

GPS/INS 항공사진측량의 지상기준국 측량의 VRS(가상기준점)적용에 관한 연구

송태민 · 권재현 †

서울시립대학교 공간정보공학과

Reference Station of Aerial Photogrammetry with GPS/INS by VRS

Song, Taemin and Kwon, Jay Hyoun †

Department of Geoinformatics, The University of Seoul

Abstract : In the common practice of air-photographing measurement aerial-photogrammetric, the location of camera at the time of photographing is identified by performing aerotriangulation. However, installing ground-base station to enable aerotriangulation takes majority portion of a map making cost. Aerial-photogrammetric has shown a great improvement helped by steady upgrading in equipment and development in quantitative study. Aerotriangulation can be replaced by Direct Georeferencing, which uses GPS/INS to identify a camera location and to produce detailed information. An innovative technique replacing aerotriangulation, it has a disadvantage that base station has to be available in the area of photographing.

The study intends to suggest a method applying VRS in GPS/INS aerotriangulation. Despite the fact that Direct Georeferencing is the innovated technique which substitutes existing aerotriangulation, it still need to install the ground-base station in GPS/INS aerotriangulation. GPS/INS data was analyzed with 4 different cases in order to accomplish the purpose of this study. In addition, in the thesis, it was approved that VRS can be utilized to make small-scale map as accurate as base station. This study is expected to improve the efficiency of work by showing that VRS can be used not only in base station but also enabling base station in the ground-access challenging area.

Key Words : Direct Georeferencing, GPS/INS, VRS.

요약 : 과거의 항공사진측량에서는 항공사진 촬영 후 사진기준점측량 등을 수행하여 촬영당시의 카메라의 위치 등을 계산하였다. 이러한 지상기준점 설치를 위한 측량작업에 소요되는 시간과 경비는 지도제작 비용 중 많은 부분을 차지하고 있다. 항공사진측량은 꾸준한 장비의 개선과 함께 디지털처리에 의한 수치해석 기술 개발로 급속한 발전을 보이고 있다. Direct Georeferencing은 위에서 설명한 항공사진 촬영 시에 카메라와 위치 및 자세정보를 GPS/INS를 통하여 직접적으로 결정하는 방식이다. 그러나 Direct Georeferencing 에서도 GPS/INS촬영지역내에 지상기준국을 전혀 설치하지 않을 수는 없는 것이 현재의 기술 수준이다. 본 연구에서는 GPS/INS를 이용한 항공사진측량을 수행하는 데 있어 촬영지역 내에 설치하는 지상기준국의 운용을 국가기관에서 운용하는 상시관측소를 이용한 가상기준국(VRS)으로 대체하여 적용

하는 방법을 제시하고자 하였다. 연구의 목적을 달성하기 위하여, 가상기준국의 형성 배치를 네 가지 경우로 구분하여 GPS/INS자료처리를 수행하였으며 가상기준국을 이용한 방법이 소축척 지도제작에 있어서 지상 기준국측량을 대신하여 충분한 정확도 유지가 가능함을 입증하였다. 본 연구는 접근이 불가능한지역의 지상 기준국측량 뿐만 아니라 지상기준점측량을 VRS로 수행함에 따른 업무의 효율성을 높이는 데 기여 할 수 있을 것이라 기대된다.

1. 서론

최근 들어 항공기를 이용한 지형자료를 취득하는 항공사진측량 시스템에서는 GPS와 INS를 결합하여 항공사진측량에 필요한 외부표정요소에 해당하는 카메라의 노출순간의 위치와 회전각을 직접 결정하는 Direct Georeferencing 기법을 널리 사용한다(배상근 외, 2005; 송연경 외, 2005; 한상득, 2002).

항공사진측량에서 GPS/INS에 의한 Direct Georeferencing은 두 센서의 단점을 서로 보완하여 외부표정요소를 매우 정밀하게 결정하는 원리에 기본을 두고 있으며, 이를 통하여 지상기준점의 수를 현저히 줄일 수 있는 경제적 측량방법이라 할 수 있다. 그러나 비행기의 진행방향의 추정오차로 인하여 최소한의 지상기준점측량은 필요하며, 이에 본 연구에서는 지상기준국측량을 VRS (Virtual Reference Station)로 대체 할 수 있는지를 검증하였다. 2008년 현재 우리나라에서는 84개의 GPS 상시관측소가 운영되고 있으며, 이를 이용하여 전국에 걸친 가상기준점측량(VRS; Virtual Reference Station)의 환경이 구축되어있다. 본 연구에서는 이러한 가상기준점 측량의 환경을 GPS/INS 항공사진측량에 적용하여 그 성과를 분석하였다. 지상기준국측량에 VRS를 적용하기위한 방법 및 기준을 제시함으로써, 지상에서 접근이 불가능한지역의 지상기준국측량 뿐만 아니라 지상기준점측량을 VRS로 대체함에 따른 업무의 효율성을 높이는 데 기여할 수 있을 것이라 기대된다.

2. 이론적 배경

1) GPS/INS에 의한 위치 결정기술

관성항법 시스템은 1950년대 초 미국 MIT에서 처음 개발되어 1960년대 실용화된 항법시스템이다. 1999년

유럽항공사진측량 공동실험연구회 OEEPE (European Organization for Experimental Photogrammetric Research)와 독일 하노버 공대의 항공사진측량 연구소가 주관하여 스웨덴에서 실제 관측한 GPS/INS자료를 전 세계적으로 공개함으로써 이 분야의 획기적인 발전을 이룩하는 계기를 만들었다(Cramer, 2001). 대부분의 연구 결과에 의하면 GPS/INS 항공측량은 현재 다소의 문제점이 있지만 요구정확도가 비교적 낮은 정사사진과 소축척 지도의 제작에는 충분히 활용 가능함을 입증하였다(이재현, 2006).

GPS/INS의 정확도는 고속으로 이동하는 물체 상에서 탑재기의 위치를 동적으로 결정해야 하며, 반송파 관측에 의한 상대측위기법인 정밀 DGPS(Differential GPS)를 통한 수신기와 자료처리의 정확도에 의해 좌우되며, 이를 위하여 정확한 좌표가 결정된 지상기준점에 촬영과 동일시간대의 GPS측량이 필수적이다.

2) Direct Georeferencing

Direct Georeferencing은 지형공간정보를 취득하는 매핑센서에 대한 여섯 개의 외부표정요소($X_o, Y_o, Z_o, \omega, \Phi, \kappa$)를 사진기와 결합된 GPS/INS 데이터에서 직접 결정하여 모든 영상 점들을 지상의 대응점에 매칭시키는 작업을 말하며, Geocoding이라고도 한다.

최근 지형공간 정보 체계의 수요급증과 함께 다변화되는 공간정보들의 신속하고 정확한 입력 및 갱신 시스템이 절실히 요구되고 있는 상황이다. 이에 부응하여 새로운 위치결정기술인 GPS를 이용하여 실시간으로 위치 정보와 현황정보를 취득하는 기법이 측량 분야에서 다양하게 활용되고 있다.

하지만 국내에서 항공기에 GPS/INS 통합시스템을 이용하여 직접 항공사진측량에 적용한 연구사례는 거의 없으며 이를 이용한 Direct Georeferencing에 관한 연구는 아직까지 초보단계에 머물러 있다. 이외는 달리 GPS/INS 항공사진측량의 전단계인 GPS 항공사진 측

량에 관한 연구와 실험은 비교적 많이 이루어지고 있으며, GPS기법에 의한 항공삼각측량은 단지 4개의 기준점만으로도 $\pm 10\text{cm}$ 의 위치결정이 가능한 아주 획기적인 방법임이 입증되었다(윤종성, 2008).

3) 가상기준점

VRS (Virtual Reference Station, 가상기준점)에서, 가상이라는 말은 네트워크내의 실제 기준국들을 이용하여 존재하지 않는 가상의 기준국에 대한 관측치를 형성한다는 개념에서 비롯되었으며, 기선의 길이가 길어질수록 오차의 공간적 상관성이 결여되어 나타나는 이동국의 위치 정밀도 저하를 극복하는 방법으로 제시되었다.

즉, 절대측위방식으로 계산된 이동국의 대략적인 좌표를 네트워크 서버로 전송한 후, 임의의 이동국에 가까운 지점에 가상의 기준국이 있다고 가정하고, 이 가상의 기준국에서 획득된 것과 같은 관측치를 상시기준점의 네트워크 자료를 이용하여 형성한다. 이후 이동국의 위치는 가상 기준국과의 상대측위에 의하여 결정하게 된다.

VRS의 자료는 네트워크의 상시관측소 자료를 통합 처리하여, 전리층/대류권의 효과 등에 의한 계통적 오차를 분리한 후 이를 가상의 기준국의 위치에 대하여 보간함으로써 형성된다. 분리된 오차들은 가상기준점과 기준국 간의 거리에 따라 가중치를 두어 보간하게 되는데, 이러한 가상기준점의 방식은 기존의 네트워크 기반의 GPS측위 방법에 비해 계통적인 오차의 영향을 감소시키고 넓은 측량범위를 확보하며 높은 신뢰도와 정확도의 향상 및 임의의 관측 시간을 설정할 수 있는 등의 장점이 있다(Retoucher, 2002).

가상기준점 형성에 이용되는 각 기준국은 중앙제어국과 연결되어 있으며 중앙제어국의 컴퓨터는 GPS망에 적합한 소프트웨어를 운용하고, 이를 이용하여 계통적

인 오차의 모델링과 추정, 안테나 페이즈 센터의 보정, 이동국 위치의 VRS를 생성하기 위한 데이터 생성을 수행한다(Fig. 1).

3. 실험 및 분석

1) 실험 개요

VRS로부터 생성된 가상지상기준국을 이용하여 GPS/INS 시스템의 외부표정 요소를 결정한 후 이를 실제 지상기준국을 사용한 경우와 비교, 분석하는 것이 본 연구의 주된 방법이다. 관측자료는 2008년 1월 19일 청주시 일원에서 수행한 GPS/INS를 이용한 항공사진촬영 자료를 이용하였다(Fig. 2). 2008년 1월 19일 오전 9시부터 오후 4시(UTC 0시~7시)까지 GPS/INS촬영과 동시에 수신간격 1초로 지상기준국(ID: L001)에 대한 GPS관측을 수행하였다. 촬영 시에 지상기준국에서 수신한 자료를 처리하여 항공사진의 외부표정요소를 구하기 위해서는 지상기준국의 정확한 위치를 결정하여야 한다. 이를 위해 촬영지역 인근의 상시관측소(수원, 청주, 상주)를 이용하여 ITRF2000좌표계상의 좌표를 결정하였으며 계산된 지상기준국의 좌표는 아래 표와 같다.

Table 1. Coordinates of the ground control stations

N/B/X	E/L/Y	H/Z
349142.0572	243837.6269	82.9933
36° 38' 22.95953"	127° 29' 24.67746"	
-3118610.3999	4065693.6214	3785435.5534

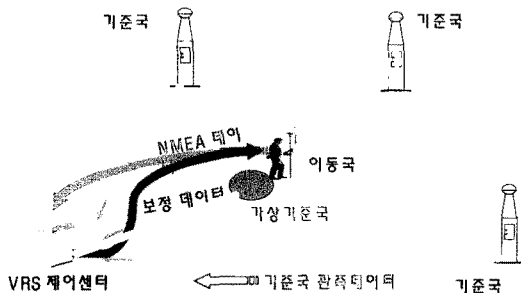


Fig. 1. Principle of VRS survey.

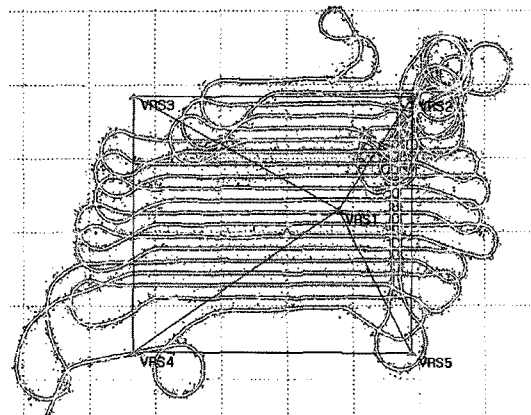


Fig. 2. Study area with the distribution of VRS.

실험에 사용한 장비는 POS/AV510시스템과 지상기준국 관측장비인 Trimble GPS5700이다. VRS 데이터는 보은, 괴산, 청양 상시관측소 데이터를 이용하여 TTC의 VRS모듈을 통하여 생성하였고, GPS/INS처리 는 Applanix사의 POSpac Air5.0을 이용하였다.

아래 표는 작업지역에 인접한 상시관측소와 생성된 가상기준국 간의 거리를 나타낸다.

Table 2. Baseline between the VRS station and CORS stations

CORS	VRS	Baseline (m)
SUWN	VRS5	87,442
JUNJ	VRS2	99,591
SNJU	VRS3	75,428
CHYG	VRS4	54,623
GSAN	VRS2	27,575
BOEN	VRS1	27,275

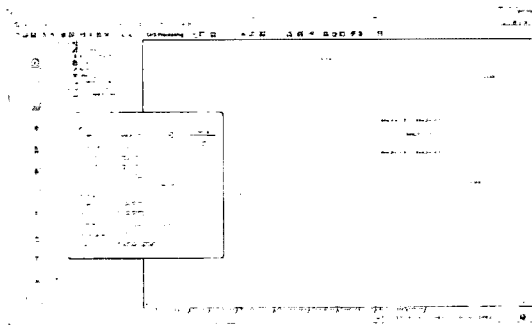


Fig. 3. Generation of VRS station with TTC.

Table 3. Coordinates of the VRS stations

Station	Longitude	Latitude	Ellipsoidal Height	N(X)	E(Y)
VRS1	127° 29' 24.67746" E	36° 38' 22.95952" N	82.9933	349142.057	243837.627
VRS2	127° 31' 33.04526" E	36° 41' 00.00584" N	100	354000.000	247000.000
VRS3	127° 23' 29.72654" E	36° 41' 01.86772" N	100	354000.000	235000.000
VRS4	127° 23' 27.92199" E	36° 35' 05.02544" N	100	343000.000	235000.000
VRS5	127° 31' 30.62208" E	36° 35' 03.17023" N	100	343000.000	247000.000

Table 4. Configurations of experiments

	비교 구분	분석 목적
Test 1	가상기준국 (VRS1)	실제 기준국에 의한 성과와 가상기준국간의 항공기궤적의 위치정보와 회전요소를 비교하여 가상 기준국의 정확도를 분석한다.
Test 2	다중 가상기준국 (VRS2, 3, 4, 5)	다수의 가상기준국을 운용할 시에 성과를 비교하여 효과적인 가상기준국의 배치 및 운용의 기준을 제시한다.
Test 3	청주 상시관측소 (CNJU)	촬영지역내에 위치한 상시관측소(청주: CNJU: logging rate 1초)를 이용하여 계산된 항공기궤적의 위치정보와 회전요소에대한 비교 검토를 통하여 상시관측소를 직접 지상기준국으로 이용 할 경우의 정확도를 비교한다.
Test 4	수원 상시관측소 (SUWN)	Test 3의 결과와 비교하여 상시관측소와 인접하지 않은 지역에서 상시관측소를 지상기준국으로 직접 이용할 경우에 정확도를 분석한다.

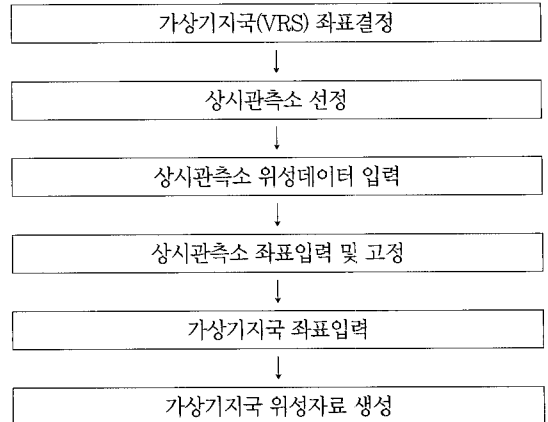


Fig. 4. Flow of the VRS station generation.

가상기준국1(VRS1)은 지상기준국(L001)과 동일한 위치로 생성하였으며, GPS/INS항공사진 촬영지역을 4 개 지역으로 분할하여 각각의 지역 중심에 가상기준국 (VRS2, VRS3, VRS4, VRS5)을 배치하여 생성하였다.

TTC GPS해석프로그램의 VRS모듈에 의한 가상기준국 생성방법은 생성하려는 가상기준국 주변의 상시관측소의 위성데이터를 입력하고 정확한 좌표를 입력하여 고정점으로 속성을 변경 후에 생성하려는 가상기준국의 좌표를 입력하는 순서로 진행된다(Fig. 4).

아래 좌표는 가상기준국생성에 사용된 기준좌표이다. 이렇게 생성된 가상 기준점들을 이용하여 아래의 4가

지의 경우에 대하여 처리된 항공기의 위치와 자세를 실제 지상 기준국을 사용한 경우와 비교하였다.

2) 비교 분석

(1) Test 1에 대한 비교 분석

관측간격 30초인 인접한 상시관측소(괴산, 보은, 청양)의 위성신호를 이용하여 지상기준국과 동일한 위치에 가상기준국(VRS1)을 생성하였다. 타원체고를 제외한 평면좌표(N, E)가 일정한주기로 진동함을 볼 수 있다. 이것은 가상기준국의 위성신호가 30초 간격으로 수신된 데이터를 사용함으로써 관측간격사이의 항법정보를 GPS를 이용하여 보정하지 못한 영향으로 판단된다(Fig. 5). 항공기의 선회비행에 따른 영향은 회전요소에서도 확인할 수 있으며, Fig. 6에서 보이는 것과 같이 Kappa의 변동량이 다른 두 개의 회전요소에 비하여 많은 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. Table 5에서는 실제 지상기준국을 사용하였을때의 경우와의 통계치를 나타낸다.

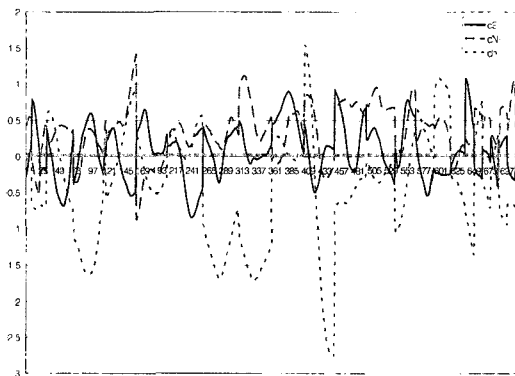


Fig. 5. Comparison of locations from Test 1.

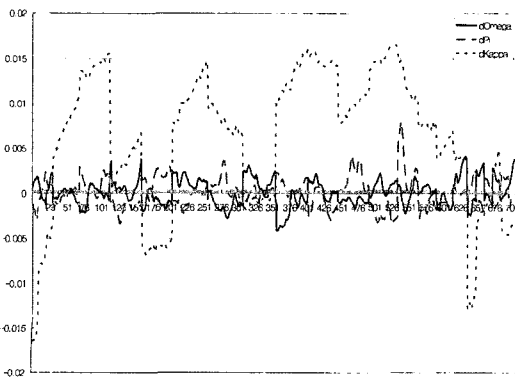


Fig. 6. Comparison of attitudes from Test 1.

Table 5. Statistics of location and attitudes from Test 1(unit: m)

	Average	Standard Deviation
dE	0.071636	0.381591
dN	0.357487	0.364408
dh	-0.41987	0.792105
dOmega	0.000138	0.001481
dPi	3.77E-05	0.001705
dKappa	0.006202	0.007567

(2) Test 2에 대한 비교 분석

촬영지역을 4구역으로 분할하여 가상기준국(VRS2, VRS3, VRS4, VRS5)을 생성 하였다. 가상기준국간의 거리는 각각 12km이며 촬영대상지역을 직4각형으로 단순화 하여 각각의 모서리에 위치 시켰다. 4개의 모서리에 가상기준국을 설치한 이유는 회전요소의 편이량을 줄이고자 한 것이었으나 금번 실험에서는 촬영지역이 좁은 관계로 다중 기준점에 의한 효과가 크게 나타나지는 않았다. Test 2의 평면위치 및 높이, 회전요소를 분석하면 정확도에 있어 Test 1의 결과에 비해 약간의 향상이 보이는 것을 알 수 있다(Fig. 7, 8; Table 6). Test 2역시 30초 간격의 위성정보를 사용함으로써 관측간격사이의 항법정보를 GPS를 이용하여 보정하지 못하기 때

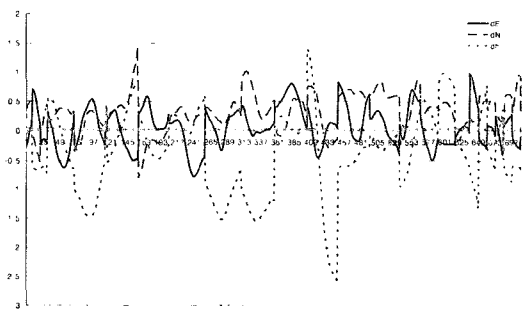


Fig. 7. Comparison of locations from Test 2.

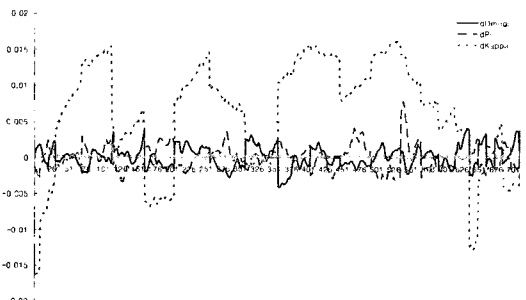


Fig. 8. Comparison of attitudes from Test 2.

Table 6. Statistics of location and attitudes from Test 2 (unit: m)

	Average	Standard Deviation
dE	0.064478	0.345039
dN	0.321658	0.33042
dh	-0.3778	0.715235
dOmega	0.000137	0.001467
dPi	3.73E-05	0.001689
dKappa	0.00614	0.007493

문에 가상기준점을 다수 배치하더라도 그 영향이 미미한 것으로 판단된다.

(3) Test 3에 대한 비교 분석

촬영지역내에 위치한 상시관측소(청주 CNJU; logging rate 1초)를 이용하여 계산된 항공기궤적의 위치정보와 비교 검토를 수행하였다. 청주 상시관측소는 촬영지역내에 위치하고 있으며, 지상기준국과 2,955m 떨어진 곳에 위치하고 있다.

Fig. 9, 10에서 위치와 회전요소의 변화를 나타내었으며, Test1,2에 비하여 평면 위치정보의 편차가 10%내에서 나타나고 있고 회전요소의 경우 1%미만으로 지상기준국을 이용한 항법정보와 차이를 보이고 있다. 그러

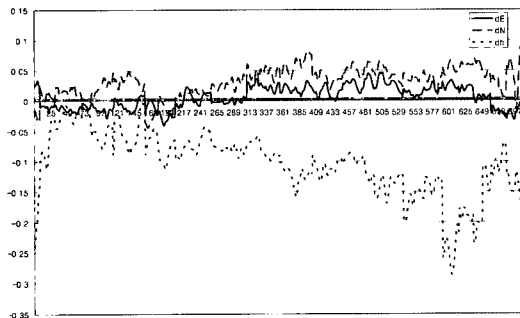


Fig. 9. Comparison of locations from Test 3.

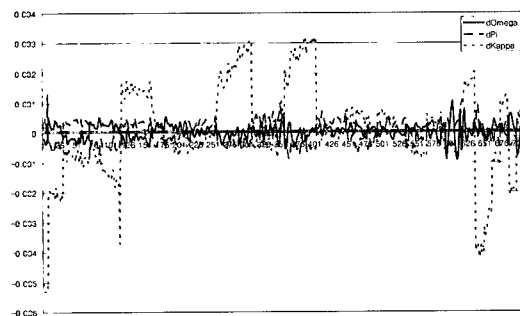


Fig. 10. Comparison of attitudes from Test 3.

Table 7. Statistics of location and attitudes from Test 3 (unit: m)

	Average	Standard Deviation
dE	0.005774	0.018179
dN	0.031549	0.024259
dh	-0.10333	0.053775
dOmega	2.64E-05	0.000249
dPi	1.86E-05	0.00036
dKappa	6.77E-05	0.001508

나 회전요소 중 Kappa의 경우 선회비행 시 항공기에 탑재된 GPS가 위성신호를 잃는 Cycle-slip이 발생하여 회전요소의 결정에서 차이를 보이거나 항공기가 코스에 진입함과 동시에 동일한 회전요소값을 결정하는 것을 알 수 있다.

(4) Test 4에 대한 비교 분석

촬영지역으로부터 상당거리에 위치한 상시관측소(수원 SUWN; logging rate 1초)를 이용하여 계산된 항공기궤적의 위치정보와 비교 검토를 수행하였다. 수원 상

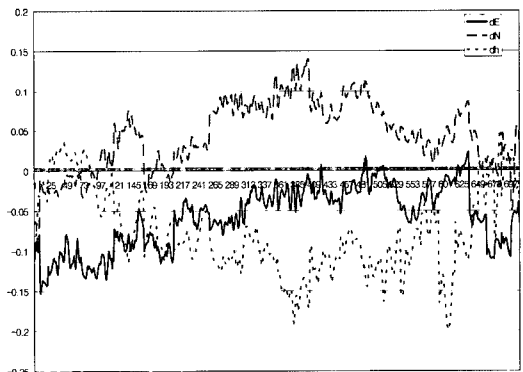


Fig. 11. Comparison of locations from Test 4.

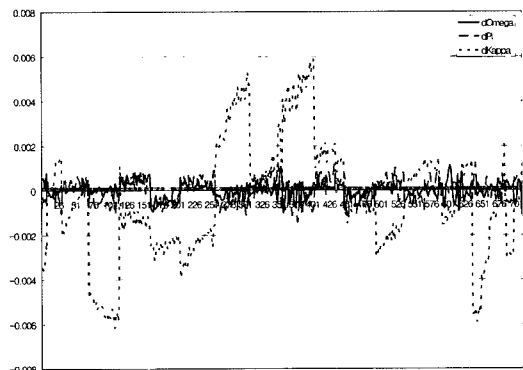


Fig. 12. Comparison of attitudes from Test 4.

Table 8. Statistics of location and attitudes from Test 2 (unit: m)

	Average	Standard Deviation
dE	-0.05844	0.038363
dN	0.044085	0.042987
dh	-0.07749	0.052303
dOmega	1.64E-05	0.000341
dPi	-2.5E-05	0.00052
dKappa	-0.00044	0.002609

시관측소는 지상기준국으로부터 80,537m 떨어진 곳에 위치하고 있다.

Fig. 11, 12에서 볼 때 Test3과 비교하여 평면 위치정보의 편차가 10배 이상 나타내고 있으며 회전요소의 경우 2배정도 청주상시관측소를 이용한 항법정보와 차이를 보이고 있다. 회전요소 중 Kappa의 경우 청주와 같이 선회비행 시 항공기에 탑재된 GPS가 위성신호를 잃는 Cycle-slip이 발생하여 회전요소의 결정에서 차이를 보이거나 항공기가 코스에 진입하여도 회전요소값의 결정에서 차이를 보이고 있다.

3) 고찰

Test1, Test2, Test3, Test4를 통하여 가상기준국과 상시관측소를 직접 이용하여 항공사진측량의 외부표정요소를 구하여보았다. 지상기준국을 이용한 요소와 비교하여 본 결과 30초 간격으로 관측된 위성신호를 이용한 경우에는 프로그램의 알고리즘에 의해 효율적인 관성항법정보의 보정이 이루어지지 않음을 알 수 있었다.

가상기준국을 이용한 Test1, Test2의 경우 평면위치에 있어서는 남북방향으로는 평균 0.357m, 동서로는 0.07m 정도의 편차를 보였으며, 높이에서는 0.419m를 보였다. 표준편차는 각각 0.381m와 0.364m, 0.792m를 나타내고 있다. 평면보다 높이에 있어서 표준편차가 2배 이상의 편차를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 금번실험에 사용한 위성신호의 관측간격이 30초가 아닌 1초의 경우 연속적인 관성항법정보에 대하여 보정이 가능해져 정확도가 허용정도 이상으로 향상될 것으로 기대 된다.

상시관측소를 지상기준국으로 직접 이용하는 경우에 지상기준국으로부터 80,537m 떨어진 수원 상시관측소를 지상기준국으로 사용하는 Test4의 경우 평면위치에 있어서는 남북으로는 평균 0.058m, 동서로는 0.044m

정도의 편차를 보였으며, 높이에서는 0.077m를 보였다. 표준편차는 각각 0.038m와 0.043m, 0.052m를 나타내고 있다. 또한 연속적인 위성의 신호의 경우 회전요소의 결정에 보다 영향이 크게 작용하여, 수평위치 결정에서 보다 큰 편차를 나타내는 것을 알 수 있었다.

청주상시관측소를 사용한 경우 수평위치정확도 5cm 이내의 만족스러운 결과를 획득한 것으로 볼 때 상시관측소를 직접 지상기준국으로 사용하기 위해서는 기선 길이에 따른 평면위치에 대한 허용정도를 분석하여 이를 만족하는 범위에서 사용하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

GPS 항공측량의 경제성을 향상시키고 보다 나은 사용자의 편리를 위해서는 지상기준국을 설치하지 않고도 전국 어디서나 측량이 이루어 질 수 있도록 하여야만 한다. 이 문제를 해결하기 위해서는 현재 전국에 설치된 GPS상시관측소를 적극 이용하는 방안이 있다. 본 연구에서 나타난 바와 같이 상시관측소는 지상기준국을 대체하여 직접 사용할 수도 있고, 상시관측소로부터의 자료로 가상기준국을 생성하여 이를 사용할 수도 있다.

본 연구에서 가상기준국 생성을 위해 사용한 상시관측소의 관측간격이 30초인 관계로 지상기준국을 직접 이용한 경우와 비교하기에는 다소 무리가 있었으나, 표준편차 0.40m 정도의 항공기의 궤적에 대한 위치정보를 산출 할 수 있었고 1/5,000지형도 제작에는 사용이 가능할 것이라 판단된다. 또한 관측간격 1초인 청주 상시관측소를 이용한 경우 지상기준국을 관측한 경우와 비교하여 평면정확도 0.02m 정도의 정밀한 항공기의 궤적에 대한 위치정보를 산출 할 수 있었고 이는 상시관측소의 위치와 촬영지역간의 거리를 검토하여 기선의 길이가 적합하다면 상시관측소를 직접 연결하여 사용할 수 있음을 나타낸다.

2008년 초부터 시작한 “GPS상시관측소 고도화 사업”에 따라 국토지리정보원에서 관리하는 44개 상시관측소의 관측간격이 1초로 될 전망이며, 이런 경우 가상기준국을 이용한 지상기준국측량 대체가 가능 할 것으로 판단된다. 다만 본 연구에서 보이고자 하였던 다중 가상기준점의 효율성은 촬영지역이 넓은 경우에 대하여

적용하여 그 효과를 분석하여야 할 것이다.

참고문헌

- 배상근, 김병국, 2005. Accuracy Analysis of Image Orientation Technique and Direct Georeferencing Technique, 한국 GIS 학회지, 13(4): 373-380.
- 송연경, 박운용, 박흥기, 2005. Direct Georeferencing에 의한 CCD 영상의 적용기법, 한국측량학회지, 23(1): 77-88.
- 윤종성, 2008. 상시관측소 자료 내삽에 의한 GPS/INS 항공삼각측량, 박사학위논문, 인하대학교.
- 이재현, 2006. GPS/INS를 이용한 항공사진측량의 실용화에 관한 연구, 석사학위논문, 경기대학교.
- 최운수, 이용창, 권재현, 이재원, 2004. GPS가상기준점 도입에 관한 연구, 한국측량학회지, 22(2): 105-116.
- 한상득, 2002. GPS/INS에 의한 항공사진의 외부표정 요소 결정에 관한 연구, 박사학위논문, 경기대학교.
- Cramer, M. and D. Stalman, 2001. On the Use of GPS/inertial Exterior Orientation Parameters in Airborne Photogrammetry, *OEEPE - Workshop* : 32-44.
- Retoucher A., 2002. Accuracy performance of Virtual Reference Station (VRS) Network, *Journal of Global Positioning System*, 1(1): 40-47.