

GPS/INS에 의한 항공사진측량의 블럭조정 Block Adjustment with GPS/INS in Aerial Photogrammetry

송연경¹⁾ · 박운용²⁾ · 이재원³⁾ · 김정희⁴⁾

Song, Youn-Kyung · Park, Woon-Yong · Lee, Jae-One · Kim, Jung-Hee

- 1) 동아대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail: aaong@hanmail.net)
- 2) 동아대학교 토목해양공학부 교수 (E-mail: uypark@daunet.donga.ac.kr)
- 3) 대한측량협회 연구부장 (E-mail: jolee@kasm.or.kr)
- 4) 경남대학교 토목환경공학부 교수 (E-mail: geodesy@kyungnam.ac.kr)

Abstract

In this thesis, two test flights were conducted in Gwacheon and Suwon area to evaluate the performance of accuracy and efficiency through the analysis of results among the three photogrammetric methods, that is, traditional photogrammetry, GPS-Photogrammetry and GPS/INS-Photogrammetry. Test results shows that a large variety of advantages of GPS-Photogrammetry and GPS/INS-Photogrammetry against traditional photogrammetry is to be verified. Especially, the number of ground control points for the exterior orientation could be saved more than 70~80%, and the cost for map production 30~50%, respectively. In addition, it was convinced that the large reduction of control points has not any effect on the block accuracy.

It was also proved that the number of required ground control points for GPS/INS-Photogrammetry is similar to that of GPS-Photogrammetry. Therefore it should be noted that GPS-Photogrammetry is more efficient in the aspect of reduction of mapping cost against GPS/INS-Photogrammetry, installing only an existing GPS receiver on survey aircraft to avoid high economic burden of procurement for integrated GPS/INS equipment.

1. 서론

해석적 기법의 도입과 더불어 실용화된 항공사진측량은 현재 장기간에 걸친 수확 모델의 개선과 효율적인 계산 기법의 활용으로 지도 제작뿐만 아니라 지형공간정보체계의 기본 자료로서 큰 역할을 하고 있다. 항공사진을 지도제작에 이용하기 위해서는 입체시를 위한 표정작업이 선행되어야 한다. 이 표정들 중 외부표정요소의 결정은 많은 시간과 경비가 소요된다.

GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량을 이용하면 최소한의 기준점만으로도 촬영시 항공기에 탑재한 수신기로 노출점의 위치를 정확히 결정하여 전통적 외업과 대공표지의 설치와 관리를 생략하여 외부표정요소를 결정할 수 있으며, 이에 따라 전체 지도제작비의 30~50% 이상을 절감할 수 있다.

본 연구의 목적은 항공사진측량에 GPS와 GPS/INS를 이용하여, 사진의 외부표정요소를 직접 구하고 다양한 측면에서 전통적 항공사진측량과 비교하여 GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공

사진측량의 적용 가능성을 입증하는 일이다.

이를 위하여 실험대상지역인 과천시지역과 수원지역에 대하여 GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량을 수행하였다.

전체 연구흐름은 크게 나누어 세 부분으로 구성되어 있다. 첫째는 GPS/INS 항공사진측량을 수행하고 이의 결과를 바탕으로 GPS/INS AT(Aerial Triangulation)의 정확도를 검증하는 부분이며, 둘째는 GPS/INS 자료에서 INS 자료를 배제하고 GPS 단독으로 자료를 처리하여 GPS AT의 정확도를 검증하는 부분이며, 셋째는 GPS AT와 GPS/INS AT의 결과를 실제 적용가능성을 판단하기 위해 전통적 AT의 결과와 비교 분석하는 부분이다. 이를 위해서는 대공표지의 설치 및 측량, 지상기준점측량, 검사점측량 등의 지상측량을 수행하여야 한다.

다음으로 항공기에 탑재된 GPS 관측 자료를 지상의 기준국과 DGPS 처리를 하여 GPS 블럭조정을 하고, INS에서 관측된 자료를 처리한 후 두 관측 자료를 연계하여 GPS/INS 블럭조정을 하였

다. 전통적 항공사진측량과 GPS 항공사진측량, GPS/INS 항공사진측량의 지상측량에 의한 검사점과 외부표정요소 결정의 정확도를 비교하였다. 이러한 비교항목 대상들의 결과를 검증하기 위한 항목별 흐름도는 그림 1과 같으며, 기존의 전통적 사진기준점측량 절차에 따라 그 결과를 계산하고, GPS, GPS/INS에 의한 결과를 검사점에 대한 정확도, 그리고 외부표정요소 결정의 정확도 등으로 분류하여 정리하였다. 마지막으로 세 가지 결과를 서로 비교하여 본 연구의 목적인 GPS/INS 항공사진측량의 활용가능성에 대한 결론을 도출 및 제시하였다.

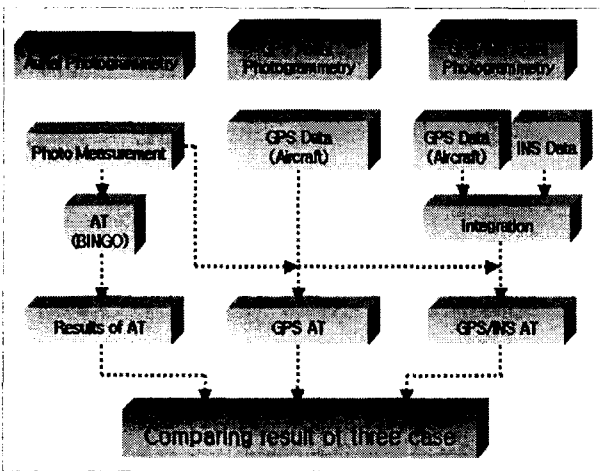


그림 1. 연구의 흐름

2. 촬영

GPS/INS 항공사진측량을 활용하기 위해서는 정확도를 판단하여야 하며, 이를 위해 기존의 전통적 방법의 항공사진측량을 수행하여 비교분석하여야 한다. 따라서, 축척 1:5,000과 1:20,000으로 실험대상지역을 GPS/INS 항공사진촬영 결과, GPS 항공사진촬영의 결과와 기존의 전통적 항공사진측량 성과를 POS/AV 시스템을 이용하여 비교·분석하였다. 본 연구에서는 지면 상 축척 1:5,000의 결과만 나타내었다.

GPS/INS를 이용한 1:5,000 항공사진의 촬영대상 지역은 과천시지역으로, 실험대상 지역 선정시에 산악지, 도심지 등이 모두 포함되도록 계획하였다. 촬영대상면적은 과천시지역의 약 20km²으로 촬영용 항공기는 Cessna 208, 사용된 항공사진 카메라는 RC30 (f=152.486mm), GPS는 Novatel Millenium 2000, INS는 Applanix LN 200 IMU로 그림 2와 같

다. 기타 과천시지역에 대한 촬영 상세내용은 표 1에 수록하였다.

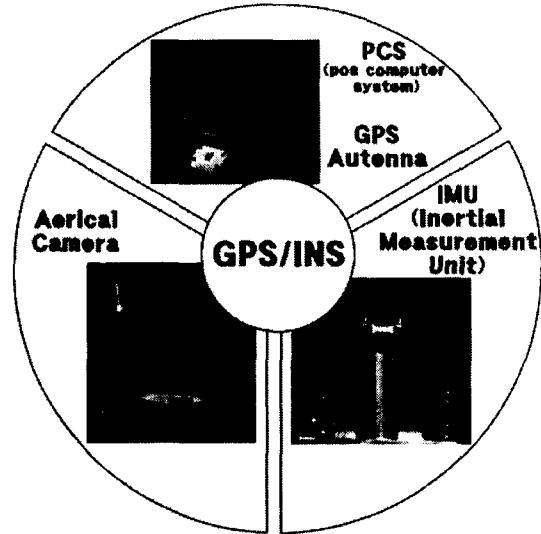


그림 2. GPS/INS 항공사진측량 장비

표 1. 과천시지역 촬영 파라메타

Gwacheon region (1:5,000)	
airplane	Cessna 208
velocity of flight	250km/h
GPS receiver	Novatel Millenium 2000
camera	RC 30
focal length	f=152.486mm
exposure interval	6-7sec
area	20km ² (3km × 6.3km)
flight altitude	875m
overlapping ratio	P=75%, Q=45%
aerial photo	97 sheets
strip number	5 strips
control point	87 points

그림 3은 축척 1:5,000 GPS/INS 항공사진측량 실험대상지역인 과천시지역에 대한 실제 촬영계획을 나타내었다.

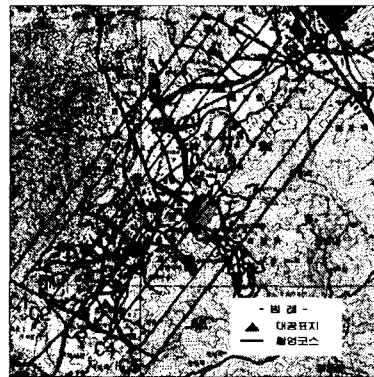


그림 3. 과천시지역 촬영계획

3. 결과 분석

GPS/INS AT와 GPS AT의 결과를 검증하기 위해 GPS와 INS를 연계하여 칼만 필터링으로 처리한 결과와 INS 자료를 제외하고 GPS 자료만을 처리한 결과를 축척 1:5,000의 과천지역과 축척 1:20,000의 수원지역에 대해 블록조정을 하였다.

객관적이고 상대적인 비교를 위해 GPS AT와 GPS/INS AT의 경우에도 전통적 AT 경우와 마찬가지로 동일한 기준점의 수와 배치형태를 취하였다. 또한, 이 경우에도 사용한 블록조정 S/W는 모두 BINGO를 이용하였다.

지상기준점측량을 수행한 후 블록조정을 위해 사진기준점측량을 하기 위하여 먼저 해석도화기 P2를 이용하여 사진상에 촬영된 지상기준점, 검사점 및 중·횡점합점의 사진좌표를 정밀하게 관측하였다.

GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량의 수행 시 최적의 블록형태와 지상기준점의 수를 알아내기 위한 비교판단의 기준이 되는 기준조정을 하게 되는데 이 기준조정은 일단 모든 기준점을 사용하여 전통적 항공사진측량 방식대로 조정을 한 후, 이의 결과를 오차가 없는 것으로 간주하여 GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량의 결과와 비교를 가능하게 하는 작업과정이다. 기준 조정값을 구하는 방법에는 지상의 검사점을 이용하는 방법과 블록조정 후의 각 사진에 대한 6개의 표정요소와 정확도를 비교하는 방법이 있다. 6개의 표정요소의 정확도를 비교하는 방법은 GPS/INS 항공사진측량의 실용화 목적인 최소기준점의 설치 가 보편화되면 지상측량을 최소의 기준점에 대해서만 수행하게 된다.

전통적 AT, GPS AT와 GPS/INS AT의 경우에 검사점에 대한 결과와 외부표정요소의 결정 정확도에 대하여 비교를 하였으며, 그 결과를 각각의 경우로 분리하여 설명하였다.

3.1 검사점에 대한 기준점의 정확도

GPS AT와 GPS/INS AT의 결과를 검증하기 위하여, 1:5,000과 1:20,000 축척별로 기준점의 수와 배치를 달리하여 전통적 AT의 결과를 계산하였다.

축척 1:5,000으로 촬영한 과천지역의 검사점은 블록 내에 균등 배치된 14점에 대하여 전통적 AT, GPS AT와 GPS/INS AT의 결과를 비교하였다.

표 2. 블록 내 설치된 검사점의 좌표

Check point	X	Y	Z
3	199,834.295	435,578.110	63.503
4	199,332.871	435,720.832	51.130
5	199,783.035	436,785.203	41.451
6	199,503.712	437,553.121	35.943
7	198,907.872	436,223.235	51.989
8	199,985.606	438,837.331	31.031
9	200,262.934	437,195.048	46.928
10	200,739.419	436,790.521	54.317
11	200,932.887	438,151.504	40.763
12	200,657.140	437,968.185	40.132
13	201,772.932	438,529.583	39.511
14	202,025.055	438,153.523	58.708
17	198,819.142	436,495.040	63.937
18	198,583.368	435,736.652	50.550

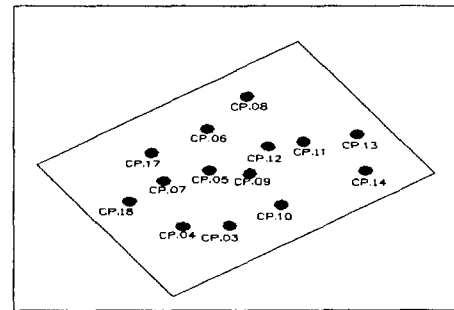


그림 4. 블록 내 설치된 검사점의 분포도

3.1.1 전통적 AT

다양한 기준점의 수에 대한 전통적 사진기준점측량의 결과를 종합하여 정리하면 표 3과 같다. 기준점의 수에 따른 결과를 시각적으로 비교하기 위해 그림 5에 도표로 도시하였다.

표 3. 전통적 AT-1:5,000

GCP_No	General AT		
	Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)
87	0.07	0.06	0.15
20	0.07	0.06	0.18
10	0.09	0.08	1.91
8	0.10	0.08	2.30
6	0.08	0.10	2.38
4	0.12	0.13	4.04

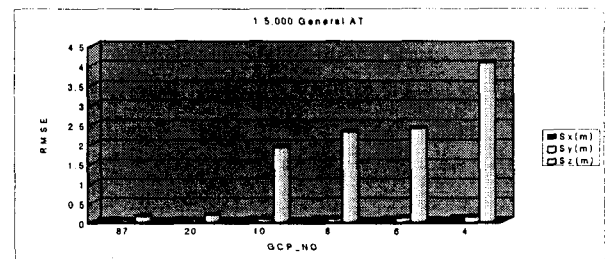


그림 5. 전통적 AT-1:5,000

전통적 AT는 모든 기준점을 사용한 결과와 블럭내에 골고루 분포된 20점, 10점, 8점, 6점, 4점의 기준점을 사용한 결과의 블럭을 조정하였다. 20점의 기준점과 모든 기준점을 비교하면 평면에서는 큰 차이가 발생하지 않았으나, 표고에서는 모든 기준점의 오차가 15cm로 나타나고, 20점의 기준점의 오차는 18cm로 증가되었다. 기준점 수의 감소는 특히, 표고의 정확도에 민감한 영향을 미칠 수 있다.

기준점 수가 10점미만의 경우에는 기준점 수의 수가 현저히 줄어들므로 인해서 그 배치형태에 많은 주의를 기울여야 한다. 10점의 경우는 모든 기준점을 사용하였을 때와 비교하여 20점의 경우와 마찬가지로 평면의 위치는 변동이 없으나 표고에서는 1.91m의 오차가 발생하여 기준점의 감소에 따라 표고오차는 크게 변화되고 있다.

각각 기준점 8개와 6개를 사용한 경우에는 기준점이 8점이나 6점의 경우에도 평면에서는 큰 차이는 없지만, 표고의 정확도는 기준점 수의 감소에 따라 오차가 크게 커지는 경향을 보여, 8점인 경우 표고오차는 2.3m, 6점인 경우는 2.38m의 오차가 발생하였다.

마지막으로, 단지 4개의 기준점 수만을 블럭의 네모서리에 설치하여 비교하였다. 4점의 경우 배치형태는 블럭의 네모서리가 가장 안정하므로 네모서리에 배치하였으며, 주의할 점은 4점만으로는 사진기준점 수축량이 불가능하여 발산하는 경우가 생긴다.

기준점을 4점만을 이용한 경우는 평면오차는 큰 변동이 없으나 표고오차는 급격히 증가하고 있다. 특히, 거의 모든 검사점의 표고오차가 4m이상으로 커지고 있어, 기준점의 부족에 비례하여 표고오차가 급속히 증가하는 항공사진측량의 일반적인 현상을 재확인 할 수 있다.

전통적 AT의 경우에 기준점 수가 감소함에 따라 정확도가 전반적으로 비례하여 감소하며, 평면 위치는 기준점 수에 덜 민감하게 반응하나 표고 오차는 기준점 수에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 기준점 수가 10점 이하가 되면 표고오차는 2m의 오차가 발생한다. 그리고 최소 기준점인 4점의 경우에는 때에 따라 조정이 이루어지지 않으며 발산하여 큰 오차가 나타나는 것을 알 수 있다.

3.1.2 GPS AT

기준점의 수에 따른 GPS AT의 결과를 정리하면 표 4와 같다. 기준점의 수에 따른 결과를 상대적으로 비교하기 위하여 그림 6에 도표로 표시하였다

표 4. GPS AT-1:5,000

GCP_NO	RMSE (m)		Sz(m)
	Sx(m)	Sy(m)	
87	0.07	0.07	0.15
20	0.06	0.06	0.14
10	0.07	0.06	0.13
8	0.07	0.09	0.16
6	0.07	0.10	0.18
4	0.07	0.09	0.19

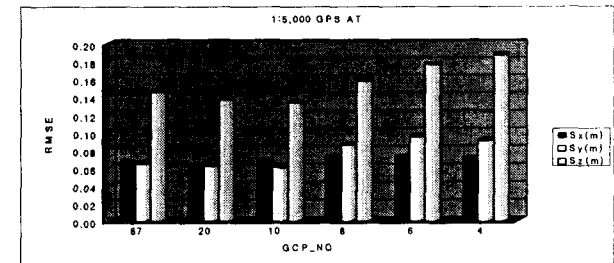


그림 6. GPS AT-1:5,000

기준점 수가 줄어들어도 GPS가 이를 대신하여 기준점의 역할을 하므로 최소기준점인 4점의 경우에도 광속 조정이 가능하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 기준점 8점 이하인 경우에는 표고오차가 다소 커지는 경향이 있으므로 최소 10점 이상, 안전을 고려하면 20점 정도를 블럭 내에 균등 배치하는 것이 좋다.

3.1.3 GPS/INS AT

기준점의 수에 따른 GPS/INS AT 결과를 종합하여 정리하면 표 5와 같다. 이러한 결과를 보다 시각적으로 판단하기 위하여 GPS/INS의 경우에 대한 기준점의 수에 따른 결과를 그림 7에 도시하였다.

표 5. GPS/INS AT-1:5,000

GCP_NO	RMSE (m)		Sz(m)
	Sx(m)	Sy(m)	
87	0.07	0.07	0.14
20	0.07	0.06	0.14
10	0.06	0.08	0.12
8	0.08	0.09	0.14
6	0.10	0.07	0.25
4	0.08	0.11	0.15

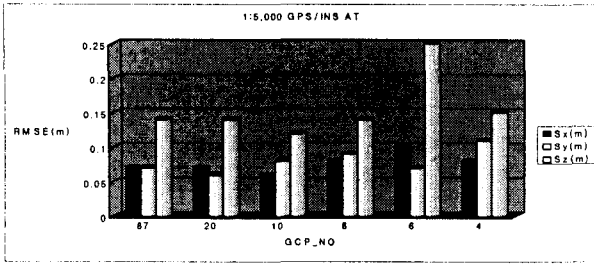


그림 7. GPS/INS AT-1:5,000

GPS AT의 경우 최소기준점인 4점의 경우에도 광속 조정이 가능하다. 이는 바로 지상기준점이 줄어들어 따라 GPS/INS가 이를 대신하여 지상기준점의 역할을 훌륭하게 수행하고 있음을 알 수 있다. 하지만 기준점 10점 이하인 경우에는 표고 오차가 다소 커지는 경향이 있으므로 최소 10점 이상, 안전을 고려하면 20점 정도를 블록 내에 균등 배치하는 것이 좋으며, 기준점 6점일 때, Z축의 표준편차가 0.25m로 기준점 4점일때, 0.15m 보다 정확도가 오히려 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 사용된 기준점의 정확도나 배치형태에 따라 정확도에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

3.2 외부표정요소의 정확도

GPS/INS항공사진측량의 수행 시 최적의 블럭형태와 지상기준점 수를 알아내기 위한 비교 판단의 기준이 되는 기준조정을 하게 된다. 기준 조정값을 구하는 방법에는 지상의 검사점을 이용하는 방법과 블럭조정 후의 각 사진에 대한 6개의 표정요소에 대한 정확도를 비교하는 방법이 있다. 다음은 전통적 AT, GPS AT와 GPS/INS AT의 경우에 외부표정요소의 결정정확도에 대한 비교를 하였다. 그 결과를 축척별로 각각의 경우로 나누어 설명하였다.

3.2.1 전통적 AT

기준점을 사용하여 조정한 각 사진에 대한 외부표정요소의 정확도를 위치와 회전각으로 나누어 분석하였다. 전통적 AT의 경우에 모든 기준점, 20, 10, 8, 6, 4점을 사용하여 조정한 결과를 Table 42에 나타내었다.

표 6에서 보듯이 전통적 AT의 경우 기준점이 4개인 경우를 제외하고는 6개의 외부표정요소 중 투영중심의 좌표에 해당하는 세 개의 위치는 기준점 수의 감소에 거의 영향을 받지 않고 있다. 하지만, 회전각의 경우 S_{ϕ}, S_{ω} 의 오차는 기준점

수의 감소에 따라 비례하여 증가하나, S_x 는 거의 변동이 없음을 알 수 있다. 또한, 기준점이 10점 이하가 되면 표정요소 중 회전각의 오차가 30" 이상이 되어 기준점의 보강이 없이는 조정결과와 활용에 어려운 경우가 발생하였다.

표 6. 전통적 AT-1:5,000

CP No	Position(m)			Rotation angle(°)		
	S _x	S _y	S _z	S _φ	S _ω	S _κ
87	0.09	0.09	0.04	19	19	7
20	0.09	0.09	0.08	18	18	11
10	0.12	0.11	0.07	29	26	8
8	0.15	0.13	0.10	36	31	9
6	0.16	0.14	0.14	38	33	8
4	0.37	0.44	1.27	96	115	11

3.2.2 GPS AT

전통적 AT의 경우 기준점 수의 감소에 따라 오차가 증가하여 기준점의 보강이 없이는 조정결과와 활용이 어려운 경우에 발생하는 문제를 GPS보조로 해결할 수 있는가를 검증하기 위해 GPS AT의 경우에도 전통적 AT의 경우와 같이 기준점 수의 감소에 따른 외부표정요소의 정확도를 산출하여 그 결과를 표 7에 수록하였다.

표 7. GPS AT-1:5,000

CP No	Position(m)			Rotation angle(°)		
	S _x	S _y	S _z	S _φ	S _ω	S _κ
87	0.08	0.08	0.04	19	21	10
20	0.11	0.10	0.06	22	29	12
10	0.13	0.11	0.08	24	33	13
8	0.14	0.12	0.10	24	35	13
6	0.14	0.12	0.11	25	36	13
4	0.17	0.14	0.15	28	44	14

표 7에서 보듯이 GPS AT의 경우 기준점 수가 4개인 경우에도 외부표정요소 중 투영중심의 좌표에 해당하는 세 개의 위치는 기준점 수의 감소에 거의 영향을 받지 않고 있다. 회전각의 경우 S_{ϕ}, S_{ω} 의 오차는 기준점 수의 감소에 비례하여 증가하나, S_x 는 거의 변동이 없음을 알 수 있다. 그러나 기준점 수가 4점의 경우에는 표정요소 중 회전각의 오차가 30" 이상이 된다.

3.2.3 GPS/INS AT

GPS/INS AT의 경우에도 전통적 AT, GPS AT의 경우와 같이 기준점 수의 감소에 따른 외부표정

요소의 정확도를 산출하여 그 결과를 표 8에 수록하였다.

표 8에서 알 수 있듯이 GPS/INS AT의 경우 기준점 수의 감소에 상관없이 외부표정요소의 정확도가 매우 균질하다. 최소 4개의 기준점인 경우에도 모든 기준점을 사용한 경우와 거의 대등한 결과를 얻었다. 따라서, 검사점의 경우와 마찬가지로 지상기준점의 수가 줄어들어 따라 GPS/INS가 이를 대신하여 지상기준점의 역할을 훌륭하게 수행하고 있음을 재확인 할 수 있다.

표 8. GPS/INS AT-1:5,000

87	0.09	0.09	0.04	19	19	7
20	0.06	0.06	0.06	13	13	11
10	0.07	0.07	0.08	14	13	10
8	0.08	0.07	0.09	15	14	10
6	0.09	0.07	0.10	17	15	11
4	0.10	0.09	0.14	18	16	11

4. 결론

축척 1:5,000 과천지역의 경우 전통적 AT의 경우 87점의 지상 기준점이 필요하였으나 GPS AT와 GPS/INS AT의 경우 모두 전체 기준점의 1/4 지상기준점이면 전통적 AT와 동일한 정확도를 얻을 수 있었다. 축척 1:20,000 수원지역의 경우 전통적 AT의 경우 110점의 기준점이 필요하였으나 GPS AT, GPS/INS AT의 경우 전체기준점의 1/5 지상기준점만 있으면 전통적 AT와 동일한 정확도를 얻어 지상 기준점의 수를 획기적으로 줄일 수 있었다.

GPS AT와 GPS/INS AT에 의한 광속조정기법은 전통적 AT에 비하여 정확도를 획기적으로 높일 수 있었다. 축척 1:5,000 과천지역의 전통적 AT의 경우 최소의 지상기준점인 4점만으로는 표고의 정확도가 4m이상을 초과하여 사진기준점측량이 전혀 불가능한 반면, GPS AT의 경우는 19cm, GPS/INS AT의 경우는 15cm 정도로 요구 정확도를 만족할 수 있었다. 또한 축척 1:20,000 수원지역의 전통적 AT의 경우 최소의 지상기준점인 4점만으로는 표고의 정확도가 23.8m이상을 초과하여 사진기준점측량이 전혀 불가능한 반면, GPS AT의 경우에는 8점 일때, 66cm, GPS/INS AT의 경우는 4점 일때, 78cm 정도로 요구 정확도를 만족할 수 있었다.

본 연구를 통하여 GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량에서 필요한 지상기준점의 수가 비슷함을 알 수 있었다. 따라서, GPS/INS 항공사진측량의 실무 적용시 INS 가격이 고가이므로 현재 많은 항공사들이 보유하고 있는 GPS 수신기를 항공기에 장착하여 GPS 항공사진측량을 하는 것이 지도제작 경비의 절감에 효율적인 것으로 판단된다.

참고문헌

- Ackermann, F., "Utilization of Navigation Data for Aerial Triangulation", IAP Vol. XXV, Part A3, 1986
- Lee, J.O., "Untersuchungen von Verfahren zur kombinierten Aerotriangulation mittels integriertem GPS/INS, Doctoral Thesis, Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hannover, 1996.
- 박운용, 윤경철, 신상철, "번들조정에 의한 항공삼각망의 최적형상 결정에 관한 연구", 동아대학교 대학원 논문집 제21집, 1996, pp. 399-425.
- 김충평, "GPS를 이용한 투영중심 위치결정 및 사진기준점측량에 관한 연구", 박사학위논문, 명지대학교 대학원, 2000.
- 한상득, "GPS/INS에 의한 항공사진의 외부표정요소 결정에 관한 연구", 박사학위논문, 경기대학교 대학원, 1997.
- 국토지리정보원, "항공사진측량 작업내규", 2002.