

비측정용 카메라의 원격조종에 의한 대축척 지형정보 획득

Acquisition of Large Scale Geographical Information by Remote Control of Non-Metric Camera

강 준 목* 윤 희 천** 배 연 성**
KANG Joon-Mook YOON Hee-Cheon BAE Yeon-Soung

要 旨

소규모 지역에 대한 대축척 정밀 지형정보를 경제적으로 얻기 위해 외부표정요소를 정확히 산출하고, 무선조종이 가능한 무인 비행선에 정오차 보정요소를 결정한 35mm 비측정용 카메라를 탑재하여 촬영하였다. 해석에 필요한 지상기준점은 GPS측량으로 상대적 위치를 결정하여 정확도 향상을 기하였다. 또한 해석도화기에 의해 대축척 지형도를 제작하여 정확도 검증을 함으로써 그 응용가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

To obtain large scale precise geographical information in local area, we determined external orientation parameters of camera exactly and conducted aerial photography using remote control airship loaded 35mm non-metric camera that produced systematic error coefficients. Ground control points were determined by differential GPS. Therefore we can try to improve accuracy and economical efficiency. Also, it is suggested that remote control airship photogrammetry can be applied to make large scale topographic map using analytical plotter as calibrated accuracy.

1. 서 론

현재 항공사진측량은 국토기본도 작성뿐만 아니라 합리적인 도시계획을 목적으로한 각 시도단위의 항공 사진촬영, GIS를 위한 자료획득, 대규모 지역의 지형도 작성, 군사적 목적 등 폭넓게 이용되고 있다.^(1,2) 그러나 항공사진은 대부분 소축척으로 촬영되며, 항공촬영과 지상기준점 측량에 막대한 비용이 소요되므로 소규모 지역의 지형정보가 요구될 때 기존의 항공사진 촬영방법으로 대축척 사진을 얻기 위해서는

여러 제한이 뒤따르고 있는 실정이다.^(4,5,7)

따라서 본 연구에서는 노선, 하천 등 좁고 긴 지역에 대한 지형도 작성과 소규모 지역에 대한 대축척 정밀 지형정보를 효율적으로 획득하기 위하여 정오차 보정요소를 결정한 35mm 비측정용 카메라를 무선조종이 가능한 무인 비행선에 탑재하여 촬영하고, 카메라 외부표정요소는 번들조정에 의해 도출함으로써 정확도 향상을 기하고자 한다. 해석에 필요한 지상기준점 측량은 종래의 방법과는 달리 GPS를 이용하여 보다 효율적으로 상대적 위치정보를 획득하고 해석도

* 충남대학교 토목공학과 교수

** 충남대학교 토목공학과 박사과정

화기에 의해 대축척 지형도를 제작, 많은 검사점들에 대한 다양한 정확도 검증을 통하여 그 응용가능성을 제시하고자 한다.

2. 카메라의 정오차 보정요소 결정

카메라는 35mm Nikon F-801로 선정하였으며, 유효면적을 고려하여 f=35mm 광각렌즈를 부착하였다. 비측정용 카메라에 의한 항공사진측량에서 정오차의 보정은 정확도 향상에 중대한 영향을 미치므로 collimator에 의해 렌즈의 대칭주점과 자동시준 주점을 결정하고, 연직선 검정방법에 의하여 렌즈의 방사방향 및 접선방향에 대한 왜곡계수를 구하여 정오차 보정을 시도 하였으며, fiducial mark plate를 제작, 검정하여 카메라의 필름 전면에 부착, 촬영함으로써 정확도 향상을 기하고자 하였다. 도출한 정오차 보정 요소는 표 1과 같으며, 제작한 fiducial mark plate는 그림 1과 같다.

표 1. 렌즈의 정오차 보정요소

PPA	:	X = +103 μ m,	Y = +30 μ m
PPS	:	X = +7 μ m,	Y = 0 μ m
K ₁	:	51.67515277	E-6
K ₂	:	-0.05679317	E-6
K ₃	:	0.00000550	E-6
P ₁	:	-23.92409990	E-6
P ₂	:	19.75099364	E-6
P ₃	:	-0.29206888	E-6

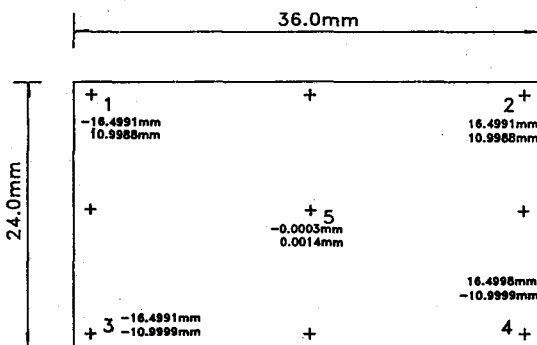


그림 1. Fiducial mark of glass plate

3. 실험

3.1 실험대상지역

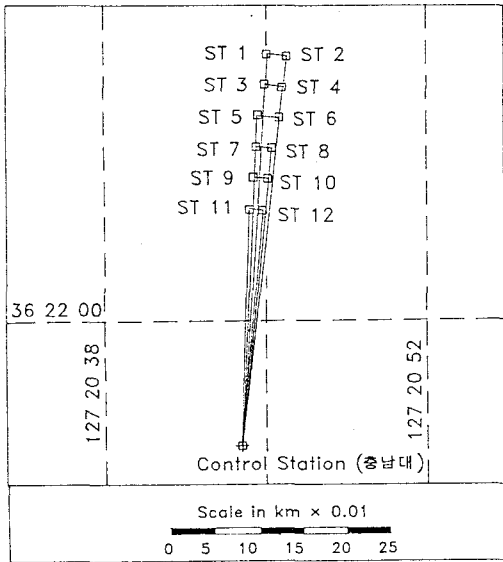
대축척 항공사진은 대부분 정밀을 요하는 지형도 작성이나 보다 세밀한 지형정보 획득을 주요 목적으로 하고 있다. 따라서 지형이 가급적 정리되고 기록이 있으며, 일정한 규칙성을 갖는 대학 캠퍼스의 도로 약 200m와 그 인접부를 대상지역으로 선정하였다. 그 중 본 연구에서는 촬영고도가 다른 모델 3233지역과 모델 0910지역 등 2개 지역을 선정하여 해석하였으며, 대상지역의 표고 변화량은 3233모델지역의 경우 WGS84 타원체상 82~92m, 0910모델지역은 피복 건물의 높이를 포함하여 78~100m였다.

3.2 지상기준점측량 및 대공표식

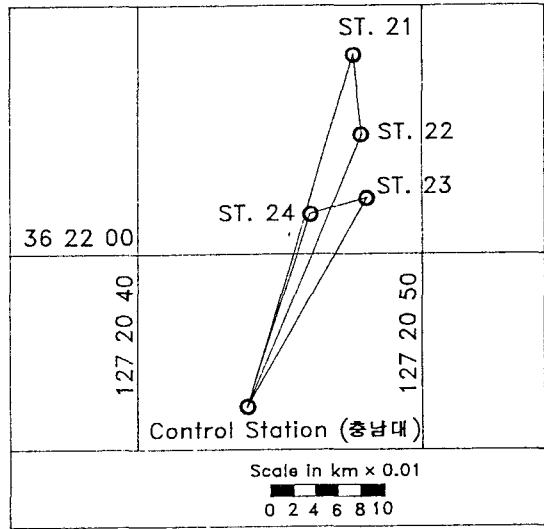
연구대상 지역으로 선정한 충남대학교 내의 지상기준점은 GPS를 이용한 인공위성측량으로 결정하였으며, GPS 기준점으로는 과학기술대학 교내의 GPS 원점을 고정으로 장시간에 걸쳐 상대측위에 의해 결정된 충남대학 교내의 한 점(Control Station No.00)을 사용 하였다.

두 해석지역의 지상기준점에 대한 관측망도는 그림 2와 같다. 지상기준점에 대한 GPS측량은 Trimble사의 4000SE Single frequency 수신기로 각 측정 당 60분씩 static방식으로 관측하였다.

지상기준점은 사진촬영전 GPS측량을 실시하고, 촬영한 사진상에 약 50 μ m크기로 촬영되도록 대공표식을 설치하였다. GPS 관측자료는 충남대학 교내의 기준점(CS00) 위치를 고정으로 TRIMVEC-PLUS software의 SBP와 MBP 방식에 의해 처리하여 WGS 84좌표계 상의 3차원 좌표, 측정간의 기선 및 정밀도 등을 산출하였다. TRIMVEC-PLUS에 의해 산출된 결과는 망조정 software인 TRIMNET-PLUS를 이용, 조정계산 하였으며 X,Y좌표는 UTM좌표로 변환하였고, H는 WGS84타원체 상의 높이로 각각 산출하였다.



(a) Model No. 3233



(b) Model No. 0910

그림 2. 지상기준점에 대한 GPS 관측망도

3.3 대축척 사진 획득

35mm 비측정용 카메라로 3233모델 지역에서는 지상으로 부터 약 92m의 고도에서 사진축척 약 1/2,600, 0910모델 지역에서는 고도 약 220m에서 사진축척 약 1/6,200으로 무선조종 시스템을 이용하여 조종 촬영하였다. 카메라의 포맷이 36mmx24mm의 직사각형이므로 3233모델 지역에서는 1사진의 피복면적은 약 95m×63m=5,985m²였으며, 긴 변을 촬영방향으로 정하였고, 0910모델 지역에서는 1사진의 피복면적이 226m× 151m=34,126m²이었으며, 짧은 변을 촬영방향으로 정하였다.

촬영은 대상지역이 좁고 긴 지역이므로 단코스로그획, 중복도 80%로 촬영하였다. 촬영시 카메라의 흔들림이 예상되므로, 이를 고려하여 셔터스피드는 1/125~1/250로 촬영 하였으며, f-stop은 렌즈의 왜곡과 피사계심도를 고려하여 f/16으로 촬영하였다. 필름은 Kodak TMAX ASA 400 B/W를 사용하였다.

무인비행선은 고해상도 CCD카메라와 VHS형 비디

오카메라가 함께 장착되어 있으므로 35mm 카메라로 촬영시 촬영지역의 순간정보를 명확히 고려하기 위하여 CCD카메라의 화각을 35mm카메라와 동일하게 고정하여 지상의 무선조종통제소에서 모니터로 확인하면서, real time으로 촬영을 하였다. 사진기선고도비(B/H)는 3233모델은 약 0.22, 0910모델은 약 0.14였다.

4. 결과 분석

4.1 GPS 관측성과의 정밀도

대상 지역내 기준점에 대한 GPS의 기선측정 정밀도는 20km 이하의 단거리에 적합한 SBP방식의 Double difference fixed solution 결과(.FIX)를 이용하여 실시하였다. 지상기준점에 대한 GPS 측량결과를 TRIMNET PLUS software에 의해 망조정하고 X,Y좌표는 UTM좌표, H좌표는 WGS84 타원체상의

높이로 변환하였다. 각 지상기준점에 대한 3차원 좌표와 그 표준오차 분포는 표 2와 같으며, 표준오차의 분포를 그림 3에 도시하였다. X,Y,H 각각의 평균표준오차는 0.0017m, 0.0017m, 0.0020m로 매우 양호한 정도의 결과를 얻을 수 있었다.

표 2. GPS 측량에 의한 지상기준점의 3차원 좌표와 표준오차 (unit : m)

GCPs No.	X	1.000σ	Y	1.000σ	H	1.000σ
01	4026235.6024	0.0020	351609.0460	0.0020	92.8677	0.0022
02	4026232.8050	0.0015	351628.7116	0.0015	92.8557	0.0017
03	4026196.0085	0.0020	351603.3975	0.0020	86.7991	0.0022
04	4026193.1133	0.0015	351622.8277	0.0015	86.5990	0.0017
05	4026156.7292	0.0015	351595.2989	0.0015	84.9864	0.0017
06	4026153.2769	0.0021	351619.8067	0.0020	84.9602	0.0022
07	4026116.9423	0.0021	351594.3748	0.0021	83.0211	0.0027
08	4026114.3144	0.0016	351609.5443	0.0015	82.9394	0.0023
09	4026077.5972	0.0020	351588.9235	0.0021	81.7696	0.0023
10	4026074.4831	0.0015	351608.3790	0.0015	81.8504	0.0017
11	4026036.2147	0.0022	351582.4774	0.0022	79.8313	0.0027
12	4026034.2454	0.0016	351596.4795	0.0016	79.5902	0.0022
21	4026092.8402	0.0013	351667.7951	0.0013	87.1711	0.0018
22	4026008.9756	0.0015	351673.0290	0.0013	80.7517	0.0014
23	4025944.9185	0.0013	351678.0703	0.0017	92.6995	0.0023
24	4025929.2980	0.0016	351627.2132	0.0014	92.1650	0.0013
평균		0.0017		0.0017		0.0020

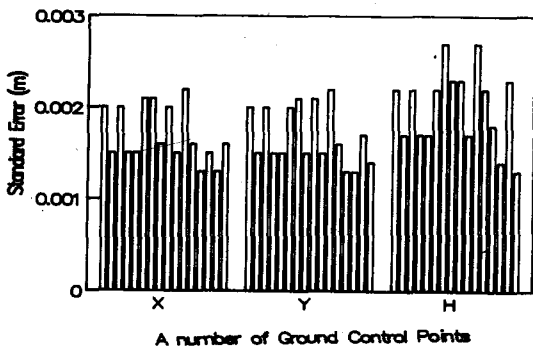


그림 3. GPS 측량에 의한 기준점의 표준오차 분포도

촬영 후, 해석정확도 검증을 위해 사진상에 그 위치가 명확한 지점을 3233모델에서 25점, 0910모델에서 17점 등 총 42점의 검사점(check points, CKPs)을 선정하여 kinematic과 static방식을 병용하여 GPS 관

측을 실시하였다. 이때 kinematic방법으로는 각 측정당 2분씩 관측하였고, static방법으로는 측정당 30분씩 관측하였다. 검사점은 차선교차지점, 건물모퉁이, 보도블록 경계, 기타 지물을 선정하였다. 검사점의 좌표도출은 기준점과 동일한 방법으로 수행하였으며, 3차원 좌표는 그 평균표준오차가 X,Y,H 각각 0.003m, 0.003m, 0.004m인 정확도로 얻을 수 있었다.

4.2 카메라의 외부표정요소 결정

촬영한 필름의 외부표정요소를 정확히 결정하기 위하여 각 모델지역의 기준점과 검사점 및 필름의 fiducial mark에 대한 기계좌표는 3μm의 정밀도로 얻을 수 있었으며, 번들조정 프로그램을 이용하여 표 3과 같이 각 사진의 외부표정요소와 그 표준오차를 도출하였다. 이때 외부표정요소의 초기값은 촬영한 사진상에서 개략적으로 취득하였으며, 사용한 지상기준점은 3233모델에서는 4점, 0910모델에서는 5점을 이용하였다.

표 3. 각 사진의 외부표정요소

Model No. 3233			
Photo No.	Parameter	Results	S.E
32	OMEGA	1.051	0.080
	PHI	-2.534	0.090
	KAPPA	-4.169	0.014
	CAMERA X	4026098.169	0.153
	CAMERA Y	351610.699	0.130
	CAMERA H	174.204	0.027
33	OMEGA	1.453	0.076
	PHI	-2.415	0.087
	KAPPA	-5.795	0.011
	CAMERA X	4026116.183	0.144
	CAMERA Y	351612.559	0.123
	CAMERA H	174.187	0.043
Model No. 0910			
Photo No.	Parameter	Results	S.E
09	OMEGA	-1.859	0.030
	PHI	-3.923	0.053
	KAPPA	12.600	0.008
	CAMERA X	4026002.311	0.215
	CAMERA Y	351626.173	0.117
	CAMERA H	303.277	0.083
10	OMEGA	-2.647	0.031
	PHI	-3.625	0.056
	KAPPA	13.498	0.011
	CAMERA X	4026004.497	0.233
	CAMERA Y	351655.575	0.119
	CAMERA H	304.752	0.080

단위는 ω, φ, κ 는 degree, X, Y, H는 m로 나타내었다. 각 사진에서 $\omega, \varphi, \kappa, X, Y, H$ 각각의 표준오차는 0.05deg, 0.07deg, 0.01deg, 0.186m, 0.122m, 0.058m로 비교적 정확하게 도출할 수 있었으며, 이를 기초로 검사점의 좌표를 산출하였다. 비행고도가 다른 두 모델지역에서 외부표정요소에 대한 표준오차는 유사한 양상을 보임으로써 비행고도와 기선고도비의 차이에 상관없이 유사한 정도로 외부표정요소를 도출할 수 있었다.

4.3 번들조정에 의한 해석정확도

번들조정에 의해 3233모델에서는 모델내의 GPS측량에 의해 위치를 결정한 4점의 기준점을, 0910모델에서는 5점의 기준점을 이용하여 각 검사점들의 3차원 좌표를 산출하였다. 그 결과 X,Y,H 좌표의 평균 표준오차는 표 4와 같으며, 이를 도시하면 그림 4와 같다.

표 4. 검사점 좌표의 표준오차

Model No.	Average		Error(m)
	X	Y	
3233	0.034	0.025	0.148
0910	0.267	0.112	1.264

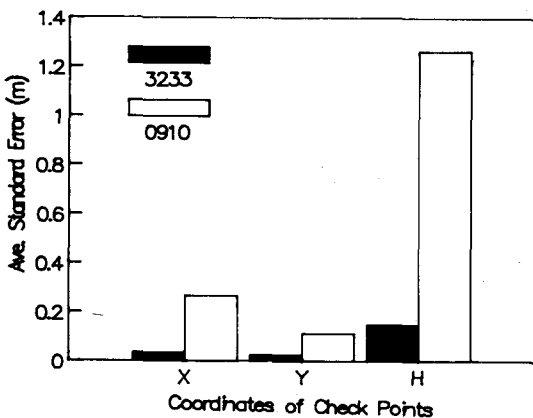


그림 4. 검사점 좌표의 표준오차

비행고도 약 93m에서 촬영한 3233모델에서 25점의 검사점의 좌표를 해석한 결과 X,Y 좌표에 비해 비행

고도 방향인 H좌표의 표준오차가 약 5배 크게 나타났으며, 비행고도 약 220m에서 촬영한 0910모델에서 17점의 검사점 좌표를 산출한 결과 H좌표의 표준오차가 X, Y좌표의 표준오차에 비해 다소 큰 분포를 보이고 있다. 이는 두 모델 공히 기선고도비(B/H)가 작기 때문으로 사료된다. 또한 각 검사점의 표준오차 분포는 3233모델의 경우 X,Y좌표의 표준오차가 0.01~0.08m, H좌표의 표준오차는 0.1~0.2m의 비교적 고른 오차분포를 보이고 있는 반면, 0910모델의 경우 X 좌표의 표준오차 분포는 0.025~0.877m, Y좌표는 0.037~0.274m, H좌표는 1.178~1.463m의 분포로 3233모델에 비해 그 폭이 큰 분포를 보이고 있다. 이는 3233모델에 비해 0910모델의 비행고도 증가 뿐만 아니라 상대적으로 큰 지형 기복 차, 필름의 짧은 변 방향의 중복으로 인한 작은 기선고도비 등에 의한 모델 형성의 불안정성 때문인 것으로 사료된다.

4.4 해석정확도의 비교분석

35mm 비측정용 카메라를 이용하여 촬영하고, 해석도화기에 의해 획득한 대축척 지형정보의 정확도를 검증하기 위하여 촬영한 사진상에 형상이 명확한 점들을 검사점으로 선정, 이들에 대해 static과 kinematic 방식을 병용한 GPS측량을 실시하고, 아울러 번들조정과 on-line상태의 해석도화기상에서 3차원 좌표를 산출하여 비교하였다.

4.4.1 GPS와 번들조정에 의한 좌표 비교

Static과 kinematic 방식의 GPS측량에 의해 얻은 검사점의 3차원 좌표와 번들조정 프로그램에 의해 얻은 좌표를 비교하기 위해 두 방식으로 얻은 좌표의 차를 산출하였다. 그 결과 X,Y,H의 평균좌표차는 표 5와 같으며, 이를 도시하면 그림 5와 같다.

3233모델의 좌표차는 표준오차보다 작게 나타났으며, 검사점 각각의 좌표차는 X좌표차의 평균값은 0.110m, Y좌표차의 평균값은 0.101m, H좌표차의 평균값은 0.261m로 번들조정에 의한 결과의 표준오차 0.034m, 0.025m, 0.148m에 비해 약 2~4배 큰 결과로 나타났으며, 검사점 각각의 좌표차는 X좌표가 0.040

~0.350m, Y좌표는 0.013~0.580m, H가 0.010~0.650m의 분포로 나타났다. 0910모델의 경우 X좌표차의 평균값은 0.460m, Y좌표차의 평균값은 0.432m, H좌표차의 평균값은 1.011m 로 번들조정에 의한 결과의 표준오차보다 X좌표차는 약 2배, Y좌표차는 약 4배, H좌표차는 약 0.8배의 큰 분포로 나타나 X가 0.102~1.336m, Y가 0.113~1.206m, H가 0.250~1.869m의 분포를 보였다. 3233모델에 비해 비행고도가 상대적으로 큰 0910모델의 좌표차가 X,Y,H 공히 약 4배 큰 분포로 나타났다. 또한 3233모델과 0910 모델 각각은 공히 X,Y좌표차에 비해 H좌표차가 약 2.5배 큰 분포를 보이고 있으며, 이는 번들조정에 의한 해석시 작은 기선고도비가 특히 H좌표의 오차에 미치는 영향이 크기 때문으로 사료된다.

표 5. GPS와 번들조정에 의한 좌표차

Model No.	Average Difference		Coord.(m)
	X	Y	H
3233	0.110	0.101	0.261
0910	0.460	0.432	1.011

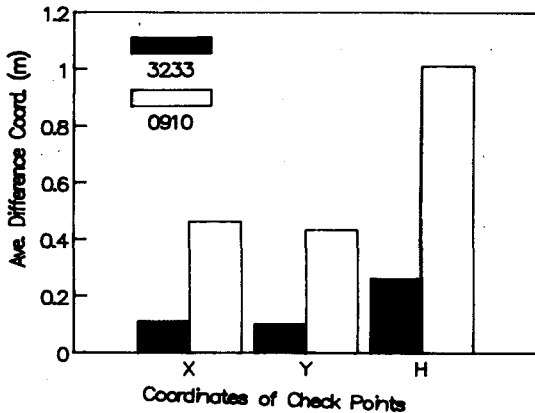


그림 5. GPS와 번들조정에 의한 좌표차

4.4.2 GPS와 해석도화기에 의한 좌표의 비교

해석도화기 상에서 도화되는 성과의 정도를 고찰하기 위해 GPS측량에 의해 결정된 검사점의 좌표와 해석도화기상의 on-line상태에서 측정된 좌표와의 차를 산출하였다. 그 결과 X,Y,H의 평균좌표차는 표 6과 같으며, 이를 도시하면 그림 6과 같다.

표 6. GPS와 해석도화기에 의한 좌표차

Model No.	Average Difference		Coord.(m)
	X	Y	H
3233	0.161	0.109	0.607
0910	0.803	0.647	1.047

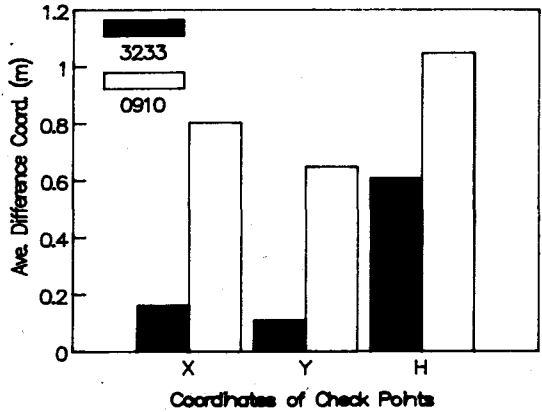


그림 6. GPS와 해석도화기에 의한 좌표차

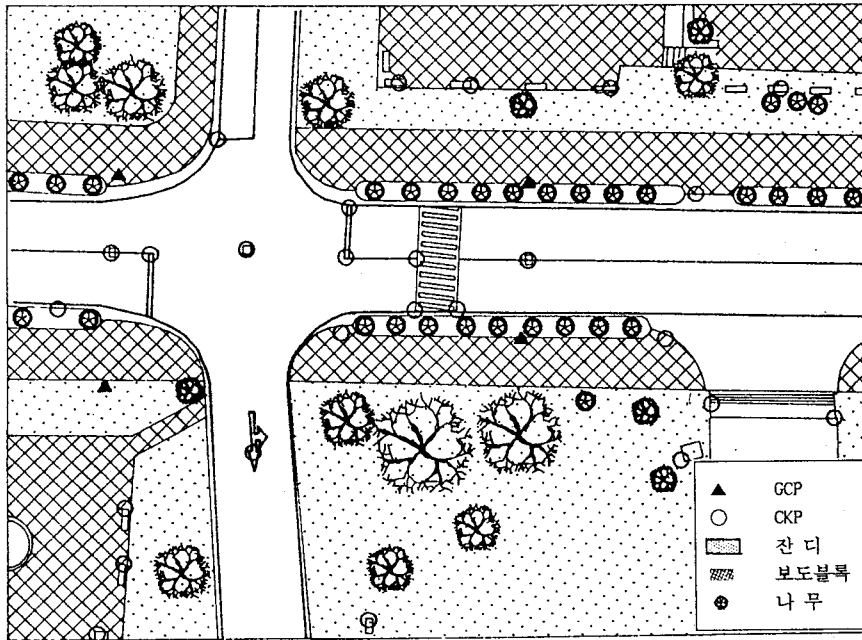
3233모델의 경우 X,Y,H 좌표차의 평균값은 각각 0.161m, 0.109m, 0.607m였으며, 각 검사점의 차이값 분포는 X좌표의 경우 0.025~0.434m, Y좌표의 경우 0.018~0.688m, H좌표는 0.056~1.974m의 분포를 보이고 있다. 0910모델의 경우 X,Y,H 좌표차의 평균값은 각각 0.803m, 0.647m, 1.047m였으며, 각 검사점의 차이값 분포는 X좌표가 0.010~1.921m, Y좌표는 0.043~1.311m, H좌표는 0.025~2.134m로 나타났다. 따라서 0910모델의 좌표차는 3233모델의 좌표차에 비해 X,Y는 약 5배, H는 약 2배 큰 분포로 나타났다.

4.5 정밀도화

촬영한 필름을 해석도화기(Intergraphy社)를 이용하여 모델 각각에 대한 모델좌표를 형성하고, 모델내의 기준점을 이용하여 모델접합, 대지표정 후 대상지역의 지형도를 작성하였으며, PC에서의 작업을 위해 .DXF(ASCII)파일형식으로 자료를 저장하였다.

그림 7(a)의 3233모델에서 번들조정된 결과 검사점의 표준오차는 X,Y,H 각각 0.034m, 0.025m, 0.148m였으며, 그림 7(b)의 0910모델은 검사점의 표준오차

(4026060,351640)

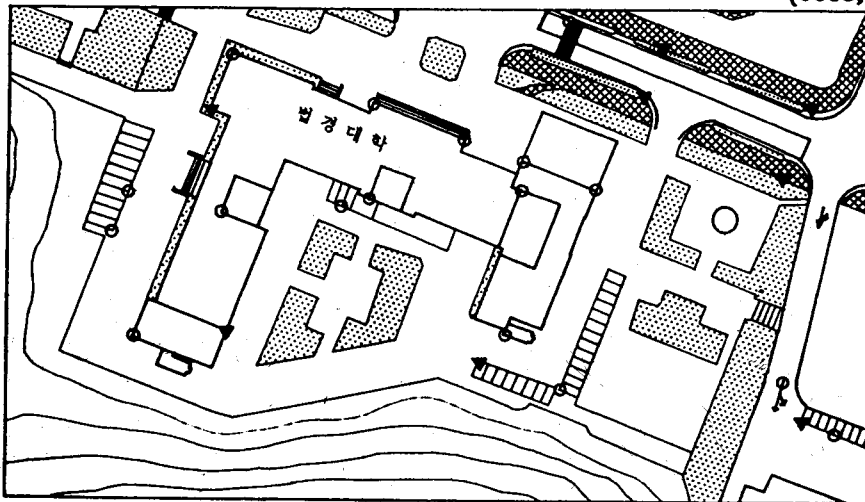


(40260140,351580)

Map Scale : ---|---| 10m

(a) Model No. 3233

(6085, 620)



(5900, 740)

Map Scale : ---|---| 20m

(b) Model No. 0910

그림 7. 도화 결과

가 X,Y,H 각각 0.267m, 0.112m, 1.264m였다. 따라서 3233모델에 의한 도화축척 한계는 평면 정확도만을 고려할 경우 1/200, 수직축척까지 고려할 경우 약 1/800까지 가능하다.

5. 결론

소규모 지역의 대축척 지형정보 획득을 위한 효율적 방법에 관한 연구결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 35mm 비측정용 카메라를 이용하여 대축척의 지형정보획득이 가능함으로써 소규모 지역에 대한 대축척 정밀 지형정보를 보다 경제적으로 획득할 수 있다.
- (2) GPS를 이용하여 지상기준점의 상대적 위치를 결정하므로써 보다 신속하고 정확하며 경제적으로 기준점 위치를 결정할 수 있다.
- (3) GPS에 의해 결정된 지상기준점 좌표를 이용하여 번들조정 프로그램을 수행하므로써 3차원 좌표해석과 촬영점의 외부표정요소를 정밀하게 도출할 수 있었다.

참고문헌

1. Roop C. Malhotra, "Potential of Large Format Camera Photography", PE & RS, Vol.55, No.2, 1989, pp.183-189
2. C.P.Lo & W.Edward Noble, Jr, "Detailed Urban

- Land-Use and Land-Cover Mapping Using Large Format Camera Photographs : An Evaluation", PE & RS, Vol.56, No.2, 1990, pp.197-206
3. Paul T. Tueller, "Rangeland Vegetation Changes Measured from Helicopter-Borne 35-mm Aerial Photography", PE & RS, Vol.54, No.5, 1988, pp.609-614
 4. Liang-Chien Chen, Liang-Hwei Lee, "Rigorous Generation of Digital Orthophotos from SPOT Images", PE & RS Vol.59, No. 5, 1993, pp.655-661
 5. Keld S. Deuholm, "Mapping from Non-Metric Small-Frame Photographs using Multi-Model Photogrammetry", ISPRS, Commission V 1992, pp.87-93
 6. 오원진, "비측량용 사진기에 의한 근접사진해석의 정확도 향상에 관한 연구", 박사학위논문, 1992
 7. 강준목, 오원진, 이진덕, 배연성, "35mm 카메라를 이용한 지형정보 획득에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표 개요집 II, 1993, pp.462-465
 8. 강준목, 이용창, 박필호, "GPS에 의한 측지학적 위치 결정과 좌표변환", 대한토목학회 학술발표개요집, 1991, pp.479-482
 9. Gary F.Hagen, & James L.Smith, "Predicting Tree Ground line Diameter from Crown Measurements Made on 35-mm Aerial Photography", PE & RS, Vol.52, No.5, 1986, pp.687-690.
 10. Oguz Muftuoglu, "A Data Reduction Approach Using the Collinearity Model from Non-Metric Photogrammetry", PE & RS Vol.59, No.5, May 1993, pp.663-666