GPS 기준국의 Epoch 변화에 따른 Airborne GPS 촬영점 위치의 정확도 분석

The Accuracy Analysis of the Exposured Station Coordinates in Airborne GPS by Epoch changing of GPS Base Station

이 용 창* 강 준 묵**

Lee, Yong Chang · Kang, Joon Mook

1. 서 론

GPS 측량기술이 국내에 소개된 이래로 측점의 위치결정, 지형공간정보의 구축 등 여러 응용분야에서 GPS의 효용성이 입증되었고 조만간, 민간전용의 GPS 위성신호(L5)가 서비스될 예정으로 GPS 관련 응용은 국익차원에서도 매우 중요한 부분으로 강조되고 있다. 특히, 항공사진측량의 경우, 지상 기준점은 물론 항공기 내부에 탑재된 카메라 촬영점의 공간위치를 GPS로부터 매우 높은 정밀도로 획득할 수 있어 보다 경제적인 지형도 제작 및 지형정보의 Data Base 구축에 크게 기여하고 있다. 현재 Airborne GPS에 의한 항공사진측량의 경우, 항공기 내부에 탑재된 카메라와 GPS수신기 센서간의 지거(offset)를 사전에 정밀히 산정한 후, 수신자료를 사후 또는 실시간 DGPS 로 처리하고 항공사진 촬영 중 TTL pulse에 의해 생성된 촬영순간의 정밀한 시표(time tag)와 연계하여 촬영점 위치를 보간·산출하고 있다. 따라서, 항공사진 촬영에 앞서 기준국으로 사용될 측점의 위치는 정확히 결정되어야 한다. IGS, IGEX-98 등과 같은 국제적 규모의 관측망은 GPS 및 GLONASS위성의 궤도력 산정과 지구물리분야 등의 연구에 효율적으로 운영되고 있고 특히, 국가 GPS 관측망은 VRS의 운용과 더불어 측량분야, WAAS, LAAS, 항공기 관제, 지진예지 분야 등의 연구와 미래의 응용을 위한 역할이 크게 기대되어지고 있다. 국내에서도 정밀한 국가 GPS 관측망의 중요성을 인지하고 수 년 전부터 전국에 걸쳐 행정자치부, 해양수산부, 국립지리원, 한국표준과학원, 육군지도창 및 대학연구소 등에서 약 80여 점의 GPS 상시관측소를 설치·운용하고 있고 이들 측점의 보다 정밀한 성과를 획득하기 위하여 IGS, NIMA 등과 같은 국제적인 GPS 관측망에 가입하거나 상호간의 공조체제를 구성하고 있으며 또한, 년차적으로 확대할 계획으로 있다. 만일, 고른 밀도의 GPS 상시관측망이 운영중에 있다면 응용분야에 따라서는 독립적으로 별도의 기준국을 설치하는 과정없이 곧바로 관련지역부근의 GPS 기준국을 해당 응용을 위한 기준점으로 활용할 수 있을 것으므로 그 효용성이 크게 기대된다.

따라서, 조만간 국내에서도 균일한 밀도의 GPS 상시 관측망이 운용될 것이므로 그 동안 항공사진촬영에서 기준점을 관련지역에 독립적으로 설치해 왔던 방식에서 탈피하여 상시관측소를 기준점으로 활용한다면 보다 효율적인 항공사진측량의 작업공정이 기대된다. 외국의 상시관측소 운용사례를 검토하면 GPS 수신자료의 관리를 위하여 신호저장간격(Epoch)을 대부분 5초~30초의 간격대로 저장·활용하고 있으나 Airborne GPS의 경우, 이동국이 고속인 관계로 저장 Epoch를 대부분 1초로 설정하고 있어 이동국과 동일한 Epoch로 상시 관측소를 이용하기 위해서는 사전조율이 필요하게 되나 전체적인 관측망의 운용상 부분적인 조율이 불가능하게 될 수도 있다. 그러므로 Airborne GPS와 같이 이동국이 고속으로 진행되는 응용에서 상시관측소를 기준국으로 활용하기 위해서는 기준국 및 이동국간 신호저장 간격의 다름으로 인한 촬영점 위치의 정확도 검토가 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 현재, 전국에 걸쳐 이미 설치되거나 설치 예정인 GPS 상시 관측소를 항공사진측량을 위한 기준국으로 활용한다는 점에 착안하여 각기 다른 Epoch로 운영되는 상시관측소를

---

* 정회원·시립 인천전문대학 토목과 부교수·공학박사·032-760-8749 (E-mail : yclee@icc.ac.kr)
** 정회원·충남대학교 토목공학과 교수·공학박사·042-821-5678 (E-mail : kang_jm@hanbat.chungnam.ac.kr)

Airborne GPS의 기준국으로 활용할 경우를 전제로 기준국의 신호저장간격 변화에 따른 항공사진 촬영점 위치의 정확도를 분석하여 항공사진촬영의 효율적인 공정은 물론 향후, GPS 상시관측소의 효율적인 활용성에 기여하고자 한다.

2. 연구방법

Airborne GPS에 의한 항공사진측량에서 각기 다른 Epoch의 상시관측소를 기준국으로 활용할 경우를 가정하여 실 관측된 Epoch 1초의 기준점 자료로부터 각각 2초, 3초, 4초, 5초, 7초, 10초, 15초, 20초, 25초 및 30초 간격의 10가지 기준점 자료를 추출하고 이들을 다시 Epoch 1초로 보간·재 구성하여 기준국의 자료로 활용하였다. 총 10가지 경우의 기준국 및 이동국 자료를 각각 Ashtech 사의 PNAV s/w로 사후 처리한 후 time tag file내 각 촬영시간별 GPS 안테나의 위치를 산정하고 Epoch 1초의 결과를 기준으로 각 촬영점에 대한 10가지 경우의 좌표값과 비교하여 기준국의 신호저장간격의 변화에 따른 촬영점 위치의 정확도를 분석하였다. 실질적인 촬영점의 위치는 지거의 일괄적인 보정 후에 계산되므로 안테나 위치를 촬영점으로 대신하여 분석하였다.

3. 관측자료의 처리·분석

본 연구에 사용된 Airborne GPS 관측자료는 미국 University of Maine 지형공간정보공학과와 산학협동업체인 Maine주 Old Town시 소재, The James W. Sewall사의 Banger·Brewer·Oldtown 지역(30km× 50km)의 항공사진촬영 Project에 참여하여 획득한 자료를 활용하였다.
Airborne GPS관측은 쌍발 엔진 Piper Navajo Chieftain 350 항공기에 Zeiss TOP camera 및 Trimble 4000SSi GPS 수신기(안테나 Compact L1/L2 w/GP)를 탑재하여 1998년 11월 16일 14시 10분 44초에서 17시 42분 42초(GPS week 984, DOY320)까지 약 3시간 32분 동안 이루어 졌다. GPS 관측자료는 평균 위성수 9대(PDOP = 1.7)인 조건하에서 기준국 및 이동국 모두 Epoch 1초로 수신하였다. 기준국은 Bangor Airport 내에 설치된 "6011" 측점으로 NGS에서 제공된 성과를 활용하였다. 촬영점의 좌표를 Ashtech사의 PNAV s/w를 사용한 관계로 Trimble SSi 수신기로부터 획득한 GPS관측자료를 PNAV에서 처리할 수 있도록 Rinex 파일로 변환 하였고 특히, Trimble 사의 External event(Photo mark) file은 Ashtech 사의 photo.dat 파일 형식에 맞도록 변환하여 사용하였다. 그림 1은 Airborne GPS에 의한 촬영지역의 비행경로와 촬영점(○)를 합성하여 도시한 것으로 그림 내부의 사각형 상자는 일부구간에 대한 비행경로와 사진 촬영점을 확대한 것이다. 비행경로는 우측 상단부에서 시작되어 남서방향으로 1차 경로를 마치고 2차 경로는 1차 경로에 인접한 노선으로서 좌측 하단부에서 북동방향으로 진행되는 순으로 마지막 비행노선은 좌측 15번째 경로에 해당되며 5번째 비행노선을 재차 촬영하면서 관측을 종료하였다. TTL pulse에 의해 생성된 photo.dat 파일을 분석한 결과, 사진촬영시 평균촬영간격은 7~8초, 평균촬영고도는 약 1,140m 정도로 비교적 일정한 축척이 유지되었음을 확인할 수 있었다. 특히, 5번째 비행경로 종료부(-20,000, 0)의 2중 원형비행경로는 갑작스런 기류변화에 기인된 급격한 비행고도의 상승으로 잔여촬영점은 2중 원형비행경로를 비행한 후 촬영되었다. 특히, 수평방

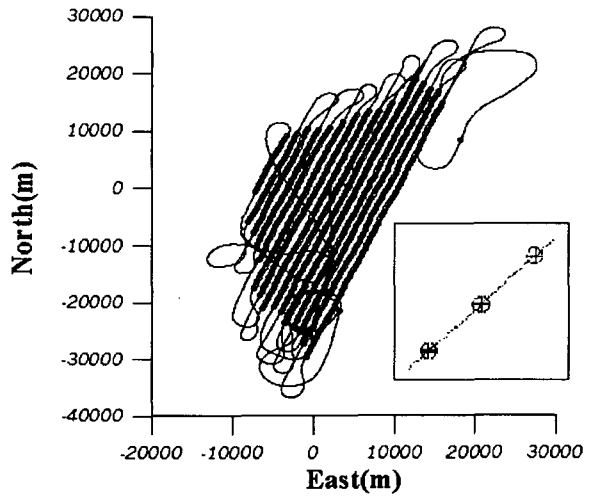

그림 1. Airborne GPS 비행경로와 촬영점

향의 평균속도는 86.7m/s이나 속도가 급격히 감소되는 7번째 경로의 중간부는 항공기내 촬영카메라의 필름 마운트를 교환하기 위해 계획된 비행경로를 의도적으로 이탈한 것으로 필름 교환 후, 해당 구간에서 발생된 cycle slip문제를 해결하기 위하여 다시 On the Fly(OTF) 모호정수결정(Ambiguity fixing) 작업을 수행한 후, 재 촬영되었다. Bangor Airport 내의 "6011" 측점은 그림 내 N=0 및 E=0 인 촬영구역의 중앙에 위치하고 있다.

4. 비교분석

본 연구에서는 Airborne GPS에 의한 항공사진측량에서 각기 다른 Epoch의 상시관측소를 기준국으로 활용할 경우를 가정하여 기준국의 신호저장간격 변화에 따른 항공사진 촬영점 위치의 정확도를 분석하기 위하여 실 관측된 Epoch 1초의 기준국 자료로부터 각각 2초, 3초, 4초, 5초, 7초, 10초, 15초, 20초, 25초 및 30초 간격으로 10가지의 기준점 자료를 추출한 다음, 이들을 다시 Epoch 1초로 보간하여 추출시간별로 기준국 자료를 재구성하고 항공기에서 획득된 Epoch 1초의 이동국 자료와 연계·처리하여 기준국의 신호저장간격 변화에 따른 촬영점 위치의 정확도를 분석하였다. 그림 2~5는 Epoch 1 초의 기준국 및 이동국 자료로부터 획득된 카메라 촬영점 좌표를 기준으로 하여 앞서 재 구성된 10가지의 기준국과 이동국의 자료처리 결과와 비교하고 촬영점의 East, North 및 Up 방향성분의 좌표편차를 2초, 4초, 7초 및 10초 경우에 한하여 도시한 것이다.

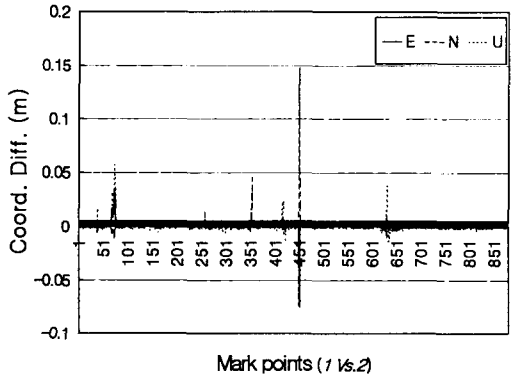

그림 2. 촬영점의 E,N,U 좌표편차(2초)

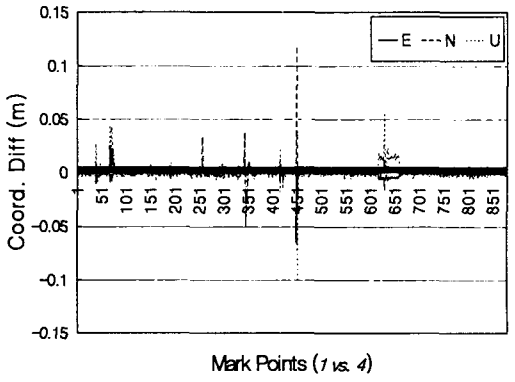

그림 3. 촬영점의 E,N,U 좌표편차(4초)

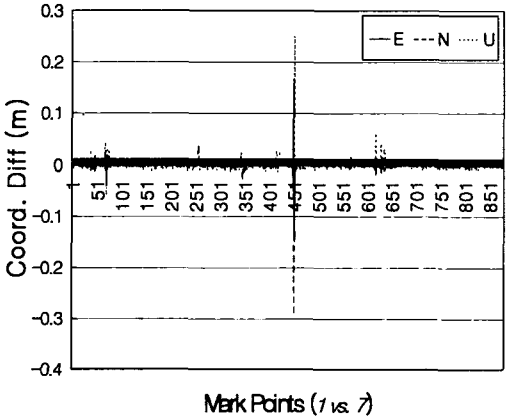

그림 4. 촬영점의 E,N,U 좌표편차(7초)

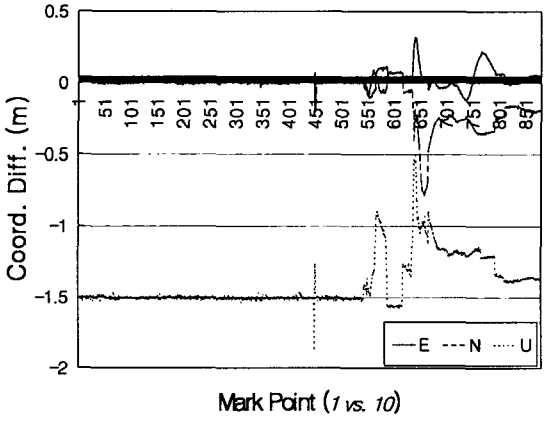

그림 5. 촬영점의 E,N,U 좌표편차(10초)

재 구성된 Epoch 2초~7초의 자료를 기준국으로 이용한 경우 N, E, 및 U 성분의 평균표준편차는 각각 ±3mm, ±2mm 및 ±4mm로 Epoch 1초의 기준좌표와 비교할 때 비교적 양호한 결과를 얻

을 수 있었다. 측점일련번호 450에 해당되는 촬영점은 필름교환을 위해 정상 비행궤도에서 이탈한 직후 촬영되었고 또한 이 구간은 Float 해석으로 자료처리된 관계로 자료의 추출 시간 간격이 점차 증가할수록 편차가 현저히 증대됨을 알 수 있다. 특히, Epoch 10초 ~ Epoch 30초의 자료를 기준국으로 활용한 경우, U 방향의 편차는 N 및 E 방향에 비해서 현격히 증대되었고 N 및 E 성분 또한, 10초에서 30초로 Epoch가 점차 증가될수록 좌표편차의 폭은 전체 촬영구간에서 점차 증폭되어 나타났다.

표 1. 10가지 Epoch 별 촬영점 좌표의 평균표준편차

Ave. Std.(m)	2초	3초	4초	5초	7초	10초	15초	20초	25초	30초
dN	0.0010	0.0015	0.0017	0.0038	0.0028	0.1154	0.0916	0.2249	0.3232	0.4455
dE	0.0007	0.0012	0.0011	0.0026	0.0019	0.0308	0.1176	0.1719	0.1785	0.2028
dU	0.0017	0.0024	0.0032	0.0105	0.0042	0.1355	0.1522	0.3576	0.5085	0.6495

표 1은 10가지 경우의 Epoch 별 촬영점에 대한 N, E 및 U 방향 좌표편차의 표준편차를 산정한 것으로 이를 도시하면 그림 16과 같다. 도표에서 명확히 나타난 바와 같이 원 자료(Epoch 1초)로부터의 자료추출 시간대가 2초~7초까지는 1초와 ±2~4mm 이내의 표준편차로 비교적 양호한 Fix 해석결과를 제공한 반면, 10초 이후로 추출 간격이 점차 증대될수록 Float 해석결과를 보이면서 N, E 및 U 방향 좌표성분의 표준편차는 현저히 증가하였다. 또한, U 방향의 표준편차는 E 방향에 비해 2배 이상 큰 표준편차의 분포경향을 나타내었다. 15초 이후의 추출 시간대에서는 전구간에서 N, E 및 U 성분 모두 ±10cm 이상의 표준편차를 보였다.

이상의 시간대별 10가지 기준국 자료에 대한 촬영점의 표준편차를 고찰한 결과, 원 자료의 처리 결과에 비교적 근접한 추출 시간대는 촬영축척에 따라 결정되는 카메라의 평균 촬영시간 간격과(본 연구의 경우 : 7초 ~ 8초) 밀접한 관계가 있는 것으로 확인할 수 있었다. 따라서, Airborne GPS에 의한 항공사진측량에서 기준국의 위성신호 취득시간간격은 촬영축척에 따라 정해지는 평균 노출시간간격보다는 최소한 작아야 할 것으로 판단되며, 향후 균일한 밀도의 국가 GPS 상시 관측소가 본격적으로 운영될 경우, 촬영 축척에 따라서는 별도의 기준국을 운영할 필요가 없게 되어 Airborne GPS에 의한 항공사진측량작업 공정의 효율성이 기대된다.

5. 결 론

Airborne GPS에서 관측된 GPS 위성자료와 photo.dat 파일을 처리·분석하고 GPS 기준국의 위성신호 수신시간대별 촬영점의 위치정확도를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구의 경우, 7초의 Epoch로도 비교적 1초의 경우와 표준편차 ±4mm이내의 양호한 촬영점 좌표를 산출할 수 있었으므로 GPS 기준국 수신기의 신호저장을 위한 메모리 용량의 절감효과를 기대할 수 있다.

2. Airborne GPS를 이용한 항공사진측량에서 GPS 기준국의 위성신호 취득시간 간격은 촬영축척에 따라 정해지는 카메라의 평균 촬영시간 간격보다는 작아야 할 것이다.

3. 향후, 국가적 규모로 균일한 밀도의 GPS 상시 관측망이 가동된다면, Airborne GPS에 의한 항공사진측량에서 GPS 기준국을 별도로 설치하지 않고도 주변 상시관측소의 성과를 보간하여 기준국으로 사용할 수 있게 되므로 Airborne GPS에 의한 항공사진측량작업 공정의 효율성이 기대된다.