

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

박운용¹⁾ · 이강원²⁾ · 이재원³⁾ · 정공운⁴⁾

Park, Woon Yong · Lee, Kang Won · Lee, Jae One · Jeong, Gong Uhn

Abstract

GPS photogrammetry or the GPS/INS 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 or INS in aircraft. Both 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, test flight was conducted in 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%, respectively.

Keywords : Aerial Photogrammetry, Exterior orientation, Global Positioning System, Inertial Navigation System, Georeferencing

요 지

GPS 및 GPS/INS를 이용한 항공사진측량 방법에서는 항공기에 탑재한 GPS 및 GPS/INS로 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 경비가 크게 절감할 수 있다. 본 연구에서는 수원에 실험지역을 설치하여 전통적 항공사진측량방법과 GPS 및 GPS/INS 항공사진측량방법을 동시에 수행하고 세 방법의 결과를 비교하여 이들 방법들 간의 정확도를 평가하고자 하였다. 연구결과 전통적 항공사진측량에 비하여 GPS 및 GPS/INS 항공사진측량의 다양한 장점을 확인할 수 있었다. 특히, 외부표정에 필요한 지상기준점의 수는 약 70%~80%이상 절감할 수 있었다.

핵심용어 : 항공사진측량, 외부표정요소, 범세계적 위치결정체계, 관성항법장치, 외부표정요소 직접결정

1. 서 론

해석적 기법의 도입과 더불어 실용화된 항공사진측량은 현재 장기간에 걸친 수하 모델의 개선과 효율적인 계산 기법의 활용으로 지도 제작뿐만 아니라 지형공간정보체계의 기본 자료로서 큰 역할을 하고 있다.

항공사진을 지도제작에 이용하기 위해서는 입체시를 위

한 내부표정과 외부표정작업이 선행되어야 한다. 이 중 외부표정요소의 결정은 많은 시간과 경비가 소요된다.

최근 사진촬영용 항공기에 여러 가지 센서를 결합하여 외부표정요소를 직접 구하는 기법이 실용화 되고 있다 (Ackermann 1993). 외부표정요소 직접결정기법은 기존의 항공사진측량과 완전히 다른 과정을 거치게 된다. 센서통합에 의해 관측된 외부표정요소 자료는 최적의 필터링

1) 정희원 · 동아대학교 토목해양공학부 교수(E-mail:uyupark@smail.donga.ac.kr)
2) 정희원 · 충남대학교 토목공학과 박사과정(E-mail:kwlee@hist.co.kr)
3) 연결저자 · 정희원 · 대한측량협회 연구위원(E-mail:jolee@kasm.or.kr)
4) 정희원 · 대흥 Eng 이사(E-mail:gw-jeong@hanmail.net)

을 통해 처리하게 되면 매우 높은 정확도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 좌표계간의 변환에 필요한 소수의 지상기준점만이 필요하며 전통적 항공측량의 경우와 같이 불력의 기하강도를 향상시킬 목적으로 불력 내에 다량의 지상기준점을 별도로 설치할 필요가 없다(한상득, 2004; Lee, J.O., 1996). 다양한 센서를 결합하여 georeferencing 기법을 연구한 사례는 많으나, 전통적 항공사진측량, GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량을 비교분석한 연구는 없다.

본 연구의 목적은 항공사진측량에 GPS와 GPS/INS를 이용하여, 사진의 외부표정요소를 직접 구하고 다양한 측면에서 전통적 항공사진측량, GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량의 정확도를 비교 분석하는 일이다.

2. 지상측량 및 촬영

앞 절에서 언급된 georeferencing 기법들의 성능과 정확도에 대한 비교 연구를 수행하기 위하여 실험대상지역에서 비행실험을 실시하였다.

2.1 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 불력조정결과에 대한 정밀한 검증을 위하여 검사점을 실험지역에 골고루 분포시켜 GPS측량을 수행하였다.

GPS 및 GPS/INS에 의한 항공사진촬영시에는 지상에 DGPS 기준점을 설치하여야 한다. 기준점은 항공기에서 취득된 GPS 자료의 후처리 시 고정점으로 사용하기 때문에 성과가 고시된 국가 기준점에 설치하였다. 촬영작업 후의 DGPS 처리를 위하여 필요한 모든 기준국들에 대한 좌표는 촬영전에 미리 결정하였다. 이 때 국토지리정보원의 GPS 상시관측소를 고정점으로 하여 기준국들에 대한 WGS 84 성과를 유도한 후 이를 좌표 변환하였다. 한편, 표고성과를 산출하기 위하여 별도의 수준측량은 실시하지 않았으며, 촬영지역내에 설치된 삼각점은 국토지리정보원의 고시된 성과를 이용하였다.

2.2 항공사진촬영

촬영대상지역은 수원시 일원을 포함하는 약 528km²의 면적이다. 촬영대상지역의 선정 시 산악지와 도심지 등 다양한 지형특성이 포함되도록 고려하여 지형특성에 따른

결과와의 비교가 가능하도록 하였다. 기타 수원지역에 대한 카메라 제원, 사진매수, 중복도 등 촬영에 관련된 자료는 표 1에 수록하였다.

그림 1은 촬영대상지역인 수원일원의 지형도 및 코스별 촬영계획을 도시한 것이다.

본 연구에서는 총 9개의 스트립(126매) 중에서 8개의 스트립(106매)에 대해서만 불력조정의 결과를 분석하였다.

표 1. 촬영상세내용

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 ² (22km×24km)
flight altitude	875m
overlapping ratio	P=75%, Q=45%
aerial photo	126 sheets
strip number	9 strips
control point	110 points

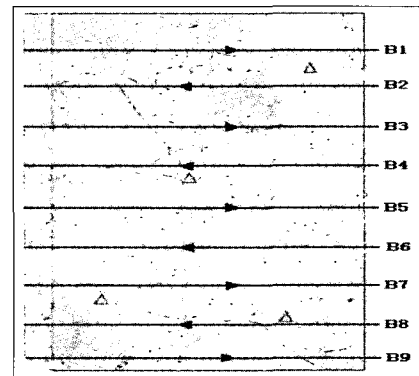


그림 1. 실험지역

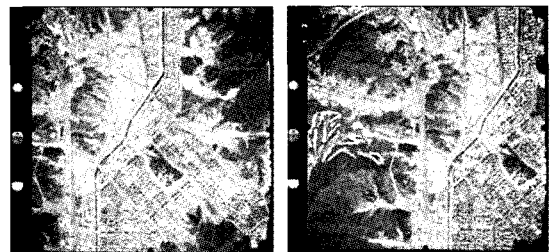


그림 2. 항공사진(407번, 408번)

수원지역의 촬영 당시 항공기에서의 GPS 자료를 수신하는 동안 모두 6개의 위성수신이 가능하였으며, 그림 2에 수원 지역에 해당하는 항공사진 2매(407, 408)를 나타내었다.

3. 자료처리

GPS와 INS를 통합처리하여 얻어진 결과와 INS 관측값을 제외하고 GPS 단독으로 처리한 결과와 지상기준점을 사용해 얻어진 결과를 블럭조정하였다.

전통적 항공사진측량과 GPS 항공사진측량, GPS/INS 항공사진측량의 지상측량에 의한 검사점과 외부표정요소 결정의 정확도를 비교하였다. 이러한 비교항목 대상들의 결과를 검증하기 위한 항목별 흐름도는 그림 3과 같으며, 기존의 전통적 사진기준점측량(Aerial Triangulation: AT) 절차에 따라 그 결과를 계산하고, GPS, GPS/INS에 의한 결과를 검사점에 대한 정확도, 그리고 외부표정요소 결정의 정확도 등으로 분류하여 정리하였다.

GPS 사진기준점 측량과 GPS/INS 사진기준점 측량을 비교 분석하기 위해 GPS와 INS를 연계하여 처리한 결과와 INS 자료를 제외하고 GPS만을 처리한 결과를 블럭조정을 하였다. 객관적이고 상대적인 비교를 위해 GPS 사진기준점 측량과 GPS/INS 사진기준점 측량의 경우에도 전통적 사진기준점 측량의 경우와 마찬가지로 동일한 기준점의 수와 배치형태를 취하였다.

광속조정법에 의한 블럭조정의 정확도의 규정은 “항공사진측량 작업내규(국토지리정보원 내규 제 51호)에 의하여 동일 블럭내에 있어서 평면 및 표고 모두 표준편차가 촬영 고도의 0.02% 이내, 최대오차가 촬영고도의 0.04%이내로

표 2. 광속조정법에 의한 블럭조정의 정확도

Scale	flight height	standard deviation	maximum standard deviation
1:20,000	3,300m	±66cm	±132cm

한다.”이며, 이를 축척별로 계산하면 표 2와 같다.

4. 결과분석

전통적 사진기준점 측량, GPS 사진기준점 측량과 GPS/INS 사진기준점 측량의 경우에 검사점에 대한 결과와 외부표정요소의 결정 정확도에 대하여 비교를 하였으며, 그 결과를 각각의 경우로 분리하여 설명하였다.

아래에서는 다음 단계에서 수행될 GPS 사진기준점 측량과 GPS/INS 사진기준점 측량의 결과를 검증하기 위하여,

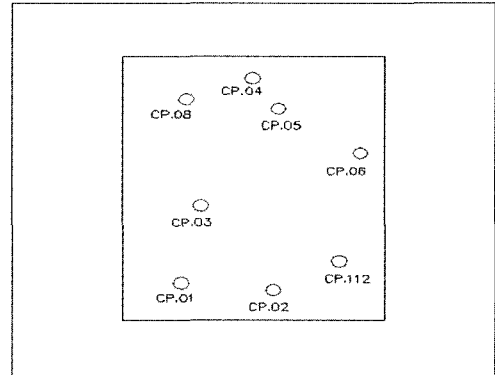


그림 4. 검사점의 분포도

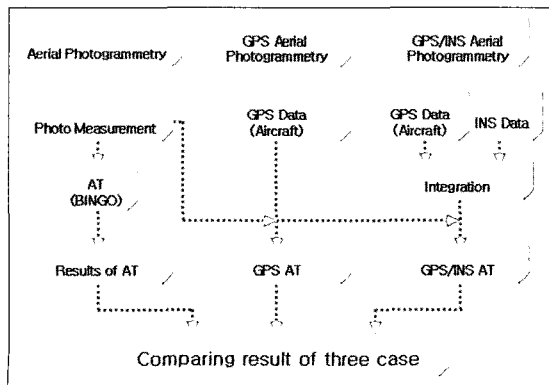


그림 3. 실험항목별 흐름도

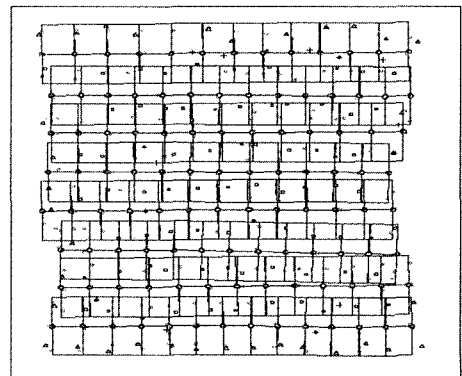


그림 5. 지상기준점의 분포도

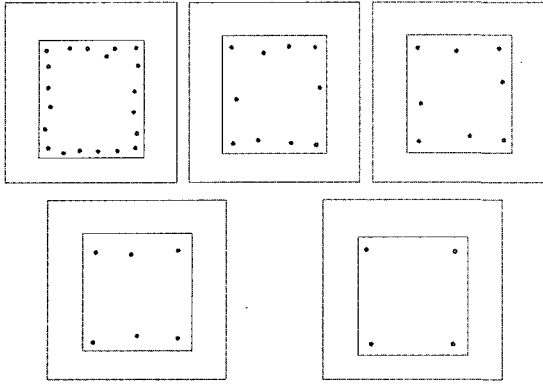


그림 6. 20, 10, 8, 6, 4 기준점의 분포도

기준점의 수와 배치를 달리하여 전통적 사진기준점 측량의 결과를 계산하였다.

축척 1:20,000으로 촬영한 수원지역의 검사점은 블록 내에 균등 배치된 8점에 대하여 전통적 사진기준점 측량, GPS 사진기준점 측량과 GPS/INS 사진기준점 측량의 결과를 비교하였다. 그림 4는 블록 내에 설치된 검사점의 분포도이며, 그림 5는 전체 기준점의 분포도, 그림 6은 20, 10, 8, 6, 4개 기준점 분포도이다.

4.1 검사점에 대한 정확도 비교

다양한 기준점의 수에 대한 전통적 사진기준점측량, GPS 사진기준점측량, GPS/INS 사진기준점 측량의 결과를 종합하여 정리하면 표 3과 같다. 사진기준점 측량방법별, 기준점의 수에 따른 결과를 시각적으로 비교하기 위해 그림 7에 도표로 도시하였다.

표 3. 기준점 별 검사점 정확도

Method	CP_No.	Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)
General AT	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
GPS AT	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
GPS/INS AT	110	0.34	0.39	0.13
	20	0.33	0.34	0.20
	10	0.38	0.41	0.26
	8	0.42	0.42	0.27
	6	0.46	0.46	0.16
	4	0.86	0.85	0.78

4.1.1 전통적 사진기준점 측량

모든 기준점을 사용했을 경우의 검사점에 대한 표준편차를 보면, 평면 X, Y축의 오차는 각각 28cm와 46cm, 표고 오차 Z는 약 35cm이며, 검사점수가 부족하여 보다 신뢰성 있는 객관적인 평가는 어려우나, 전체적으로 축척 1:20,000의 지도제작에 필요한 정확도를 만족시키고 있다.

20개의 기준점만을 이용하면 평면위치의 오차는 32cm, 51cm로, 모든 기준점의 이용시의 28cm, 46cm에 비해 약

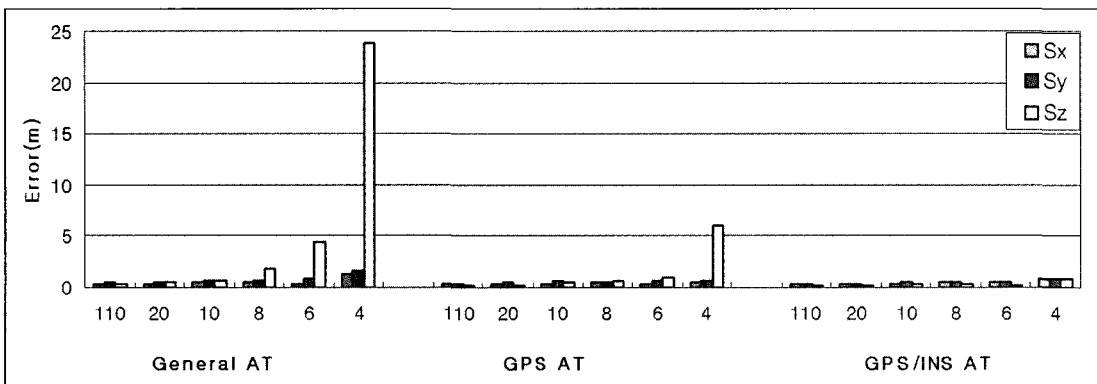


그림 7. 기준점 별 검사점의 정확도

4cm, 5cm정도 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 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 표고오차가 이미 1m 이상이 되므로 전통적 방법에 의한 블럭조정은 의미가 없다.

4.1.2 GPS 사진기준점 측량

모든 기준점을 사용한 경우의 검사점에 대한 블럭 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 10점 이하가 되면 평면과 표고의 정확도가 떨어진다.

4.1.3 GPS/INS 사진기준점 측량

GPS/INS 사진기준점 측량의 경우에는 6개의 기준점 사용까지는 오차의 증가현상이 거의 일어나지 않는다. 또한, 모든 기준점이나 소수의 기준점인 경우에도 정확도의 전체변화가 거의 없음을 알 수 있다.

4.2 외부표정요소에 대한 정확도 비교

전통적 사진기준점 측량, GPS 사진기준점 측량과 GPS/INS 사진기준점 측량의 경우에 외부표정요소의 결정정확도에 대한 비교를 하였다. 기준점을 사용하여 조정된 각 사진에 대한 외부표정요소의 정확도를 위치와 회전각으로 나누어 분석하였다.

전통적 사진기준점 측량, GPS 사진기준점 측량, GPS/INS 사진기준점 측량의 경우에 모든 기준점, 20, 10, 8, 6, 4점을 사용하여 조정된 결과를 표 4, 그림 8, 그림 9에 나타내었다.

표 4. 외부표정요소 정확도

Method	CP_No.	Position(m)			Rotation angle(")		
		Sxo	Syo	Szo	Sφ	Sω	Sk
General AT	110	0.49	0.57	0.29	29	34	8
	20	0.55	0.68	0.45	32	41	8
	10	0.62	1.06	1.05	36	66	11
	8	0.65	1.07	1.08	37	67	12
	6	0.74	1.45	2.59	40	93	14
	4	7.22	8.22	33.86	476	541	18
GPS AT	110	0.16	0.32	0.15	9	19	8
	20	0.16	0.45	0.23	9	28	8
	10	0.22	0.76	0.66	11	48	9
	8	0.24	0.72	0.62	11	45	9
	6	0.31	1.00	1.49	14	63	10
	4	0.50	1.27	2.38	20	78	11
GPS/INS AT	110	0.13	0.15	0.12	7	8	7
	20	0.13	0.15	0.14	7	8	7
	10	0.15	0.17	0.19	7	8	7
	8	0.16	0.18	0.21	7	8	7
	6	0.20	0.21	0.28	8	8	7
	4	0.37	0.4	0.46	9	9	8

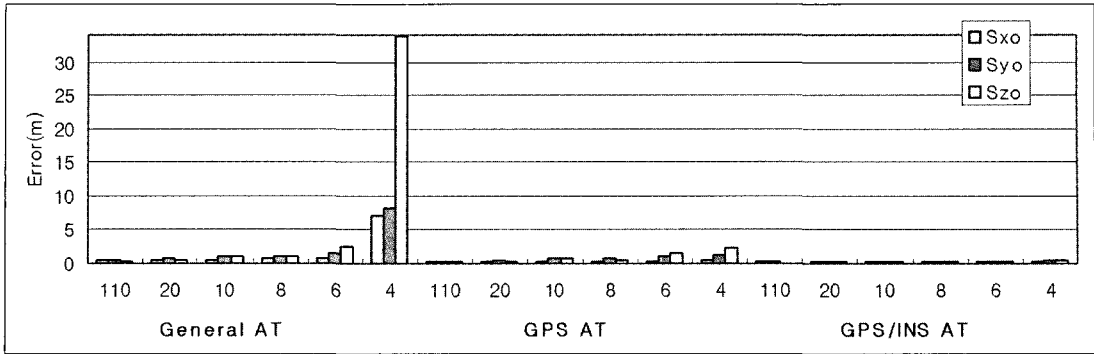


그림 8. 위치의 정확도

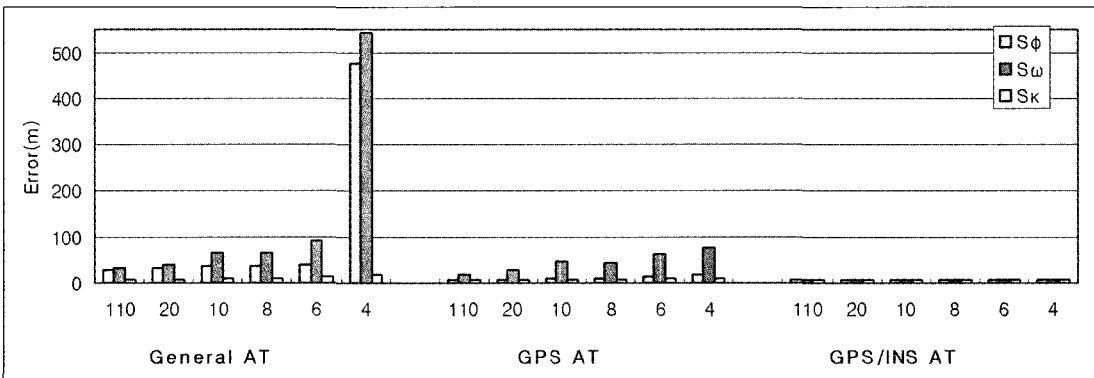


그림 9. 회전각의 정확도

4.2.1 전통적 사진기준점 측량

전통적 사진기준점 측량의 경우 기준점이 10개인 경우 부터 투영중심 위치정확도가 현저히 감소하며, 4점일 경우에는 오차가 크게 발생하였다. 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 6점이 이하가 되면 표정요소 중 회전각의 오차가 90" 이상이 되어 기준점 수의 보강이 없이는 조정결과의 활용이 어려운 경우가 발생한다.

4.2.2 GPS 사진기준점 측량

GPS 사진기준점 측량의 경우에는 외부표정요소 중 투영 중심의 좌표에 해당하는 세 개의 위치는 기준점 수의 감소에 따라 증가는 하고 있으나, 전통적 사진기준점 측량에 비하여 오차는 크지 않았다. 위치 중에서 Y축의 정확도가 X축에 비해 현저히 떨어지는 결과를 보였다. 또한, 회전각의 경우에는 S_ϕ , S_ω 의 오차는 기준점 수의 감소에 따라

비례하여 증가하나, S_x 는 거의 변동이 없음을 알 수 있으며, S_ω 의 경우 S_ϕ 보다 2~3배 큰 오차를 보이고 있다. 기준점 수가 4점의 투영중심의 외부표정요소 중 회전각의 오차가 70" 이상이 된다. 그러나 회전각의 경우에는 전통적 사진기준점 측량에 비해서 훨씬 좋은 결과를 보이고 있다.

4.2.3 GPS/INS 사진기준점 측량

4개의 기준점인 경우, 회전각 정확도는 모든 기준점을 사용한 경우와 비슷한 결과를 얻었다. 위치정확도는 기준점이 줄어들면서 오차가 조금 증가하고 있다.

5. 도 화

본 연구에서 수행한 도화방법은 전통적 사진기준점 측량에 의한 도화, GPS/INS 사진기준점 측량을 이용하여 외부표정요소를 직접 도화기에 입력하는 직접적 방법으로 구분하여 도화하였다. 직접적 방법은 도화기에서 내부표

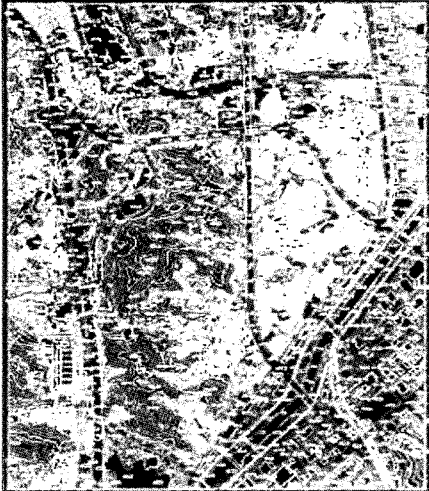


그림 10. 전통적 사진기준점측량에 의한 해석도화

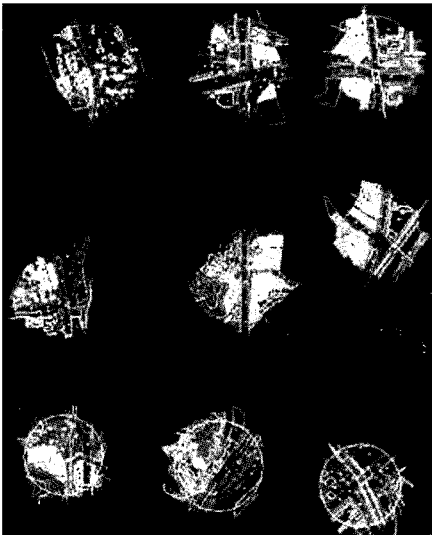


그림 11. GPS/INS 사진기준점측량에 의한 해석도화(직접적 방법)

정을 수행한 뒤에 상호표정과 절대표정 없이 직접 외부표정요소를 입력을 하게 되면 표정작업을 마치게 된다. 직접적 방법은 도화기에서 작업할 모델에 대한 지상기준점을 입력하지 않아도 도화가 가능하다.

그림 10은 전통적 사진기준점 측량 성과를 기반으로 해석도화기(P2)에서 작업한 도화 성과를 도시한 것이며, 그

림 11은 GPS/INS 사진기준점측량을 이용하여 직접적 방법으로 해석도화기(SD 2000)에서 작업한 도화 성과이다.

6. 결 론

본 연구에서는 전통적 항공사진측량방법과 GPS 및 GPS/INS 항공사진측량방법을 동시에 시행하고 세 방법을 비교 실험함으로써 세 방법에 대한 정확도를 평가하고자 하였다. GPS 항공사진측량과 GPS/INS 항공사진측량을 수행한 후, 관측 자료를 분석하고 전통적 항공사진측량과 비교하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

전통적 사진기준점 측량의 경우 110점의 기준점이 필요하였으나, GPS 사진기준점 측량, GPS/INS 사진기준점 측량의 경우 전체 기준점의 20%의 기준점만 있으면 전통적 사진기준점 측량과 동일한 정확도를 얻어 지상 기준점의 수를 줄일 수 있었다.

전통적 사진기준점 측량의 경우, 최소의 지상기준점인 4점만으로는 표고의 정확도가 23.8m이상을 초과하여 사진기준점측량이 전혀 불가능한 반면, GPS 사진기준점 측량의 경우에는 8점 일때, 66cm, GPS/INS 사진기준점 측량의 경우는 4점 일때, 78cm 정도로 원하는 정확도를 얻을 수 있었다.

전통적 항공사진측량에 비하여 GPS 및 GPS/INS항공사진측량의 다양한 장점을 확인할 수 있었으며, 외부표정에 필요한 지상기준점의 수를 크게 감소시켜도 항공사진측량의 허용 정확도를 만족할 수 있었다.

참고문헌

- 한상득, 조규전, 이재원 (2004), GPS/INS에 의한 외부표정요소 결정에 관한 경험적 연구, 한국측량학회지, 제 22권, 제 1호, pp. 53-62.
- 국토지리정보원 (2002), 항공사진측량 작업내규.
- F. Ackermann, and H. Schade (1993), *Application of GPS for Aerial Triangulation*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 11, pp. 1625-1632.
- Lee, J.O. (1996), *Untersuchungen von Verfahren zur kombinierten Aerotriangulation mittels integriertem GPS/INS*, Doctoral Thesis, Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hannover. pp. 18-39.
- www.applanix.com
- www.inpho.de

(접수일 2004. 9. 10, 심사일 2004. 9. 17, 심사완료일 2004. 9. 24)