

SmartBase를 활용한 Direct Georeferencing 기반의 외부표정요소 결정

Decision Of EO Parameters Based On Direct Georeferencing Using SmartBase

이용욱¹⁾

Lee, Yong Wook

Abstract

Recently, it is a pretty well known way to compute GPS/INS using Continuously Operating Reference Station (CORS) and Network-based RTK for obtaining Exterior Orientation (EO) parameters of aerial photogrammetry. In this study, it is way to compute Exterior Orientation (EO) parameters using ground base stations, using Continuously Operating Reference Station (CORS) broadcast orbits and International GNSS Service (IGS) rapid orbits. And the residuals of Exterior Orientation (EO) parameters were computed based on the results of ground base station. As a result, the case of using SmartBase to obtain Exterior Orientation (EO) parameters was showed the high accuracy of X, Y, K more than using Continuously Operating Reference Station (CORS) of National Geographic Information Institute (NGII). Also, distance and direction of Continuously Operating Reference Station (CORS) of National Geographic Information Institute (NGII) from ground base station affected Exterior Orientation (EO) parameters. And different forms of residuals were shown according to the aerial photo courses.

Keywords : CORS, EO Parameters, SmartBase, Network-based RTK

초 록

최근 상시관측소와 네트워크 기반 RTK를 활용하여 GPS/INS를 해석하고 이를 통해 항공사진측량에 필요한 외부표정요소를 획득하는 방법은 널리 알려져 있다. 본 연구에서는 외부표정요소를 계산함에 있어 지상기준국을 활용하는 방법과 상시관측소와 방송력 및 IGS 정밀력을 결합해 SmartBase를 이용하는 방법, 각각의 상시관측소를 이용하는 방법을 비교하였으며, 지상기준국으로 계산한 성과를 기준으로 외부표정요소의 잔차를 계산하였다.

그 결과 SmartBase를 활용하여 외부표정요소를 획득한 경우는 상시관측소만을 활용한 경우보다 X, Y, K에서 더 높은 정확도를 획득할 수 있었다. 또한 지상기준국을 중심으로 상시관측소의 거리와 방향이 외부표정요소에 영향을 미치며, 항공사진 코스에 따라 각각 다른 형태의 잔차가 나타남을 알 수 있었다.

핵심어 : 상시관측소, 외부표정요소, SmartBase, 네트워크 기반 RTK

1. 서론

1.1 연구배경

최근 항공사진 측량에 여러 가지 센서를 통합하는 기법이 많이 활용되고 있으며, 특히 디지털 항공사진 카메라에 GPS와 INS를 결합하여 카메라 노출 순간에 대한 3차원

위치 및 회전각에 대한 정보인 외부표정요소를 동시에 획득하는 방법은 널리 알려져 있다. 이와 같은 방법을 Direct Georeferencing이라고 하는데 지형공간정보를 취득하는 매핑센서에 대한 여섯 개의 외부표정요소(X, Y, Z, O, P, K)를 카메라와 결합된 GPS/INS 시스템을 통해 직접 결정하여 모든 영상 점들을 지상의 대응점에 매칭시키는 작업을 말하며,

1) 정회원 · 인덕대학 토목환경설계과 조교수(E-mail : leeyoungwook@empal.com)

Geocoding이라고도 한다.(Song et al., 2008) 여기서 외부표정요소는 GPS로부터 X, Y, Z에 대한 항체의 절대 위치정보를 획득하고, 항체 회전요소인 O, P, K는 INS로부터 얻을 수 있다.

GPS/INS를 통해 관측된 외부표정요소는 최적의 필터링을 통해 높은 수준의 정확도를 획득할 수 있을 뿐만 아니라, 좌표계 변환에 필요한 기준점으로는 소수의 지상기준점만이 필요하다. 또한 기존 항공측량의 경우와 같이 블럭의 기하강도를 향상시키기 위해 블럭 내에 다량의 지상기준점을 별도로 설치할 필요가 없다.(Song et al., 2005)

현재 국토지리정보원 및 위성항법중앙사무소에서 운영하고 있는 72개의 상시관측소는 30초 간격으로 GPS 신호를 수신하고 있으며, 수신된 데이터는 1일 단위로 웹서비스를 통해 익일에 다운받을 수 있다. 상시관측소에서 수신한 데이터는 기준점 측량 및 항공측량에 매우 유용하게 활용되고 있으며 특히 항공사진 측량에서 사진의 외부표정요소 획득을 위한 GPS/INS 데이터의 해석 자료로도 활용되고 있다. 국토지리정보원은 '항공사진측량 작업규정'을 통해 항공사진측량 시 작업반경 30km 이내에 지상기준국을 반드시 운영하여 GPS/INS 데이터를 해석하도록 규정하고 있으며, 규정 범위 내에서 처리된 자료에 대한 결과를 인정하고 있다.

그러나 GPS/INS와 같은 정밀 센서들에 대한 기술 및 그 자료를 해석하는 소프트웨어가 발전함에 따라 상시관측소 데이터의 활용 범위가 확대되고 있으며, 이에 필요한 데이터가 안정적으로 공급되면서 확장된 개념의 서비스가 추가되었는데, 대표적으로 네트워크 RTK 서비스를 꼽을 수 있다. RTK 측량은 광범위한 지역의 정밀좌표를 신속하게 획득할 수 있기 때문에 여러 가지 측량 목적으로 활용되고 있으나, 기준국과 이동국간의 거리가 멀어질수록 측위오차가 증가하기 때문에 정확도가 저하되는 문제점이 있다.(Wanninger, 2003; Wanninger, 2006) 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 네트워크 RTK 측위방식이 고안되었는데, 여러 개의 기준국 관측 데이터를 이용하여 이동국 근처에 가상으로 기준국을 만든 후 가상기준국 데이터와 보정정보를 이동국에 전송하여 기준국과의 거리가 멀어지더라도 단거리 측량과 동일한 수준의 높은 정확도의 측위결과를 획득할 수 있다.(Choi et al., 2003; Kim et al., 2008) 이와 같은 방법으로 본 연구에서는 임의 지역을 둘러싸고 있는 상시관측소를 이용하여 가상기준점을 생성하고 이를 활용해 대상지역 중간에 지상기준점을 운영하는 효과를 획득하여 기준국과 이동국 간의 거리에 따른 정밀도 저하현상을 극복하고자 여러 가지 조건으로 구분하여 실험해 보고자 한다.

1.2 연구목적

항공측량의 GPS/INS를 상시관측소를 기준국으로 활용하여 처리하고자 할 경우 측량지역 내에 지상기준점을 세우는 효과를 이룰 수 없어 기준국과의 기선거리 증가에 따른 정확도 저하 현상은 피할 수 없다. 그러나 후처리를 통한 네트워크 기반 RTK 생성 방식은 측량지역 내에 가상기준점을 생성하게 되고 이를 통해 지상기준국을 운영하는 효과를 얻을 수 있어 기선의 증가에 따른 위치 정밀도 저하를 극복할 수 있다.

이와 같이 외부표정요소 결정을 위해 GPS/INS 해석에 필요한 기준점을 정의하기 위해서는 대상지역 중심에 지상기준국을 운영하거나 인근 상시관측소를 활용하여야 한다. 또한 최근의 네트워크 기반 RTK를 활용해 가상기준점을 구성하여 처리하는 방법이 있다. 본 연구에서는 후자의 방법으로 외부표정요소를 결정하고자 하며 GPS/INS 처리 소프트웨어를 활용해 여러 개의 상시관측소로 SmartBase를 구성하여 대상지역 중심에 가상의 기준점을 구성하는 효과를 통해 실제 지상기준점을 운영하는 정도의 성과를 획득하고자 하였다.

이를 위해 기준점을 3가지로 구분하여 실험하였는데 첫째, 지상기준국을 활용하는 방법, 두 번째, 1개의 상시관측소를 활용하는 방법, 세 번째, SmartBase를 구성하여 활용하는 방법이 그것이다. 여기서 첫 번째 지상기준점을 활용하여 결정된 외부표정요소는 나머지 방법을 비교하기 위한 기준으로

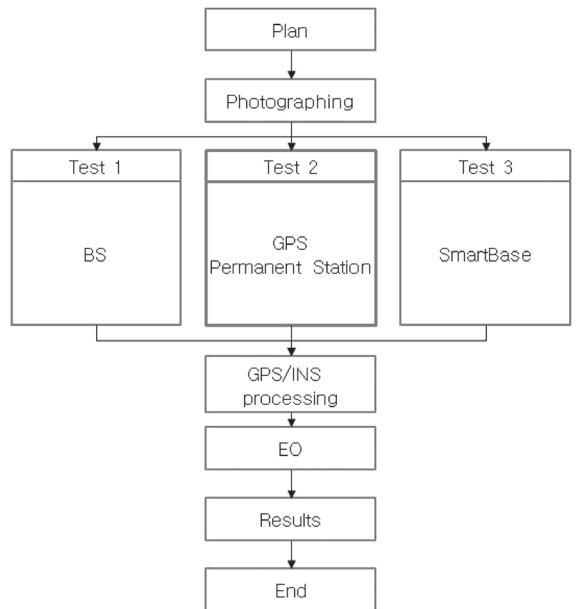


Figure 1. Work Flow

활용되어 각각 실험 결과에 대해 지상기준점 처리결과와의 차이를 계산하였다.

본 연구는 지상기준국을 운영하는 대신 다수의 상시관측소를 활용해 SmartBase를 구현하고 이를 활용할 경우 지상기준국 처리 결과와 비교하여 획득할 수 있는 정확도 수준을 알아보는 것이 주요 목적이다. 이와 비교해 각각의 상시관측소를 활용하여 처리하는 결과와도 비교해보고자 한다.

1.3 연구동향

외부표정요소 획득에 상시관측소를 활용하는 방법으로 큰 효과를 볼 수 있는 연구가 이루어져 있는데, Yoon (2008)은 상시관측소를 사용해 GPS/INS를 처리하는 방법은 지상기준점 측량을 위해 소요되는 비용 및 시간 절감을 크게 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 4개의 기준점만으로도 $\pm 10\text{cm}$ 의 위치결정 가능한 아주 획기적인 방법임이 입증되었다.

또한 상시관측소와 더불어 네트워크 RTK 서비스에 관한 연구가 많은 부분 이루어져 있다. Kim et al.(2008)은 국토지리정보원에서 상시관측소와 함께 서비스 하고 있는 VRS에 대해 일부 VRS 기준망 내부에 위치한 3등 기준점을 대상으로 VRS 측량을 실시한 결과 일반 RTK 측량의 단점을 보완하면서 대등한 수준의 정확도를 확보할 수 있음을 증명하였다.

더불어 VRS 측량은 모바일 기기 등을 활용한 실시간 네트워크 측량을 기반으로 활용되고 있는 반면 상시관측소 데이터를 활용한 후처리 네트워크 기반 RTK 방법을 적용할 수도 있다. 후처리에 의한 네트워크 기반 RTK 생성은 임의의 상시관측소를 활용하여 망 구성을 할 수 있을 뿐만 아니라 임의의 지점을 가상기준점으로 선점하여 처리할 수 있다. Soon et al. (2008)은 이와 같은 방법으로 주변의 상시관측소를 이용해 임의의 4개 지점에 VRS를 생성하여 지상기준점과 인근 상시관측소에 대한 각각의 GPS/INS 데이터 처리를 통해 외부표정요소를 비교한 결과 소축척 지도제작에 있어서 가상기준국을 활용하는 방법이 충분한 정확도 유지가 가능함을 입증하였다.

2. 연구방법

2.1 SmartBase

현재 국내에서 운영되고 있는 72개의 상시관측소를 활용해 우리나라 전역에 대해 약 30km 간격으로 GPS 상시관측소망을 구성할 수 있게 되었으나 항공측량이나 기준점 측량과 같은 분야에서 상시관측소를 적극적으로 활용하기 위해서는 보

다 안정적인 정확도 확보와 경제적인 효과를 획득하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 관점에서 네트워크 기반 RTK의 활용은 상시관측소간의 거리를 좁히거나 측량지역에 지상기준점을 운영하는 효과를 획득할 수 있는데, 특히 후처리를 통한 네트워크 기반 RTK 운영방법은 측량지역에 직접 GPS 기준국을 운영하는 데에 따른 인력, 경비를 절감하고 안정적으로 GPS 데이터를 확보할 수 있는 이점이 있다.

본 연구에서는 항공사진촬영에 따른 외부표정요소를 계산함에 있어 상시관측소와 네트워크 기반 RTK를 활용한 후처리 방법을 선택하였으며, 이와 같은 방법을 통해 확보할 수 있는 정확도 수준을 지상기준국 운영 결과의 기준으로 판단하고자 하였다. 특히 후처리에 의한 네트워크 기반 RTK 구현은 GPS 처리 소프트웨어와 GPS 수신 데이터만을 활용하는 방법인데, 상시관측소 GPS 수신 자료와 방송력 및 IGS 정밀력을 활용하여 상시관측소로 구성된 망 내에 가상의 기준점을 생성하고, 이를 통해 한 개의 기준국을 이용해 GPS/INS 데이터를 처리하는 것과 같이 운영된다. 여기서 SmartBase는 Applanix 사의 GPS 처리 소프트웨어에서 제공하는 기능으로 실제로 측량하지 않고 논리적으로 구현되는 임의의 기준점을 활용하는 방식이다. 이와 같은 방법은 소프트웨어 내부연산 과정이나 세부적인 알고리즘은 공개되어 있지 않지만 매우 넓은 면적이나 관측소의 거리가 멀 경우 주위 관측소 데이터들을 활용해 효과적으로 GPS/INS 데이터를 처리할 수 있는 이점이 있다. 이를 활용해 GPS/INS 데이터 해석으로 항공사진 측량에 필요한 항공사진의 외부표정요소를 계산할 수 있는데 복잡한 계산과 별도의 데이터 처리가 없는 소프트웨어 의존적으로 데이터의 오류만 없다면 즉시 SmartBase를 생성하여 GPS/INS를 처리할 수 있다.

SmartBase를 활용해 GPS/INS 데이터를 처리하기 위해서는 4개 이상의 상시관측소 자료 뿐만 아니라 동시간대 GPS 위성에 대한 방송력과 IGS 정밀력이 필요하다. 현재 GPS의 위성궤도정보 항법메세지에 들어가 실시간으로 전송되는 방송력과 추후에 제공되는 정밀력이 있는데 궤도정보 제공 시점과 정확도에 따라 구분된다. 방송력은 예보의 성격으로 5~10m 정도의 위치정확도를 가지며 이 수준을 유지하기 위해 위성의 회전주기보다 빠른 2시간마다 궤도정보를 갱신해야 한다. 반면 정밀력은 추후에 제공되는 기록이므로 제공 시점에서는 과거의 데이터가 되므로 1m 이내의 높은 정확도의 데이터로 제공되는데 이 정확도를 확보하기 위해 위성궤도의 정밀한 해석이 필요하므로 2주 정도 지난 후에 제공된다. (Kim et al., 2009) 또한 정밀력은 궤도정보 제공 시점에 따라 다시 구분할 수 있는데 현재 가장 많이 보급되어 있는

것은 IGS(International GNSS Service)에서 작성한 IGS 정밀력이다. IGS 정밀력이 12~19일 후에 제공되는 시간적인 제약을 단축시키고자 IGR 신속력(rapid orbit)은 17~41시간 후, IGA 초신속력(ultra-rapid orbit)은 3~9시간 후 제공된다.(Jake Griffiths 등, 2012)

2.2 자료처리 및 분석 방법

본 연구에서는 GPS/INS와 디지털 항공사진 카메라를 이용해 Direct Georeferencing으로 외부표정요소를 획득하는 과정에 있어서 기준점에 따른 외부표정요소의 차이를 비교하는 것이 주된 연구절차이다. 여기서 비교한 기준점으로는 지상기준국, 상시관측소, SmartBase를 활용하였으며 이에 따라 3가지로 구분하여 실험하였다. 실험 1로는 항공사진 촬영과 동일한 시간대에 지상기준국을 운영하여 직접 측량한 결과를 활용하였으며, 실험 2로는 연구지역 주위의 상시관측소 4개를 선점하여 각각 1개씩 4가지로 실험하였다. 또한, 실험 3으로는 실험 2에서 활용한 4개의 상시관측소 모두와 항공사진 촬영과 동일한 시간을 포함하는 GPS위성의 방송력과 IGS 정밀력을 사용하여 SmartBase를 구현한 후 실험하였다. 이를 위해 지상기준점 좌표 계산에 상시관측소 5개와 SmartBase 구현에 4개의 상시관측소를 사용하였다.

Figure 2와 같이 실험 조건에 따라 GPS/INS 해석에 필요한 기준국 데이터를 결정함에 있어 각각 지상기준점, 상시관측소, SmartBase를 활용해 GPS/INS를 처리하고 이를 통해 각각의 외부표정요소를 계산하였다. 그 결과 외부표정요소의 위치요소인 X, Y, Z와 회전요소인 O, P, K에 대해 지상기준점 처리 결과와의 차이를 각각 계산한 후 그 결과를 비교하였다.

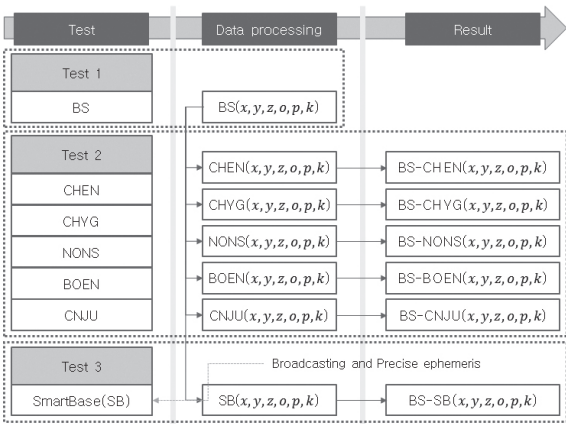


Figure 2. Data processing and analysis

3. 자료취득 및 실험

3.1 항공사진촬영

관측자료는 2012년 4월 7일 세종시 일원에 대해 GPS/INS를 이용한 항공사진촬영 자료를 이용하였다. 실험에 사용한 장비로 항공사진 촬영에 사용된 카메라는 Intergraph 사의 DMC(Digital Mapping Camera)이고 INS 시스템은 Applanix 사의 POS AV 510 V5이다. 항공사진은 1,080m 고도로 동서방향 4코스, 1,490m 고도로 남북방향 2코스를 촬영하였으며, 항공사진은 중중복도 60%, 횡중복도 30%에 지상해상도는 10cm 수준이다. 연구에 사용된 항공사진은 Figure 3과 같이 동서방향 4코스에 대한 코스별 각각 13장씩 총 52장이다.

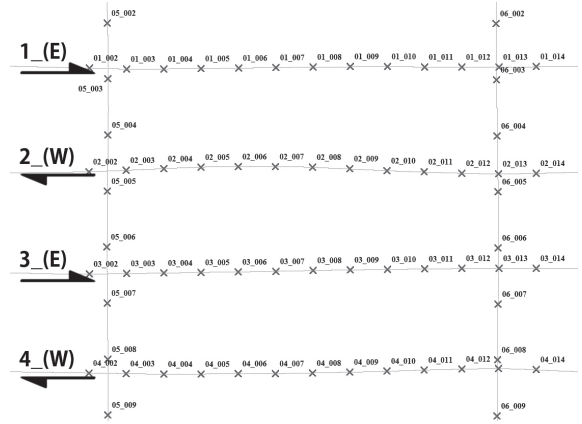


Figure 3. Flight path and principal point

3.2 지상기준점 측량

항공기 이착륙 시각을 포함하는 시간동안 촬영지역 내에 지상기준국을 운영하였다. 지상기준국은 연구지역 내에 운영하였으며 운영시간은 오전 08:21~10:31이고, 사용장비는 Trimble 5700이며 관측간격은 1초, 관측위성수는 10개, PDOP은 1.5이다. 항공사진 촬영 후 지상기준국에서 수신한

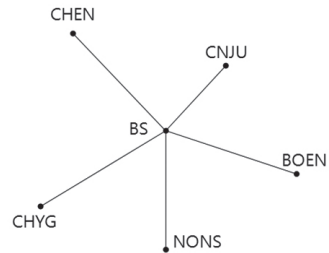


Figure 4. Ground reference station network

GPS 데이터를 처리하여 항공사진의 외부표정요소를 계산하기 위해서는 지상기준국의 정확한 위치를 결정하여야 하며, 이를 위해 Figure 4와 같이 촬영지역 인근의 천안, 청양, 논산, 보은, 청주 등 5개의 상시관측소를 이용하여 좌표를 결정하였으며 상시관측소의 좌표는 Table 1과 같다.

3.3 상시관측소 성과

국토지리정보원의 '항공사진측량 작업규정'에 따라 항공사진촬영 시 지상기준국의 GPS 데이터 수신간격은 1초로 설정하여야 하며 이 기준에 맞추어 실험 경우에 따른 성과를 비교하여야 한다. 그러나 지상기준국의 GPS 수신간격이 1초인 반면 상시관측소의 경우는 30초인데 본 연구에서는 현재 국토지리정보원이 웹서비스를 통해 제공하고 있는 데이터만을 사용하여 실험하였다.

Table 1. Results of ground reference stations and permanent stations

Name	X(E) (m)	Y(N) (m)	Z(H) (m)	Distance (km)
BS	228474.260	436065.398	52.151	-
CHEN	213841.320	475486.060	69.559	42.05
CHYG	182206.299	428984.225	136.466	46.81
NONS	208916.326	398729.039	50.689	42.15
CNJU	241254.420	447706.961	93.492	17.29
BOEN	265435.682	432483.716	212.258	37.13

3.4 SmartBase 구현

본 연구에서는 SmartBase 구현의 위한 최소 기준국 조건인 4개를 상시관측소에서 선택하였고 촬영시간과 동일한 시간대의 방송력과 IGS 정밀력을 획득하였다. SmartBase 구현에 사용한 상시관측소는 청양, 논산, 청주, 보은으로 이를 활용해 Figure 5와 같이 망을 구성하였으며 이때 사용한 방

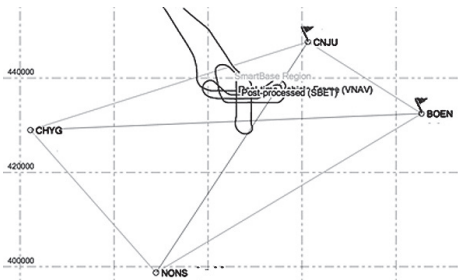


Figure 5. SmartBase using permanent stations.

송력과 IGS 정밀력 성과는 Table 2와 같다. 데이터 처리 소프트웨어로는 GPS/INS 해석에는 Applanix사의 POSPac MMS 5.2 (Applanix POSPac Mobile Mapping Suite 5.2)을 사용하였고, SmartBase 생성을 위한 모듈로는 Applanix SmartBase(ASB™)를 사용하였다.

Table 2. Broadcasting and precise ephemeris

Broadcasting ephemeris	IGS precise ephemeris
brdc0980.12n	igs16825.sp3 igs16826.sp3 igs16830.sp3

4. 결과분석

4.1 분석개요

GPS/INS 데이터 해석에는 지상기준국을 기준으로 각각의 상시관측소를 사용한 경우와 여기에 SmartBase를 추가한 경우로 구분하여 처리하였고, 이를 통해 각각의 외부표정요소를 계산하였다. 그 결과 Figure 7, 8과 같이 실험을 통해 계산된 외부표정요소 (X, Y, Z, O, P, K)를 위치요소(X, Y, Z)와 회전요소(O, P, K)로 구분하여 지상기준국 처리 결과와의 차이값(이하 차이값)에 대한 각각의 최대값(MAX)과 평균제곱근오차(RMSE) 및 사진별 차이값으로 구분하여 비교하였다. 특히 항공사진별 차이값 그래프에서 실험에 해당하는 4개의 코스와 사진촬영방향을 표시하였는데 1코스 동쪽 촬영방향을 1_E, 2코스 서쪽방향을 2_W로 정의하였으며, 같은 방법으로 3_E, 4_W로 정의하여 코스 시작지점에 표시하였다.

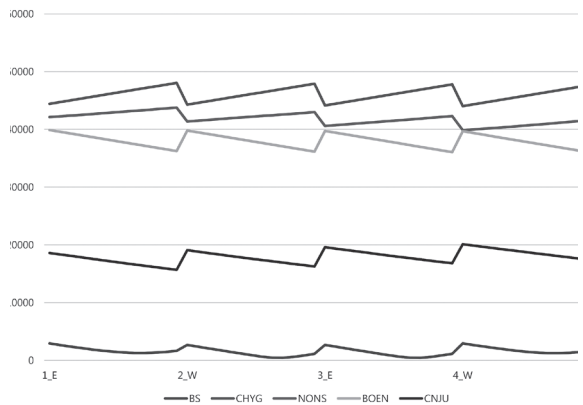


Figure 6. Baseline difference according to control points.

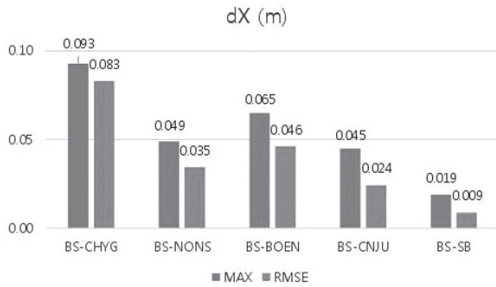
본 연구에서 기준이 되는 기준점은 지상기준국(BS)를 활용하여 처리한 결과로서 각 실험 중 가장 짧은 기선장을 갖고 있으며 GPS 데이터 수신간격 역시 1초로서 신뢰도가 매우 높다. 기준점에 따른 평균 기선장은 각각 지상기준국이 1.5km, 청양이 46.0km, 논산은 41.8km, 보은이 37.9km, 청주가 17.9km이다.

또한 각각의 실험에 의해 계산된 외부표정요소를 촬영순서에 따라 사진별 차이값을 도식하였으며 X, Y, Z, O, P, K에 대해 각각의 최대값과 평균제곱근오차(RMSE)를 표현하였다. 실험결과 외부표정요소 별 실험에 따라 그래프로 표현하였는데 그래프의 계열별 이름은 지상기준국 처리 결과와 조건별 처리 결과와의 차이를 계산하여 '지상기준국 이니셜(BS)-조건별 기준점의 이니셜'로 표현하였다. 지상기준국을 기준으로 청양은 'BS-CHYG', 논산은 'BS-NONS', 청주는 'BS-CNJU', 보은은 'BS-BOEN', SmartBase는 'BS-SB'로 표시하였다.

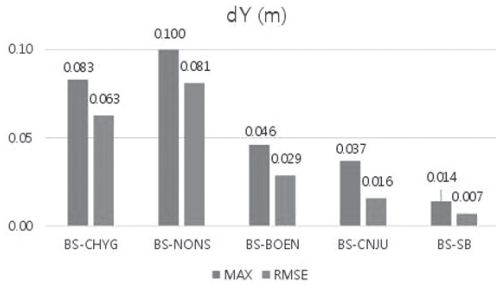
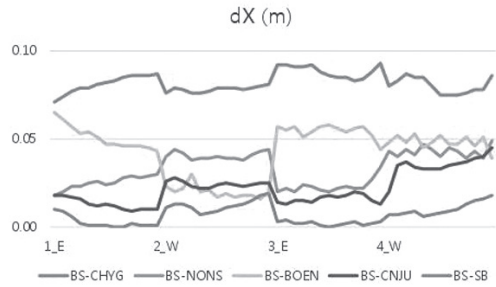
4.2 위치요소 분석

Figure 7(a)와 같이 X에서 RMSE는 SmartBase의 RMSE가 1cm 이내로 지상기준국과 비교하여 크게 차이가 나지 않았으며, 이 결과는 각각의 상시관측소만을 활용하는 경우보다 매우 정확한 성과이다. 또한 다른 상시관측소의 차이값과 비교해 SmartBase로 처리한 항공사진별 차이값은 매우 일정하였으며 코스의 변화에 따른 영향도 작았다. 특히 촬영방향에 따른 차이가 존재함을 알 수 있는데 1, 3 코스에서 매우 낮은 차이값을 보였다.

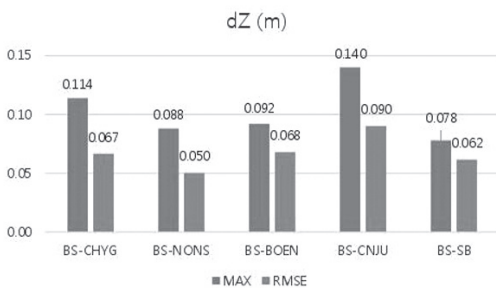
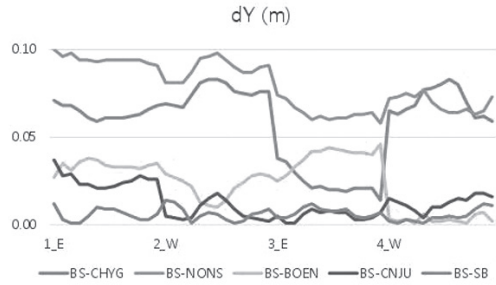
Figure 7(b)에서 Y는 다른 상시관측소와 비교해 SmartBase의 RMSE가 1cm 이내로 매우 정확한 결과를 보였으며 각각의 항공사진의 차이값 또한 코스의 변화와 상관없이 매우 일정하였다. 특히 거리가 긴 청양과 논산의 경우 RMSE와 코스별 차이값의 변화가 매우 컸는데 기선의 길이에 따른 항공사



(a) Maximum value and RMSE of X



(b) Maximum value and RMSE of Y



(c) Maximum value and RMSE of Z

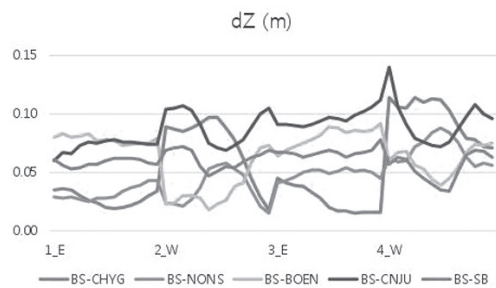


Figure 7. Position analysis of EO parameters

진 별 차이값의 변화를 알 수 있다.

Figure 7(c)에서 Z는 실험 경우에 따른 큰 차이점이 없었다. 다만, 상시관측소를 활용한 경우 항공사진 별 차이값이 코스에 따라 크게 변화한 반면 SamrtBase의 경우 그에 따른 변화가 크지 않았다.

Figure 7을 통해 외부표정요소의 위치요소에 대해서는 SmartBase를 활용하는 경우 평면위지정확도에서 크게 향상된 성과를 획득할 수 있으며 코스에 따라 일정한 수준의 정밀도를 기대할 수 있다.

4.3 회전요소 분석

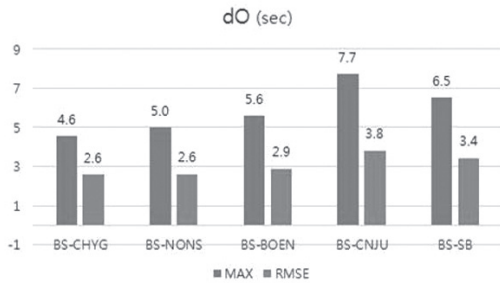
Figure 8(a)에서 O는 모든 경우에서 비슷한 성과를 나타냈다. 다만 코스별 차이값에서는 다른 코스보다 1코스에서 4~7초의 비교적 큰 차이를 보였는데 코스 진입 시 좌우 회전에 따

른 IMU의 불안정 혹은 1코스 진입 전 기준점과 항공기의 거리가 매우 길어서 발생한 결과로 보인다.

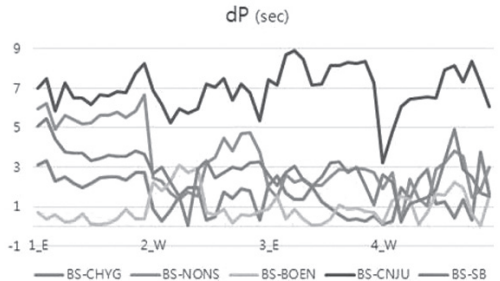
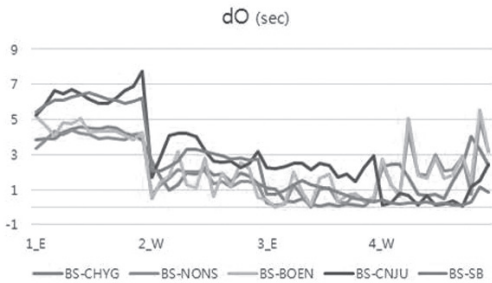
Figure 8(b)에서 P는 SmartBase의 결과가 보이나 청양의 성과에 비해서는 근소한 차이를 보였으나 코스 전체로 봤을 때는 비교적 양호하였다. 특히 가장 짧은 기선을 갖는 청주의 경우 매우 큰 차이를 보였는데 코스 전체적으로 매우 큰 차이값을 보였다.

Figure 8(c)에서 K는 SmartBase의 결과 다른 상시관측소의 결과에 비해 매우 높은 정확도를 보였으며 10초이상 큰 차이를 보였다. 또한 모든 실험에서 3코스의 경우 다른 코스보다 큰 차이값을 보였는데 촬영 당시 항공기의 IMU 성과는 기준점을 다르게 사용하더라도 그 특징이 나타나는 것으로 보인다.

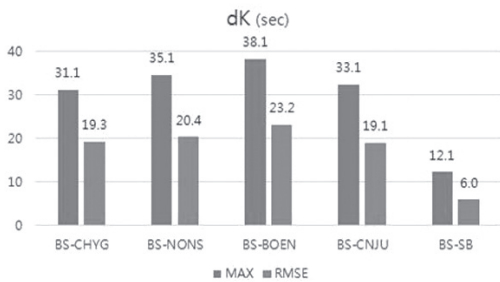
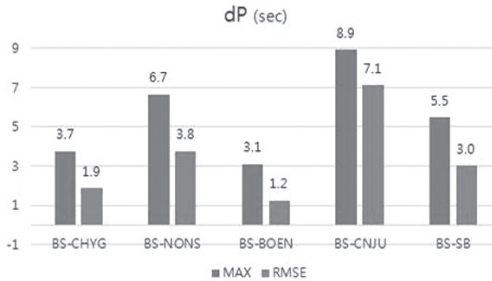
Figure 8을 통해 외부표정요소의 회전요소는 서로 다른 위치의 기준국으로 항공기의 IMU 데이터를 처리하더라도 촬영



(a) Maximum value and RMSE of O



(b) Maximum value and RMSE of P



(c) Maximum value and RMSE of K

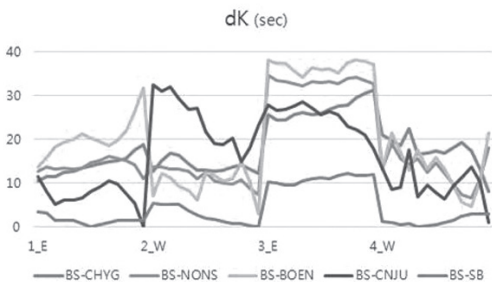


Figure 8. Rotation analysis of EO parameters

시기의 특징이 모두 나타났는데 본 실험에서 사용한 IMU는 항공기 gimbal과 함께 장착되어 있어 이와 같은 가속도 오차를 항공기 가속도의 급변화에 따른 결과라고 판단하기에는 부족함이 있다. 다만 각각의 사진에 대한 코스별 차이값의 형태가 유사한 점으로 미루어 볼 때 사용한 기준국의 방향과 거리가 차이값의 크기 정도에만 영향을 미칠 뿐 근본적으로 제거할 수는 없어 보인다.

5. 결론

본 연구에서는 후처리 VRS 모듈인 SmatrBase를 이용하여 GPS/INS 처리 가능성을 입증하고자 5개의 상시관측소를 이용하여 실험 적용하였으며, 실험 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫 째, 상시관측소와 방송력 및 IGS 정밀력을 결합하여 SmatrBase를 구현하였고 이를 이용해 활용가능한 수준의 정확도를 갖는 항공사진의 외부표정요소를 계산할 수 있었다.

둘 째, SmatrBase를 사용해 외부표정요소를 계산한 결과 X, Y, K에서 매우 좋은 성과를 획득하였으며, 평면위치정확도에서는 높은 수준의 정밀도를 기대할 수 있었다.

셋 째, 본 연구에서 외부표정요소는 사용하는 기준국의 거리와 방향이 촬영코스마다 각각의 항공사진에 영향을 미치며, 그 결과 일정한 형태로 지상기준국 처리결과와의 차이값에 대한 변화가 촬영코스마다 나타남을 알 수 있었다.

넷 째, GPS/INS 처리를 통해 외부표정요소를 계산 할 경우 상시관측소 위치와 촬영 방향에 따른 영향이 결과에 반영되지만, SmatrBase를 사용할 경우 이에 따른 영향이 최소화된 비교적 안정적인 결과를 획득할 수 있었다.

향후 상시관측소의 데이터 저장간격이 1초로 변화가 되고, 넓은 지역에 이와 같은 방법을 적용하는 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 인덕대학교 교내학술연구 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

NGII (2012), Aerial photogrammetry work regulation.
Kim, C. and Lee, S. and Do, S. (2009), Accuracy

Analysis of baseline determination using Broadcast ephemeris and Precise ephemeris in GPS surveying, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartograph*, Vol. 26, No. 2, pp. 149-157.
Kim, H. and Yu, K. and Park, K. (2008), Accuracy Evaluation of VRS RTK Surveys Inside the GPS CORS Network Operated by National Geographic Information Institute, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 26, No 2, pp. 139-147.
Song, Y. and Lee, J. (2005), Analysis of Plotting Accuracy Using Direct Georeferencing, *The Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 13, No. 1, pp. 31-41.
Song, T. and Kwon, J. (2008), Reference Sation of Aerial Photogrammetry with GPS/INS by VRS, *The Korean society of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 4, pp. 381-388.
Yoon, J. (2008), GPS/INS Aerotriangulation using Permanent stations, Ph. D. dissertation, Inha Univ., pp. 1-185.
Choi, Y. and Lee, Y. and Kwon, J. and Lee, J. (2004), A Study on the Introduction of GPS Virtual Reference System in South Korea, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartograph*, Vol. 22, No. 2, pp. 105-116.
Han, S. and Cho, K. and Lee, J. (2004), An Experimental Study on the Determination of Exterior Orientation Parameters with GPS/INS, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartograph*, Vol. 22, No 1, pp. 55-62.
Jake Griffiths, Kevin Choi (2012), IGS Classic Products, Status and Towards the Future, 2012 IGS Workshop, <http://igsclub.jpl.nasa.gov/presents/poland2012/>
Wanninger, L. (2003), GPS on the Web: Virtual reference stations (VRS), *GPS Solutions*, Vol. 7, pp. 143-144.
Wanninger, L. (2006), Introduction to Network RTK, IAG Working Group 4.5.1: Network RTK, <http://www.network-rtk.info>

(접수일 2013. 02. 04, 심사일 2013. 02. 21, 심사완료일 2013. 04. 16)