

# GPS 코드파 관측에 의한 항공삼각측량의 외부표정요소의 결정 Exterior Orientation Parameters Determination of Aerial Photogrammetry by GPS Code Phases Measurement

박운용\* · 이동락\*\* · 신상철\*\*\*

Park, Woon-Yong · Lee, Dong-Rak · Shin, Sang-Cheal

## 요 旨

본 연구는 해안 및 습지지역의 측량에 있어서 지상측량의 대체 기법으로 신속한 자료의 획득과 분석이 가능한 관측기법인 C/A-code 수신에 의한 GPS-항공삼각측량의 활용 가능성을 조사하는데 그 목적이 있다. 연안지역의 지형도 제작에 결합블럭조정 기법을 적용하여 그 결과를 살펴보고, 재래식 블럭조정과 비교 분석하였다. 재래식 블럭조정 기법에서는 기준점의 수와 배치 형태에 따라 정확도가 민감하게 변화하였으며, 모든 기준점을 이용하였을 경우 수평, 수직위치의 정확도는  $\pm 2$  cm 정도였으며, 정오차의 효과적인 소거를 위한 부가변수의 적용은 정확도에 크게 영향을 주지 못하였고, 기준점의 수가 적고 배치형태가 안정성이 없을 때는 오히려 나쁜 결과를 초래하였다. 블럭조정에 GPS 관측을 추가로 이용하였으나 C/A-code 수신의 낮은 정확도로 인하여 블럭의 정확도 향상에는 큰 효과가 없었다. 따라서 높은 정확도의 획득을 위해서는 반송파에 의한 상대측위 기법이 요청되며, 수신기의 빠른 개량과 관측기법의 향상으로 코드파 측정에 의한 GPS 항측이 앞으로 활성화 될 것으로 전망된다.

## ABSTRACT

This study deals with GPS-photogrammetry practicability by C/A-code reception. It allows data to be acquired and analyzed fast. Combined block adjustment method was applied at the topographical map production of coastland. And we compared it that of conventional block adjustment. As a result, it was found that accuracy was very sensitive to the arrangement and number of control points. The accuracy in the horizontal and vertical was  $\pm 2$  cm if all of the control points was available. however accuracy was not affected at additional parameters for systematic errors' elimination and it leads to bad results when the number of control points was few and arrangement of control points was not stabilized. GPS observations were added in block adjustment, but the accuracy of block was not upgraded due to the low accuracy of C/A-code reception. So relative positioning method with carrier phases was required for high accuracy and it is expected that GPS photogrammetry with C/A-code will be used widely according to the improvement of observation methods and the development of receiver.

## 1. 서 론

항공삼각측량은(aerial triangulation)은 입체도화기 및 정밀좌표관측기에 의하여 사진상의 무수한 점들의 좌표를 관측한 다음 소수의 대상물 기준점의 성과를 이용하면 정확한 3차원 좌표를 신속, 정확하게 결정할 수 있는 방법으로 이 기법을 이용하여 정확한 수치모형의 추출

에 의한 지형공간정보체계의 자료기반 구축에 큰 역할을 할 것으로 사료된다. 항공삼각측량에 의한 위치결정은 먼저 입체시를 위한 표정작업이 선행되어야만 하는데, 이는 바로 촬영당시 사진의 외부표정요소인 카메라의 정확한 위치와 회전각을 알아야 함을 뜻한다. 재래식 항공삼각측량에서는 미리 지상에 많은 기준점을 설치한 후 이를 근간으로 블럭조정을 통하여 간접으로 외부표정요소를 구하여 왔다. 70년대 이후 정밀 좌표측정기의 등장과 컴퓨터의 능력 향상에 의한 해석적 기법의 도입에 따라 개발된 변들조정기법은 대규모의 블럭일지

\*동아대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\*동아대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*동아대학교 대학원 토목공학과 박사과정

라도 소수의 기준점만으로도 위치결정을 가능하게 하였다. 하지만 소수의 기준점이라 하더라도 이의 설치와 관리에 소요되는 경비는 전체 지도제작비의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 실정이다. 이러한 지상기준점 설치의 단점을 보완하기 위해서 이미 여러 나라에서는 위성의 신호(signal)를 이용하여 지상기준점 설치의 비용과 시간을 최소화시키고 있다. 이러한 새로운 항공삼각측량 기법 즉, GPS 항공삼각측량은 직접적인 지상기준점의 설치없이 촬영용 비행기에 GPS 수신기를 설치하여 카메라의 노출순간 즉, 투영중심의 좌표를 GPS에 의해 결정 한 후 이를 블럭조정시 이용하는 것이다.<sup>1,2)</sup>

GPS 보조에 의한 항공삼각측량은 수신기를 항공기에 탑재하여 사진 촬영시 카메라의 위치를 정확히 측정함으로써 결합블럭조정시 많은 지상기준점을 항공기준점으로 대체하는 기법으로 기준점의 설치가 곤란한 연안지역의 항공삼각측량에 의한 지형도의 제작에 적용하여 GPS를 이용한 관측의 정확도를 확보하고, 항공삼각측량의 결합블럭조정에서 정오차를 소거하기 위하여 자체검정 부가변수를 갖는 번들조정법과 GPS 관측값을 부가로 사용하여 최소 기준점에 의한 정확도 향상 및 경제적인 지상기준점의 설치법을 연구하고자 한다.

## 2. 위성의 신호

위성에서 발사하는 신호는 반송파(carrier), 코드(code) 및 데이터 신호(data signal)의 세가지로 구성되어 있다. 위성에 탑재한 원자시계의 기본 주파수인  $f_0=10.23$  MHz에 각각 154배와 120배를 하여 이온층의 영향이 최소인

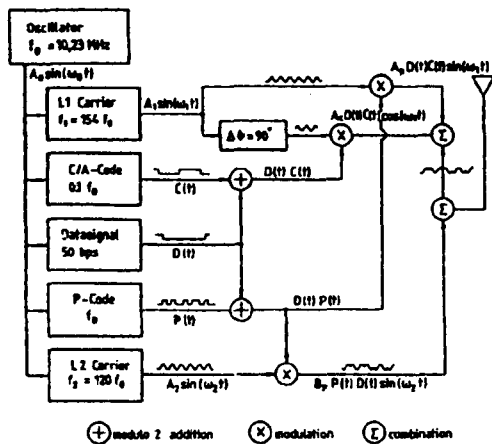


그림 1. GPS 위성의 신호

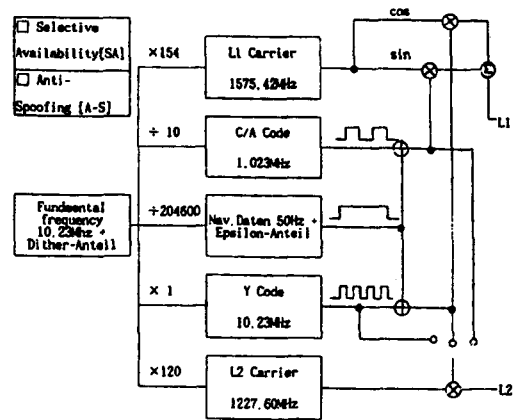


그림 2. 교란시 GPS 위성신호의 구성

L-파장대의 L1=19.05 cm L2=24.45 cm를 유도하였다. 이 반송파에 의해 그림 1과 같이 PRN(pseudo random noise)에 해당하는 C/A와 P코드, 그리고 데이터 시그널이 binary biphas기법으로 변조(modulation)되었다. L1은 C/A 코드와 P코드를 가지고 있으며 L2는 단지 P코드만을 가지고 있다.<sup>3)</sup>

초기 개발 및 실험단계에서는 모든 GPS 신호를 수신하는데 아무런 어려움이 없었으나 1993년 미국방성은 GPS시스템의 완전한 실용상태인 IOC(Initial Operational Capability)를 공식선언하였다. 이러한 공식선언은 바로 GPS 신호에 대한 통제를 의미하는 SA(Selective Availability), AS(Anti-spoofing)가 모든 위성 즉, Block I, II에 적용됨을 의미한다.

GPS의 전체 시스템을 계획관리하는 미군의 신호 보안장치는 GPS를 이용하는 측지측량 부분의 민간인에게 관측기법 및 데이터처리방법 특히 수신기의 개발에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 GPS 위성 이용자는 신호의 구성에 대하여 심층분석이 필요하며 또한 교란시에도 GPS를 이용할 수 있는 기법을 연구하여야 한다. 그림 2는 미군의 교란시 구성된 GPS의 신호이다.

## 3. C/A-code 거리측정 원리

GPS는 위성에서 발사한 전파가 지상의 수신기에 도달하는데 소요되는 시간을 측정한 후 전파의 전달 속도를 곱하여 거리를 환산하는 일방향 거리측정체계(one-way ranging system)이다. 그 관측값으로는 의사거리(pseudorange)를 측정하는 방법과 반송파의 위상차

표 1. 코드파와 반송파의 특징

	Code	Carrier
Wave length	P-code 29.3 m, C/A-code 293 m	L1 19.05 cm, L2 24.45 cm
Observation noise	Classical receiver P-code 0.6-1 m C/A-code 10 m	0.3-3 mm <0.2 mm
	New receiver P-code 2-2.5 cm	
Propagation effects	Ionospheric delay	Ionospheric advance
Ambiguity	Non-ambiguous	Ambiguous

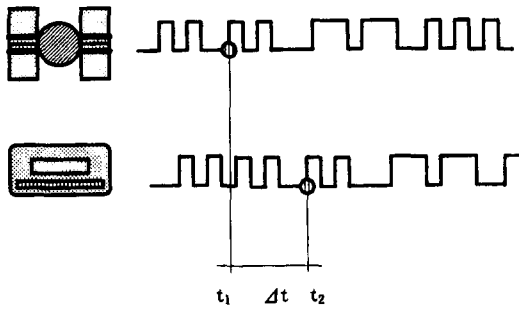


그림 3. 코드파 관측

(phase difference)를 측정하는 방법이 주로 이용되고 있다. 표 1은 코드파와 반송파의 몇가지 특징들을 수록하였다.<sup>3)</sup>

코드측정에서는 위성에서 발사한 코드와 수신기에서 미리 복사된 코드를 비교하여 두 코드가 완전히 일치할 때까지 걸리는 시간을 측정하는데 이를 코드 상관기법 (code correlation)이라 한다.

$$c \cdot \Delta t = r \quad (3-1)$$

$$\rho = |X_i - X_E| + c \cdot \Delta \tau$$

$$= \sqrt{(X_i - X_E)^2 + (Y_i - Y_E)^2 + (Z_i - Z_E)^2} + c \cdot \Delta \tau$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad (3-2)$$

- $X_i, Y_i, Z_i$ : 위성의 위치벡터
- $X_E, Y_E, Z_E$ : 수신기 위치벡터
- $\rho$ : 의사거리
- $c$ : 빛의 속도
- $\Delta t$ : 위성과 수신기간의 시간차
- $\Delta \tau$ : 수신기 자체의 시간오차
- $r$ : 위성 and 수신기간의 기하학적 거리

그런데 측정중 대기층의 영향과 수신기의 시계가 위성의 시계만큼 정확치 않으므로 약간의 오차가 생기기 때문에 이를 의사거리(pseudorange)라 부른다. 이 방법

에 의한 정확도는 대략 파장의 1%에 해당하는 C/A코드로는 3 m, P코드로는 30 cm로 정밀 위치결정에는 적합치 않으며 주로 비행목적에 이용되고 있다.

#### 4. GPS 항공삼각측량

##### 4.1 동적 GPS 측량의 정확도

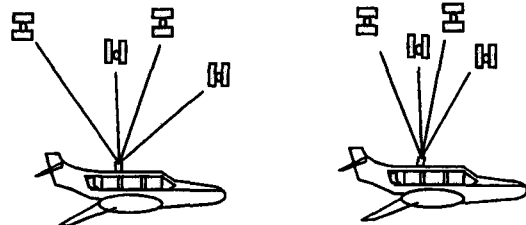
GPS 위치결정의 정확도는 두 요인에 의해서 결정되는데 그 하나는 표준편차  $\sigma$ 로 표시되는 각각의 거리 측정 자체의 정확도와 또 다른 하나는 위성의 기하학적 분포에 의존한다. 이렇게 하여 GPS에 의해서 결정된 좌표의 정확도는 표준편차  $\sigma$ 과 일정한 정밀도 희박률(Dilution of Precise; DOP)의 곱에 의해서 표시된다. 여러 가지 DOP값들이 있는데 그중 3차원 위치는 PDOP에 의해서 표시되는데 관측위성들이 이루는 체적이 반비례하여 이 값이 작을수록 정확하다. 따라서 최적의 위성배치는 그 체적이 최대일 때이므로 한 위성은 관측자의 머리위에 다른 세 위성이 각각 120°를 이룰 때이다.<sup>4,5)</sup>

$$\sigma_H = \text{HDOP } \sigma_r \text{ for horizontal position}$$

$$\sigma_V = \text{VDOP } \sigma_r \text{ for vertical positioning}$$

$$\sigma_P = \text{PDOP } \sigma_r \text{ for 3D positioning}$$

$$\sigma_T = \text{TDOP } \sigma_r \text{ for time determination}$$



- Good PDOP -

- Bad PDOP -

그림 4. 위성의 기하구조 및 PDOP

그리고 PDOP와 TDOP을 합하여 GDOP라 부른다.

$$GDOP = \sqrt{(PDOP)^2 + (TDOP)^2} \quad (4-1)$$

#### 4.2 결합블럭조정기의 기본방정식

항공삼각측량의 번들블럭조정법은 사진을 매개로 다수의 광속을 공선조건에 따라 모형의 형성없이 직접 미지수를 구하는 해석적 방법이다. 독립모델법과는 달리 사진좌표를 관측값으로 하여 외부표정요소( $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$ )와 미지의 지상좌표를 전체 사진에 대하여 동시에 결정하는 블럭조정기법이다. 부가변수를 갖는 번들조정법은 정오차 보정항을 기본 번들조정식에 추가하여 내부표정, 외부표정 및 정오차를 동시에 조정하는 기법으로 더욱 신뢰성있는 정확도를 얻을 수 있다. 현재는 GPS 항측의 도입으로 최소의 기준점만으로도 블럭조정이 가능하여 항공사진측량에 의한 지형정보취득 방법을 더욱 경제적으로 만들고 있다.

하지만 GPS항측에서는 재래식 사진측량과는 달리 다음과 같은 여러 가지 조건을 해결해야만 한다. 사진 촬영시 정확한 안테나 좌표를 결정하기 위하여 GPS 안테나와 사진기의 투영중심간의 공간적, 시간적 일치가 필요하며, 동적으로 관측된 GPS위치의 정오차 보정도 세밀히 보정되어야 한다. 따라서 GPS에 의한 결합블럭조정을 위해서는 일반적으로 잘 알려진 공선조건식이 앞에서 열거한 사항들을 고려하기 위해서 다음과 같이 확장되어야 한다.<sup>9)</sup>

$$\begin{bmatrix} X_{GPS} \\ Y_{GPS} \\ Z_{GPS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1 + \Delta m) \cdot R(\epsilon) \cdot \left( \begin{bmatrix} X_{PZ} \\ Y_{PS} \\ Z_{PZ} \end{bmatrix} + R \cdot P + R \cdot D \cdot \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{bmatrix} \right) + t \cdot D1 + D0 \quad (4-2)$$

여기서 각각의 항들은 다음을 나타낸다.

$[X_{GPS} \ Y_{GPS} \ Z_{GPS}]$ : 수신기의 위치(WGS84)

$[X_0 \ Y_0 \ Z_0], (1 + \Delta m), R(\epsilon)$ : Datum transformation parameter

$[X_{PZ} \ Y_{PZ} \ Z_{PZ}]$ : Projection center

R: 변환행렬(지상좌표  $\rightarrow$  사진좌표)

P: Vector(카메라의 회전보정량  $(0,0,P_z)$ -투영중심과 대물렌즈의 중심과 차이 Z

D: 변환행렬(사진  $\rightarrow$  비행기)

$[e_x \ e_y \ e_z]$ : 수신기의 이격거리

D0: Constant GPS-shift

D1: Time dependent GPS-drift

t: time interval

위식을 간단하게 표현하면 다음과 같다.

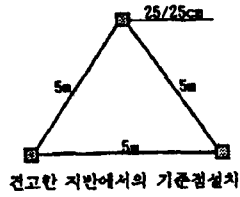
$$X_{GPS} = X_0 + (1 + \Delta m) \cdot R(\epsilon) \cdot [X_{PZ} + R \cdot P + R \cdot D \cdot e] + t \cdot D1 + D0 \quad (4-3)$$

이외에도 사진측정시의 좌표와 GPS 수신좌표간의 내부표정요소나 지상의 관측값들도 부가변수에 포함시켜 조정에서 미지수로 취급하기도 한다. 하지만 이들 부가변수중 일부는 블럭의 형태나 중복도에 등에 따라서 상관되어 블럭의 형상을 약화시켜 정규방정식을 특이행렬(singular matrix)로 이끈다. 따라서 모든 변수를 미지수로 처리할 수 없으므로 주어진 형편에 따라서 적당한 통계적인 정보(stochastic information) 즉, 경중률을 선택하여 이러한 변수들을 통계적인 값으로 처리한다.

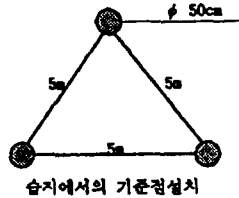
## 5. 비행실험 및 관측

본 연구대상지를 독일북부의 "Wurster Watt" 지역으로 선정하고 관측한 것은 국내의 항공삼각측량 비행실험과 관련된 기술, 장비, 인력, 경비 등의 제반여건이 충분치 않고 블럭조정시 지상기준점을 설치하지 않고 자연점을 이용하는 관계로 이 분야에 세계적으로 인정받고 있는 독일 Hannover 대학의 사진측량연구소와 비행실험은 GTP사의 협조에 의해 이루어졌으며, 거의 전 지역이 습지지역이고 지형도 작성을 위하여 GPS-항공삼각측량에 의하여 측량을 실시하게 되었다.

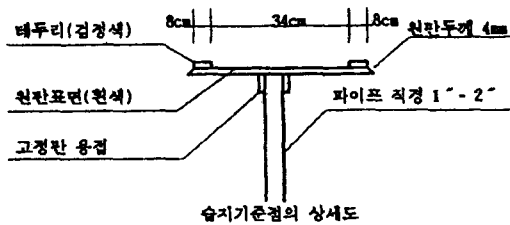
블럭은 총 11개의 스트립(3개의 횡스트립 포함)으로 모두 236매의 사진을 촬영하였다. 비행고도는 680 m이고 사진의 중복도는 P=60%, Q=60%이다. 이 지역은 습지지역이므로 기준점 설치가 곤란하여 지반이 견고한 지역과 연약지반인 경우의 기준점을 달리하여 설치하였다. 기준점의 설치는 세 기준점을 한 개의 군으로 5 m 정도의 간격을 두고 삼각형 모양으로 배치하였으며, 연



건고한 지반에서의 기준점설치



습지에서의 기준점설치



습지기준점의 상세도

그림 5. 기준점의 설치 형상

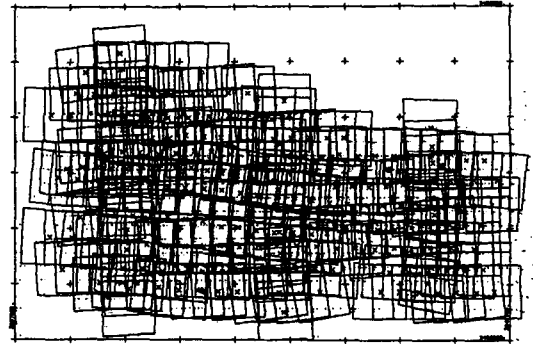


그림 6. 연구대상지역의 블럭의 형상

의 Cessna 경비행기이며, 카메라는 Zeiss 사의 RMK를 이용하였다. 사진촬영과 동시에 Honeywel사의 ELLA 8800수신기로 GPS 관측을 실시 하였다. ELAC 8800은 80년대 중반에 개발된 multiplex 수신기법으로 최대 5개의 위성신호를 수신할 수 있는 C/A-code 수신기이며 그 밖의 블럭자료는 표 2와 같고, 연구대상지 블럭의 형상은 그림 6과 같다.

표 2. Wurster Watt 지역의 비행자료

촬영용 항공기	기종	Cessna 402B(GTP Stade)
비행속도		240 km/h
카메라	초점거리	153.200 mm
	노출간격	3 sec
블럭	면적	38 km <sup>2</sup>
	사진축척	1:4200
블럭의 특성	Photos/points	5
	Object points	630
	Pho정확도	15 μm
GPS 관측	응용기법	C/A-code
	수신기-카메라 offset	$e_x=1.05$ m $e_y=0.25$ m $e_z=-1.36$ m

약지반(늪지)은 그림 5와 같이 특별히 제작된 기준점을 이용하여 식별이 가능하도록 하였다, 총 기준점은 수평 기준점 6개군 총 18개와 수직기준점 1개를 설치하여 이용하였는데, 종래에는 지상기준점 설치시 재래식 측량 기법인 삼각측량과 삼변측량 등을 이용하였으나 최근에는 항공사진측량 또는 GPS를 이용한 기준점 측량을 실시하며, 본 연구에서는 연구대상지역이 습지인 관계로 GPS에 의한 정밀 기준점 측량을 하였다. 기준점의 정확도는 수평기준점  $\pm 3$  cm, 수직기준점  $\pm 4$  cm 이다.

촬영용 비행기는 독일의 항공회사인 Hansa Luftbild사

## 6. 분석결과

### 6.1 재래식 블럭조정

사진좌표는 필름의 해상력, 수면의 변화 등으로 인한 반사효과로 촬영조건이 양호하지 않아 Zeiss사의 Planicomp 100으로  $\pm 15 \mu\text{m}$ 의 매우 낮은 정확도로 측정되었으며, 블럭의 조정은 Hannover 대학의 측량연구소에서 개발한 BLUH(Blundle Adjustment University of Hannover)를 이용하였다. 정확도에 영향을 주는 과대오차는 먼저 Data snooping에 의하여 일차적으로 소거하고 남은 과대오차는 BLUH프로그램의 Robust추정법에 의하여 제거하였다. 정오차를 소거하기 위하여 12가지 부가변수를 적용하여 정오차를 보정한 블럭조정의 결과치는 표 3과 같다. 조정 결과치의 정확도 산정은 블럭에 골고루 설치된 기준점 중에서 검사점을 선정하여 지상 관측값과 블럭조정후의 변화량의 차이를 기본으로 평균제곱근 오차를 구한 것이다.

표 3에서의 같이 모든 기준점을 이용하였을 때 수평, 수직의 표준편차는  $\pm 2\text{cm}$  정도로 매우 정확하여 GPS 항측의 기준값으로 사용하기에 충분하였다. 일반적으로 부가변수를 적용 하면 정확도가 많이 향상되나 본 블럭의 경우에는 부가변수의 적용으로 블럭조정의 정

표 3. 기준점에 대한 조정된 절대 정확도

기준점 수	Without add. parameter(m)			With add. parameter(m)			Used additional parameters
	$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$	$\pm S_x$	$\pm S_y$	$\pm S_z$	
6A	0.016	0.018	0.020	0.016	0.018	0.020	1,2,3,8,9,10,12
6B	0.026	0.029	0.049	0.026	0.029	0.126	1,2,3,9,10,12
4B	0.135	0.304	0.173	0.145	0.205	0.552	1,2,3,9,10,12

확도를 저하시켰다. 특히 기준점이 4개일 때 이러한 현상을 명백히 보여주고 있다. 이는 기준점의 감소와 함께 부가변수가 적절히 이용되지 않았음을 반증하며, 주로 블럭의 형태가 균질하지 못함에 기인하기 때문이다.

### 6.2 동적 GPS 관측값 처리

GPS 관측값은 지구측량연구소에서 개발되어 현재 Geo Space 에서 상업용으로 계속확장중인 GEONAP (GEOdetic NAsar Positioning)을 이용하였으며, 이 프로그램의 기본원리는 매개변수 추정법에 의해 미지수를 결정하며 신속관측 뿐만 아니라 Kinematic 특히 해상관측과 관련된 실시간 비행 및 위치결정이 가능하다. 먼저 파장의 모호성 등 기본적인 GPS 자료처리가 이루어지면 안테나의 위치를 얻게 되는데 이 관측값은 비행기의 동적거동 특히 한 스트립에서 다른 스트립으로의 진행시 비행기의 회전각 때문에 위성의 수신이 곤란하다. 이로 인해 GPS 관측값 자체에는 커다란 오차가 발생되는데 이를 선형변이량 Shift라 부르며 일종의 constant error로 생각하면 된다.

본 연구에서 코드파를 관측한 것은 반송파 수신기에 비해 매우 경제적인 C/A-code 수신기의 활용 가능성과 관측기법을 제시하고자 하였으나, 그림 7에서 알 수 있듯이 GPS 측정 자체가 C/A-code에 의한 항법모드로 시행된 바 결합블럭조정에 필요한 충분한 정확도를 확보하지 못하였다.<sup>10,11)</sup>

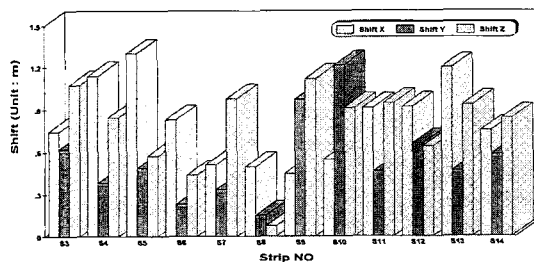


그림 7. 동적 GPS 관측의 정오차

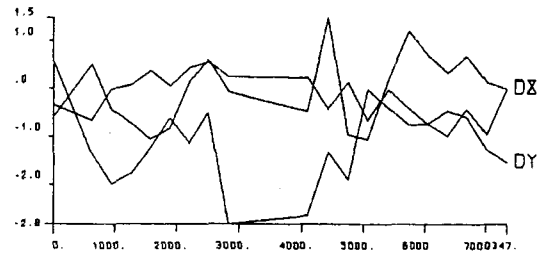


그림 8. GPS 관측값의 shift, drift 소거 후의 오차분석도

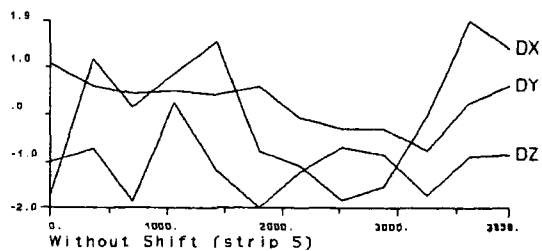
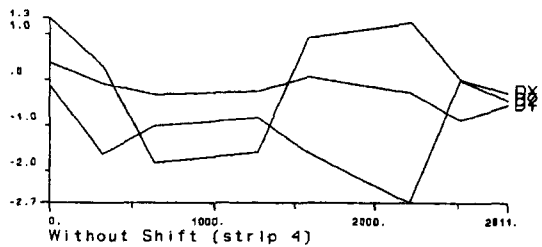


그림 9. GPS 관측값의 스트립별 오차 분석도

위와 같이 발생한 정오차를 소거하고 그림 8과 같이 GPS 관측값의 오차를 분석해 보면 shift, drift가 잔존하여 그림 9와 같이 각 스트립별로 오차를 분석하여 투영 중심의 위치를 선형보간법으로 결정한 결과 표 4와 같

표 5. 결합블럭조정 의 조정된 절대 정확도

기준점 수	Without add. parameter(m)			With add. parameter(m)			Remarks
	±S <sub>x</sub>	±S <sub>y</sub>	±S <sub>z</sub>	±S <sub>x</sub>	±S <sub>y</sub>	±S <sub>z</sub>	
6A	0.086	0.181	1.134	0.027	0.056	0.280	
6B	0.159	0.229	1.693	0.052	0.124	0.569	
4B	0.182	0.173	2.034	0.156	0.376	0.611	
1B	0.166	0.456	2.488	0.427	0.648	2.690	

표 4. GPS 관측값의 보간 후의 정확도

Fitting	S <sub>x</sub> (m)	S <sub>y</sub> (m)	S <sub>z</sub> (m)
Without Shift	0.932	0.569	0.844
Without Shift+Drift	0.904	0.431	0.766

이 투영중심의 정확도를 획득할 수 있었다.

### 6.3 결합블럭조정

지금까지 전 단계에서 처리된 GPS관측값을 이제는 확장된 함수모형을 부가의 자료로 적용하여 실제적인 결합블럭조정을 시행한 결과 여러 가지 결론을 얻을 수 있었다. 표 4에서 알 수 있듯이 코드파 관측에 의한 GPS의 정확도는 평면 0.904 m, 수직 0.766 m 정도로 이를 번들조정시 사전 기지값으로하여 적용하였다. 한편 잔존하는 정오차를 보정하기 위하여 12가지의 기본적인 부가변수 외에 카메라의 초점거리와 사진좌표를 보정하는 3개의 부가변수를 적용하였다. 표 5는 GPS 결합블럭조정의 결과값이다.

미리 언급한 바와 같이 C/A-code 측정의 낮은 정확도로 인하여 결합블럭조정에 도입된 GPS 관측값은 블럭조정의 결과에 나쁜 영향을 주었다. 그러나, 재래식에서는 조정이 불가능한 1개의 기준점만으로도 GPS 보조에 의하여 블럭조정이 가능하다. 따라서, 블럭조정에 필요한 최소한의 기준점 설치가 불가능한 지역에도 GPS-항측을 이용해서 위치를 결정할 수 있음이 GPS 보조에 의한 항공삼각측량의 큰 장점이다.

## 7. 결 론

본 연구는 해안 및 습지 지역의 측량에 있어서 지상 측량의 대체 기법으로 신속한 자료의 획득과 분석이 가능한 관측기법인 C/A-code 수신에 의한 항공삼각측량의 외부표정요소의 결정을 통해 GPS-항공삼각측량의

활용 가능성을 연구하기 위하여 습지지역의 지형도 제작에 결합블럭조정 기법을 적용하여 그 결과를 살펴보고, 재래식 블럭조정과 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 재래식 블럭조정 기법에서는 기준점의 수와 배치 형태에 따라 정확도가 민감하게 변화하였다. 본 실험에서 모든 기준점을 이용하였을 경우 수평, 수직의 정확도는 ±2 cm 정도였으며, 정오차의 효과적인 소거를 위한 부가변수의 적용은 정확도에 큰 영향을 주지 못하였고, 기준점의 수가 적고 배치형태가 안정성이 없을 때는 오히려 나쁜 결과를 초래하였다.

2. C/A-코드파 관측에 의한 투영중심의 위치는 선형 보간법에 의해 수평 0.904 m, 수직 0.766 m의 정확도로 결정할 수 있었다.

3. 본 블럭의 조정에 GPS 관측값을 부가로 이용하였으나 C/A-code 수신기의 낮은 정확도로 인하여 블럭의 정확도 향상에는 큰 효과가 없었다. 따라서 당분간 높은 정확도의 확보를 위해서는 반송파에 의한 상대측위 기법이 절실히 요청된다.

4. 수신기의 빠른 개량과 관측기법의 향상으로 코드 파 측정에 의한 GPS-항공삼각측량이 앞으로 활성화 될 전망이며, 이에 의한 국내의 연안매립, 인공섬 건설 등의 위치결정에 적절한 기법이라 사료된다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

1. ACKERMANN, F., Laserabtastung zur K sten-und wattver-

- messung., ZfV, Hdf 8/9, 1992
2. BLANKENBERG, L.-E., GPS-supported aerial triangulation - state of the art -, The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 13, No.1. 1992.
  3. GOAD. C.C., Precise positioning with the Global positioning System., Proceedings of the Third International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy, 16,-20. Sept. 1985, Banff, Canada.
  4. KUBIK. K., Aspects of GPS use for Aircraft Positioning., IUSM Washington, 1992.
  5. Jaconsen K., Combined Adjustment with kinematic GPS Data, User Manual BLUH, 1993.
  6. Ackermann, F., Englich, M., Kilian, J., 1994, Die Laser-Profil-Befliegung Gammertingen 1992, Zeitschrift fuer Vermessungswesen, 1994, pp 264-277.
  7. Jacobson, K. 1993, Experiences in GPS Phogrammetry, Phot. Eng & Rem. Sens., 1993 pp 1651-1658.
  8. Jacobson, K. 1994, Combined Block Adjustment With Precise Differential GPS-Data, ISPRS, Com. III, Munich 1994.
  9. Seeber, G. 1993, Satellite Geodesy, de Gruyter, Berlin and New York.
  10. 박운용, 강준목, 이재원, "GPS-인공위성 보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량", 대한토목학회 논문집 제15권 6호, 1995, pp. 1731-1742.
  11. 박운용, 이종출, 윤경철, 신상철, "동적 GPS 관측에 의한 결합 번들블럭조정의 정확도", 대한토목학회 학술발표회 (III), 1996, pp. 71-74.
  12. 박운용, 이종출, 윤경철, 신상철, "다중수신점에 기초한 동적 GPS 관측에 의한 정밀 결합블럭조정", 대한토목학회 학술발표회(III), 1997, pp. 113-116.