

## GPS 연속관측점을 이용한 결합블럭조정의 정확도 Accuracy of Combined Block Adjustment with GPS-Permanentstation

박운용\* · 이재원\*\* · 신상철\*\*\*

Park, Woon-Yong · Lee, Jae-One · Shin, Sang-Cheal

### 요 旨

항공사진측량에 의한 지도제작과 미지점의 정확한 위치결정은 매우 경제적인 방법이나 외부표정요소를 구하기 위해서는 기준점이 필요하다. 번들조정기법의 성능향상과 횡스트립의 설치로 블럭조정에 요구되어지는 기준점의 수가 감소되었음에도 불구하고 기준점 측량은 비용면에서 무시할 수 없는 부분이다. 이러한 단점을 보완하기 위해 연구된 동적 DGPS-위치결정에 의한 GPS-항측은 처음 가능성을 보인 이래 계속 발전되어 오고 있다. 위성배치의 완료, 수신기의 기능 향상 및 동적 DGPS-위치결정을 위한 S/W의 향상 등으로 결합블럭조정의 정확도도 크게 증가하고 있다. 따라서 GPS-항측의 실용화에 대한 연구가 보다 절실히 요청되고 있는 실정이다. 본 연구의 대상지는 60%의 횡중복도와 횡스트립으로 촬영하여 광산지역의 지반침하를 조사하기 위하여 실시되었다. 단지 6개의 기준점만을 사용한 결합블럭조정으로도 21개의 수평기준점과 81개의 연직기준점을 사용한 재래식 블럭조정과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 또한 GPS에 의한 노출점의 위치와 블럭조정의 정확도는 지상 수신기준점의 거리와는 무관하였으며 결합블럭조정시 정오차 소거를 위한 특별한 모형식이 필요함을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

Mapping and precise point determination by photogrammetry have been shown to be an economic solution. But control points are necessary to determine the exterior orientation parameters. Although the number of required control points has been reduced based on extended bundle adjustment and reinforced cross-strip, the ground survey is a significant factor of whole expenses in photogrammetry. The status of GPS-photogrammetry with kinematic DGPS-positioning to overcome this disadvantages, is now steadily progressive since the first possibility has been proved. The completed satellite configuration, powerful receiver function and upgraded software for kinematic DGPS-positioning have extensively improved the accuracy of combined bundle adjustment. So the research for the operational use of GPS-photogrammetry is absolutely necessary. The presented test field was designed for identification of subsidences in a coal mining area, flown with 60% sidelap and cross strips. Just with 6 control points and combined block adjustment instead of the traditionally used 21 horizontal and 81 vertical control points the same ground accuracy has been reached. The accuracy of kinematic GPS-positioning and combined block adjustment was independent upon the distance of the ground reference station. It also has been showed that the special model for the systematic error correction in the combined block adjustment.

### 1. 서 론

항공사진측량 분야에서는 80년대 말부터 동적 DGPS 위치결정에 의한 카메라의 외부표정요소( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ,  $\omega$ ,

$\phi$ ,  $\kappa$ )를 결정하는 연구가 진행되어 이제 실용 단계에 접어들었으며, 조만간 GPS-항공사진측량(GPS-Photogrammetry)에 의한 새로운 지도제작 기법이 보편화 될 전망이다.<sup>1)</sup> 이러한 성공적인 GPS의 활용은 값싼 수신 장비의 보급, 각기 자국 실정에 적절한 응용소프트웨어 개발과 함께 풍부한 연구 경험의 축적이 필요한 바, 우리나라에서도 이에 부응한 연구 노력과 다각도의 관측 활

\*동아대학교 공대 건설공학부 교수

\*\* (주)쌍용정보통신 GIS 사업부 부장

\*\*\*동아대학교 공대 건설공학부 강사

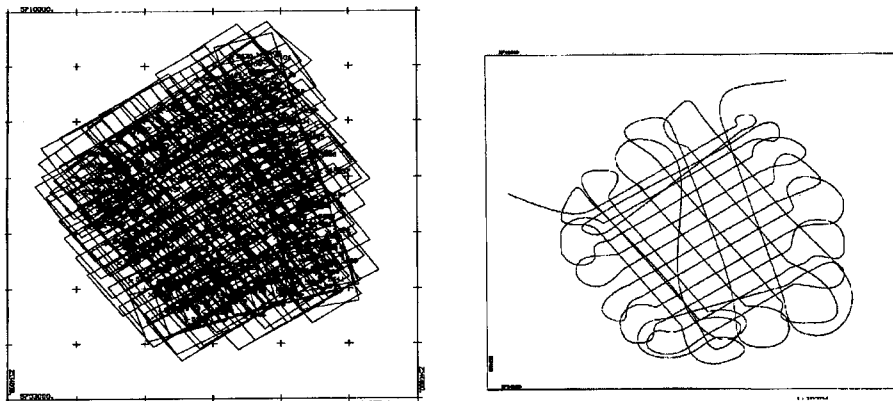


그림 1. 블록의 형상 및 비행계적

동이 절실히 요청된다.<sup>2,3)</sup>

항공삼각측량을 위한 동적 GPS 위치결정의 적용은 각각의 카메라 노출순간에 항공기의 위치를 정확하게 결정하는데 있다. 이러한 위치들은 카메라 투영중심과의 편심관측으로 결합블럭조정에 도입되는데, GPS의 관측특성에 의해 많은 문제들이 발생하여 블럭조정을 위한 투영중심의 좌표와 GPS로 결정된 투영중심의 좌표 사이에 오차가 생겨 얻을 수 있는 정확도가 달라지므로 지상측량사와 같은 높은 정확도의 확보가 대단히 어렵다.<sup>4,5)</sup> 따라서, 본 연구에서는 동적 GPS 위치결정에 의한 투영중심의 정확한 삼차원 좌표를 결정하기 위하여 GPS 관측값의 불확실 정수, cycle slips, 다중경로 등의 정오차의 특성을 규명, 소거한 후, 선형과 2차, 3차 다항식 법에 의한 동적 GPS 관측값의 Shift, Drift를 보간하는 프로그램을 개발하여 Fitting code에 따른 정확도 향상 기법을 연구하였다. 그리고 동적 DGPS 기법을 이용한 관측시 기준수신점에 GPS 연속관측점을 이용하면 아주 경제적이므로 장단거리의 GPS 연속관측점을 이용하고 반송파에 의한 결합블럭조정을 수행하여 그 특성을 규명하고 활용 방안을 제시하여 국토종합개발사업의 기본계획시 기준점의 설정 방안, NGIS 구축 사업에 실제 활용하기 위한 가능성을 연구 개발하는데 있다.

## 2. 연구대상지 선정 및 비행실험

본 시험대상지는 독일 Hannover 대학의 항공사진측량연구소와 지구측량연구소에서 실시한 GPS-항측자료

표 1. 연구대상지의 비행자료

기종	Cessna
촬영용 항공기	비행 속도 250 Km/Hr
	비행 고도 600 m
종류	RMK TOP
카메라	초점거리 153.230 mm
	촬영간격 7.0 sec
크기	5 Km×6 Km
블럭	사진축척 1:3,862
	중복도 P=60%, Q=60%
Photos/strips	212/21(10 cross strips)
photo points	30018
object points	3977
숫자	81 개소
기준점	정확도 $S_{x,y}=\pm 1$ cm, $S_z=\pm 1$ cm
수신기	Sercel NR 103T
	Sercel N 101
GPS 수신기	Sercel N 101(Stuttgart)
관측기법	Kinematic DGPS

를 이용하여 연구를 수행하였다.

GPS 관측에 의한 블럭의 비행계적은 그림 1에 나타난 바와 같고, 블럭에 대한 비행자료는 표 1에 요약하였다.

## 3. GPS 보조에 의한 결합블럭조정

### 3.1 기준조정

GPS 보조에 의한 블럭조정 결과치의 특성을 분석하

고 GPS 관측치가 블럭조정에 미치는 영향을 분석하기 위해서 미리 GPS 관측값 없이 사진좌표만으로 블럭조정을 하는데 이를 기준조정(reference adjustment)이라 한다. 이 기준조정은 GPS 결합블럭조정에 대해서 상대적으로 오차가 없다고 간주되는 기본값으로 종래의 블럭조정과 마찬가지로 블럭 전체에 골고루 배치된 기준점의 영향으로 비교의 기본이 될 수 있을 만큼 충분한 정확도를 유지하고 있다.

먼저 사진좌표는 Zeiss 사의 Planicom 100에서 5  $\mu\text{m}$ 의 정확도로 관측되어 필요한 오차보정을 실시한 후 좌

표변환을 거쳐 번들조정의 기본 자료로 입력하였다. 사진좌표의 관측 후 표정을 위한 스트립 접합과정에서 Data Snooping 법으로 과대오차를 제거한 후 다시 실제 블럭조정에 앞서 Robust 추정법으로 과대오차를 소거하였다. 조정 결과치의 정확도 산정은 블럭에 골고루 설치된 기준점 중에서 검사점을 선정하여 지상 관측값과 블럭조정 후의 변화량의 차이를 기본으로 평균제곱근 오차를 구한 것이다.

본 블럭은 소규모 지역이고, 중복도가 높고 블럭의 기하구조 중 횡스트립에 의한 영향을 분석하기 위하여

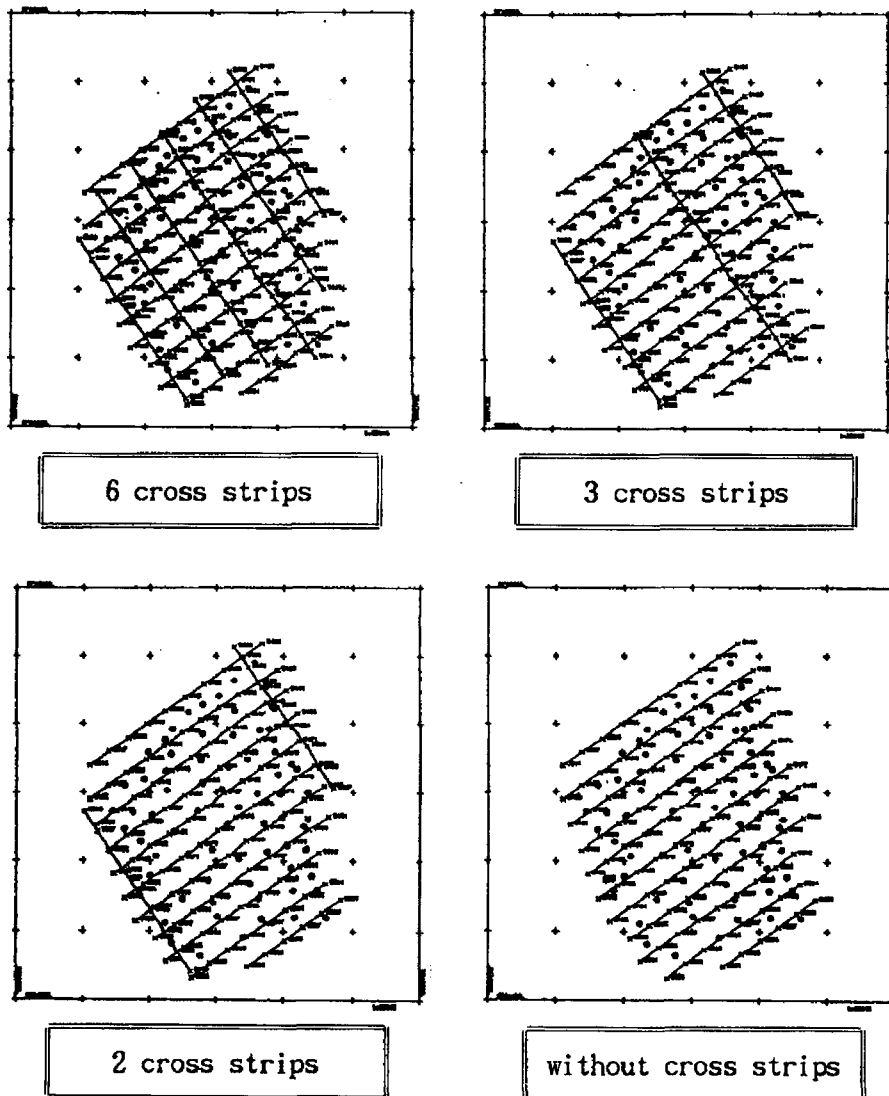


그림 2. 횡스트립의 형상

표 2. 기준조정의 정확도

No. of strips	No. of photos	Adjusted absolute accuracy (unit : cm)			Remarks
		$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$	
21	212	(2.1)	(2.0)	(2.1)	81 Control points
		0.9	0.8	1.3	
		(2.4)	(3.9)	(14.2)	
17	170	1.6	1.3	7.9	
		(3.5)	(5.0)	(13.5)	
14	138	2.1	1.3	8.8	4 Control points
		(8.1)	(8.5)	(21.5)	
13	126	2.3	1.7	10.3	
		(8.9)	(9.4)	(28.1)	
11	109	3.4	2.2	22.4	
		(10.3)	(9.2)	(29.8)	
		4.1	2.8	62.2	

\*( ) : Without additional parameters

아래 그림 2에 도시된 전체 횡스트립중 그 숫자를 줄여 가며 다양한 형태의 횡스트립을 구성하였다. 또한 이때 기준점 수와 기준점 배치의 영향을 파악하기 위하여 기준점 수와 배치를 5가지 경우로 나누어 분석한 결과를 요약하면 표 2와 같다.

8개 이상의 기준점을 사용한 블록조정 결과에서는 수

평위치에서는 5 cm, 연직위치에서는 10 cm 이내로 아주 높은 정확도로 조정되었으며, 5가지 유형의 횡스트립의 위치에 따른 번들조정의 결과에 있어서 많은 기준점을 사용한 경우에 있어서는 절대 정확도의 변화가 미소하고, 횡스트립의 유무에 따라 정확도가 매우 민감하게 반응함을 알 수 있었으며, 4 기준점의 경우도 기준점의 위치에 따라 연직위치에 있어서는 큰 편차가 났고, 매우 민감하게 정확도에 영향을 미침을 알 수 있었다. 그리고 부가변수를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 번들조정의 조정된 절대 정확도는 수평, 연직위치 모두에 50% 이상 향상되었으며, 이러한 효과는 횡스트립의 수가 감소함에 따라 더 크게 나타났다.

### 3.2 동적관측값 처리

본 연구대상지 GESTFELD의 촬영시 적용된 GPS 수신기와 카메라의 중심과의 수신기 이격거리를 관측한 결과  $X_{off}=0.000$  m,  $Y_{off}=0.000$  m,  $Z_{off}=-1.600$  m으로 나타났으며, 투영중심의 RMSE는  $S_{x0}=\pm 1.5$  cm,  $S_{y0}=\pm 1.7$  cm,  $S_{z0}=\pm 1.0$  cm로서 GPS 관측값의 수정에 필요한 충분한 정확도를 유지하고 있음을 알 수 있다. GPS 관측자료와 비행경로에 대한 보간에 따른 관측자료의 질을 속도와 가속도의 관계를 통해 보면 그림 3에 나타난 것

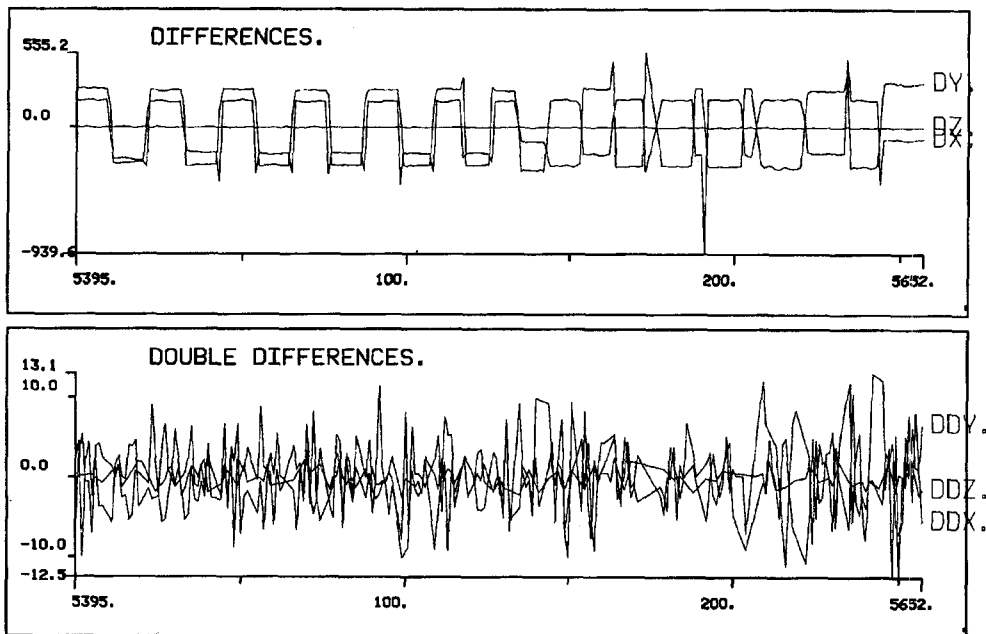


그림 3. GPS 관측값의 속도와 가속도의 관계

과 같다. 그림에서 횡축은 GPS 관측시간의 경과인 초(sec)를, 종축은 각각 속도(m/sec)와 가속도(m/sec<sup>2</sup>)를 나타낸다.

여기에서 주의할 점은 촬영의 스트립마다 GPS 관측값이 특이한 오차의 경향을 나타내므로 각 스트립 별로 독립적으로 수정하여야 한다. 본 연구대상지에서는 동적 DGPS 관측에 따른 기준수신점의 거리에 따른 결합블럭조정 결과를 비교하기 위하여 연구대상지 GEST-FELD와 50 Km 떨어진 DORTMUNT와 350 Km 떨어진 곳에 위치한 STUTTART에 설치되어 있는 GPS 연속관측점을 이용하였다. 두 지점에 대한 관측자료를 분석하여 두 기준수신점에 관한 결합블럭조정 값에 대한 GPS 관측값의 편차를 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

연속관측점 STUTTART에 대한 결과치 중 17번 스트립의 성과가 없는 것은 수신 결과가 좋지 않아 보간시 삭제하여 조정하였다.

이와 같은 오차량을 선형변형량(shift)이라 하며 일종의 정오차(constant error)이며, 이러한 오차를 소거한 후에도 잔존하는 시간에 따라 증가하는 drift 오차가 발생한다. 이 오차는 비선형의 형태로 나타나며 지상기준점을 통해서 보간을 하고, 결합블럭조정시 부가변수에 의하여 조정을 하여야 하나 현재까지 GPS-항공삼각측량의 가장 큰 과제로 남아있다.

그림에 나타난 바와 같이 촬영 스트립의 변경을 위한 회전비행시 비행기 동체에 의한 cycle slips의 발생으로 인하여 Y축 방향으로 많은 선형변이가 발생한 것을 알

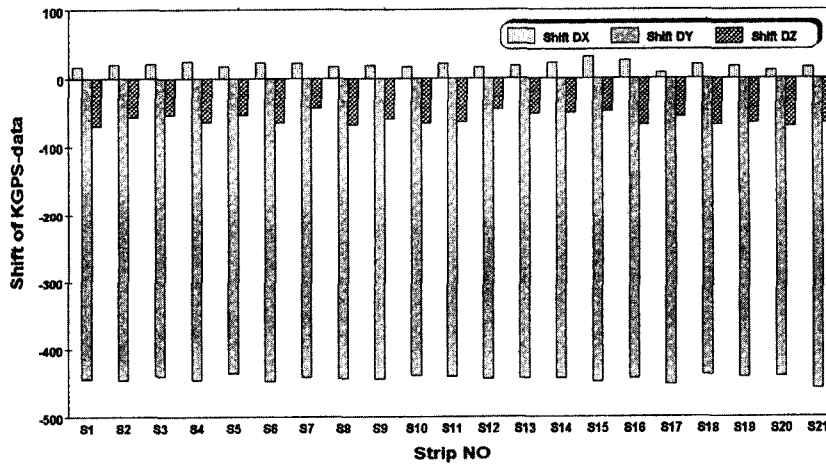


그림 4. 수신기준점 DORTMUNT에 대한 DGPS 관측값의 정오차

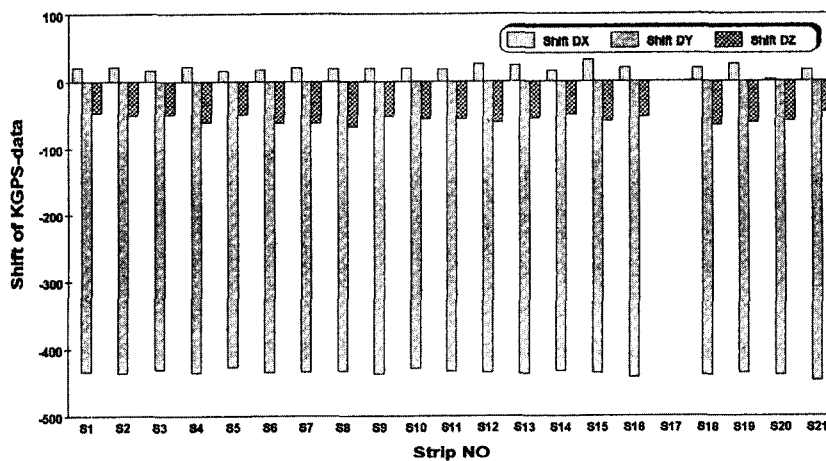


그림 5. 수신기준점 STUTTART에 대한 DGPS 관측값의 정오차

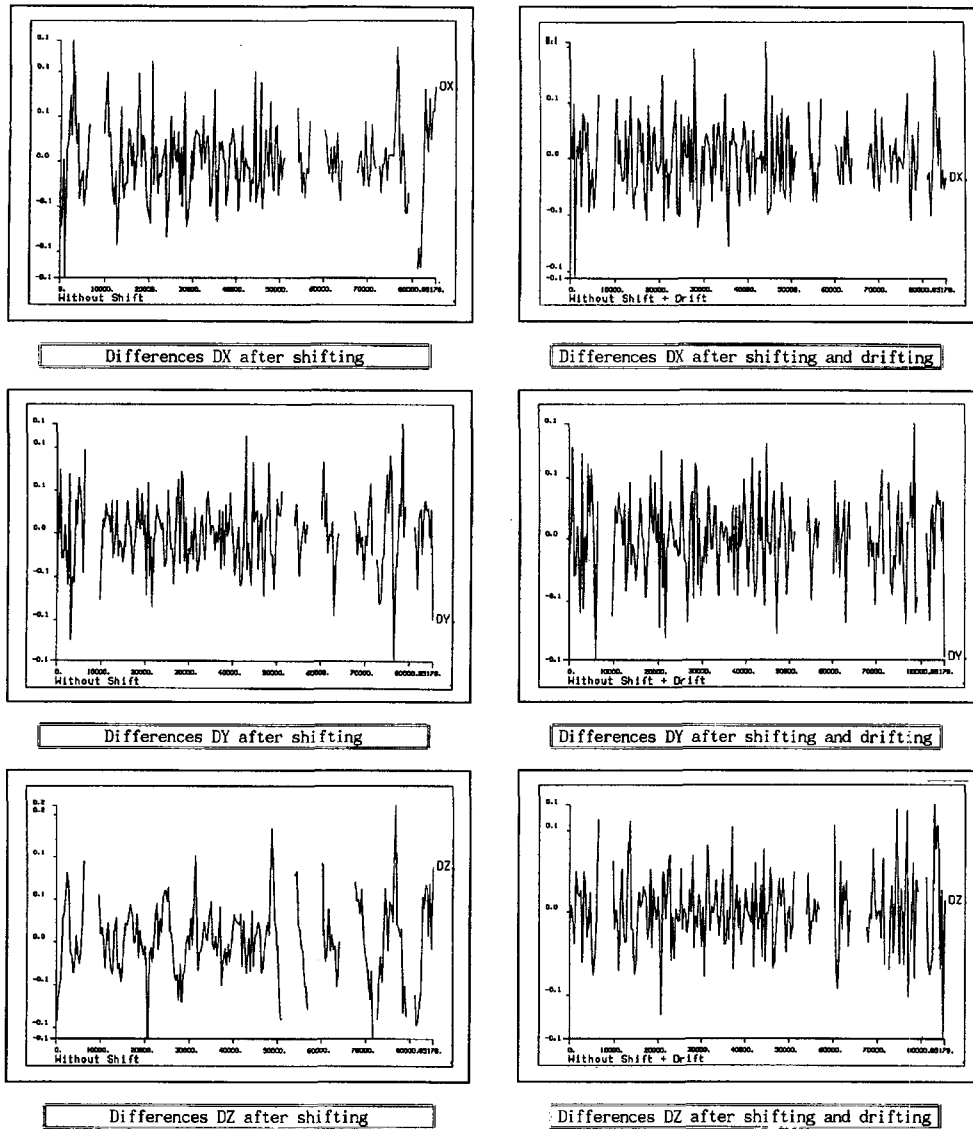


그림 6. 동적 GPS 관측값의 shift, drift 소거후의 오차분석도

수 있고, GPS 관측값에 포함된 Shift를 소거한 후 기준 조정의 투영중심좌표를 0으로 하여 그 편차값을 계산하였다. 그림 4에서 횡축은 각각의 스트립 번호이며, 종축은 정오차(shift)의 크기인 m이다.

GPS 편차는 거의 일정하나 갑자기 어느 시점에서 돌출하는 부분이 발생하는데 이러한 이유는 주로 관측하는 동안 위성의 기하구조가 변한다든지 혹은 비행기의 가속에 의한 영향 등이다. 이러한 과대오차를 제거한 후 관측시간의 증가에 따라 선형으로 증가 혹은 감소하

는 GPS Drift 오차도 그림 6과 같이 소거하였다.

그리고 스트립별로 동적 GPS 관측값의 오차를 분석하기 위하여 동적 GPS 관측값에 포함된 Shift와 Drift를 소거한 후 기준조정 투영중심좌표를 0으로 하여 그 편차값을 스트립 별로 분석하였다.

이와 같이 GPS 오차의 특성을 파악하고 각 epoch 마다의 관측값의 정확도를 분석하기 위하여 총 212개의 GPS 관측값 중에서 수신상태가 불량한 부분은 삭제하고 연속관측점 Dortmund를 사용한 경우는 196개의 관

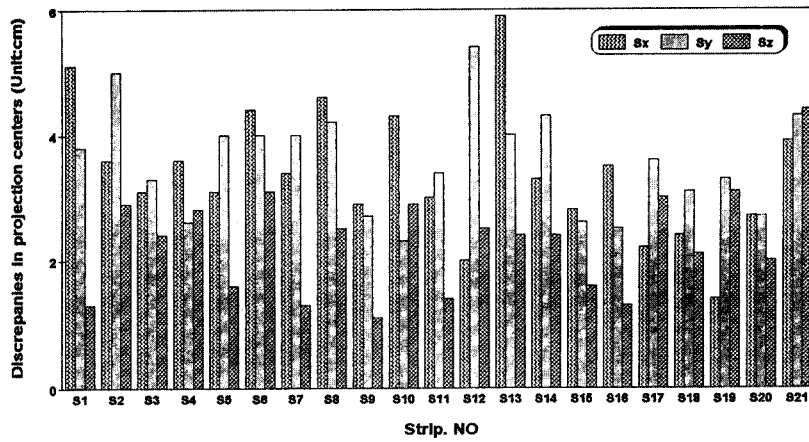


그림 7. 선형보간에 의한 스트립별 투영중심 좌표의 결정

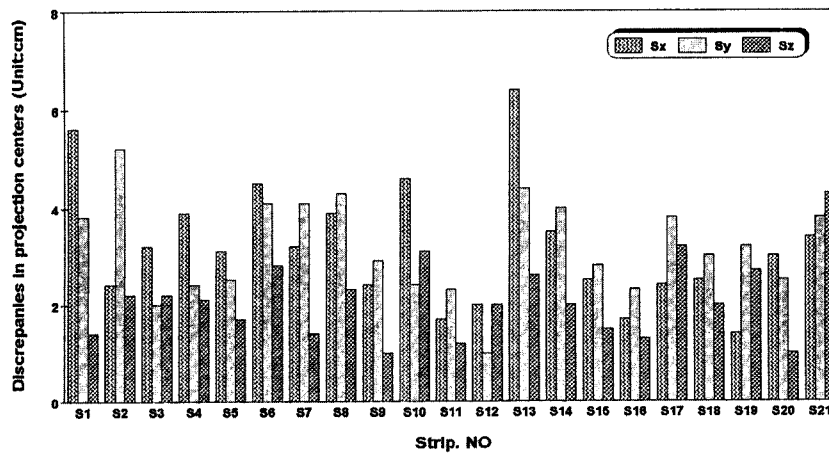


그림 8. 다항식 2차 보간에 의한 스트립별 투영중심의 결정

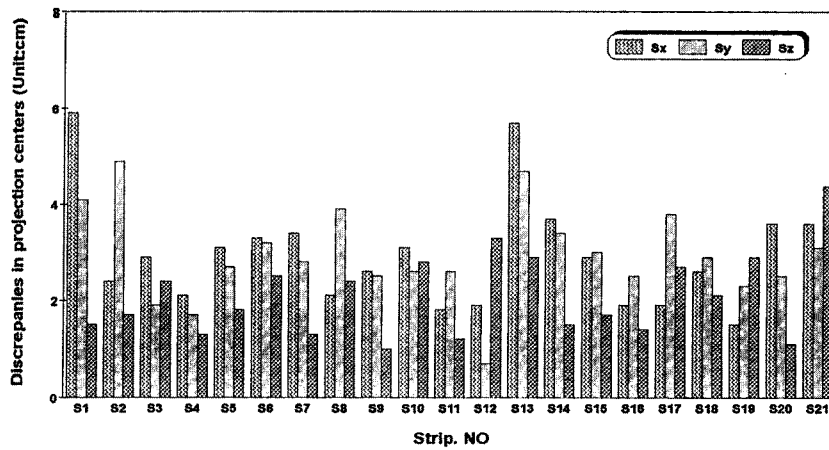


그림 9. 다항식 3차 보간에 의한 스트립별 투영중심의 결정

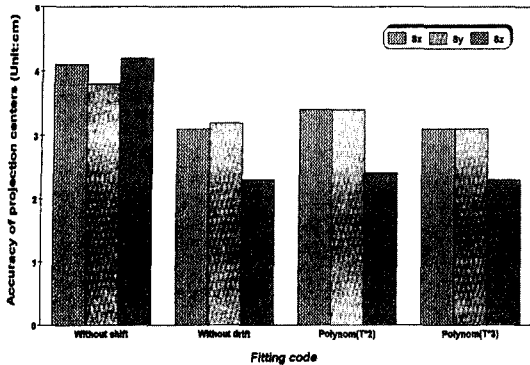


그림 10. 동적 GPS 관측값의 fitting 후의 정확도(수신 기준점 DORTMUND)

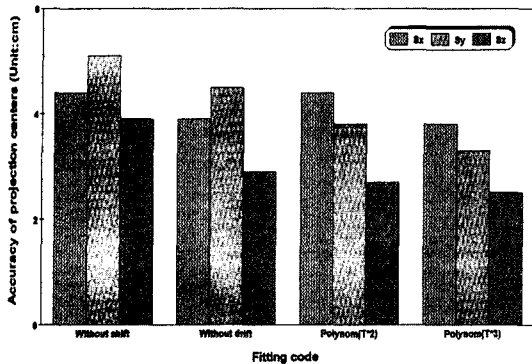


그림 11. 동적 GPS 관측값의 fitting 후의 정확도(수신기준점 STUTTGART)

측값과 Stuttgart를 이용한 경우는 180개의 관측값을 이용하여 선형보간, 다항식법을 이용하였다. 다음 그림 7~9는 연속관측점 Dortmund에 대하여 스트립별로 투영중심을 결정한 것이며, 연속관측점 Stuttgart에 대해서도 투영중심을 결정한 결과와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

각 스트립별로 투영중심의 위치를 보간한 결과 회전 비행시 위성수신이 불가능하고 cycle slips 등에 의해 시간에 종속되는 일정한 오차가 발생하고 정확도가 저하되는 것을 알 수 있다. 위와 같이 GPS 오차의 특성을 일목요연하게 파악하여 각 관측시간마다의 관측값에 대한 정확도를 분석하여 그 이용 여부를 신속하게 파악한다. 최종적으로 스트립별로 smoothing을 시도하여 다음 그림 10, 11과 같은 투영중심의 정확도를 얻을 수 있었다.

### 3.3 결합블럭조정

앞에서 연구대상지 GESTFELD에 대한 동적 GPS 관

측자료를 이용한 보간시 여러 가지 특성을 살펴보았다. 비행동체에 의한 사진기의 상대위치는 전체 비행시간 동안 일정한 것으로 가정하여 번들조정시 이를 하나의 상수로 취급하여야 한다. 하지만 보다 정밀한 보정을 위해서는 매 촬영 순간마다 사진기의 움직임을 정확히 관측하여 조정시 이의 변화량을 고려하여야 하며, 블럭조정 이전에 GPS 관측자료와 시간자료를 이용하여 shift, drift에 대한 보간을 하지만 잔존하는 오차들은 완전히 소거할 수 없고, 현재 결합블럭조정시에도 부가변수에 의하여 이러한 오차들을 소거하는 방법 이외에는 없다.

따라서 블럭조정시 잔존하는 오차들을 소거하기 위하여 그림 10과 그림 11에 나타나 있는 4가지의 fitting code에 의한 블럭조정을 해 보았다. 4개의 기준점을 이

표 3. 정오차 소거(Fitting) 조건에 따른 결합블럭조정의 정확도

Fitting	$\sigma_0$	Adjusted absolute accuracy(Unit : cm)			Used AP	Remarks
		$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$		
0	5.47	2.5	1.7	2.3		
1	5.46	1.8	2.0	5.0	1-12,	4 기준점
2	5.45	2.2	1.9	5.4	13-18	
3	5.44	1.8	1.7	4.0		
0	5.60	2.7	2.1	3.7		
1	5.59	2.6	4.3	3.4	1-12,	4 기준점
2	6.15	10.4	13.0	9.6	13-15	
3	6.16	10.1	12.8	10.8		

0 : no fitting before adjtment  
 1 : X, Y shift of the strip  
 2 : X, Y shift and drift (linear depending upon time)  
 Z drift  
 3 : X, Y, Z shift and drift

\*부가변수 1-12는 재래식 항측에 사용되는 기본적인 함수이고, 13-18은 GPS 위치에 포함된 정오차 소거를 위한 변수이다.

표 4. 정오차 소거(Fitting) 조건에 따른 결합블럭조정의 정확도

Fitting	$\sigma_0$	Adjusted absolute accuracy (Unit : cm)			Used AP	Remarks
		$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$		
0	5.50	2.5	1.7	2.4		
1	5.46	1.9	1.7	5.0	1-12,	4 기준점
2	5.45	2.2	1.9	5.4	13-18	
3	5.44	1.9	1.7	3.9		



용하여 먼저 수신기준점 DORTMUNT에 대한 위성 관측자료를 이용하고, 분석시 부가변수를 기본적인 부가변수 12가지 외에 카메라의 초점거리와 사진좌표 등을 보정하는 6가지 부가변수를 사용한 경우와 3가지 부가변수만을 사용한 경우로 나누어 분석한 결과 표 3과 같다.

아래의 결과에서 알 수 있듯이 부가변수는 기본적인 부가변수 외에 6가지의 부가변수를 이용한 블럭조정이 양호한 결과를 나타내며, fitting code가 0, 1일 경우에 좋은 결과를 얻을 수 있어 조정시 부가변수가 효과적으로 오차를 소거한 것으로 나타났고, fitting code가 2, 3인 경우에 있어서는 수평, 연직위치에 있어서 부가변수가 적절히 작용하지 못하여 블럭 전체에 나쁜 영향을 나타내었다.

그리고 연속관측점 STUTTGART에 대한 분석결과는 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 전체적으로 분석 결과를 볼 때 잔존하는 오차를 소거하기 위하여 블럭조정시 새로운 부가변수를 도입하는 것은 블럭의 기하구조에 악 영향을 미침을 알 수 있었고, 가장 효과적으로 부가변수를 도입하여 블럭조정을 수행하는 것이 최적의 정확도를 획득할 수 있다는 것을 알았다. 따라서 본 연구에 있어서 결합블럭조정시에는 fitting code를 0으로 하고, 부가변수는 기본적인 12가지 외에 6가지를 부가로 도입하여 블럭조정을 수행하였다.

지금까지 전단계에서 처리된 GPS 관측값을 이제는 확장된 함수모형에 부가의 자료로 도입하여 실제적인 결합블럭조정을 수행한 결과 여러 가지 결과들을 얻을 수 있었다. 그림 10과 그림 11에 나타난 GPS의 정확도를 결합블럭조정시 사전 기지값으로 하였으며, 지상기준점의 정확도는 10배의 경중률을 부가하였다. 한편 잔존하는 정오차를 보정하기 위해서 12가지의 기본적인 부가변수 외에 shift와 drift 등을 보정하는 6개의 부가변수를 적용하였다. 본 연구대상지에서는 두 수신기준점에 대하여 수신거리에 따른 정확도를 분석하기 위하여 먼저 연구대상지에서 약 50 Km 떨어진 DORTMUNT와 약 350 Km 떨어진 STUTTGART에 설치한 연속관측점의 동적 GPS 관측자료를 이용하여 분석한 결과 4개의 기준점과 횡스트립의 위치에 따른 5가지 경우로 나누어 분석한 결과 아래 표 5의 결과를 얻을 수 있었다.

지상기준점이 많은 경우에 있어서는 GPS 관측값 자체가 블럭조정 결과에 아무런 영향을 주지 않았으며 정확도의 향상도 거의 없었으나, 4개의 기준점을 사용한 조

표 5. 연속관측점을 이용한 결합블럭조정의 정확도

Reference station	No. of strips	Adjusted absolute accuracy (unit : cm)			Sigma 0	Remarks
		$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$		
DORTMUND	21	2.5	1.7	2.3	5.47	4 기준점
	17	2.4	2.3	4.3	5.20	
	14	2.2	3.7	5.0	5.11	
	13	1.7	2.4	4.3	5.11	
	11	4.2	3.1	10.9	5.01	
STUTTGART	21	2.4	1.7	4.4	5.45	
	17	3.2	2.8	4.1	5.23	
	14	2.1	1.7	5.3	5.12	
	13	2.3	2.4	6.2	5.13	
	11	6.5	3.5	15.1	5.06	

표 6. 연속관측점을 이용한 결합블럭조정의 정확도

Reference station	No. of strips	Adjusted absolute accuracy (unit : cm)			Sigma 0	Remarks
		$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$		
DORTMUND	21	2.2	2.7	24.8	5.46	2 기준점
	17	4.3	2.3	17.0	5.23	
	14	2.1	2.4	8.1	5.10	
	13	3.3	3.7	13.3	5.09	
	11	20.9	19.3	18.9	5.05	
STUTTGART	21	3.0	6.1	32.7	5.48	
	17	3.1	3.7	35.9	5.24	
	14	3.9	4.2	21.0	5.13	
	13	5.0	6.3	17.7	5.16	
	11	25.4	6.8	29.0	5.09	

정 결과를 비교해 보면 조정된 절대 정확도는 기준조정에 비하여 70% 이상 증가되는 것을 알 수 있었으며, 두 수신기준점의 거리에 따라라도 정확도의 차이는 없었다.

그리고 결합블럭조정의 최종적인 목적인 최소기준점에 의한 블럭조정의 특성을 파악해 보기 위하여 2개의 기준점과 기준점 없이 블럭조정을 수행해 본 결과 표 6과 표 7과 같이 각각 얻을 수 있었다.

기준조정에 있어서는 최소한 4개의 지상기준점이 블럭조정에 사용되었으나 결합블럭조정에 있어서는 최소 기준점에 의한 블럭조정이 가능하였고, 실질적으로 무기준점에 의한 조정도 가능하였다. 그러나, 아직까지 여러 가지 오차 요인들에 의해서 무기준점에 의한 조정의 결과는 사진측량시 요구 정확도의 범위를 만족하지

표 7. 연속관측점을 이용한 결합블럭조정의 정확도

Reference station	No. of strips	Adjusted absolute accuracy (unit : cm)			Sigma 0	Remarks
		±S <sub>x</sub>	±S <sub>y</sub>	±S <sub>z</sub>		
DORTMUND	21	13.2	7.3	122.2	5.48	
	17	34.1	9.5	120.5	5.36	
	14	29.6	6.5	159.3	15.26	
	13	46.7	25.7	145.5	5.04	
	11	52.2	47.5	169.0	5.15	
STUTTGART	21	15.7	7.7	103.4	5.58	무기준점
	17	45.2	4.2	111.8	5.33	
	14	11.3	13.8	157.1	17.21	
	13	7.9	11.6	146.4	18.69	
	11	44.3	46.6	156.3	5.05	

못하므로, 특히, 연직위치에서는 다른 보조장비를 이용해서 보정해야 할 것으로 사료된다.

분석결과를 각 항목별로 앞에서의 결과와 비교한 결과 수신기준점의 거리에 따라 정확도의 변화는 거의 없었으며, 최소기준점 조정시에도 아무런 영향을 미치지 않았다. 따라서 기준조정의 특성이 동적 GPS 관측자료를 부가의 변수로 활용함에 따라 발생하는 새로운 성질들을 명확하게 파악하고 분석되어야 됨을 알 수 있고, 전체적인 분석결과를 보면 가장 큰 특징은 GPS 관측치의 활용으로 연직좌표 정확도의 커다란 향상과 블럭 전체 정확도가 매우 안정되게 나타났으나, 완전한 정오차 보정은 어려웠고, 불안정한 블럭 기하구조와 많은 부가 변수의 도입으로 인하여 블럭조정에 있어 부정적인 결과를 초래하였다. 이는 실질적으로 블럭의 안정성 확보를 위하여 횡중복을 충분하게 하든지 낮은 중복도에 있어서는 블럭의 양단에 추가로 횡스트립의 설치가 필요하다는 것을 반증해 준다. 특히 본 연구대상지에는 10개의 횡스트립이 설치되었는데 횡스트립의 유무와 위치에 따라 블럭의 안정에 큰 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 GPS 보조에 의한 항공삼각측량의 최적 블럭선정시 크게 도움이 되리라 사료된다.

#### 4. 비교고찰

GPS에 의한 촬영용 카메라의 순간 위치를 동적으로 결정하여 항공삼각측량에 활용하는 것은 매우 경제적이며 실용적인 자료 취득 기법이라는 것이 위와 같은

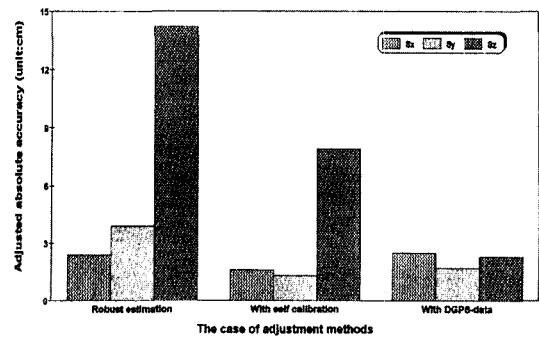


그림 12. 블럭조정 방법에 따른 정확도

각 분석조건에 대한 결과를 볼 때 입증되었다.

관측값의 조정조건에 따라 정확도의 변화 추이를 고찰해 보기 위하여 각 대상지에 대하여 Robust 추정법에 의해 과대오차를 소거한 경우와 자체점정 부가변수에 의해 정오차를 보정한 경우, 동적 DGPS 위치를 부가의 관측값으로 사용한 경우에 대해서 블럭조정을 수행한 후의 조정된 절대 정확도를 비교해 본 결과 그림 12와 같다. 4개의 기준점을 사용한 연구대상지역의 분석 결과에서는 정확도가 크게 향상되는 것을 알 수 있다.

그러나, 회전비행시의 신호차단, GPS 관측값의 drift 현상, 위성형상의 변화, 안테나의 편심과 시각동기, 원점설정 등 많은 문제점이 노출되었다. 동적 DGPS 위치를 블럭조정에 부가의 관측값으로 도입하면 지상기준점 수를 크게 감소시킬 수 있지만 GPS의 동적관측 특성으로부터 야기되는 문제로 인하여 블럭에 정오차가 발생하였다. 이러한 이유로 인하여 GPS-항공삼각측량에서는 정오차 보정에 대한 비중이 높게 다루어진다.

최근에는 GPS-위성체계의 완전한 가동, 12채널까지도 수신 가능한 수신기의 개발, 시각동기화가 가능한 촬영 카메라의 개발, 응용 프로그램의 개선 등을 통하여 동적 DGPS-위치결정의 정확도는 향상되어 모든 감지기 표정에 필요한 높은 정확도의 요구조건을 만족시키고 있으며, 최적의 블럭 형상을 결정하기 위하여 계속해서 연구되어 지고 있다. 그러나, GPS-항공삼각측량에서 완전히 해결되지 않는 가장 큰 문제는 미지정수의 불완전한 처리에 따른 drift 오차이다. 본 연구에서도 이 문제를 해결하기 위하여 사전에 이를 소거하는 방법과 블럭조정시 부가변수에 의해 모형을 연구하였으나 완전하게 정오차를 소거하지 못하여 정확도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그러므로, 최근의 GPS-활용도와 부대

표 8. 횡스트립의 위치에 따른 결합블럭조정의 정확도

	No. of cross strips	8 Control points		4 Control points		
		Without GPS	With GPS	Without GPS	With GPS (DORTMUNT)	With GPS (STUTTGART)
$\pm S_x$	10	1.1	1.3	1.7	2.5	2.4
	6	1.2	1.5	2.1	2.4	3.2
	3	1.5	1.4	2.4	2.2	2.1
	2	1.7	1.4	3.0	1.7	2.3
	0	1.5	4.3	3.8	4.2	6.5
Adjusted absolute accuracy (unit : cm)	10	1.1	1.9	1.6	1.7	1.7
	6	1.1	1.4	1.5	2.3	2.8
	3	1.2	1.8	1.4	3.7	1.7
	2	1.6	1.4	2.8	2.4	2.4
	0	1.2	2.5	2.3	3.1	3.5
$\pm S_z$	10	3.3	2.9	18.4	2.3	4.4
	6	3.5	2.3	14.2	4.3	4.1
	3	3.7	2.7	15.6	5.0	5.3
	2	4.8	2.5	21.5	4.3	6.2
	0	7.8	3.5	72.4	10.9	15.1

조건하에서 광범위한 연구가 절실히 요청된다.

결합블럭조정에서 횡스트립의 영향을 고찰해 보기 위하여 다음과 같은 분석을 하였다. 본 연구에 사용된 블럭은 횡스트립을 10개 설치하였다. 이는 지상기준점과 더불어 기준조정시에는 블럭을 안정화하는데 큰 역할을 하며, 결합블럭조정시에는 GPS로 결정된 투영중심에 포함된 정오차 소거를 위한 부가변수를 효과적으로 이용할 수 있게 한다. 따라서 여기에서는 횡스트립이 결합블럭조정의 정확도에 어떤 영향을 미치는가를 분석해 보았다. 먼저 연구대상지에 대해서 앞에서와 동일한 조건 속에서 횡스트립의 숫자만 10, 6, 3, 2 그리고 횡스트립이 없이 각각 블럭조정을 하여 표 8과 같은 결과를 얻었다.

한편 재래식 블럭조정의 결과와도 비교를 하기 위하여 이에 대한 결과치도 같이 수록하였으며, GPS 항공삼각측량의 주 목적이 최소기준점에 의한 블럭조정이므로 8개와 4개의 기준점을 사용한 경우에 대하여 분석하였다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 항공삼각측량 관측값에 대하여 정오차와 과대오차에 의한 영향을 최소화 하기 위해 블럭의 형상, 기준점의 수와 배치, 횡스트립의 문제 등에 관한

분석과 동적 GPS 위치결정에 의한 투영중심의 좌표를 이용하여 결합블럭조정을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 항공삼각측량의 지상기준점을 대체하기 위한 동적 GPS 관측값을 시간 함수로 보간하기 위하여 다항식법을 적용한 경우에 있어 정확도가 가장 좋았으며, 카메라의 노출위치는 GPS 연속관측점을 사용한 경우에 있어서는 5 cm 이내의 정확도로 결정할 수 있었고, 연속 관측점과의 거리가 350 Km 이내에서는 동적 GPS에 의한 투영중심 결정과 결합블럭조정에는 아무런 영향을 미치지 않았다.

2) 결합블럭조정의 결과 최소 기준점(1, 2개 기준점)의 경우 많은 부가변수의 사용으로 블럭의 기하구조가 불안정하므로 전체 비용, 효과면을 고려하고, 잔존하는 정오차를 효과적으로 소거하기 위해서는 기준점 수를 4개로 축소할 수 있고, 최종적으로 무기기준점 조정이 가능하였으나 아직 실용상 문제점이 남아있다.

3) 동적 GPS 위치오차를 최소화 하기 위해서는 조정 전에 shift와 drift에 대한 보간이 수학적인 모형에 의해 적절히 이루어지고 부가변수에 의해 정오차가 보정된 경우에 있어서는 절대 정확도가 양호하게 나타났다.

4) 횡스트립에 대한 동적 GPS 위치결정에 의한 관측값을 사용하여 결합블럭조정을 할 때 연직위치의 정확

도가 크게 향상되었으며, GPS 보조에 의한 블록조정  
 정확도는 블록내에서 매우 동질적이고 블록의 형상이  
 나 기준점의 위치에 크게 영향을 받지 않았다.

### 감사의 글

본 연구는 97년도 한국과학재단 핵심전문연구과제  
 (과제번호 971-1207-025-2)의 연구비 지원에 의해 수행  
 된 연구의 일부로서 한국과학재단에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Jacobsen, K., "Experience in GPS Photogrammetry",  
 Phot, Eng & Rem. Sens., 1993, 1651-1658.
2. Jacobsen, K., "Influence of Ambiguity Problems to Combined Block Adjustment with GPS-Data", ASPRS Congress Charlotte, 1995.
3. Jacobsen, K., "Handling of Disturbed Kinematic GPS-Data in Block Adjustment", ISPRS, Washington, 1992.
4. Seeber, G., Wuebenna, G. "Kinematic Positioning with Carrier Phases and 'On The Way' Ambiguity Solution", 5th Int. Symp. on Satellite Positioning, Las Cruces, 1989.
5. Jacobsen, K. "Combined Block Adjustment With Precise Differential GPS-Data", ISPRS, Com. III, Munich, 1994.
6. 이종출, 임영빈, 신상철, "번들조정에 의한 항공삼각측량의 삼차원 위치 정확도 향상", 대한토목학회 논문집 제 16권 제 III-1호, 1996, 27-35.
7. 박운용, 윤경철, 신상철, "번들조정에 의한 항공삼각망의 최적형상 결정에 관한 연구", 동아대학교 대학원 논문집 제 21집, 1996, 399-425.
8. 박운용, 강준목, 이재원, "GPS-인공위성 보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량", 대한토목학회 논문집 제 15권 6호, 1995, 1731-1742.
9. 박운용, 이종출, 윤경철, 신상철, "동적 GPS 관측에 의한 결합 번들블럭조정의 정확도", 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), 1996, 71-74.
10. 이종출, 이재원, 신상철, "GPS-위성보조에 의한 대규모 지역의 결합번들블럭조정", 대한토목학회 논문집 제 III-1호, 1997, 71-79.
11. 이종출, 문두열, 신상철, "KDGPS 측위에 의한 투영중심 좌표 결정을 위한 수신기 위치의 보간", 한국측지학회지 제 15권 2호, 1997, 165-173.
12. 신상철, "GPS 보조에 의한 항공사진측량의 블록조정", 박사학위 논문, 동아대학교 대학원, 1997.