

Direct Georeferencing을 이용한 도화 정확도 분석

송연경* · 이재원**

The Analysis Accuracy of Mapping using Direct Georeferencing

Youn-Kyung Song* · Jae-One Lee**

요 약

GPS/INS에 의한 항공사진측량을 이용하려면 사진촬영과 동시에 획득한 외부표정요소의 결과를 도화·편집 작업에 실제로 적용해 보아야 한다. 도화성과의 검증작업은 GPS/INS의 결과를 이용하여 수치지도의 제작시 가장 중요한 공정에 해당한다. 이를 위하여 기존 AT성과에 의하여 제작된 해석도화원도를 기준으로 본 연구에서 제시한 AT성과별, 도화기별, 표정방식별로 수행한 도화결과를 비교하였다. AT성과와 표정방법에 상관없이 해석도화와 수치도화의 평면과 표고의 오차를 비교하여 보면, 해석도화가 수치도화보다 우수한 결과를 보여주며, 또한 평면오차가 표고오차보다 더 크게 나타남을 알 수 있었다. GPS/INS AT의 Direct 표정의 경우 InDirect 표정방법에 비해 3배 이상의 오차가 발생하였으나 모든 경우의 결과가 허용오차를 충족하고 있으므로 축척 1:5000에서는 GPS/INS AT를 이용한 표정과 도화작업은 매우 효율적으로 수행될 수 있음을 알 수 있었다.

주요어 : GPS/INS, 외부표정요소, 수치지도, 도화, Direct 표정

ABSTRACT : In order to carry out aerial photogrammetry using GPS/INS, it is necessary to apply exterior orientation parameters, obtained while making a photo, to the editing process. It should be noted that the verification process of aerial mapping result is the most crucial process at the GPS/INS based digital photogrammetry. To this end, this study has compared the mapping result by the ways of AT results, plotter, and orientation, which is from basis of the Analytical raw map produced by the existing AT results. When comparing the horizontal

* 동아대학교 대학원 토목공학과 공학박사 (aaong@hanmail.net)

** 대한측량협회 연구위원 (jolee@kasm.or.kr)

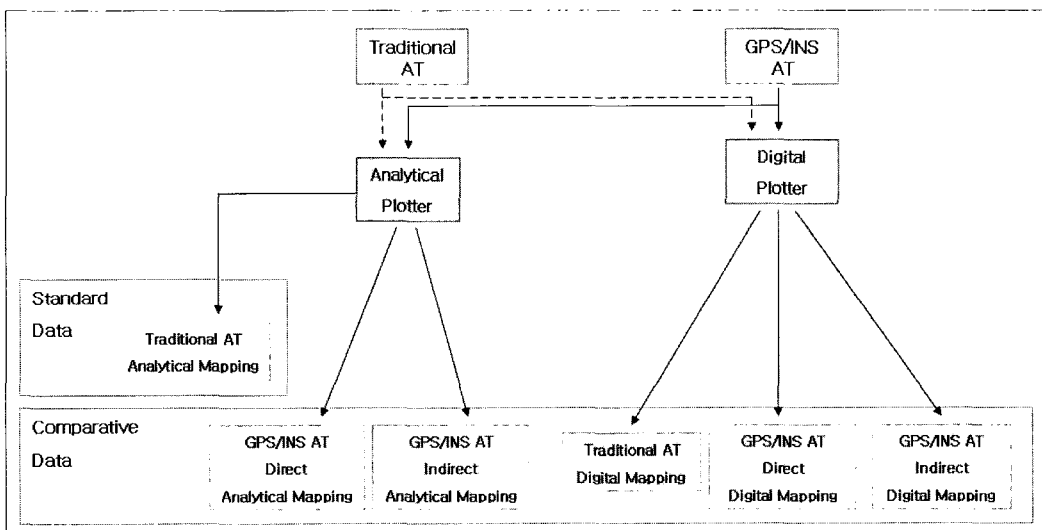
and vertical accuracy of the analytical mapping with that of digital restitution, it could be found that the latter is more accurate than that of the former. In addition, it was revealed that the horizontal error was bigger than that of vertical one. Even though the accuracy of the GPS/INS based AT Direct orientation was three times poorer than the of indirect one, it was recognized that the photogrammetry process was effectively performed in the application of scale 1:5000 mapping with satisfying the allowance errors.

Keywords : GPS/INS, exterior orientation, digital map, mapping, Direct orientation

1. 서 론

최근 사진촬영용 항공기에 여러 가지 센서를 결합하여 외부표정요소를 직접 구하는 기법이 실용화 되고 있다. 센서통합에 의해 관측된 외부표정요소 자료는 최적의 필터링을 통해 처리하게 되면 매우 높은 정확도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 좌표계간의 변환에 필요한 소수의 지상기준점만이 필요하며 기존의 항측의 경

우와 같이 블록의 기하강도를 향상시킬 목적으로 블록 내에 다량의 지상기준점을 별도로 설치할 필요가 없다. 본 연구의 목적은 기존의 항공사진측량에 의한 도화방법을 기준으로 GPS/INS 항측의 결과를 이용한 도화의 작업방법 및 정확도 등을 비교하여 이의 활용 가능성을 입증하는 것이다. GPS/INS에 의하여 취득된 표정결과를 이용한 도화 및 편집부분의 정확도 검증을 위하여 [그림 1]과 같이 다양한 방법으로 구분하여 비교와 평가를 수행하



[그림 1] 도화부분 연구 흐름

였다. 먼저 외부표정요소의 결정방법에 따라 크게 기존 AT방식과 GPS/INS AT방식의 두 가지 형태로 분류하였다. 다음으로 이러한 표정결과를 이용하는 도화기의 종류에 따라 해석도화기상에서 수행하는 방법과 수치도화기상에서 수행하는 방법으로 구분하였다. 마지막으로 입체시를 위한 표정방법에 따라 각각 해석도화기 또는 수치도화기상에서 직접 입력하는 Direct 방식과 수동 입력하는 inDirect방식으로 구분하여 수행하였다.

따라서 위의 [그림 1]과 같이 기존 AT 방식에 의한 해석도화와 수치도화의 결과, 해석도화기에 의한 Direct 및 InDirect 표정결과, 수치도화기에 의한 Direct 및 InDirect 표정결과 등 총 6종류의 도화성고가 얻어진다. 결국 기존 AT에 의한 해석도화 원도의 결과를 비교 하였다. 본 연구의 도화작업에 사용된 도화장비는 총 3대로 해석도화기 2대와 수치도화기 1대이다. 해석도화기는 P2(Carl Zeiss사)와 SD 2000(Leica사)이며, 수치도화기는 Summit Evolution(DAT/EM사)이다.

2. 도화방식의 비교

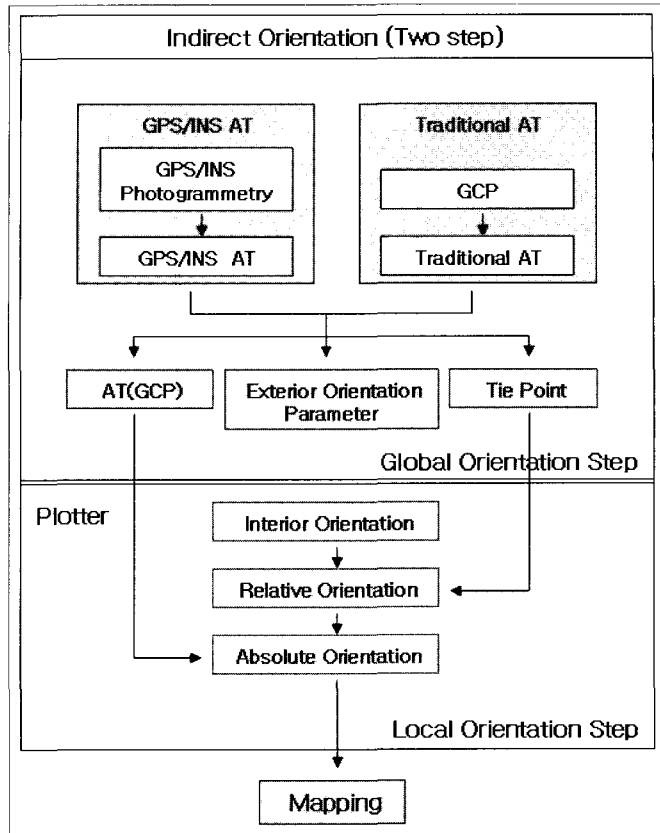
아래에는 상이한 표정방식에 따른 도화 방식의 특징과 작업과정에 대하여 설명하였다. GPS/INS AT결과를 이용한 도화방법은 크게 두 가지, 즉 도화를 위한 표정 방식에 따라 기존의 방식("inDirect 방식"이라고 함)과 본 연구에서 제시하는 방식("Direct 방식"이라고 함)으로 나누어진다. 따라서 아래에는 먼저 Direct 방식과

InDirect방식에 대한 개요를 각각 설명하고 두 방법간의 특징을 비교하였다.

2.1 기존 도화 방식(inDirect)

기존의 도화 방식은 먼저 표정을 수행하기 전에 전체 작업지역을 하나의 블록으로 설정하여 사진기준점 측량에 필요한 지상기준점을 구하기 위하여 재래식 지상 측량 또는 GPS측량을 수행한다. 지상기준점측량 성과를 이용하여 사진기준점측량을 수행하여 전체 작업지역에 대한 모든 사진의 외부표정요소와 사진상에 관측된 지상기준점, 중·횡접합점 및 대상물에 대한 조정된 지상좌표를 얻게 된다. 작업 지역 전체를 하나의 블록으로 하여 조정시 오차를 전체 블록에 등분배하기 때문에 "Global Orientation Step"이라 한다. 표정 S/W인 AP 32를 이용한 해석도화기에서의 표정 과정은 다음과 같다.

한 모델에 해당하는 두 장의 필름을 도화기 좌우에 걸고 지표점(fiducial mark)을 이용하여 내부표정을 수행한다. 그 다음 사진기준점 측량을 위해 각 사진에서 기선점하여 짐작된 지상기준점을 관측함으로써 상호표정을 수행하게 된다. 상호표정시에는 보통 한 모델당 6점 이상의 공액점을 관측한다. 마지막으로 지상기준점으로 입력한 AT점을 관측하여 절대표정을 수행하게 된다. 이러한 3단계의 표정 작업을 거쳐 도화를 할 수 있는 준비단계가 끝나게 된다. [그림 2]는 현재까지 항공사진측량의 도화 과정인 InDirect 표정 방식의 흐름을 제시한 것이다.

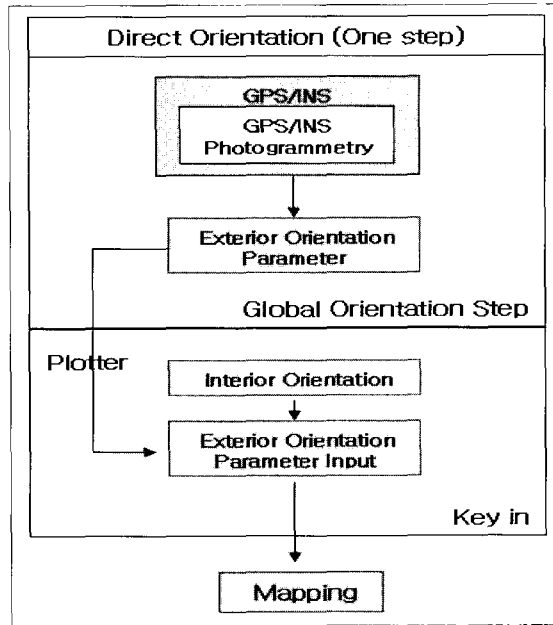


[그림 2] inDirect 방식(기존도화방식)

2.2 GPS/INS 외부표정요소의 Key-in 방식(Direct)

“Direct 표정” 방식은 [그림 3]과 같이 항공사진촬영과 동시에 GPS/INS에 의한 외부표정요소를 도화기에 직접 입력하여 도화작업을 수행한다. 이 방식은 별도의 상호표정과 절대표정을 거치지 않고 바로 도화작업을 할 수 있는 것이 가장 큰 특징이다. 사진기준점측량의 과정을 거치지 않고 GPS/INS에서 산출된 각 사진의 외부표정요소를 바로 사용하기 때문에 Direct 방식이라 한다.

“Direct 표정” 방식은 작업 공정은 “inDirect 표정” 방법에 비해 매우 간단하다. 먼저 도화기에서 내부표정을 수행한 뒤에 상호표정과 절대표정 없이 직접 외부표정요소를 입력(Key-in)을 하게 되면 표정작업을 마치게 된다. Direct 방식은 도화기에서 작업할 모델에 대한 지상기준점을 입력하지 않아도 도화가 가능하다. 본 연구에서 “Key-in” 이라 함은 GPS/INS 촬영을 통하여 획득된 각 사진의 외부표정요소($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$)를 해석 및 수치도화기에 입력하는 작업을 말한다.



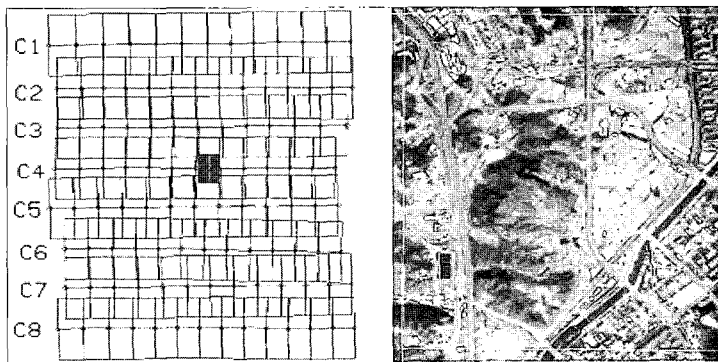
[그림 3] Direct 방식(GPS/INS Key-in 방식)

3. 해석 및 수치도화

3.1 도화 대상지역 선정

해석 및 수치도화 작업을 실시하기 위해

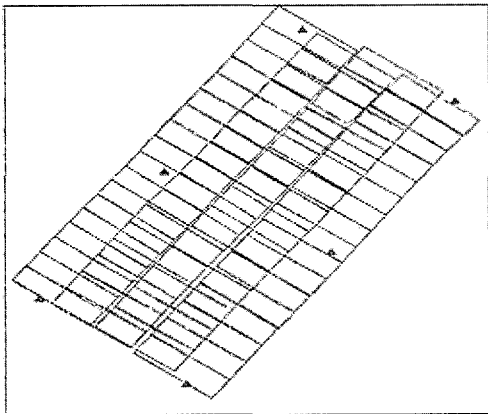
1도엽(1/5,000 1도엽)의 크기로 대상지역을 선정하여 6가지의 경우의 도화작업을 수행하였다. 즉, 축척 1/20,000 항공사진의 경우에 축척 1/5,000 수치지도 도엽중에서 1개의 작업지역을 선정하였다. [그림 4]에는 도화 지역의 모습을 촬영된 항공사진과 전체 블록내에서의 위치를 도시한 모습이다.



[그림 4] 1/5,000 도화지역(1/20,000 항공사진)

3.2 도화 데이터 입력

도화작업에 사용된 GPS/INS AT에 의한 외부표정요소는 축척 1/5,000 도화의 경우에는 지상기준점 6점을 이용한 AT 결과값이다. 아래의 [그림 5]는 사용된 지상기준점의 위치를 나타낸 것이다. GPS/INS AT의 경우 최소기준점의 배치는 다양한 방법으로 설치가 가능하며, 기준점의 분포형태에 따라 외부표정요소의 결과가 달라질 수 있다. 하지만 일반적으로 블록의 외곽과 중간에 기준점을 설치하는 방법이 기하학적으로 가장 안정된 블록이 되며 블록조정 결과가 가장 양호하므로 [그림 5]와 같이 배치하였다.



[그림 5] 도화지역의 기준점 배치

3.3 도화 작업

3.3.1 기존 AT 성과를 이용한 해석도화

기존 AT 성과를 이용하여 해석도화기에서 표정작업을 수행하기 위해 모델의 지상기준점을 구성하고, 내부표정과 상호

표정 및 절대표정을 거쳐 도화작업을 수행하였다. 이 도화 성과는 기타 모든 도화결과의 질을 판단하는 비교의 기준데이터로 이용된다. 즉 AT성과(GPS/INS AT), 도화방식(해석, 수치), 표정방식(Direct, inDirect)에 따른 도화 데이터들과 비교 시 기존 AT에 의한 해석도화기상의 결과를 오차 “0”으로 간주하여 기준값으로 채택하고, 다른 방법을 통하여 획득된 결과값과 이 기준값의 차이를 계산하여 정확도를 평가하였다. [그림 6]은 기존 AT 성과를 기반으로 해석도화기(P2, Carl Zeiss사)에서 작업한 도화 성과를 도시한 것이다.

3.3.2 기존 AT 성과를 이용한 수치도화

기존 AT 성과를 이용하여 도화할 모델의 지상기준점을 구성하고, 내부, 상호, 절대표정을 거쳐 표정작업을 수행한 후에 수치도화기(DAT/EM사의 Summit Evolution)를 사용하여 도화작업을 수행하였으며 그 결과물은 [그림 7]과 같다.

3.3.3 GPS/INS AT 성과를 이용한 해석도화 (inDirect 방식)

표정을 수행하기 위한 데이터는 지상기준점 6점, 촬영과 동시에 획득한 GPS/INS 데이터를 이용한 사진기준점측량을 수행한 결과물인 GPS/INS AT결과를 이용하였다. GPS/INS 성과를 이용한 도화표정방법은 앞서 서술한 기존 AT 성과를 이용한 표정방법과 동일한 inDirect 방식이다. 또한 해석도화 장비로는 기존 AT 도화장비로 이용하였던 Carl Zeiss사의 해석도화기인 P2를 사용하여 작업을 수행하였다.([그림 8])

3.3.4 GPS/INS AT 성과를 이용한 수치도화 (inDirect방식)

수치도화기에서 표정을 수행하기 위한 데이터는 앞서 설명한 해석도화시 사용한 데이터를 이용하였으며, GPS/INS 성과를 이용한 수치도화표정방법은 앞서 서술한 기존 AT 성과를 이용한 표정 방법과 동일한 inDirect 방식이다. 수치도화 장비로는 Summit Evolution을 이용하였다.([그림 9])

3.3.5 GPS/INS 외부표정 성과를 이용한 해석도화(Direct방식)

Direct 방식은 inDirect 방식에 비하여 표정공정이 매우 간단하며, 표정을 하기 위한 접합점이나 지상기준점을 사용하지 않는다. 먼저 두 장의 필름을 도화기에 걸

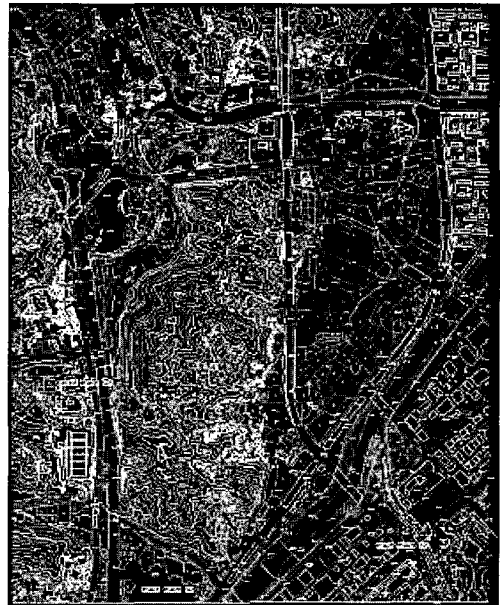
고, 내부표정을 수행한 뒤, 바로 GPS/INS 외부표정요소를 입력(key-in)하면 표정공정이 끝나게 된다. Direct 방식의 도화작업에 사용된 도화기는 Leica사의 SD 2000 이며, 도화기에 탑재된 도화 S/W는 "Win-Atlas"이다. InDirect방법과 비교하여 상호표정과 절대표정을 실시하지 않으므로 표정공정이 매우 단축되므로 소요되는 시간도 약 1/2로 절감되는 효과가 있다.([그림 10])

3.3.6 GPS/INS 외부표정 성과를 이용한 수치도화(Direct방식)

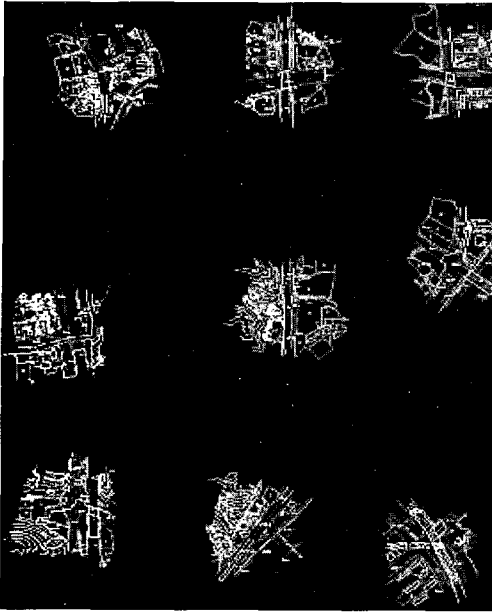
수치도화기에서의 Direct 표정방식은 위에서 설명한 해석도화기의 Direct 방식의 표정공정과 동일하며, 사용된 도화장비도 DAT/EM사의 Summit Evolution을 사용하였다.([그림 11])



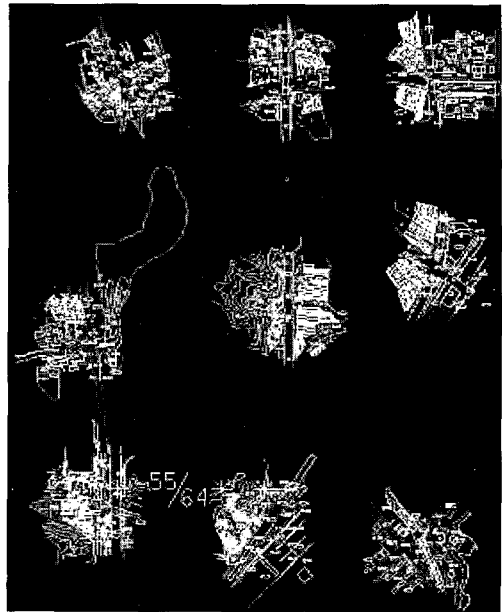
[그림 6] 기존 AT성과를 이용한 해석도화



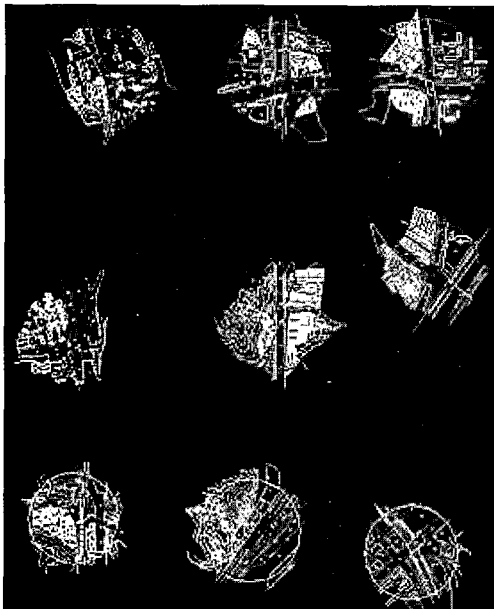
[그림 7] 기존 AT성과를 이용한 수치도화



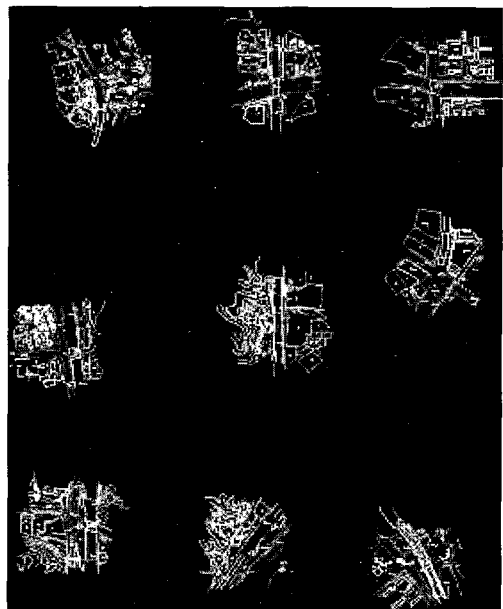
[그림 8] GPS/INS AT성과를 이용한 해석도화



[그림 9] GPS/INS AT를 이용한 수치도화



[그림 10] GPS/INS 외부표정요소를 이용한
Direct 해석도화



[그림 11] GPS/INS 외부표정요소를 이용한
Direct 수치도화

4. 도화결과분석

기준이 되는 해석도화원도는 현지에서 측량한 지상기준점을 사용하여 기존의 방법으로 AT를 수행한 후에 해석도화기에서 도화작업한 결과이다. 따라서 본 연구에서 사용한 검사점은 해석도화원도에서 추출한 점이며, 엄밀히 말하면 절대적인 비교기준점이 될 수는 없다. 즉 비교기준이 되는 해석도화원도를 기준으로 각 방법별로 도화작업한 결과물을 상대적으로 비교하여 표준편차(RMSE)를 계산하는 방식으로 결과를 평가하였다. 소축척 항공사진(1/20,000)을 이용하여 지도축척 1/5,000 도화결과를 종합하여 보면 아래의 <표 1>과 같다.

<표 1>을 자세히 살펴보면 평면오차에서는 기존 AT에 의한 도화기별(수치도화 vs. 해석도화)로는 약 76cm의 차이가 발생하였으며, AT 성과(기존 AT vs. GPS/INS AT)를 기준으로 했을 때는 해석도화에서 66cm, 수치도화에서 89cm의 오차가 발생하였다. 또한 GPS/INS 외부표정요소를 이용한 Direct 표정방법과 비교했을 때에는 해석도화에서 87cm, 수치도화에서 96cm의 오차가 발생하였다. 현 공공측량작업규정에 의한 1/5,000 지도를 제작할 시에 허용

하는 평면오차가 3.5m(도상거리 7mm)이내 이므로 실용적으로 사용하는데 아무런 문제없이 정확도 요구를 충분히 만족시킨다.

표고오차에서는 도화기별(기존 AT를 사용한 해석 및 수치도화기)로 약 45cm의 차이가 발생하였으며, AT 성과(기존AT vs. GPS/INS AT)를 기준으로 했을 때는 해석도화에서 28cm, 수치도화에서 33cm의 오차가 발생하였다. 또한 GPS/INS 외부표정요소를 이용한 Direct 표정방법과 비교했을 때에 해석도화에서 69cm, 수치도화에서 81cm의 오차가 발생하였다. 현 공공측량작업규정에 의한 1/5,000 지도를 제작할 시에 허용하는 표고오차가 1.67m($\Delta h/3$, Δh 는 주곡선의 간격)이므로 모든 도화방법에 대하여 1/5,000 지도 정확도를 충족시킬 수 있다. 따라서 1/5,000 도화작업에서는 GPS/INS AT를 이용하여 Direct 표정방법도 실제로 적용이 가능한 것으로 결론을 내릴 수 있다.

그리고 AT성과와 표정방법에 상관없이 해석도화와 수치도화의 평면과 표고의 묘사오차를 비교하여 보면, 해석도화가 수치도화보다 우수한 결과를 보여주고 있다. 또한 <표 1>에서 알 수 있듯이 평면오차가 표고오차보다 더 크게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 1/20,000 항공사진에서 평

<표 1> 1/5,000 도화결과 비교표

(단위 : m)

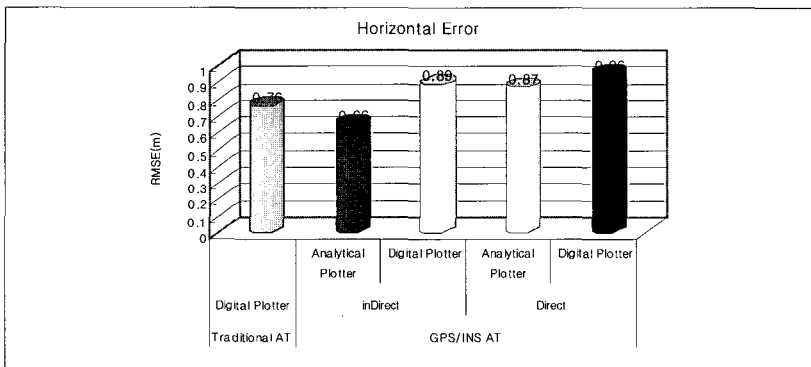
	기존AT		GPS/INS AT			
	해석도화	수치도화	inDirect		Direct	
			해석도화	수치도화	해석도화	수치도화
평면오차(RMSE)	Ref. Data	0.76	0.66	0.89	0.87	0.96
표고오차(RMSE)	Ref. Data	0.45	0.28	0.33	0.69	0.81

면의 검사점의 위치가 상대적으로 평지에 설치되어 있는 표고점보다 판독이 어려움으로 인하여 도화시 묘사오차가 어느 정도 포함되어 있다고 판단이 된다. 즉 평면 검사점의 경우에는 건물이나 도로 경계선의 모서리점이 대부분이므로 도화시 판독할 수 있는 범위에 의존적이라고 할 수 있다. 상대적으로 표고 검사점과 같은 경우에는 선점시, 특정 지형·지물의 경계점이 아니라 도로위주의 평지의 표고점을 선정하였으므로 표고값의 변화가 완만하기 때문에 표고오차가 낮게 나타난 것으로 보인다. 다양한 도화방법에 따른 결과

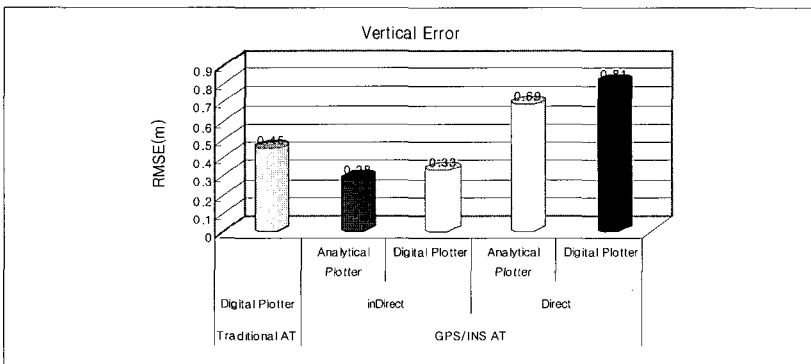
를 평면 및 표고오차로 분리하여 각각 [그림 12]과 [그림 13]에 도시하였다.

평면의 경우에는 [그림 12]에서 보는 바와 같이 모든 방법들간에 큰 차이가 없이 균질한 결과를 보여주고 있다. 여기서 특이한 사실은 InDirect 표정방법에 의한 해석도화의 결과가 가장 좋으며, 기존 AT에 의한 수치도화의 결과보다 우수하게 나타나고 있다는 점이다.

한편, 표고의 경우에는 [그림 13]에서 보는 바와 같이 도화방법들간에 상당히 큰 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히 GPS/INS AT의 Direct 표정의 경우



[그림 12] 도화결과의 평면오차



[그림 13] 도화결과의 표고오차

InDirect 표정방법에 비해 3배 이상의 오차가 발생함을 알 수 있다. 하지만 모든 경우의 결과가 허용오차를 충족하고 있으므로 축척 1:5000에서는 GPS/INS AT를 이용한 표정과 도화작업은 매우 효율적으로 수행될 수 있음을 입증하고 있다.

5. 결 론

1. AT성과와 표정방법에 상관없이 해석도화와 수치도화의 평면과 표고의 오차를 비교하여 보면, 해석도화가 수치도화보다 우수한 결과를 보여주며, 또한 평면오차가 표고오차보다 더 크게 나타남을 알 수 있었다.
2. 평면의 경우에는 모든 방법들간에 큰 차이가 없이 균질한 결과를 보여주고 있으며, InDirect 표정방법에 의한 해석도화의 결과가 가장 좋으며, 기존 AT에 의한 수치도화의 결과보다 우수하게 나타났다.
3. 표고의 경우에는 도화방법들간에 상당히 큰 차이가 발생하였다. GPS/INS AT의 Direct 표정의 경우 InDirect 표정방법에 비해 3배 이상의 오차가

발생하였으나 모든 경우의 결과가 허용오차를 충족하고 있으므로 축척 1:5000에서는 GPS/INS AT를 이용한 표정과 도화작업은 매우 효율적으로 수행될 수 있음을 알 수 있었다.

축척 1/5,000 도화작업에서는 기존 AT에 의한 수치도화, GPS/INS AT를 이용한 inDirect 표정방법(해석, 수치도화), Direct 표정방법(해석, 수치도화)도 실제로 적용이 가능한 것으로 결론을 내릴 수 있었다.

참고문헌

- 국토지리정보원, 2002, 항공사진측량 작업내규.
국토지리정보원, 2002, 2002년도 수치정사사진 지도 제작사업 결과보고서.
- F. Ackermann., and H. Schade., 1993, Application of GPS for Aerial Triangulation, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 11, NOV 1993, 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.