

GPS 항공삼각측량의 정확도 분석 Accuracy Assessment for GPS Aerial Triangulation

임삼성* · 김충평** · 노현호***
Lim, Sam-Sung · Kim, Chung-Pyung · Noh, Hyun-Ho

요 旨

본 연구에서는 GPS 위성의 다양한 관측치를 이용한 GPS 항공삼각측량의 카메라 노출중심좌표 분석을 통해 관측치 종류별 활용 가능성을 연구하였다. 3차원 등각변환 방식을 통한 모델조정으로 획득한 동적 DGPS 카메라 노출중심좌표를 재래식 모델조정에 의해 결정된 카메라 노출중심좌표와 비교하여 각각의 정밀도 및 오차를 분석하였다. C/A 코드 관측치의 경우, 카메라 노출중심좌표가 표준편차 ± 2 m의 범위 내에서 결정되었고, L1 반송파 관측치는 ± 14 cm 이내, L1/L2 반송파 관측치는 ± 10 cm 이내로 결정되었다. 따라서 번들블럭조정 후 발생할 수 있는 카메라 노출중심좌표의 정확도를 미리 예측할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, we utilized various type of GPS observation measurements to get a camera projection center of the aerial triangulation and consequently to determine which type is acceptable. For the accuracy and the error analysis, comparison between a projection center from the conventional model adjustment and the result determined by the kinematic DGPS positioning which is fitted to the conventional model adjustment using 3D conformal transformation method has been made. The camera projection center is located within a ± 2 m for C/A code range measurements, ± 14 cm for L1 phase measurements and ± 10 cm for L1/L2 phase measurements with 1σ . In this way, the accuracy of the camera projection center by the bundle block adjustment can be predicted.

1. 서 론

인공위성을 이용한 위치결정시스템인 GPS의 응용과 그 기술의 발전은 위치정보가 필요한 부분에 빠른 속도로 접목되고 있으며 최근에는 매우 정밀한 위치좌표를 필요로 하는 측지측량, 공사측량, 사진측량에 이르기까지 거의 모든 분야에 응용되고 있다. 더불어 외국에서는 촬영용 비행기에 GPS 수신기를 설치하여 카메라의 노출중심좌표를 GPS에 의해 결정하는 연구가 활발히 수행되고 있다.

GPS 항공삼각측량은 다수의 기준점을 사용하는 재래식 항공삼각측량보다 적은 수의 기준점 만으로도 유사한 정확도 획득이 가능하여 매우 경제적인 위치결정 방법으로 각광받고 있으며 점차 항공삼각측량의 주요

기법으로 확산되고 있다. C/A코드 관측치를 사용할 경우 계산 알고리즘이 단순하며 실시간 응용이 가능하다는 장점은 있으나 계산된 위치의 오차가 수 m 수준으로 비교적 크기 때문에 수 mm나 수 cm 수준의 위치정도가 필요한 응용분야에서는 사용하기 어렵다. 반면 반송파 위상 관측치를 사용하여 카메라 노출중심의 정밀한 위치를 결정하기 위해서는 위성과 수신기 사이의 위상의 모호정수치(integer ambiguity)와 신호단절(cycle slip)을 해결해야만 한다. 따라서 수신기가 이동중인 상태에서 신호단절이 발생할 경우 다시 초기화 과정을 반복해야 하는 단점을 지니고 있다. 이를 해결하는 방법으로 OTF(On-The-Fly) 알고리즘을 이용하면 수 mm 정확도로 실시간의 위치결정이 가능하다.

본 연구에서는 과천지역에서 실시된 GPS 항공삼각측량 데이터를 이용하여 GPS 위성으로부터 얻어지는 여러 GPS 관측치의 활용 가능성을 연구하였다. 이를 위해

*인하대학교 지리정보공학과 교수
**한국항공(주) GIS 기술연구소 수석연구원
***인하대학교 지리정보공학과 대학원

시간의 함수로 유도된 보간법을 사용하여 카메라 노출 시간과 일치하지 않는 GPS 관측자료를 보간 하였다. 또한 기선거리에 의한 영향과 선형 스트립 오차와 표류 오차를 보간을 통해 제거한 결과가 실제의 카메라 노출중심 좌표와 어느 정도 부합하는지에 관한 실험을 통해 실제 항공삼각측량의 적용가능성을 연구하였다.

2. GPS 동적관측

본 연구에서는 지난 1998년 4월 3일 과천시 지역의 지도갱신을 목적으로 한국항공(주)에서 실시한 GPS 항공삼각측량 데이터를 사용하였다. 연속이동측량의 후처리를 위해 필요한 기준점은 촬영지역 내에 한 개소, 인하대와 한국항공 육상에 각각 한 개소를 설치하였다. 계획된 블록의 형상과 동적 GPS 관측에 의한 비행궤적은 그림 1과 같다. 그림 1의 왼쪽은 연속적인 비행궤적이며 이를 바탕으로 오른쪽에 스트립 별로 궤적을 발췌하여 도시하였다.

항공기에 설치된 GPS 수신기는 카메라 노출중심의 정확한 좌표를 구하기 위해 필요한 수신기의 이격(offset) 거리벡터를 쉽게 측정할 수 있도록 안테나의 위상중심이 카메라의 광축에 따라 위치하도록 설치하였다. 또한 생성된 사진번호와 시간을 기록하는 사건파일을 저장하기 위하여 수신기 외부에 새로운 저장매체를 설치하였고, 후처리시 수신기의 위치와 이격 거리를 이용하여 노출중심의 좌표를 정확히 보간할 수 있도록 10E-4까지 노출시간을 기록할 수 있는 장치인 TDU를 사용하였다. 항공기 내 장비의 설치는 그림 2와 같다.

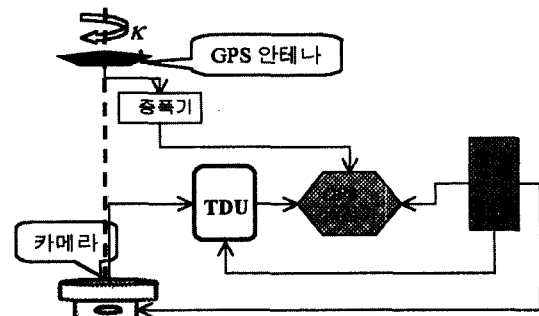


그림 2. 항공기내 장치의 구성도

항공기에 장착된 GPS 수신기는 Leika사의 WILD SR299로서 2주파 관측이 가능하고 데이터 저장간격은 1초로 하였다. 이 수신기는 카메라 노출시간 기록을 위해 시각출력이 pps 단위까지 가능하고 동시에 9개의 위성을 추적할 수 있다. GPS의 동적 관측값 처리는 Trimble사의 상용 프로그램인 GPSurvey를 사용하였다. 수신기 제조회사와 소프트웨어 제작사가 서로 다르므로, 데이터 처리 포맷은 수신기에 상관없이 데이터를

표 1. 과천시지역의 비행자료

촬영용 항공기	CESSNA 208	사진/스트립	117/9
카메라	RC-30	기준점 개수	221
초점 거리	153.71 mm	정확도	±5 cm
촬영 간격	5~6 초		
블록 크기	10 km × 7 km	GPS 수신기	Leica SR299
사진축척	1:5,000	자료 기록 시간	1초
중복도	종: 60(%) 횡: 30(%)	관측 기법	Kinematic DGPS

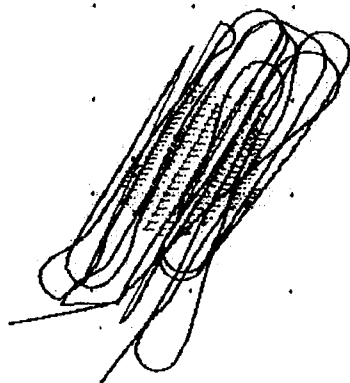


그림 1. 과천시지역의 항공삼각측량 블록의 형상과 비행궤적

처리, 사용할 수 있도록 국제 측지위원회에서 GPS 표준 실행포맷으로 정한 RINEX를 사용하였다. 표 1은 과천지역의 비행자료이다.

3. 관측값 처리 및 결과분석

3.1. 기준점 정확도 확보

연속이동관측 처리를 위한 기준점의 정확도를 확보하기 위해 지리원과 인하대의 상대거리를 측정하고, GPS 위성의 궤도정보를 방송력과 정밀력으로 구분하여 시간의 길이에 따른 기선거리의 변화를 측정하였다. 표 2에 나타난 바와 같이 기선거리가 40 km 이내에서는 위성의 궤도정보가 기선거리의 변화에 큰 영향을 미치지 않고 있으며, 1시간의 관측으로도 1 cm 이내의 정확도를 확보할 수 있다.

연속이동관측의 처리를 위해 사용되는 기준점의 정확도 확보를 위해 두 가지 방법으로 망을 구성하였다. 먼저 WGS84 좌표체계상에서 관측값을 처리하기 위해 그림 3과 같은 망을 구성하였고, 조정결과는 표 3에 나타난 바와 같이 1.0 σ 상에서 최대 1.2 cm 이다. 또한 현재 우리나라에서 사용하고 있는 평면직각 좌표 체계로 변환하기 위해, 그림 4와 같이 안산과 광교산의 정밀1차 삼각점을 인하대와 한국항공에 연결하는 새로운 망으로 구성하였고, 망 조정결과는 표 4에 나타내었다.

3.2. 동적위치결정

방송파를 사용하여 위치를 결정하기 위해서는 아래의 식 (3-1)에서 보여지는 바와 같이 먼저 모호정수치

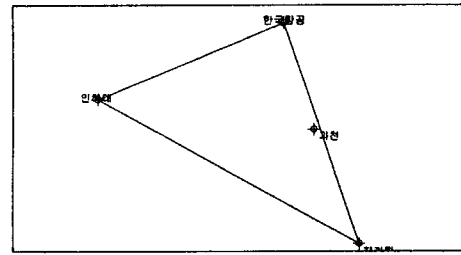


그림 3. WGS84 좌표 취득을 위한 망

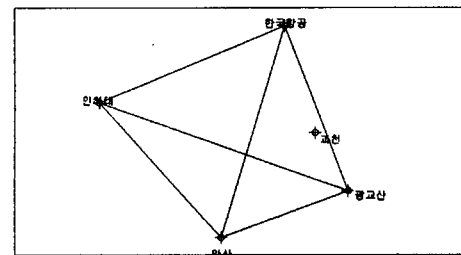


그림 4. TM 좌표변환을 위한 망

가 정수해로 결정되어야만 한다. 그러나 GPS 항공삼각측량의 경우, 비행기가 한 스트립에서 다른 스트립으로 진행하게 되는 과정에서 회전각으로 인해 신호단절이 발생하게 된다. 이로 인해 오차가 커지므로, 이러한 경우 보통 모호정수치를 다시 구하고 매 초마다 안테나 위치를 구해내야 하지만, GPS 항공삼각측량에서는 연속이동관측을 사용하여 매 초마다의 안테나 위치를 계산해야 하므로 잉여관측이 없으므로 인한 오차의 검출 및 보정이 상당히 어렵게 된다. 표 5는 연속이동관측처리의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 세션번호는 신호단절로 인해 모호정수치를 다시 계산한 개수

표 2. 관측시간의 길이에 따른 기선거리의 변화비교

방송력 사용		정밀력 사용			
관측시간	기선길이	잔차	기선길이	잔차	방송력-정밀력
1시간	40461.7	0.003	40461.707	0.01	-0.007
2시간	40461.697	0.0	40461.695	0.002	-0.002
3시간	40461.706	0.009	40461.706	0.009	0
4시간	40461.706	0.009	40461.706	0.009	0
5시간	40461.706	0.009	40461.706	0.009	0
6시간	40461.696	-0.001	40461.696	-0.001	0
7시간	40461.698	0.001	40461.698	0.001	0
8시간	40461.696	-0.001	40461.697	0	-0.001
9시간	40461.697	0	40461.697	0	0
9시간 30분	40461.697	0	40461.697	0	0

를 의미하며, 해의 유형으로는 GPS 항공삼각측량의 경우 모호정수치가 실수해로 결정되는 경우가 많이 발

표 3. WGS84 좌표의 조정결과

측점이름	좌표	1.0σ
지리원	위도 37° 16' 31.8564"	고정
	경도 127° 03' 15.2560"	고정
	높이 83.9322 m	고정
인하대	위도 37° 27' 02.158089"	0.003062
	경도 127° 39' 13.009226"	0.004162
	높이 58.0603 m	0.005313
한국항공	위도 37° 32' 40.234486"	0.002863
	경도 126° 56' 15.095690"	0.004739
	높이 39.7899 m	0.012091
과천	위도 37° 24' 53.670704"	0.004278
	경도 126° 59' 02.633367"	0.004982
	높이 86.9257 m	0.007060

표 4. TM 좌표의 망조정 결과

측점이름	좌표	1.0σ
안산삼각점	X 185792.5090	고정
	Y 420677.8200	고정
	높이 99.6941	고정
인하대	X 169279.0307	0.003430
	Y 438771.9985	0.003440
	높이 33.9560	0.001636
한국항공	X 194407.9802	0.003064
	Y 449140.1284	0.003050
	높이 15.6574	0.001807
광교산 삼각점	X 202979.1200	고정
	Y 426987.8580	고정
	높이 580.7900	고정

표 5. 연속이동관측 처리결과

세션	시작시간	종료시간	관측점의 갯수	RDOP	유형
1	98-04-03 10:00	10:03	801	4.074	L1 fixed double difference
2	98-04-03 10:03	10:03	785	3.928	L1 fixed double difference
3	98-04-03 10:06	10:21	375	4.551	L1 fixed double difference
4	98-04-03 10:21	10:24	1250	2.185	L1 float double difference
5	98-04-03 10:25	10:29	226	2.178	L1 fixed double difference
6	98-04-03 10:30	10:34	525	2.819	L1 float double difference
7	98-04-03 10:35	10:43	233	1.834	L1 float double difference
8	98-04-03 10:44	10:47	254	2.969	L1 fixed double difference
9	98-04-03 10:48	11:09	184	3.561	L1 float double difference
10	98-04-03 11:09	11:15	885	7.572	L1 float double difference
11	98-04-03 11:15	11:28	2	3.134	L1 float double difference
12	98-04-03 11:28	11:42	11	3.091	L1 float double difference

생하게 된다.

$$\phi_i(t) = \phi_j(t) - \frac{f_j}{c} R_j^i(t_r, t) - \phi_j(t) + N_j^i \quad (1)$$

여기서

$\phi_i(t)$: 수신기 시간 t 일 때 위성 j 로부터 수신기 i 에서
의 반송파

$\phi_j(t_r)$: 전송시간 t_r 일 때의 위성 j 에 의해 전송된 위상

$\phi_j(t)$: 수신기 시간 t 일 때의 수신기 Oscillator 위상

N_j^i : 위성 j 위상의 변화의 비, 주파수이다.

이 때, 신호단절로 인한 모호정수치의 재 계산으로 매 스트립마다 새로운 초기값을 부여 받아 각각의 위치를 다시 계산하게 되므로 각각의 스트립마다 편차가 다르게 나타난다. 아래의 그림 5에 나타난 선형 변이량은 GPS에 의한 위치를 공간 편심벡터의 고려하에 기존의 모델조정방식에 의해 얻어진 투영중심을 기준으로 하여 스트립별로 나타낸 것이다.

3.3 7개 변환요소를 이용한 좌표변환

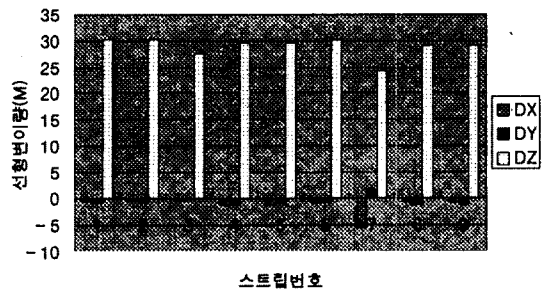


그림 5. 스트립별 선형변이량

표 6. 각 작업별 기준점에 의해 결정된 7개 변환계수

	작업 1	작업 2	작업 3
X축 회전성분(Sec)	7.976823	9.858819	10.006977
Y축 회전성분(Sec)	6.312755	9.830804	11.415475
Z축 회전성분(Sec)	-7.280613	-5.432766	-7.029278
X축 원점이동량(m)	391.446	445.264	506.281
Y축 원점이동량(m)	-521.406	-616.353	-595.582
Z축 원점이동량(m)	-416.538	-358.442	-332.159
축척계수	1.000005100326	1.0000013179673	1.000013099

GPS를 이용하여 얻어진 결과의 재래식 방법에 대한 비교 및 정밀도 분석을 위해서는 좌표변환이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 적용되는 기준점의 수와 배치 상황에 따른 결과분석을 위해, 3가지 다른 방법을 사용하여 7개의 변환계수를 찾아내고 그 결과를 분석하였다. 이를 위하여 3차원 변환은 Bursa-Wolf 방식을 따랐다.

작업 1은 GPS에 의한 WGS84 좌표를 우리나라 TM좌표로 변환하기 위해 사용했던 인하대, 한국항공, 안산, 광고산의 4개 기준점을 이용하여 7개의 매개변수를 구했으며, 작업 2는 GPS 항공삼각측량의 최소 기준점으로 사용하기 위해 과천지역에서 측량한 16점의 좌표 가운데 외곽의 4점을 사용하여 7개의 변환계수를 구하였다. 마지막으로 작업 3은 변환계수를 산출하기 위한 기준점의 개수가 늘어남에 따라 변화하는 결과값의 정밀도를 알아보기 위해 과천에서 기준점 측량한 16점 모두를 사용하여 변환계수를 산출하였다. 기준점의 WGS84 좌표로는 국립지리원의 WGS84 좌표와의 망조정을 통하여 얻은 결과를 사용하였으므로 표 6의 변환계수는 기존의 여타 변환계수와 다를 수 있다. 그러나 카메라 노출중심좌표를 위한 동적 GPS 위치좌표 역시 동일한 망조정 하에서 얻은 WGS84 좌표이므로 변환 후 TM좌표는 기존의 결과와 차이가 거의 없게 된다.

각 작업별로 구해진 변환계수를 과천지역에서 측량한 16개의 기준점에 적용하여 변환된 성과와 기존의 조정에 의해 1 cm 이내의 정밀도로 결정된 성과를 비교

표 7. 변환계수를 이용한 좌표변환 결과

	작업 1	작업 2	작업 3
X축 방향 표준편차	0.017801	0.005308	0.005336
Y축 방향 표준편차	0.018645	0.006645	0.006667
Z축 방향 표준편차	0.03825	0.030346	0.025557

한 결과를 표 7에 나타내었다.

3.4. 촬영순간의 동기화

일반적으로 GPS 항공삼각측량에서는 GPS에 의해 결정된 위치와 사진촬영 순간의 위치가 서로 일치하지 않는다. 따라서 관측된 GPS 위치와 촬영순간의 위치를 효과적으로 일치시키는 시각동기화가 먼저 이루어져야 한다. 카메라 촬영순간의 시간기록 장치 TDU에는 매 1초마다 GPS 수신기로부터 출력되는 시간을 이용하여 10^{-4} 초까지 카메라의 정확한 노출시간이 기록되므로 이를 이용하여 보간작업을 수행했다. 보간에 사용된 알고리즘으로는 선형보간법과 다항식보간법을 사용하였다. 선형보간법의 경우 비록 비행기의 비 선형적인 움직임은 고려할 수 없지만, 계획된 비행노선이 대체적으로 선형일 경우에는 거리에 따른 적용이 상대적으로 간편하다는 장점이 있다. 하지만 비행시 발생하는 여러 가지 상황을 고려해 볼 때, 비 선형적인 움직임에 대한 고려가 필요하다. 따라서 선형보간법과 다항식보간법을 모두 사용하여 실제적인 비행기의 움직임으로 발생하는 위치결과의 차이를 분석하였다. 표 8과 9는 기존의 모델조정에 의해 얻어진 카메라 노출중심의 좌표에서 GPS 위치좌표로부터 선형보간방법과 다항식보간법

표 8. 선형보간법에 의한 스트립법 투영중심의 결정

	Sx	Sy	Sz
스트립1	0.130296	0.221419	0.137808
스트립2	0.108277	0.183684	0.130494
스트립3	0.155919	0.111883	0.085493
스트립4	0.103875	0.147775	0.095442
스트립5	0.078476	0.063708	0.048660
스트립6	0.160206	0.155015	0.059276
스트립7	0.122079	0.204665	0.109222
스트립8	0.132744	0.076607	0.088095
스트립9	0.244571	0.246245	0.156878

표 9. 3차 다항식보간법에 의한 스트립별 투영중심의 결정

	Sx	Sy	Sz
스트립1	0.222396	0.121873	0.121350
스트립2	0.177663	0.102118	0.122281
스트립3	0.103994	0.158520	0.070355
스트립4	0.105758	0.139325	0.090899
스트립5	0.064743	0.075280	0.049263
스트립6	0.150336	0.151108	0.052988
스트립7	0.218952	0.137903	0.115054
스트립8	0.145489	0.127494	0.195956
스트립9	0.228370	0.235325	0.148556

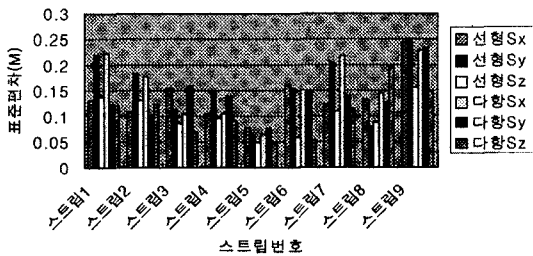


그림 6. 스트립별 투영중심의 결정을 위한 선형보간법과 다항식보간법의 표준편차 비교

을 사용하여 결정된 카메라 노출중심 좌표를 차감하여 얻어진 스트립별 표준편차를 나타낸 것이다.

그림 6은 스트립별 투영중심의 결정을 위해 사용한 선형보간법과 다항식보간법에 대한 표준편차를 표현한 것이다. 그림 6에서 보인 바와 같이, 투영중심을 결정하기 위해 사용되는 보간법의 종류에 따라 차이는 있지만, 대부분의 경우 3차 다항식 보간에 의한 결과가 좋다. 그러나 선형보간법과 다항식보간법의 편차는 표 8과 9에서 보여지는 바와 같이 최소 1 mm에서 최대 9 cm 정도의 차이를 보이고 있고, 평균적으로 2 cm의 범위 내에서 변화한다. 이와 같은 분석을 통해 과천시역의 과업에서는 매초마다 약 70 m의 거리를 비행한 계획이 상당히 선형에 가까웠음을 알 수 있고, 선형보간법을 사용하여도 충분한 정밀도를 확보할 수 있음이 밝혀졌다.

3.5. 관측치별 데이터 비교

카메라 노출중심좌표를 결정하는데 있어서, GPS로 취득한 각각의 관측치별 데이터가 이용가능한지에 대한 타당성 검증은 위하여, 먼저 GPS의 위치좌표를 보

간하여 얻은 결과에서 선형변이량과 편류각 및 모호정수치에 의해 발생하는 편류 오차를 제거하고, 오차소거가 이루어진 이후의 노출중심 좌표의 정밀도를 분석하기 위하여, 3차원 등각변환 방식을 사용해 모델조정에 의해 결정된 노출중심의 좌표에 보정하였다.

그림 7은 각각의 신호에 대해 재래식 모델 조정법에 의해 결정한 노출 중심좌표와 GPS 데이터를 3차원 등각변환 하여 결정된 노출 중심좌표 사이의 스트립별 편차를 보여준다. 그림에서 보이듯이 C/A 코드를 이용하여 노출중심에 보정한 경우 작게는 1 m에서 크게 2 m 정도의 편차를 보이고 있다. 따라서 C/A 코드를 이용한 노출중심의 위치계산 방법은 GPS 항공삼각측량이 요구하는 정확도를 만족시키지 못한다. 물론 L1과 L2 반송파를 모두 이용하여 노출중심좌표를 구하는 것이 가장 정밀한 방법이나, L1만을 이용하여 보정한 값의 편차도 스트립 별로 상당히 고른 분포를 보이며 위치좌표의 정확도도 ± 14 cm 내외의 편차를 얻는다.

그림 8은 L1/L2 반송파를 모두 사용하여 얻은 카메라 노출중심의 좌표와 모델조정에서 구한 카메라 노출중심의 좌표를 비교하여 얻어진 표준편차를 스트립 별로 나타낸 것이다. 스트립별로 약간의 차이는 있지만, 전체적으로 10 cm 내외의 범위에서 카메라 노출중심의

위성신호별 편차분석

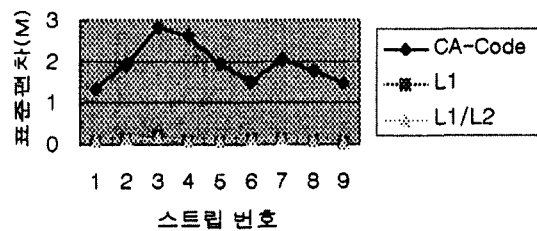


그림 7. 위성신호별 투영중심좌표와의 비교

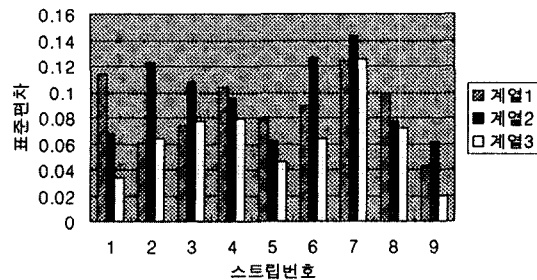


그림 8. L1/L2 반송파에 의한 스트립별 투영중심의 결정

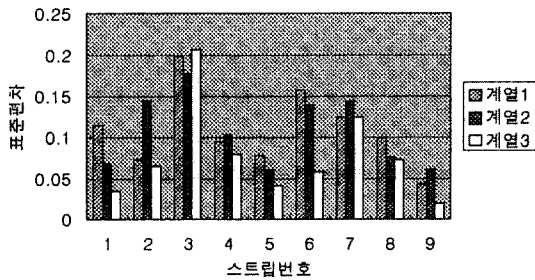


그림 9. L1 반송파에 의한 스트립별 투영중심의 결정

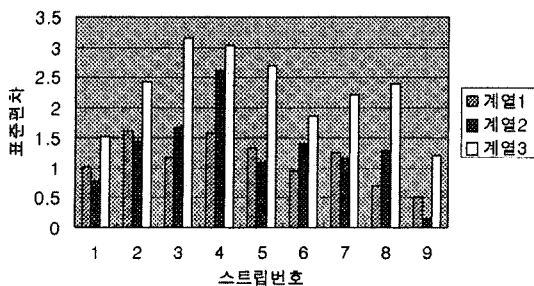


그림 10. C/A 코드에 의한 스트립별 투영중심의 결정

좌표를 결정하였다. L1 반송파만을 이용한 경우에는 스트립별로 약간의 차이는 있지만, 전체적으로 14 cm 내외의 범위에서 카메라 노출중심의 좌표를 결정할 수 있었으며, C/A 코드를 사용하여 카메라 노출중심의 위치를 결정한 경우에는, 전체적으로 1~3 m 내외의 범위에서 카메라 노출중심의 좌표를 결정하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 GPS를 항공삼각측량에 적용하여 카메라 노출중심의 정밀한 위치좌표를 결정하기 위한 단계별 연구수행 방법의 정확도를 검증하고, 기존의 모델 조정에 의해 결정된 카메라 노출중심의 좌표와 3차원 등각변환을 통해 획득한 GPS의 카메라 노출중심좌표를 비교하였다. 이로서 GPS 데이터를 사용하여 도출될 수 있는 정확도의 범위를 위성신호별로 분석함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 선형변이량을 제거하지 않은 경우, X와 Y좌표의 경우 최소 4 cm에서 최대 14 cm까지 스트립별로 다른 편차를 보였다. 비행기의 회전시 발생하는 신호단절 때문에 스트립마다 새로운 초기값이 계산되어야 하므로 이와 같은 현상은 필연적이며, 따라서 조정시 스트

립마다 다른 변수를 설정해 주는 것이 합리적이다.

둘째, C/A 코드를 사용하여 모델조정에 의해 결정된 노출중심좌표와 비교한 결과, 약 1~3 m 정도의 정확도를 얻을 수 있었다. 따라서 C/A 코드의 경우에는 카메라 노출중심의 위치와 같은 정밀한 측정을 위해서는 사용할 수 없지만, 실시간 GPS 항공삼각측량의 항법의 목적으로는 충분히 사용할 수 있음을 알 수 있다.

셋째, 선형변이량과 편류각에 의한 오차와 표류 오차를 보정한 경우, L1/L2 반송파를 사용하여 약 10 cm 이내의 노출중심 좌표를 결정할 수 있다. 3차원 등각투영 방식을 사용하여 모델조정에 의해 결정된 카메라 노출중심좌표에 조정하는 방법을 사용하여 선형변이량과 표류오차를 제거함으로써, 번들블럭조정 후 발생될 수 있는 카메라 노출중심 좌표의 정확도를 예측할 수 있다.

참고문헌

1. Clyde C. Goad and Ming Yang (1997), "A New Approach to Precision Airborne GPS Positioning for Photogrammetry", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 63, No. 9, September 1997, pp.1067-1077.
2. Hamid Ebadi and Michael A. Chapman (1998), "GPS-Controlled Strip Triangulation Using Geometric Constraints of Man-Made Structures", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 64, No. 4, April 1998, pp.329-333.
3. F. J. G. Boon, P. J de Jonge & C. C. J. M. Tiberius (1997), "Precise aircraft positioning by fast ambiguity resolution using improved troposphere modeling", *ION GPS-97 Part 2 of 2* September 16-19, 1997, pp. 1877-1884.
4. Lewis A. Lapine, "Airborne Kinematic GPS Positioning for Photogrammetry: The Determination of the Camera Exposure Station", *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, pp.52-57.
5. Gerald L. Mader, "Kinematic Positioning with the Global Positioning System", *The Determination of the Camera Exposure Station*, *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, pp.41-51.
6. Robert Kletzil, "GPS Aided Photogrammetry," *The Determination of the Camera Exposure Station*, *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, pp.52-57.
7. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins (1997), *GPS Positioning System; Theory and Practice*, Springer-Verlag, Fourth revised edition.
8. Qassim A. Abdullah, "Control requirements for single

- strip block airborne GPS Triangulation", ACSM/ASPRS Volume 2, APRIL 7-10, 1997 pp.220-238.
9. Masaaki Murata, Toshiaki Tsujii, and Masatoshi Harigae, "Flight Experiment Results for Aircraft Positioning with Carrier Phase", Proceedings of ION GPS September 20-23, 1994, pp.1519-1526.
 10. Hamid Ebadi and Michael A. Chapman, "GPS-Controlled Strip Trangulation Using Geometric Constraints of Man-Maid Structures", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 64, No. 4, April 1998, pp.329-333.
 11. Clyde C. Goad and Ming Yang, "A New Approach to Precision Airborne GPS Positioning for Photogrammetry", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 63, No. 9, September 1997, pp.1067-1077.
 12. Paul R. Wolf, "Elenment of Photogrammetry" Second Edition.
 13. 박운용, 강준목, 이재원, "GPS-인공위성 보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량" 대한 토목학회논문집, 제 15권, 제10호, 1995, pp.1731-1742.
 14. 이종출, 이재원, 신상철, "GPS 위성보조에 의한 대규모 지역의 결합반들블럭조정" 대한 토목학회논문집, 제17권, III-I호, 1997, pp 71-79.