韓國地形空間情報學會誌 第16卷 第1號 2008年 3月 pp. 43-48

연구논문

GPS/INS 항측에 의한 대축척 수치지형도 제작의 효율성 평가

Evaluation of Large Scale Digital Mapping by Photogrammetry with GPS/INS

위광재* · 서용운** · 양인태*** · 최윤수**** · 이자영*****

Wie, Gwang Jae · Suh, Young Woon · Yang, In Tae · Choi, Yun Soo · Lee, Ja Young

要 旨

본 연구에서는 GPS/INS 항공사진측량 기술을 이용하여 1/1,000 수준의 대축척 수치지형도를 제작하고 전통적인 항공사진측량과의 차이점, 즉 정확도, 경제성 등을 평가하여 GPS/INS 항측의 효율성을 평가하였다. 연구결과, 지상기준점측량 공정에서 약 40%의 작업량 절감효과가 발생한 것으로 나타났으며, 작업지역의 크기에 따른 작업효율성은 1/5,000 항측의 경우 전통적인 방법과 동일한 정확도를 유지하는 것을 기준으로 할 때 대략 10모델과 20모델 블록에서는 55%, 30모델 블록의 경우 60%의 지상기준점이 감소함을 확인하였다.

핵심용어 : GPS/INS 항공사진측량, 직접 외부표정요소결정, 사진기준점측량, 수치지형도

Abstract

In this study, it was estimated efficiency of GPS/INS photogrammetry by comparison of accuracy and economical efficiency between conventional aerial triangulation and GPS/INS aerial triangulation at the base of large scale digital mapping using GPS/INS aerial survey. The results of aerial triangulation with GPS/INS showed that 40% of working amount was reduced in the process of ground control point survey compared to conventional aerial triangulation. In case of 1/5000 scale aerial triangulation, the results showed that 55% GCP work was reduced in 10 and 20 block size, and 60% GCP work was reduced in 30 block size, under the assumption of keeping the same accuracy.

Keywords : GPS/INS Photogrammetry, Direct Georeferencing, Aerial Triangulation, Digital map

1. 서 론

지형공간정보의 기본 자료로 활용되고 있는 대표적인 것은 수치지형도이며, 제작방법에 있어서 항공사진측량 기술을 보편적으로 활용하고 있다. 이러한 항측기술에 최근 다양한 센서들의 조합을 이용하여 많은 소요비용과 시간을 절감하고 있는데 그 대표적인 방식이 범지구위치결정체계(GPS)와 관성측량시스템(INS)을 항공사진카메라에 부착하여 사진촬영시의 카메라의 위치와 회전각을 직접 획득하는 방법이다. 이는 항공사진측량의 지도화 과정에서 필요한 외부표정요소를 직접 취득함으로 지상기준점의 수를 대폭 절감하고 자동화할 수 있는 부분을 확대하였다. 최근 국토지리정보원의 "GPS/INS 항공사진측량의 실무적용을 위한 연구(I, II)"에서 현재의 항공사진측량 지상기준점의 배치와 분포형태에 따라서 번들조정법과 독립모델법의 차이는 거의 없음이 밝혀졌고 한상득(2002)은 20km^{2}의 촬영 면적에 대하여 GPS/INS 항측의 경우 20점만으로도 재래식 방법의 80점 이상의 GCP에 준하는 결과를 얻을 수 있음을 제시하였다.

본 연구의 기술적 부분에 있어서는 현행 항공사진 측량과 GPS/INS 항공사진측량의 차이점을 비교하였고, 또 사진기준점측량과 최종 정위치 편집된 수치지형도의 정확도를 평가하였다. 경제적 부분에 있어서는 동일지역에 대하여 가장 많은 비용을 차지하는 지상기준점측량을 각 방법별로 비용이 절감되는 효과를 평가하였다. 이를 위해 연구 대상지역에 대한 GPS/INS 항공사진측량을 실시

2008년 1월 29일 접수, 2008년 2월 27일 채택

* 교신저자·정회원·성균관대학교 건설환경시스템공학부 박사과정 수료·한진정보통신(주) 기술연구소 (gjwe@hist.co.kr)
** 정회원·포항1대학 토목도시과 교수 (ywsuh@pohang.ac.kr)
*** 정회원·강원대학교 토목공학과 교수 (intae@mail.kangwon.ac.kr)
**** 정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (choiys@uos.ac.kr)
***** 정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 공학석사 (jylee@gsmsolutions.co.kr)

하여 데이터를 취득하였다. 이 데이터를 기반으로 지상기준점측량과 사진기준점측량을 실시하여 대축척수치지형도를 제작하였다. 지상기준점 측량시 GPS/INS로 제작된 대축척 수치지형도의 정확도를 평가하기 위하여 검사점 측량을 동시에 실시하였다.

2. 방법비교

2.1 기존 항측방식과 비교

수치지형도 제작 공정을 촬영계획준비에서 수치지도 완성까지 11개의 작업공정으로 구분한다면 그 중 3개의 공종에 변화가 있다. 촬영시에 현행 항측과 같은 경우에는 아날로그 카메라를 항공기에 탑재하여 사진촬영을 실시했다면 GPS/INS 항측과 같은 경우에는 GPS/INS 장비를 카메라에 부착하여 사진촬영을 실시하고 촬영과 동시에 지상에 GPS 기준국을 운영하여야 한다. 또한 지상기준점측량 공정은 방법은 동일하지만 수량이 줄어들며, 사진기준점측량은 촬영과 동시에 획득한 GPS/INS 데이터와 지상기준점 등을 이용하여 수행하여야 한다.

2.2 자료의 취득 및 처리

지리정보시스템 구축을 위한 대축척(1/1,000) 수치지형도 제작에 있어 현행 항공사진 측량 방법에 Applanix사의 POS AV GPS/INS를 이용한 데이터를 추가로 취득하였다. 또한 대상지역내 지상GPS기준점을 설치하여 항공기가 이동하는 모든 시간동안 1초의 간격으로 GPS위성신호를 수신하였다. 본 연구을 위해서 자료의 취득은 군산시 일부지역을 대상으로 아래의 그림 3과 같다. 또한 항공사진 촬영은 1/1,000 수치지형도를 제작할 수 있도록 국토지리정보원 항공사진측량내규에 준하여 실시하였다.

GPS관측 데이터를 확보하여 국토지리정보원의 서산, 전주, 청주, 광주지역의 GPS상시관측소 데이터와 연결하여 성과를 산출하였으며, 그 성과는 표 1과 같다.

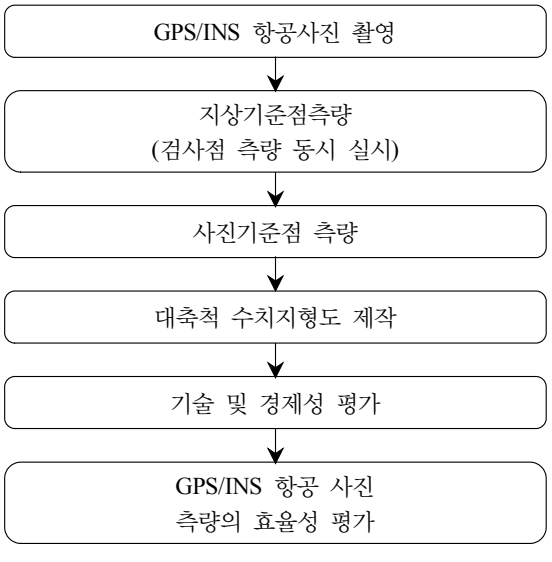

그림 1. 연구흐름도

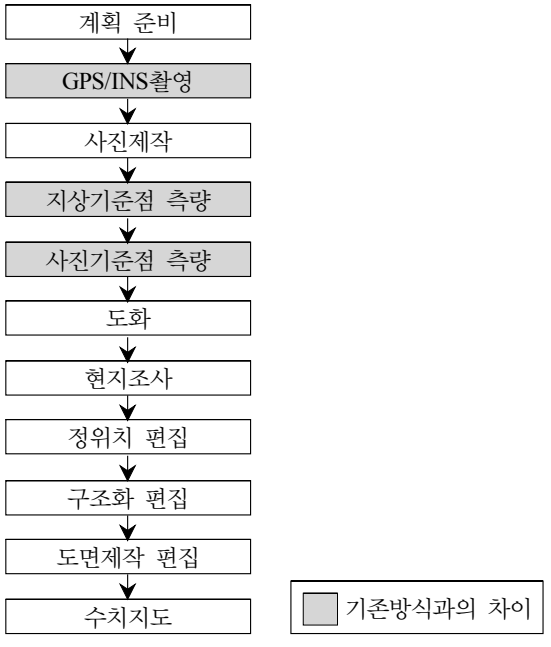

그림 2. 기존 항측 및 GPS/INS활용의 비교

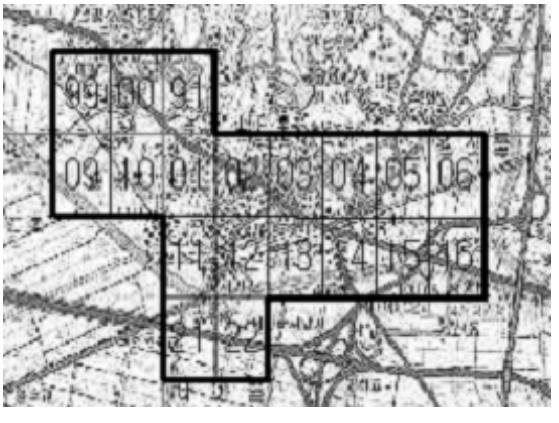

그림 3. 자료처리를 위한 지역선정

표 1. 지상 GPS 기준국 성과

위도	경도	타원체고
35-59-12.05698 N	126-46-25.60979 E	29.264m

수집된 항공기의 GPS 및 INS 데이터, 지상 GPS데이터는 POSPac 이라는 후처리 소프트웨어에서 통합 처리되었으며 이를 바탕으로 사진이 촬영된 순간의 시간을 기준으로 외부표정요소를 산출하게 하였다. 사용된 GPS/INS 후처리 소프트웨어는 Applanix사의 POSPac 4.3버전이며 GPS 수신앙각 15도 이상의 수신자료만으로 데이터를 처리하였다.

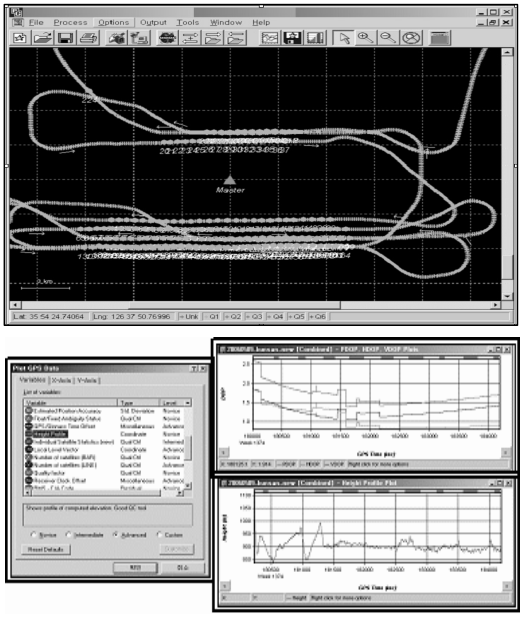

그림 4. DGPS처리 및 자료품질관리

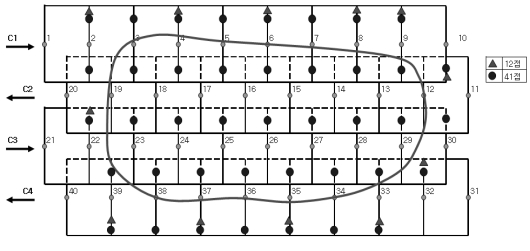

그림 5. 독립모델법 기준의 GCP선점

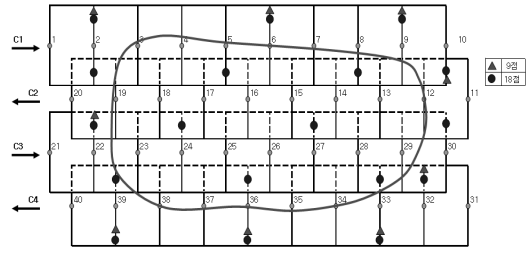

그림 6. 번들조정법을 고려한 GCP선점

사진기준점측량 위해서 지상기준점 측량을 실시하였으며 독립모델법을 기준으로 총 53점의 기준점을 측량하였다. 지상기준점 측량에 의하여 산출된 성과와 점의 조서를 활용하여 양화필름에 점이사기를 이용하여 정확히 점각하여 번들조정법이 가능한 BINGO S/W를 사용하여 사진기준점측량 실시하였다.

3. 분석 및 평가

정확도 평가는 위치정확도를 평가할 수 있는 사진기준점측량과 정위치 편집된 최종 수치지형도로 구분하여 평가하였으며, 경제성 평가에서는 현행 방법과 가장 차이가 많이 발생하는 지상기준점측량 부분을 비교하였다.

3.1 사진기준점측량 성과 비교

사진기준점측량(AT) 성과는 지상기준점을 모두 이용하는 현행 AT 성과와 GPS/INS데이터를 이용하여 지상

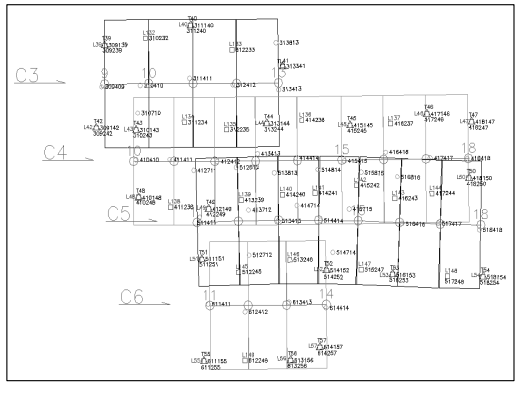

그림 7. 지상기준점 관측(모두 사용)

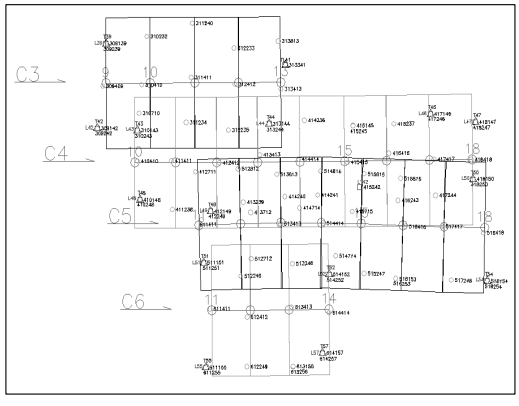

그림 8. 4모델 지상기준점 관측

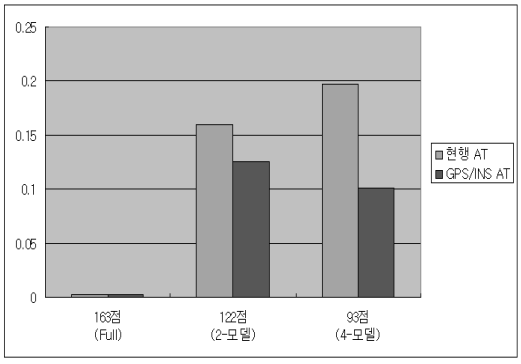

그림 9. 현행AT와 GPS/INS방법의 AT정확도 비교(단위:cm)

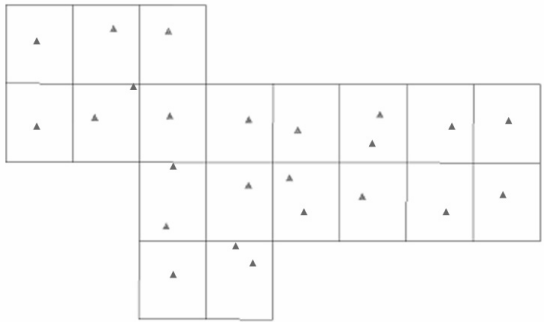

그림 10. 검사점 배치도

기준점의 수를 줄인 GPS/INS AT 성과와의 비교를 수행하였다. 먼저 현행 AT 성과와 GPS/INS AT측량 성과를 각각 수행하고, 검사점에 대한 정확도를 비교하여 보았다. 2모델 간격(2-model bridge) 기준점을 사용한 것과 4모델 간격(4-model bridge) 기준점을 사용한 결과를 이용하여 각각의 결과에 대한 카메라 외부표정요소와 검사점 12점의 오차에 대한 표준편차를 계산하였다.

현행 항공사진측량의 경우 지상기준점을 줄여나갈수록 검사점에 대한 오차가 증가하는데, 2모델 간격(2-model bridge)에서 이미 1/5,000 항공사진측량의 허용오차인 15cm가 넘어섰다. 반면에 GPS/INS 항공사진측량의 경우는 4모델 간격(4-model bridge)의 경우에도 오차의 최대값이 허용오차 안에 들어옴을 알 수 있다.

3.2 제작된 수치지형도의 정확도 평가

GPS/INS촬영에 의해 취득된 외부표정요소(EO:Exterior Orientation)와 번들조정법에 의한 사진기준점측량 결과를 이용하여 대축척 수치지형도를 제작하였다. 제작된 수치지형도의 정확도를 평가하기 위하여 수치지형도상에서 구분이 잘되며 반영구 또는 영구적으로 경사변화가 없는 곳으로 건물의 모서리나 담장모서리, 콘크리트 구조물 등을 기준으로 그림 11과 같이 선점하였다. 또한 그림 10과 같이 총 24점의 검사점을 GPS로 측량하였다.

실험지역에서 측량한 24점의 검사점에 대하여 GPS/INS 항측으로 제작한 수치지형도의 정확도를 표 2와 같이 성과를 비교하여 제시하였다.

아래의 표와 같이 GPS/INS 방법으로 제작된 수치지형도는 표준편차가 X방향으로 6cm, Y방향으로 9cm로 평가되었다. 최대오차는 X방향으로 30cm, Y방향으로 49cm이며, 최소오차는 X방향으로 1cm, Y방향 1cm로 나타났다.

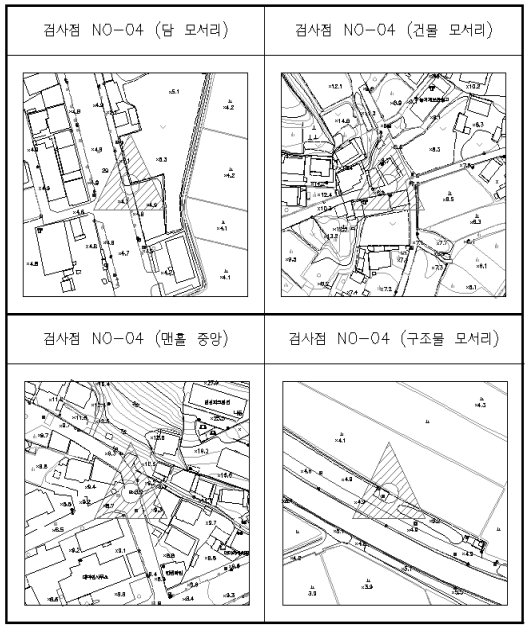

그림 11. 검사점의 조서

3.3 경제성 평가

경제성을 평가하기 위하여 실험지역에 사용된 지상기준점의 감소량을 현행 항측과 GPS/INS 항측으로 비교하여 평가하였다. 또한 1/5,000 및 1/1,000 수치지형도 제작에 있어서 개정된 항공사진측량작업내규('06년 10월)를 준용하여 설계하였을 때 나타나는 비용의 차이를 분석하였다.

본 연구의 실험지역을 기준으로 현행 항측에 의한 사진기준점측량은 163개의 지상기준점을 사용한 반면, GPS/INS는 93개의 지상기준점만을 사용하고도 동일한 정확도를 얻을 수 있었다.

GPS/INS 항공사진측량의 4모델 간격(4-model bridge)를 기준으로 사진기준점 측량을 실시할 경우, 사진축척

표 2. 검사점에 대한 GPS/INS 항측에 의한 수치지형도의 성과비표표

검사점 번 호	검사점 성과		수치지형도 성과		비 교	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	***767.15	***742.74	***767.07	***742.82	0.08	-0.08
2	***582.53	***335.74	***582.43	***335.78	0.10	-0.04
3	***299.81	***907.52	***299.73	***907.38	0.08	0.14
4	***109.74	***106.45	***109.67	***106.52	0.07	-0.07
5	***419.81	***940.39	***419.99	***940.58	-0.18	-0.19
6	***505.49	***886.63	***505.61	***886.53	-0.12	0.10
7	***999.23	***522.01	***999.24	***522.08	-0.01	-0.07
8	***469.54	***086.13	***469.42	***086.21	0.12	-0.08
9	***107.27	***191.90	***107.15	***192.12	0.12	-0.22
10	***264.32	***805.50	***264.52	***805.60	-0.20	-0.10
11	***724.14	***780.59	***724.11	***780.62	0.03	-0.03
12	***277.03	***209.00	***277.23	***208.91	-0.20	0.09
13	***596.80	***097.66	***596.92	***097.74	-0.12	-0.08
14	***779.88	***898.81	***780.18	***898.80	-0.30	0.01
15	***150.57	***880.32	***150.72	***880.51	-0.15	-0.19
16	***653.39	***269.20	***653.46	***269.27	-0.07	-0.07
17	***159.54	***281.92	***159.58	***281.90	-0.04	0.02
18	***693.11	***254.92	***693.28	***255.21	-0.17	-0.29
19	***024.85	***182.64	***024.80	***183.13	0.05	-0.49
20	***578.16	***291.77	***578.20	***291.91	-0.04	-0.14
21	***213.43	***501.81	***136.38	***150.77	0.05	0.04
22	***690.41	***790.81	***690.54	***179.84	-0.13	-0.03
23	***968.40	***843.69	***968.38	***843.79	0.02	-0.10
24	***459.26	***712.60	***345.58	***712.96	-0.32	-0.36
표준편차					-0.06	-0.09

표 3. GPS/INS방법으로 제작된 수치지형도의 정확도 평가

	오차	
	X방향	Y방향
표준편차	6cm	9cm
최대오차	30cm	49cm
최소오차	1cm	1cm

표 4. 지상기준점측량 감소량 (63모델기준)

구 분	평 면	표 고	합 계	비 고
현행 항측	57	106	163	표고: 모델마다 4모서리에 4점 배치
GPS/ INS 항측	45	48	93	표고: 촬영 직각방향으로 2코스마다 중복부분 배제
감소량	12점	58점	70점	전체물량의 42.9% 감소

표 5. 지상기준점측량 감소량 (블록별)

구 분	10모델	22모델	31모델
현행 항측	29	56	78
GPS/ INS 항측	16	31	46
감소량	13점 (44.8%)	25점 (44.6%)	32점 (41%)

1/5,000 항공사진 대략 10모델 블록에서는 55%, 20모델 블록의 경우 55%, 30모델 블록의 경우 60%의 지상기준점이면 현행방법과 동일한 정확도의 사진기준점측량이 가능했다.

축척별로 지상기준점의 감소량을 현행 항측과 GPS/INS 항측과 비교하기 위하여 국토지리정보원에서 '05년도에 발주한 울산지구(1/5,000)에 대하여 설계 비용을 비교하

표 6. 1/5,000 수치지형도 제작 설계비용 비교('05년 울산지구, 수정제작, 233도엽)

공종		현행항측	GPS/INS 항측	감소량
지상기준점측량	평면	26,850,752	15,103,548	(44%↓)
	표고	7,907,618	3,639,146	(54%↓)

표 7. 1/1,000 수치지형도 제작 설계비용 비교('05년 대구지구, 수정제작, 231도엽)

공종		현행항측	GPS/INS 항측	감소량
지상기준점측량	평면	71,900,380	48,291,300	32%↓
	표고	22,611,713	10,563,036	53%↓

면 지상기준점측량 공정에서 약 50%의 비용절감효과가 발생한 것으로 나타나고 있다.

1/1,000 수치지형도 수정제작에 있어서 경제성을 평가결과는 약 230도엽을 수정 제작하였을 때, 지상기준점측량 공정에서 약 43% 정도의 비용절감효과가 발생한 것으로 나타나고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 GPS/INS 항측 기술을 이용하여 대축척 수치지형도를 제작하고 현행 항측과의 차이점을 제시하고, 제작된 수치지형도에 대하여 정확도와 경제성을 분석함으로써 GPS/INS 항측의 효율성을 평가하고자 한다.

연구결과, GPS/INS 항측에 의하여 제작된 수치지형도의 정확도 평가에 있어서 사진기준점측량공정에서는 현행 항측과 동일한 정확도로 나타났으며, 최종 수치지형도에 대한 정확도는 X방향으로 6cm, Y방향으로 9cm 정도로 분석이 되었다.

경제성 평가에 있어서 실험에 사용된 모델별로 차이는 발생하였지만, 지상기준점측량 공정에서 약 40%의 절감효과가 발생한 것으로 나타났다. 블록별 감소량은 사진축척 1/5,000 항공사진의 경우, 대략 10모델과 20모델 블록에서는 55%, 30모델 블록의 경우 60%의 지상기준점이면 현행방법과 동일한 정확도의 사진기준점측량이 가능한 것으로 분석이 되었다.

본 연구를 통하여 GPS/INS 항측을 통하여 제작된 대축척 수치지형도는 현행 항측과 비교하였을 때, 정확도 측면에서는 동일한 수준을 유지하면서 경제성이 확보되는 효과가 있었다. 또한 촬영 당시에 외부표정요소를 취득함으로써 전체 공기 단축과 함께 지상기준점의 절감효과가 발생함으로써 효율적인 것으로 분석이 되었다.

참고문헌

1. 유복모, 2003, *현대 디지털 사진 측량학*, 피어슨 에듀케이션 코리아.
2. 이재원, 2005, "사진축척을 고려한 GPS/INS 항공사진측량 블록조정의 정확도 분석", *대한측량학회지*, 제23권 제3호, pp. 323-330.
3. 이자영, 2007.8, *GPS/INS 항공사진측량에 의한 대축척 수치지형도 제작 평가*, 서울시립대학교 도시과학대학원 공학석사 학위논문.
4. 한상득, 2002, "GPS/INS에 의한 항공사진의 외부표정요소 결정에 관한 연구", 경기대학교 대학원 토목공학과.
5. 건설교통부 국토지리정보원, 2002, "GPS/INS 항공사진 측량의 실무적용을 위한 연구(I)".
6. 건설교통부 국토지리정보원, 2003, "GPS/INS 항공사진 측량의 실무적용을 위한 연구(II)".
7. 건설교통부 국토지리정보원, 2005, "다차원 공간정보구축에 관한 연구".
8. Cramer, M. and D. Stallmann and N. Haala. 2000. "Direct Georeferencing Using GPS/Inertial Exterior Orientation for Photogrammetric Applications", IAPRS, Volume XXXII/B, Amsterdam, The Netherlands, July, pp. 198-205.
9. Grejner-Brzezinska D. A., 1999. "Direct Exterior Orientation of Airborne Imagery with GPS/INS System: Performance Analysis", Navigation, Vol. 46, No. 4, pp. 261-270.
10. Schwarz, K.P., M.A. Chapman, M.E. Cannon, P. Gong., 1993. "An Integrated INS/GPS Approach to the Georeferencing of Remotely Sensed Data", PE&RS, Vol. 59, No. 11, pp. 1667-1674.
11. Applanix 웹페이지, Canada, http://www.applanix.com