

다중센서 결합에 의한 외부표정요소 직접결정기법에 관한 연구

송연경^{1*}

A Study on Direct Georeferencing by Combined Multi-sensor

Youn-Kyung SONG^{1*}

요 약

다중센서 결합에 의한 외부표정요소 결정기법은 항공기에 탑재한 GPS 와 INS로 센서의 위치와 회전각을 정확히 결정함으로써 외부표정요소 결정을 위한 지상기준점 측량을 생략하거나 또는 최소한의 기준점만을 사용하여 외부표정요소를 결정할 수 있으며, 이에 따라 지형도 제작에 대한 시간과 경비를 크게 절감할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다중센서 결합과 동시에 CCD 카메라를 탑재하여 동시에 측량을 하고, 외부표정요소 직접결정 기법에 의한 CCD 영상으로 수치정사영상을 제작하였다. 본 연구에서 제작된 결과물에 대한 정확도 검증을 위하여 GPS로 측량한 지상검사점을 기본으로 하여 외부표정요소 직접결정 기법에 의하여 제작된 수치정사영상의 위치 정확도를 평가하였다. 수치정사영상은 소수의 기준점을 사용한 경우와 기준점을 사용하지 않은 경우의 두 가지로 제작하였다. 다중센서에 의한 제작된 수치정사영상의 정확도는 소수의 기준점을 사용한 경우, 축척 1:1,000 지도의 정확도 기준을 만족시켰으며, 기준점이 없이 제작된 정사영상의 정확도는 축척 1:5,000 지도의 정확도 기준을 만족함을 알 수 있었다.

주요어: 다중센서 결합, 외부표정요소 직접결정, CCD 영상, 수치정사영상

ABSTRACT

Direct Georeferencing by combined multi-sensor based on the direct measurement of the projection centers and rotation angle of sensor through loading the GPS and INS in aircraft. The method of combined multi-sensor can offer us to acquire the exterior orientation parameters with only minimum GCPs, even the ground control process could be completely skipped. Consequently, It is possible extreme to reduce the time and expense for the mapping process. In this study, a CCD camera is simultaneously used in combined multi-sensor surveying, and acquired CCD image through Direct Georeferencing produce digital orthoimage. In this process, methods of combining sensor and digital orthoimage are examined and estimated. For the comparison of the positioning accuracy digital

2005년 2월 20일 접수 Received on February 20, 2005 / 2005년 3월 28일 심사완료 Accepted on March 28, 2005
1 동아대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Dong-A University
* 연락처 E-mail: aaong@hanmail.net

orthoimage through Direct Georeferencing, GCPs determined by GPS surveying are used. Two digital orthoimage are produced; one with a few GCP and the other without them. The accuracy of orthoimages produced through combined multi-sensor with GCPs meets that of 1:1,000 maps. Without GCPs, it meets that of 1:5,000 maps.

KEYWORDS: Combined Multi-sensor, Direct Georeferencing, CCD Image, Digital Orthoimage

서론

3차원 지형정보를 수집·처리하고 가공하는 기법들이 발달함에 따라 다양한 시스템들이 개발되고 있으며 현재 항공기, 인공위성 및 차량 등을 이용하여 지형정보를 취득하는 매핑 센서들이 개발되고 있다. 외부표정요소 직접결정(direct georeferencing) 기법은 지형공간정보를 취득하는 매핑 센서에 대한 여섯 개의 외부표정요소($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) 즉, 촬영이나 센싱 당시 탑재된 센서의 위치와 회전각을 현장에서 직접 결정하여 모든 영상점들을 지상의 대응점에 매칭시키는 작업을 말한다(박운용 등, 2004).

이러한 외부표정요소 직접결정 기법의 개념에는 실제적으로 크게 영상의 기하보정 작업과 기하보정된 영상의 표시를 위한 지도투영면으로의 좌표변환 작업과정을 거치게 된다. 외부표정요소 직접결정 작업이 완전히 구현되면 기존의 외부표정요소결정 작업에 비해 지상측량작업과 사진기준점측량 작업이 필요 없으며, 영상자료로부터 직접 지상의 위치결정이 가능하고, 타 센서에 의해 수집된 자료와의 연계활용이 편리하다는 장점들이 있다. 또한 수집된 자료의 센서 좌표계와 독립적인 좌표계로 신속히 표현할 수 있다.

현재 외부표정요소 직접결정은 주로 GPS와 INS를 통합하여 수행되고 있으며, 이의 기본원리는 그림 1과 같이 GPS로부터 센서의 절대 위치정보를 얻고, 시간이 경과함에 따라 변화하는 센서의 위치 및 회전요소는 INS에 의하여 구한다.



FIGURE 1. Principle of direct georeferencing

따라서 본 연구에서는 항공기에 GPS와 INS를 탑재하여 CCD 카메라 촬영을 실시하여 다중센서 결합에 의해 외부표정요소를 직접 결정하는 기법으로 소수의 기준점과 무기준점으로 정사영상을 제작하였다. 정확도 검증을 위하여 GPS로 측량한 지상 검사점을 기본으로 하여 외부표정요소 직접결정 기법에 의하여 제작된 수치정사영상의 위치 정확도를 평가하였다.

다중센서의 결합

GPS/INS 통합시스템을 이용한 사진기준점측량의 수행시 초기에는 항공사진측량용 카메라를 이용하였으나 최근에는 푸쉬브room(pushbroom) 방식의 선형 스캐너와 SAR(synthetic aperture radar)와 같은 다양한 영상 매핑센서들도 활용하고 있다. 특히, 선형 CCD의 경우 푸쉬브room 방식으로 촬영하며 직접 수치 형태의 자료취득이 가능하므로 실시간 자료처리가 가능할 뿐 아니라 다중분광영상 취득이 가능하여 각종 주제도 및 식생 분석이 가능하다. 또한 CCD는 항공기의 비행 경로에 연직 방향으로 지형을 스캐닝함으로써 스트립 입체영상을 얻을 수 있다. CCD 배열은

보통 3열 방식으로 구성되고, 중심라인은 연직하방을 촬영하며, 다른 두 라인은 각각 전·후로 기울여 촬영함으로써 자동으로 스트립 입체영상을 얻을 수 있다. 따라서 GPS/INS 통합시스템을 이용할 경우 각 스캐닝 라인에 대한 시간 정보와 위치 및 회전각 정보가 얻어지기 때문에 CCD 영상을 효율적으로 처리할 수 있다. 그림 2는 외부표정요소의 직접 결정을 위한 GPS, INS와 CCD 카메라의 배치를 보여준다(Cramer 등, 2004; Haala 등, 2004).

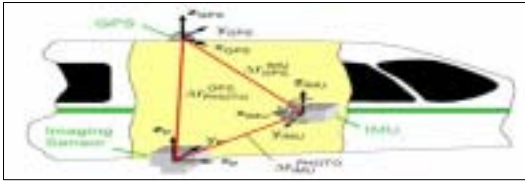


FIGURE 2. Sensor configuration for direct georeferencing

결합된 외부표정요소의 회전각은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}\overline{\omega}_i &= \omega_i + \omega_0 + \omega_1 \cdot t \\ \overline{\phi}_i &= \phi_i + \phi_0 + \phi_1 \cdot t \\ \overline{\chi}_i &= \chi_i + \chi_0 + \chi_1 \cdot t\end{aligned}\quad (1)$$

여기서, $\overline{\omega}_i, \overline{\phi}_i, \overline{\chi}_i$: 보정된 회전각
 ω_i, ϕ_i, χ_i : 관측된 회전각
 ω_0, ϕ_0, χ_0 : 일정한 이격각
 ω_1, ϕ_1, χ_1 : 편류각 오차

영상좌표를 지도좌표의 투영중심 좌표로 나타내는 일반적인 공선조건식은 다음 식 (2)와 같다.

$$\overline{X}^{map} = \overline{X}_0^{map} + mR_{photo}^{map} \cdot \overline{x}^{photo} \quad (2)$$

$$\overline{X}_0^{map} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}, \quad \overline{X}^{map} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix},$$

$$R_{photo}^{map} = R_{photo}^{map}(\omega, \phi, \chi), \quad \overline{x}^{photo} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ -c \end{pmatrix}$$

여기서, \overline{X}_0^{map} : 지도 좌표의 투영중심좌표

\overline{X}^{map} : 지도좌표의 객체점 좌표

R_{photo}^{map} : 영상에서 지도좌표로의 회전행렬

\overline{x}^{photo} : 영상좌표에서 영상점의 좌표

m : 축척계수

식 (2)를 GPS와 INS 항을 추가하여 카메라와 결합하여 수정하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}\overline{X}^{map} &= \overline{X}_0^{map} + R_{INS}^{map} \\ &\cdot [mR_{photo}^{map} \cdot \overline{x}^{photo} + \Delta \overline{X}_{Cam}^{INS} - \Delta \overline{X}_{GPS}^{INS}]\end{aligned}\quad (3)$$

$$\overline{X}_0^{map} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}, \quad \overline{X}^{map} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix},$$

$$\Delta \overline{X}_{Cam}^{INS} = \begin{pmatrix} \Delta X_{cam} \\ \Delta Y_{cam} \\ \Delta Z_{cam} \end{pmatrix}, \quad \Delta \overline{X}_{GPS}^{INS} = \begin{pmatrix} \Delta X_{GPS} \\ \Delta Y_{GPS} \\ \Delta Z_{GPS} \end{pmatrix},$$

$$R_{INS}^{map} = R_{photo}^{map}(\overline{\omega}, \overline{\phi}, \overline{\chi}),$$

$$R_{photo}^{INS} = R_{photo}^{INS}(\delta_\omega, \delta_\phi, \delta_\chi), \quad \overline{x}^{photo} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ -c \end{pmatrix}$$

여기서,

\overline{X}_0^{map} : 지도좌표에서 GPS 안테나의 중심좌표

\overline{X}^{map} : 지도좌표에서 객체점의 좌표

$\Delta \overline{X}_{Cam}^{INS}$: 카메라와 INS의 이격거리

$\Delta \overline{X}_{GPS}^{INS}$: 카메라와 GPS의 이격거리

R_{INS}^{map} : 지도좌표에서 INS로의 회전행렬

R_{photo}^{INS} : INS에서 카메라 좌표로의 회전행렬

\overline{x}^{photo} : 영상좌표의 영상점의 좌표

m : 축척계수

또한 부가의 변수로 이용되는 편류 매개변수는 경우에 따라서 블록 단위, 스트립 단위 또는 부 스트립 단위별로 유연하게 도입이 가능하다. 일반적으로 신호차단이 발생하는 블록은 불가능하므로 주로 스트립별로 편류 매개변수를 도입하게 된다. 부가변수의 도입은 때때로 미지수들 간의 강한 상관관계를 유도하여 결국 정규방정식을 특이행렬로 이끌어 조정을 어렵게 만들기도 한다. 부가변수의 관측값으로는 GPS 위치 외에도 표고 정보나 기타의 측지 관측값들, 예로서 거리, 방향각 등을 결합 시 추가의 관측값으로 활용할 수가 있다.

외부표정요소 직접결정에 의한 정사영상의 생성

1. 자료 획득

측량대상지역은 마산지역으로, 실험대상 지역 선정 시에 산악지, 도심지, 항구 등이 모두 포함되도록 계획하였다. 촬영대상면적은 마산지역의 약 20km²으로 측량용 항공기는 Cessna 208, GPS는 Novatel Millenium 2000, INS는 Applanix LN 200으로 구성되어 있다. CCD 영상은 항공기에 디지털 카메라 DC 4K02으로 획득하였고 촬영과 동시에 레이저 시스템인 ALTM 3070을 이용하여 DEM을 획득하였다. 그림 3에 연구 대상 지역에서의 스트립을 나타내었으며, 표 1에 CCD 카메라 측량의 상세내용을 수록하였다.

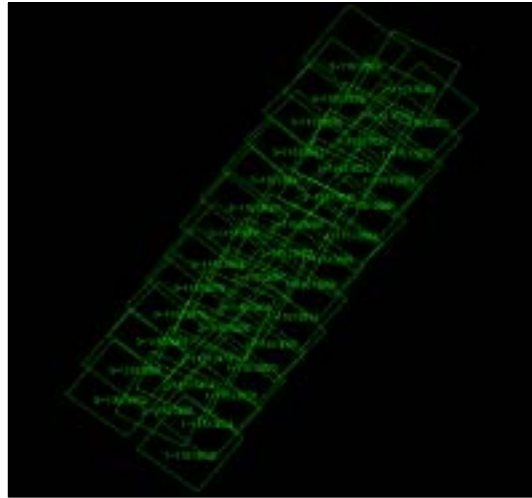


FIGURE 3. Footprint of image

TABLE 1. Details of CCD image acquisition

	DC 4K 02
Flight Date	2004/04/24, 1267
Strip number	3 strips
Altitude	1400m
Focal Length	55.156mm
Photo Scale	1:25,000

2. 외부표정요소 입력

기존의 연구에서는 외부표정요소를 사진기준점 측량(aerial triangulation: AT)공정을 통하여 나온 결과값을 사용하였으나, 본 연구에서는 CCD 카메라 촬영당시에 GPS/INS 센서를 통하여 취득한 외부표정요소값을 정사영상 제작 S/W에 맞게 포맷 변환하여 입력하였다 (www.opteck.on.ca), (www.applanix.com). 외부표정요소 결정의 정확도는 투영중심은 모든 사진에 대하여 X_o, Y_o, Z_o 가 약 ± 10 cm, 회전각에서는 α 와 β 는 18", γ 는 36"이었다.

3. 정사영상 생성

외부표정요소 직접결정 기법에 의해 정사영상을 자동으로 생성하기 위해서는 카메라의 외부표정요소를 직접 입력한 후, 레이저 시스템으로 획득한 DEM를 이용하여 영상정합 기법으로 두 장의 사진에서 공액점을 추출하여 3차원 좌표를 생성하는 공정으로 수행하였다(허민등, 1999). 향후 다중센서 결합을 통한 수치정사영상생성이 실무에 보편적으로 활용될 경우에 기존의 재래식 방법에 비해 절대적으로 소수의 기준점만이 필요할 것으로 예상되므로, 이러한 경우에 대비하여 소수의 기준점인 8개 기준점을 사용한 경우와 기준점을 사용하지 않은 경우의 수치정사영상을 생성하였다. 그림 4에는 사용된 8개의 기준점의 배치를 나타내었다.

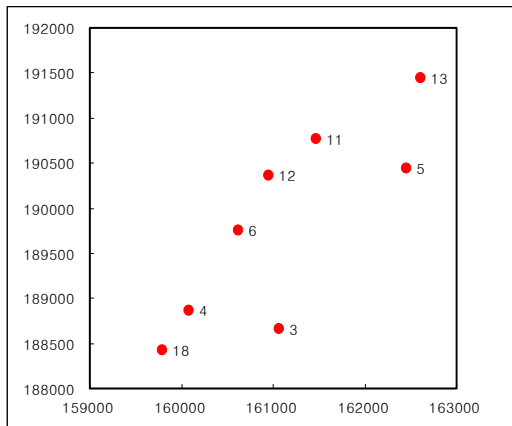


FIGURE 4. Distribution of control point

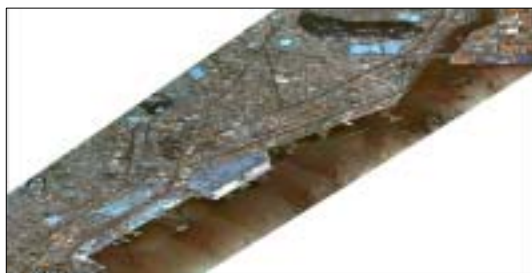


FIGURE 5. Orthoimage(8 control points)



FIGURE 6. Orthoimage(no control point)

최종적으로 정사영상 제작지역 전체의 사진에 대하여 모자이킹 작업을 계속 수행하게 되면 완전한 정사영상이 생성된다. 그림 5~6에는 상기의 과정을 통하여 생성된 연구대상 지역에 해당하는 정사영상을 보여주고 있다. 그림 5는 8개의 기준점을 사용하여 생성한 정사영상이며, 그림 6은 기준점 없이 외부표정요소만으로 생성한 정사영상이다. 생성된 최종 정사영상은 그림에서 보는 바와 같이 축척이 균일하고 대상지역 내의 모든 지형·지물에 대한 편위가 수정된 지도와 동일한 기하학적 상관성을 가지고 있음을 알 수 있다.

CCD 정사영상의 정확도 평가

제작된 정사영상에 대한 정확도의 가장 객관적이고 정량적인 검증을 위하여 총 19점의 지상 기준점 중에서 영상에서 확인이 힘든 삼각점 2점과 수준점 1점을 제외한 16점의 검사점을 선정하여, 정사영상 상에서 이 검사점에 대응하는 점을 추출하여 그 좌표를 관측하고 두 좌표값의 편차를 계산하였다. 표 3과 4에는 이의 결과에 대한 편차의 크기를 수치적으로 수록한 것이다. 그림 7은 제작된 정사영상의 정확도를 비교하기 위한 검사점의 위치와 분포를 도시한 것이다. 이 때 위치오차는 모든 검사점에서 평면오차의 크기만을 계산하였다.

정확도는 공공측량작업규정의 세부기준에 제시된 지도의 정확도를 사용하였으며(대한측량협

TABLE 2. Accuracy of map

항목	축척		비고
	1/500	1/1000	
평면위치	0.5mm 이내	0.7mm 이내	도상거리
표준편차	표고점 등고선	$\Delta h/4$ 이내 $\Delta h/2$ 이내	Δh 는 주곡선의 간격

회, 2002; 국토지리정보원, 2002) 그 기준은 표 2와 같다. 표 2에 따르면, 축척 1:1,000의 경우, 허용정확도는 0.7m(0.7mm×1000)이며, 축척 1:5,000의 경우, 허용정확도는 3.50m(0.7mm×5000)가 된다.

표 3과 그림 8에서 보는 바와 같이 정사영상의 평면 정확도는 표준편차가 약 0.36m이다.

그리고 X축의 표준편차는 0.23m, Y축의 표준편차는 0.28m 정도이다. 각 검사점에서의 편차의 크기는 검사점 17번의 Y축에 대한 오차가 -0.52m 정도로 가장 큰 경우를 제외하면, 대부분 0.10 ~ 0.30m 범위 내에 존재하여 오차의 크기는 매우 균질하며 결과의 정확도는 우수함을 알 수 있다. 8개의 기준점을 사용하는 경우,

TABLE 3. Horizontal accuracy of orthoimage(8 control points)

No.	Coordinates of Check point		Coordinates of orthoimage		Error(m)	
	X	Y	X	Y	DX	DY
1	187678.51	159356.37	187678.38	159356.70	0.13	-0.33
2	189911.08	162133.21	189911.00	162132.84	0.08	0.37
3	188660.39	161064.12	188660.19	161064.00	0.20	0.12
4	188865.92	160074.25	188866.24	160074.47	-0.32	-0.22
5	190441.80	162454.51	190442.09	162454.90	-0.29	-0.39
6	189757.97	160616.57	189758.06	160616.53	-0.09	0.04
7	191775.96	163096.58	191775.63	163096.38	0.33	0.20
8	191501.54	161663.21	191501.27	161663.09	0.27	0.12
11	190772.63	161465.43	190772.41	161465.39	0.22	0.04
12	190365.44	160952.07	190365.25	160951.98	0.19	0.09
13	191443.05	162606.33	191443.40	162606.62	-0.35	-0.29
15	189396.97	160256.70	189396.85	160256.32	0.12	0.38
16	188337.58	160119.74	188337.30	160120.08	0.28	-0.34
17	187470.02	159703.88	187469.91	159704.40	0.11	-0.52
18	188433.55	159786.67	188433.29	159786.44	0.26	0.23
19	190595.50	162072.85	190595.73	162073.07	-0.23	-0.22
Stdev					0.23	0.28
Standard of public surveying			0.70m (0.7mm×1000)		0.36m	

수평위치 정확도가 $\pm 0.36m$ 로서, 이는 축척 1:1,000 지도의 정확도 기준을 만족시키는 것을 알 수 있다.

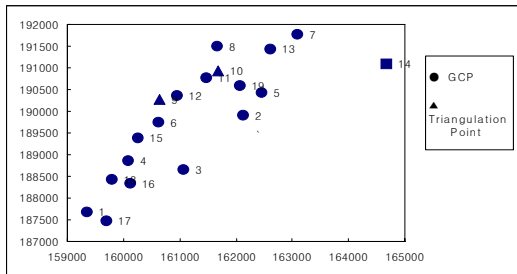


FIGURE 7. Distribution of checkpoint

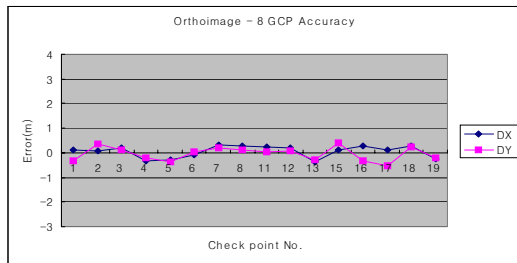


FIGURE 8. Horizontal accuracy of orthoimage(8 control points)

표 4에는 기준점을 사용하지 않은 정사영상 결과에 대한 편차의 크기를 수치적으로 수록한 것이다. 그림 9에는 기준점을 사용하지 않은 정사영상의 정확도의 결과를 도시한 것이다.

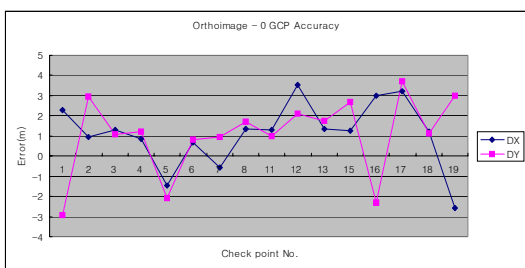


FIGURE 9. Horizontal accuracy of orthoimage(no control point)

표 4와 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 기준점을 사용하지 않은 정사영상에 대한 평면오차는 표준편차가 약 2.51m 이다. 그리고 X방향으로는 1.61m, Y방향으로 1.93m의 표준편차 값을 갖는다. 또한 비교적 큰 크기의 오차가 검사점 12와 17번에서 발생하고 있으며 기타 검사점에 대하여는 표준편차 범위 내에서 균질한 크기를 보이고 있으며, 최대오차는 검사점 17에서 약 3.69m 정도이다. 기준점을 사용하지 않고 제작된 정사영상의 경우에는 수평위치 정확도가 $\pm 2.51m$ 로서, 이는 축척 1:5,000 지도의 정확도 기준을 만족함을 알 수 있었다.

외부표정요소 직접결정 기법에 의한 정사영상의 제작방법은 효율적으로 수치지도를 수정·갱신 할 수 있을 것으로 판단된다. 검사점을 기준으로 위치정확도를 평가한 결과 그 활용성이 큰 것을 입증하고 있다.

결론

본 연구에서는 다중센서 결합에 의한 외부표정요소 직접결정 기법을 제시하고, 이에 CCD 영상을 획득하여 수치정사영상을 제작하였다. 아울러 제작된 정사사진에 대하여 검사점에 대한 위치정확도를 평가한 결과 그 활용성이 큰 것을 입증할 수 있었다.

생성된 최종 정사영상은 소수의 기준점과 무기준점을 사용한 경우일지라도 축척이 균일하고 대상지역내의 모든 지형·지물에 대한 편위가 수정된 지도와 동일한 기하학적 상관성을 가지고 있었다. 외부표정요소 직접결정 기법을 이용하여 제작된 정사영상의 정확도는 소수의 기준점을 사용한 경우의 평면 정확도는 표준편차가 약 0.36m로, 축척 1:1,000 지도의 정확도 허용 기준인 0.7m를 만족시켰다. 기준점이 없이 제작된 정사영상의 정확도는 평면오차가 표준편차가 약 2.51m로, 축척 1:5,000 지도의 평면 정확도 허용 기준인 3.5m를 만족함을 알 수 있었다.

본 연구의 결과는 향후 다중센서와 디지털

TABLE 4. Horizontal accuracy of orthoimage(no control point)

No.	Coordinates of Check point		Coordinates of Orthoimage		Error(m)	
	X	Y	X	Y	DX	DY
1	187678.51	159356.37	187676.24	159359.29	2.27	-2.92
2	189911.08	162133.21	189910.12	162130.24	0.96	2.97
3	188660.39	161064.12	188659.11	161063.03	1.28	1.09
4	188865.92	160074.25	188865.05	160073.03	0.87	1.22
5	190441.80	162454.51	190443.25	162456.61	-1.45	-2.10
6	189757.97	160616.57	189757.31	160615.78	0.66	0.79
7	191775.96	163096.58	191776.54	163095.65	-0.58	0.93
8	191501.54	161663.21	191500.19	161661.52	1.35	1.69
11	190772.63	161465.43	190771.31	161464.45	1.32	0.98
12	190365.44	160952.07	190361.90	160949.97	3.54	2.10
13	191443.05	162606.33	191441.69	162604.58	1.36	1.75
15	189396.97	160256.70	189395.73	160254.02	1.24	2.68
16	188337.58	160119.74	188334.60	160122.05	2.98	-2.31
17	187470.02	159703.88	187466.78	159700.19	3.24	3.69
18	188433.55	159786.67	188432.33	159785.55	1.22	1.12
19	190595.50	162072.85	190598.08	162069.87	-2.58	2.98
Stdev					1.61	1.93
Standard of public surveying			3.50m (0.7mm×5000)		2.51m	

카메라 영상을 이용한 3차원 모델링에 유효하게 적용될 것으로 기대되며 효율적으로 수치지도를 수정 및 갱신 할 수 있을 것으로 판단된다.



참고문헌

국토지리정보원. 2002. 수치표고모델 시범 연구 사업:147-149.

대한측량협회. 2002. 공공측량작업규정:57-58.

박운용, 박흥기, 위광재, 송연경. 2004. 외부표정 요소 직접결정에 의한 수치정사영상 생성. 한국측량학회 추계학술발표회 논문집. 245-251쪽.

박운용, 이강원, 이재원, 정공운. GPS/INS에 의한 항공사진측량의 블록조정. 한국측량학회 논문집. 22(3):285-292.

허 민, 김형태, 김병국, 김용일. 1999. LiDAR 데

이터를 이용한 건물추출. 한국GIS학회 추계 학술발표회.

Cramer, M., D. Stallmann and N. Haala. 2004. Sensor Integration and Calibration of Digital Airborne Three-line Camera System. Institute for photogrammetry. Commission II, Working Group 1. www.ifp.uni-stuttgart.de

Haala, N., D. Stallmann and M. Cramer. 2004. Calibration of Directly Measured Position and Attitude by Aerotriangulation of Three-line Airborne Imagery. Institute for photogrammetry. Commission III. Working Group 1. www.ifp.uni-stuttgart.de

www.applanix.com

www.opteck.on.ca 