

GPS를 이용한 사진기준점 측량에 관한 연구

이재원* · 문두열** · 김정희*** · 김진수****

The Study of Aerial Triangulation Using GPS

Jae-One Lee* · Doo-Youl Moon** · Jung-Hee Kim*** · Jin-Su Kim****

요 약

최근 동적 DGPS 위치결정에 의한 사진기준점 측량은 국가기본도 작성과 지적제조사 사업을 비롯한 각종 국토개발 분야에 활용할 수 있으며, 앞으로 GPS 수신기 보급의 증가와 더불어 촬영시 비행동체의 정확한 움직임을 고려한 보간기법의 개발, 관성측량기에 의한 GPS의 단점보완 등에 관한 지속적인 연구가 요청되고 있다.

GPS를 이용한 항공사진측량 방법에서는 항공기에 탑재한 GPS 수신기로 촬영 순간의 노출점의 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.

본 연구에서는 전통적 항공사진측량방법과 GPS 항공사진측량방법을 동시에 수행하고 두 방법의 결과를 비교하여 이들 방법간의 정밀도 및 효율성 등을 평가하고자 하였다. 연구결과 전통적 항공사진측량에 비하여 GPS 항공사진측량의 다양한 장점을 확인할 수 있었다. 특히, 외부표정에 필요한 지상기준점의 수는 약 70%~80%이상, 지형도제작 비용은 약 30%~50%이상 절감할 수 있었다. 뿐만 아니라 기준점의 수를 크게 생략하였음에도 불구하고 정밀도에는 영향이 없었음을 알 수 있었다.

주요어 : 전통적 항공사진측량, GPS항공사진측량, 사진기준점 측량, 블록조정

ABSTRACT : Nowadays, GPS-photogrammetry can be applied to the basemap production, a land register and NGIS. And from now on, as the increase of GPS receiver rate, the study

* 대한측량협회 연구위원(jolee@kasm.or.kr)

** 동의대학교 토목공학과 교수(dymun@hyomin.donggeui.ac.kr)

*** 경남대학교 토목공학과 교수(geodesy@kyungnam.ac.kr)

**** 동아대학교 토목공학과 박사(8051kjs@hanmail.net)

on the interpolation methods considering the exact movement of an aircraft at photoflight and the study on the supplement of GPS defect by INS are required continuously.

GPS-Photogrammetry, which are based on the direct measurement of the projection centers and attitude at the moment of camera exposure time through loading the GPS receiver in aircraft. This photogrammetric methods can offer us to acquire the exterior orientation parameters with only minimum ground control points, even the ground control process could be completely skipped. Consequently, we can drastically reduce the time and cost for the mapping process.

In this thesis, two test flights were conducted in area to evaluate the performance of accuracy and efficiency through the analysis of results between the two photogrammetric methods, that is, traditional photogrammetry, GPS-Photogrammetry. Test results shows that a large variety of advantages of GPS-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.

Keywords : traditional photogrammetry, GPS-photogrammetry, aerial triangulation, block adjustment

1. 서 론

항공, 광학, 기계분야의 발달과 컴퓨터의 발전으로 인하여 사진기준점측량(Aerial Triangulation : AT)을 개발하여 항공사진측량의 효율성을 높였으며 특히 도화기의 발전으로 사진측량의 정확도 및 신속성이 급속도로 발전하였다.

촬영된 사진의 기하상태를 재현하기 위해 노출순간 카메라의 위치와 회전각에 해당하는 각 사진의 외부표정요소(exterior orientation)를 필요로 한다. 현재까지 외부표정요소 주로 촬영이 이루어지기 전에 다량의 지상기준점(Ground Control Point :

GCP)을 설치하여 이를 사진상에서 인식하여 간접적으로 결정해 오고 있다. 하지만 지상기준점 측량에 의한 외부표정요소 결정방법은 항공사진측량의 공정중 시간과 경비가 가장 많이 소요되어 항공사진측량의 큰 단점이 되고 있다.

최근 동적 DGPS(kinematic Differential GPS) 위치결정에 의한 카메라의 외부표정요소를 결정하는 연구가 진행되어 실용 단계에 접어들었으며, GPS 항공사진측량(GPS-Photogrammetry)에 의한 새로운 지도제작 기법이 보편화될 전망이다. 또한 국가측지망의 형성과 국가지리정보체계(National Geographic Information System : NGIS)의 기

본도 제작을 위하여 고정밀 기준점과 정확성 확보를 위한 수단으로 GPS 항공사진 측량은 필수적이라 할 수 있다.

본 연구는 국내에서 촬영한 항공사진 자료를 사용하여 GPS를 이용한 항공사진 측량을 수행함으로써 지상기준점 측량을 줄여 경제적인 지도를 제작할 수 있는 정확도를 확보하는 데 있다. 이를 위해서는 촬영 시에 일정한 시간 간격으로 관측한 GPS 자료를 처리하여 각 시각에 대한 좌표를 계산하고, 촬영 당시의 정확한 노출 시간 자료와 보간법으로 카메라 투영중심의 위치를 결정하여, 기준점의 수와 배치 상황에 따른 결과를 분석하여 GPS 항공사진 측량을 위한 운영 방안을 제시하였다.

2. GPS 항공사진측량의 기본이론

3차원 지형정보를 수집·처리하고 가공하는 기법들이 발달함에 따라 다양한 원격탐사 시스템들이 개발되고 있으며 현재 인공위성, 항공기 및 차량 등을 이용하여 지형정보를 취득하는 매핑 센서들이 개발되고 있다. Direct Georeferencing이란 지형

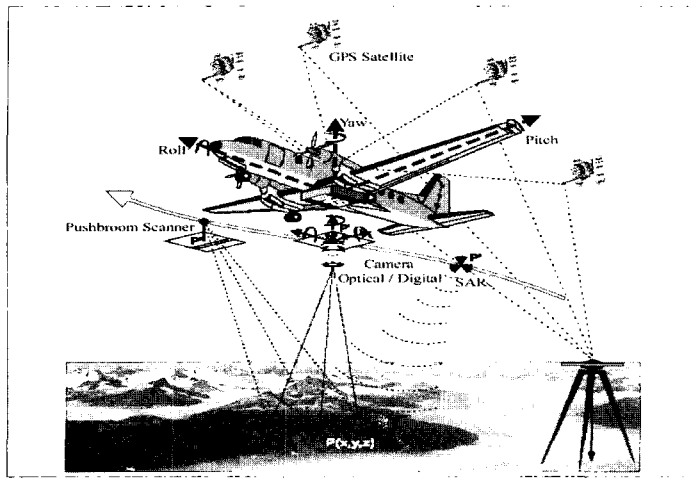
공간정보를 취득하는 매핑 센서에 대한 여섯 개의 외부표정요소(x, y, z, ω , ϕ , κ) 즉, 촬영이나 센싱 당시 탑재된 센서의 위치와 자세(attitude)를 현지에서 직접 결정하여 모든 영상점들을 지상의 대응점에 매칭시키는 작업을 말하며 Geocoding이라고도 한다. 아래의 표에는 항공측량분야에서 요구하는 센서와 축척별 외부표정요소의 결정에 대한 요구 정확도를 수록한 것이다(F. Ackermann외, 1993).

GPS나 INS(Inertial Navigation System) 단독 시스템을 이용하여 외부표정요소의 직접결정을 수행할 경우, <표 1>에서 제시한 센서별 요구 정확도를 만족시키는 것은 어렵다. 따라서 일반적으로 INS와 GPS를 통합함으로써 외부표정요소 직접결정에 필요한 매핑 센서의 위치와 회전각을 결정할 수 있지만, 이 경우에는 INS 장비의 구입에 따른 경제적인 부담이 매우 크다. 따라서 기존의 GPS 수신기를 이용하여 간단히 외부표정요소를 구하는 방법은 매우 경제적이면서도 실용적이다. [그림 1]은 GPS 항공사진측량의 원리를 나타내고 있다.

GPS를 항공사진측량의 외부표정요소 직접 결정에 활용하기 위해서는 일반적인

<표 1> 영상 센서의 요구정확도

Type of Sensors	Position(m)	Orientation(")
Aerial camera, M 1:5,000	0.1~0.75	30" ~50"
Aerial camera, M 1:20,000	1.25~2.0	70" ~80"
CCD camera or scanner	0.25~1.0	1' ~3'
Interferometric SAR	1.0~2.0	10" ~40"



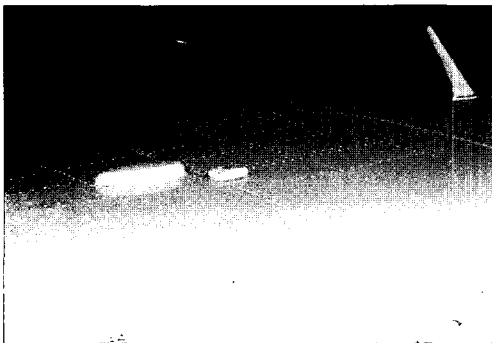
[그림 1] GPS 항공사진측량의 원리

지상측량에 필요한 기본조건에 더하여, 탑재기의 빠른 이동속도와 동적인 거동으로 인하여 특별한 관측조건과 자료처리 및 오차보정 등이 필요하다. 특히 비행 중 발생하는 수신기의 불능에 따른 불확정정수 (ambiguity)처리 등은 매우 중요한 문제이다. GPS 관측값을 결정하여 항공사진측량 자료와 연계하는 데에는 반송파 관측값의 이용, 상대측정에 의한 위치결정, 동적 GPS 측량 시 발생하는 오차처리 등 몇 가지 전제조건들이 필요하다(이재원, 1996).

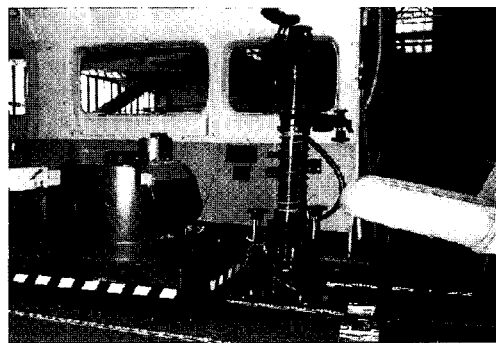
3. 비행실험 및 관측자료 처리

3.1 GPS 항공사진촬영

GPS를 이용한 축척 1:20,000 항공사진의 촬영대상지역은 수원지역으로, 실험대상 지역 선정시에 산악지, 도심지 등이 다양한 지형특성이 포함되도록 계획하였다. 촬영용 항공기는 Cessna 208, 사용된 항공사진 카메라는 RC30 ($f=152.486\text{mm}$), GPS는 Novatel Millenium 2000로 [그림 2, 3]과



[그림 2] 촬영 항공기와 수신기



[그림 3] 항공사진 카메라 장비

<표 2> 실험지역의 촬영상세

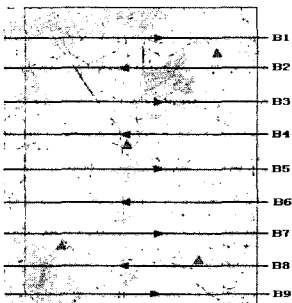
Suwon region(1:20,000)	
airplane	Cessna 208
flight velocity	300km/h
GPS receiver	Novatel Millenium 2000
camera	RC 30
focal length	f=152.486mm
exposure interval	23-24 sec
area	528km(22km × 24km)
flight altitude	875m
ovelapping ratio	P=75%, Q=45%
aerial photo	126 sheets
strip number	9 strips
control point	110 points

같다. 기타 실험지역에 대한 촬영 상세내용은 <표 2>에 수록하였다.

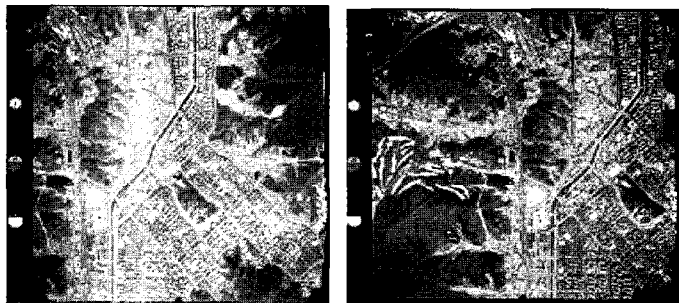
[그림 4]는 촬영대상지역인 수원일원의 지형도 및 코스별 촬영궤적을 도시한 것이며, [그림 5]에 수원지역에 해당하는 항공사진 2매(407, 408)를 나타내었다. <표 3>에는 각 코스별로 촬영된 사진의 매수와 블럭조정에

사용된 사진매수와 사진번호를 수록하였다.

본 연구에서는 총 9개의 스트립(126매) 중에서 8개의 스트립(106매)에 대해서만 항공사진측량의 결과를 분석하였다. 수원 지역의 촬영 당시 항공기에서의 GPS 자료를 수신하는 동안 모두 6개의 위성수신이 가능하였다.



[그림 4] 촬영궤적



[그림 5] 축척 1:20,000 항공사진

<표 3> 코스별 사진의 매수와 블럭조정에 사용된 사진매수

Strip No.	Distance	Sheet	Using sheets	Using photo No.
1	23.92km	14	13	103~115
2	23.92km	14	14	204~217
3	23.92km	14	13	305~317
4	23.92km	14	13	403~415
5	23.92km	14	13	503~515
6	23.92km	14	13	604~616
7	23.92km	14	13	704~716
8	23.92km	14	14	803~816
9	23.92km	14	not use	not use
SUM	215.28km	126	106	106

3.2 지상측량

본 연구의 지상측량은 대공표지점설치 및 측량, 지상기준점측량, 검사점 측량, DGPS 기준점 측량 등으로 구분할 수 있다. 지상기준점측량은 평면기준점과 표고기준점으로 구분하여 GPS 측량으로 수행하였다. 또한 블럭 조정 결과와 GPS 자료에 대한 정밀한 검증을 위하여 검사점을 실험지역에 골고루 분포시켜 GPS 측량을 수행하였다.

3.2.1 대공표지점 설치 및 측량

대공표지의 설치와 사진기준점 측량과 도화작업에 필요한 사진좌표를 측정이 용이하도록 지상기준점 등에 표지를 설치하는 작업을 말하며, 산악지 등 특정 지형·지물의 관측이 불가능한 지역에서는 대공표지를 설치하여야 한다. 대공표지측량시

기준국으로 사용된 점들은 약 3시간, 이동국으로 사용된 점들은 약 1시간 30분씩, GPS 자료를 수신하였다. 사용된 대공표지점 중에서 삼각점과 매설점의 정표고를 고정하여 나머지 임시점들의 정표고를 GPS에 의하여 간접적으로 산정하였다.

수원지역에 대공표지를 설치한 지점은 2000년도 국토지리정보원에서 고시한 정밀 2차 기준점(3, 4등)에 5점을 설치하였다.

3.2.2 지상기준점 측량 및 검사점 측량

지상기준점측량은 평면기준점과 표고기준점으로 구분하여, GPS 측량으로 수행하였다. 또한 지상기준점측량과 동시에 작업지역에 골고루 분포된 검사점 8점에 대하여 GPS 측량을 실시하였다. 이것은 검사점에 대한 전통적 AT방식, GPS AT방식에 의한 결과를 서로 비교하기 위함이다. GPS 항공사진측량의 수행시 최적의 블럭

형태와 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 항공사진측량의 결과와 비교를 가능하게 하는 작업과정이다.

광속조정법에 의한 블록 조정의 정확도는 “항공사진측량 작업내규(국토지리정보원 내규 제 51호)에 의하여 동일 블록 내에 있어서 평면 및 표고 모두 표준편차가 촬영고도의 0.02% 이내, 최대오차가 촬영고도의 0.04%이내로 한다.”이다. 이를 축척별로 계산하면 <표 4>와 같다(대한측량협회, 공공측량작업규정, 2002; 국토지리정보원, 항공사진측량 작업내규, 2002).

검사점은 블록 내에 균등 배치된 8점에 대하여 전통적 AT와 GPS AT의 결과를

비교하였다. [그림 6]은 블록 내에 설치된 검사점의 분포도이며, <표 5>는 블록 내에 설치된 검사점의 좌표이다.

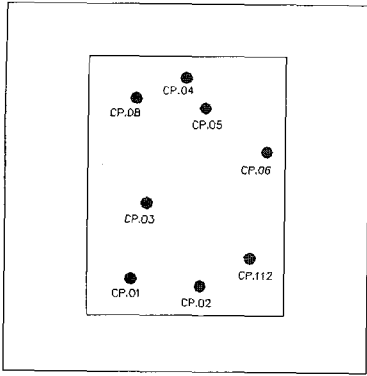
촬영된 사진은 사진기준점측량을 위하여 해석도화기 P2를 이용하여 사진상에 촬영된 지상기준점, 검사점 및 종·횡접합점의 사진좌표를 정밀하게 관측하였다. 그 후 GPS 항공사진측량의 수행 시 촬영축척 1:20,000의 경우에 대한 최적의 지상기준점의 수를 알아내기 위한 비교판단의 기준이 되는 기준조정을 수행하였다. 모든 기준점을 사용하여 전통적 항공사진측량 방식대로 조정을 한 후, 지상기준점의 수에 따라 GPS 항공사진측량의 결과와 비교하였다. 그 결과는 지상의 검사점을 이용하는 방법을 이용하였다. [그림 7]은 모든 기준점의 분포도이며, [그림 8]은 20, 10, 8, 6, 4개 기준점의 분포도이다.

<표 4> 광속조정법에 의한 블록 조정의 정확도

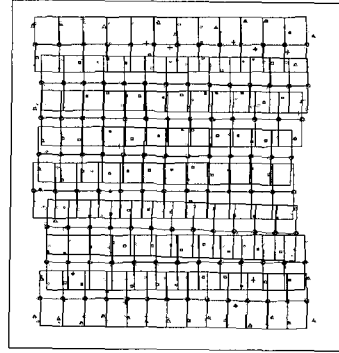
Scale	flight height	standard deviation(0.02%)	maximum standard deviation(0.04%)
1:20,000	3,300m	±66cm	±132cm

<표 5> 블록 내에 설치된 검사점의 좌표

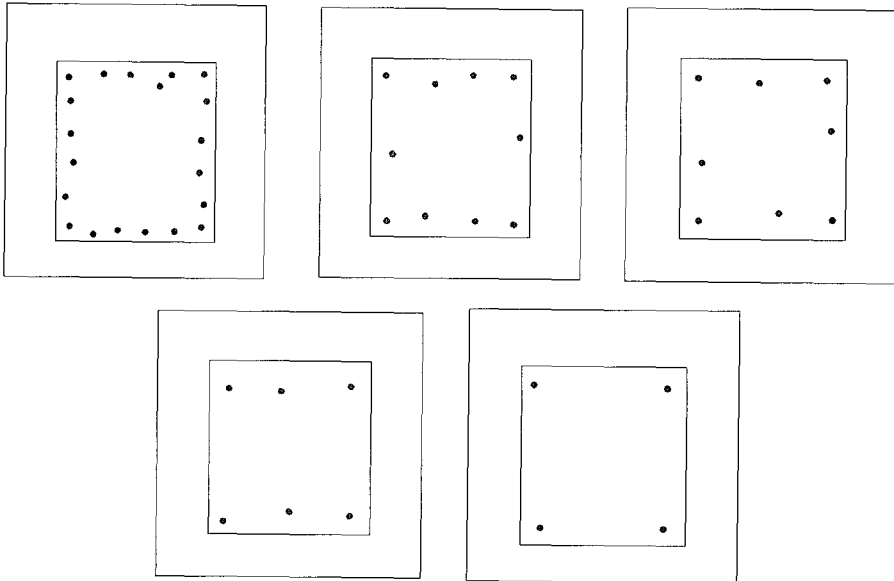
Check point	X	Y	Z
1	204,703.291	419,220.681	50.705
2	209,361.494	419,087.560	70.077
3	208,756.220	432,078.272	51.160
4	216,228.695	441,776.237	328.779
5	217,457.995	440,909.673	238.833
6	222,579.732	435,016.268	43.860
8	212,570.784	440,456.904	48.157
112	219,215.219	420,998.807	92.269



[그림 6] 검사점의 분포



[그림 7] 전체 기준점의 분포



[그림 8] 20개, 10개, 8개, 6개, 4개 기준점 분포

3.2.3 DGPS기준점 측량

GPS 항공사진측량 시에는 지상에 DGPS기준점을 설치하여야 한다. 기준점은 항공기에서 취득된 GPS 자료의 후처리 시 고정점으로 사용하기 때문에 실험

지역 내 국가 기준점(삼각점 및 수준점)에 설치하였다. 기준국의 GPS 수신간격은 카메라의 노출순간의 위치결정이 가능하도록 항공기에 부착된 GPS 수신기의 수신간격과 동일하게 1초 간격으로 자료를 수신하였다(www.applanix.com).

4. 실험결과 및 비교분석

4.1 전통적 AT

기준조정을 위해서 기준점을 사용하여 전통적 AT 방식으로 블럭조정을 수행하여 조정전과 조정후의 기 설치된 검사점에 대한 표준편차를 산출하였다. 블럭조정을 위한 S/W는 광속조정기법을 사용하는 BINGO를 이용하였다(www.inpho.de).

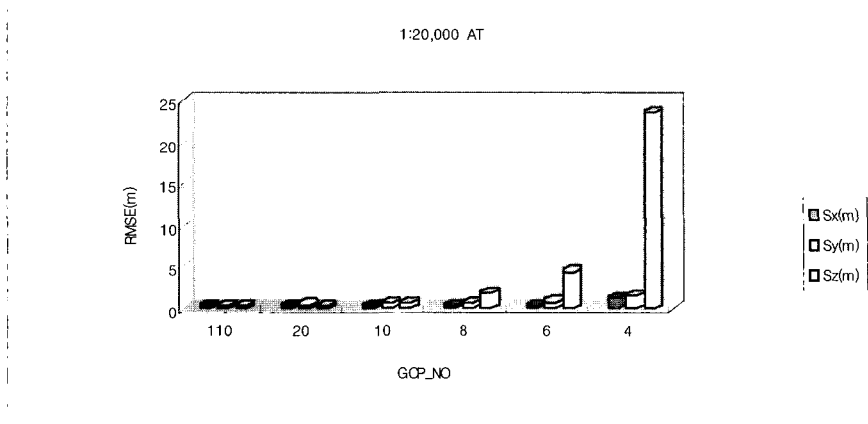
<표 6>과 [그림 9]에서 보듯이 모든 기준점(110점)을 사용했을 경우의 검사점에

대한 표준편차를 보면, 평면의 오차는 각각 28cm와 46cm, 표고오차는 약 35cm로 축척 1:20,000의 지도제작에 필요한 정확도를 만족시키고 있다.

20개의 기준점만을 이용하면 평면위치의 오차는 32cm, 51cm로, 모든 기준점의 이용시의 28cm, 46cm에 비해 약 4cm, 5cm 정도 정확도가 감소한다. 그리고 표고의 오차는 46cm로 모든 기준점의 경우인 35cm에 비해 약 11cm 정도 정확도가 감소한다. 평면위치 정확도는 모든 기준점을 사용한 경우와 비교하여 20점만의 기준점을 사용하여도 줄어든 기준점의 수에

<표 6> 기준점 수에 따른 검사점의 정확도(전통적 AT)

CP_No.	Traditional AT		
	Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)
110	0.28	0.46	0.35
20	0.32	0.51	0.46
10	0.42	0.73	0.58
8	0.41	0.58	1.84
6	0.39	0.85	4.48
4	1.26	1.61	23.8



[그림 9] 기준점 수에 따른 검사점의 정확도(전통적 AT)

비해 정확도는 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단 할 수 있다.

10점의 기준점을 사용한 경우 검사점의 표준편차는 평면위치 오차는 42cm, 73cm, 표고위치 오차가 58cm로 모든 기준점을 사용한 기준조정과 비교하여 정확도의 감소가 뚜렷함을 알 수 있다. 기준점이 10개 이하이면 요구정확도를 만족시킬 수 없으므로 전통적 항공사진측량 방법으로는 불가능하다. 마찬가지로 8, 6, 4개의 기준점을 사용한 경우 표고 오차가 이미 1m 이상이 되므로 전통적

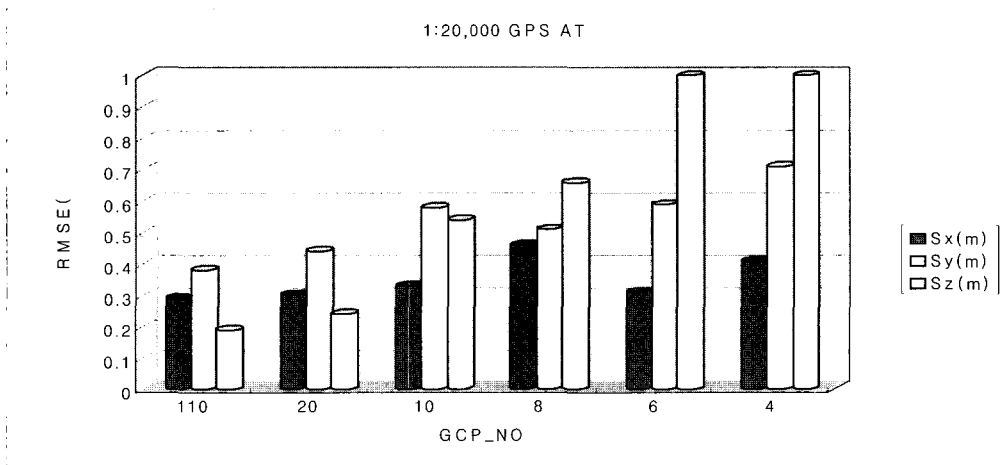
방법에 의한 블럭조정은 의미가 없다. 또한, 전통적 AT의 경우는 기준점 수를 줄이면 평면오차와 표고오차가 크게 증가함을 알 수 있다.

4.2 GPS AT

기준점의 수에 대한 GPS 사진기준점측량의 결과를 종합하여 정리하면 <표 7>과 같다. 이러한 결과를 보다 시각적으로 판단하기 위해 GPS AT의 경우에 대하여 기준점 수에 따른 결과를 [그림 10]에 도시하였다.

<표 7> 기준점 수에 따른 검사점의 정확도(GPS AT)

CP_No.	GPS AT		
	Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)
110	0.29	0.38	0.19
20	0.30	0.44	0.24
10	0.33	0.58	0.54
8	0.46	0.51	0.66
6	0.31	0.59	1.00
4	0.41	0.71	6.05



[그림 10] 기준점 수에 따른 검사점의 정확도(GPS AT)

<표 7>과 [그림 10]을 보면 모든 기준점을 사용한 경우의 검사점에 대한 블록 전체의 표준편차는 평면이 29cm, 38cm, 표고가 19cm이고 기준점 20점을 사용한 경우 검사점에 대한 정확도가 평면이 30cm, 44cm, 표고가 24cm로 촬영축척 1: 20,000의 경우에 필요한 요구 정확도를 충분히 만족하는 우수한 결과임을 알 수 있으나 6점 이하가 되면 다소 평면과 표고의 정확도가 떨어진다.

GPS AT의 결과는 기준점 10점을 사용했을 경우에도 평면오차와 표고오차가 큰 변화 없이 양호하게 나타났다. 가장 두드러진 결과는 GPS의 경우 6점의 경우에도 요구정확도를 충분히 만족한다는 것이다. 이는 바로 지상기준점이 줄어들에 따라 GPS가 이를 대신하여 지상기준점의 역할을 훌륭하게 수행하고 있음을 알 수 있다. 하지만 기준점 10점 이하인 경우에는 표고오차가 다소 커지는 경향이 있으므로 최소 10점 이상, 안전을 고려하면 20점 정도를 블록내에 균등 배치하는 것이 좋다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 전통적 항공사진측량방법과 GPS 항공사진측량방법을 동시에 시행하고 비교 실험함으로써 GPS 항공사진

측량 방법에 대한 정확도 및 효율성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 실제로 관련 장비를 항공기에 탑재한 후 검증에 필요한 제반 자료를 관측하여 분석을 한 결과, 축척 1:20,000 수원지역의 경우 전통적 AT의 경우 110점의 기준점이 필요하였으나 GPS AT의 경우 8개의 기준점만 있으면 요구 정확도를 만족시킬 수 있어 GPS 자료를 이용하여 항공사진측량을 수행할 때 지상 기준점의 수를 기존의 방법보다 상당수 감소시키면서도 공공측량작업 기준에 부합하는 성과를 얻을 수 있었다. 그러므로 국내에서 보유하고 있는 기존의 GPS수신기를 항공기에 장착하여 GPS 항공사진측량을 하는 방법이 지도제작 장비의 절감에 효율적일 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국토지리정보원, 2002, 항공사진측량 작업내규.
 대한측량협회, 2002, 공공측량작업규정.
 이재원, 1996, "Untersuchung von Verfahren zur kombinierten Aerotriangulation mittels integriertem GPS", DOKTOR-INGENIEUR.
 F. Ackermann., and H. Schade., 1993, "Application of GPS for Aerial Triangulation", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 11, pp.1625-1632.
 www.applanix.com
 www.inpho.de