 때 허용오차범위인 1/1,000 수치지도 허용정확도를 확보할 수 있었다.

2. 지상기준점 관측을 1km<sup>2</sup>, 2km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>, 8km<sup>2</sup> 당 1점으로 조정해가며 제작된 4가지 정밀정사영상의 오차량을 분석한 결과 1km<sup>2</sup>에서 2km<sup>2</sup>당 1점인 20점에서 40점으로 줄일 때 기준점 감소량에 대한 오차변화량이 상대적으로 작아 일반적인 최적 기준점 배치는 2km<sup>2</sup> 당 1점을 사용하는 경우로 분석되었다.

3. 그러나, 다각촬영카메라가 기하학적으로 과대오차를 수반하는 경사영상을 사용함과 지역특성의 안정성을 고려하였을 때 기준점의 최적 배치 및 수량의 선택에 있어 본 연구에서 제시하는 최적의 안은 대상지역 외곽에는 1km<sup>2</sup>당 1점을, 내부에는 2km<sup>2</sup>당 1점을 선점하여 작업을 진행하는 것으로 제시하였다.

향후 3차원국토공간정보구축 사업이 3차원가시화뿐만 아니라 수치지도의 수정, (정밀)정사영상의 제작, 지하체업무 효율화, 재난방재 등 광범위한 범위에 활용될 것으로 사료된다. 본 연구의 결과를 기반으로 한 최적의 기준점 배치 및 수량을 고려한다면 경제성 측면의 작업능력 향상과 작업 기간 단축을 가져올 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] S. Alhamlan, J. P. Mills, A. S. Walker, T. Saks, 2004. "The Influence of Ground Control Points in the Triangulation of Leica ADS40 Data," International Archives of photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 35, No. 1, pp. 495-500.

[2] A. Borner, W. Kirchhofer, B. Michalevich, R.

Reulke, M. Scheele, K. Scheibe, U. Tempelmann, 2000, "Test results, obtained with the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor," International Archives of photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, Vol. 33, Part B4, pp. 871-878.

[3] G. Grenzdörffer, 2004, "Digital Low-Cost Remote Sensing with PFIFF, the Integrated Digital Remote Sensing System", XX ISPRS Congress 12.7~23.7.2004, Istanbul Vol. XXXV, Part B, Commission I, pp. 235-239.

[4] PLW, 2009, Homepage of Precision LightWorks Inc. <http://www.precisionlightworks.com> link accessed April 2009.

[5] R Reulke, S. Becker, N. Haala, U. Tempelmann, 2006, "Determination and improvement of spatial resolution of the CCD\_line\_scanner system ADS 40," International Society for Photo-grammetry and Remote Sensing, Vol 60, No. 2, pp. 81-90.

[6] Xiaoguang Wang, Stefano Totaro, Franck Taillandier, Allen R. Hanson, and Seth Teller, 2002, "RECOVERING FACADE TEXTURE AND MICROSTRUCTURE FROM REAL-WORLD IMAGES", Proc. ISPRS Commission III Symposium on Photo-grammetric Computer Vision, Graz, Austria, September 2002, pp. A381-386

[7] 국토지리정보원, 2006, "항공사진측량작업내규".

[8] 국토해양부, 2008, "3차원 국토공간정보구축 효율성 향상방안 연구".

[9] 국토해양부, 2009, "유비쿼터스 국토경영을 위한 3차원 공간정보구축".

[10] 김경중, 2008, "디지털카메라 ADS40의 사진기준점 측량의 최적 기준점에 관한 연구", 석사학위논문, 경기대학교.

[11] 김계동, 박정현, 이용욱, 2009, "디지털카메라를 이용한 사진기준점측량의 정확도 향상에 관한 연구", 한국측량학회지, 제27권 2호, pp. 203-211.

[12] 이창노, 이병길, 어양담, 2008, "비측정용 카메라를 이용한 Multi-Looking카메라의 플랫폼 캘리브레이션 실험 연구", 한국측량학회지, 제26권 제 4호 pp. 351-357.

- [13] 장세진, 진기호, 김상봉, 신동준, 2009, “다방향 영상시스템을 이용한 정밀 3차원객체채 생성 연구”, 감시정찰정보학술대회.
- [14] 장휘정, 2007, “항공디지털카메라 ADS40을 위한 다중영상매칭에 관한 연구”, 박사학위논문, 인하대학교.
- [15] 주인학, 최경호, 유재준, 황태현, 이종훈, 2002, “공간정보에 기반한 도로 데이터 자동생성 방법”, 한국공간정보시스템학회논문지, 제4권 제2호 pp. 55-64
- [16] 홍상기, 조성윤, 2009, “지능형 도시공간정보 통합 플랫폼 참조모델 개발 연구”, 한국공간정보시스템학회논문지, 제11권 제4호 pp. 19-27

---

논문접수 : 2011.04.13  
수 정 일 : 1차 2011.06.20 / 2차 2011.06.29  
심사완료 : 2011.06.29



고 종 식

2004년 서울시립대학원 공학석사  
2006년 측량 및 지형공간정보기술사  
2008년 서울시립대학원 박사수료  
1991년 ~현재 중앙항업주식회사 상무이사

관심분야는 사진측량



최 윤 수

1992년 성균관대학교 대학원 공학박사  
1994년 측량 및 지형공간정보기술사  
2008년 ~현재 한국공간정보학회 부회장  
2001년 ~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 정교수

관심분야는 지적, 사진측량



장 세 진

2006년 경희대학교 정보통신대학원 공학박사  
2006년 측량 및 지형공간정보기술사  
2001년 ~현재 중앙항업주식회사 지리정보연구소 수석연구원

관심분야는 사진측량, 원격탐사



이 기 옥

2006년 경희대학교 대학원 이학석사  
2006년 ~2010년 중앙항업주식회사 지리정보연구소 연구원  
2010년 ~현재 텅크웨어(주) 공간컨텐츠개발부 주임연구원

관심분야는 사진측량