

# GPS위성의 P코드/위상측정용 2주파수 수신기에 의한 정밀측위

## Precise Static Positioning with Dual-Frequency P-code/Phase Receivers in Global Positioning System

李 榮 鎭\*  
Lee, Young Jin

### Abstract

The development of the Global Positioning System was one of the most significant technical advancements in the surveying fields during the 1980's. In recent years, the use of GPS techniques are increased because of the improvements of receiver design and the data analysis, and the greater accuracy.

In this paper, the static positioning with special linear combinations of data is reviewed and some experiences of dual-frequency P-code/phase receivers are discussed. The test results of Wild GPS System-200 show that the highest accuracies of 1ppm are obtainable on baselines of 7km/37km and the positional accuracies of 10m, which is applicable to determination of initial coordinates, are also possible on point-positioning of P-code measurements.

### 요 지

지구측위시스템(GPS)은 1980년대 측량분야에서 가장 중요한 기술발전이며 최근에는 수신기의 개선과 데이터 처리기법의 발전에 따라 높은 정확도로서 효율적인 GPS측량이 가능하게 되었다.

이 논문에서는 데이터 선형조합의 방법에 대해 고찰하고 P코드/위상측정용 수신기인 Wild GPS System-200의 테스트 결과를 제시하고 있다. 연구결과는 7km/37km의 기선에서 1ppm 이내의 높은 정확도의 측정이 가능하며 P-코드 수신에 의한 1점측위에서는 10m의 위치정확도가 쉽게 얻어질 수 있으므로 초기좌표 결정에 효과적임을 보여주고 있다.

### 1. 서 론

NAVSTAR GPS(Navigation System using Time And Ranging, Global Positioning System)은 미국방성에서 개발된 지구측위시스템이며 고도 20,200 km 상공에 6개의 궤도면마다 4개씩의 위성을 배치하여 총24개(3개의 여분포함)의 GPS위성으로 구성

되어 있다.<sup>(7)</sup> GPS위성은 11시간 58분 주기로 회전 하면서 두개의 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>밴드의 파를 연속적으로 발사 하고 있는데 변조된 PRN(Pseudo-Random Noise) 코드를 수신하여 유사거리측정(pseudo-range measurements)이나 위상측정(carrier beat phase measurements)에 의해 위치결정이나 기선측정이 가능하다.

측지측량분야에 이용된 최초의 GPS수신기는 Ma-

\* 정회원 · 서울시립대, 한양대 공과대학 강사

crometer V-1000 이며 1982년에 개발되어 1983년 FGCC(Federal Geodetic Control Committee)의 검정을 통과한 후 폭넓게 활용되었다. V-1000은 코드 측정이 불가능하고 단지  $L_1$ 파만을 측정할 수 있는 1주파수 수신기이며 위성의 궤도정보를 다른 수단에 의해 결정해야 하였다. V-1000의 운용에 사용될 수 있도록 MIT팀 (C. C. Counselman, Y. Bock, S. Gourevitch, R. King등)에 의해 개발된 소프트웨어는 다른 수신기에서도 표준이 되고 있으며 운반과의 처리에 이중위상차의 기법과 불확실상수(integer ambiguity)해법을 적용하였다.<sup>(2.9)</sup>

같은 시기에 개발된 TI4100은 DMA(Defense Mapping Agency), NGS(National Geodetic Survey), USGS(US Geological Survey)에 의해 공동출자된 Texas Instruments사에 의해 개발된 것으로서  $L_1/L_2$ , C/A코드, P코드를 모두 수신할 수 있는 2주파수 수신기이며 P코드를 수신할 수 있는 유일한 상용 수신기였기 때문에 많은 기관에서 GPS측량방법의 개발과 연구에서 기초가 되었고 현재에도 위성의 궤도추적에 활용되고 있다.

1985년-1992년에 개발된 대부분의 수신기는 C/A 코드에 의해  $L_1$ 파를 측정할 수 있는 것이며, 근래에는 스퀘어링기법(codeless squaring technique)에 의해  $L_2$ 파를 측정할 수 있는 2주파수 관측장비들이 개발되어 널리 활용되고 있으며 불확실상수의 해법에 적합한 다양한 소프트웨어가 발표되었다.<sup>(1.10,16)</sup>

1991년 이후에는 TI4100에서 가능했던 P코드를 측정할 수 있는 수신기가 개발되었다.<sup>(4.6,15)</sup> 이는 C/A코드, P코드,  $L_1/L_2$ 의 측정이 모두 가능하고 100 km에서는 수cm이내의 정확도로서 5mm+1ppm의 측량이 가능하며 20km이내에서는 Wide-laning기법에 의해 10분이내의 신속한 관측으로서도 수 cm이내의 정확도로 측정이 가능케 되었다.

본 연구에서는 P코드 수신 가능한 2주파수 GPS수신기에 적용되는 기본 개념을 고찰하고 테스트 관측을 통해서 코드측정과 위상측정의 특성을 분석하여 활용성을 검토하는데 연구목적이 있다.

## 2. GPS데이터의 선형조합

GPS위성으로 부터 발사된 신호를 수신하여 운반 파나 코드정보에 의해 GPS 측정량을 구할 수 있

는데, 운반파 위상  $\phi_1, \phi_2$ 와 코드거리  $P_1, P_2$ 가 개개의 측정량에 해당된다. 측정량을 적절히 조합하게 되면 여러 오차를 소거하거나 최소화할 수 있으며 이 측정량을 선형조합시키는 방법은 다음 세가지로 구분할 수 있다.<sup>(3,5,7)</sup>

- ① 1개의 운반파 위상측정량에 의한 조합
- ② 2개의 운반파 위상측정량에 의한 조합
- ③ 코드측정량과 위상측정량에 의한 조합

여기서 ①항에 대해서는 지금까지  $L_1$ 밴드에 의한 1주파수 수신기에 널리 사용된 원리로서, 단순위상차(single difference), 이중위상차(double difference), 삼중위상차(triple difference)등이 있으며 전리층오차(ionosphere error)와 불확실 상수의 해법에서 한계점을 갖고 있다. 또 다른 의미에서의 상대측위는 미지좌표에 대한 선형조합으로 취급할 수 있으며 한점을 고정(기지점)시킴으로써 궤도오차와 대기굴절의 영향을 감소시킬 수 있는 특징이 있다.

② 항에서의  $L_1, L_2$ 에 의한 선형조합은 전리층오차를 소거할 수 있고 중거리 기선에서의 불확실상수를 효과적으로 산정할 수 있는 장점이 있으며, 이하에서는 2주파수 수신기에 의한 측정량의 조합 방법을 중심으로 설명한다.

운반파  $L_f$ (단,  $f=1,2$ )의 파장을  $\lambda_f$ 라 하고 위상측정량을  $\phi_f$ 라고 한다면 이를 거리단위로 나타낼 수 있다.

$$L_f = \phi_f \cdot \lambda_f \quad (1)$$

그러므로 두 점 A, B에 세운 수신기로 위성 j로 부터 수신한 측정량에 대하여 단순위상차의 관측방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta L_f + V_f = \Delta \rho + (c - \dot{\rho}_A) \Delta t + \Delta \delta_f^{ION} + \Delta \delta_f^{TROP} + \lambda_f N_f \quad (2)$$

여기서,

- $\Delta = \Delta_{AB}^j$  : 단순위상차 연산자
- $V_f$  : 잔차
- $N = N_f^j$  : 불확실상수
- $\rho = \rho_{AB}^j$  : 위성까지의 거리
- $\dot{\rho}_A$  : 측정점 A에 대한 거리변화
- $\Delta t$  : 두 수신기간의 시각오차
- $\delta_f^{ION}$  : 전리층 굴절
- $\delta_f^{TROP}$  : 대류층 굴절

C : 빛의 속도

같은 방법으로 이중위상차의 경우에는 두개의 위상  $j, m$ 에 대해서 식 (2)의 차이에 대한 식으로 구성되며 식 중에  $\rho_A$  대신에

$$\dot{\rho}_A - \dot{\rho}_B \quad (3)$$

의 항이 남게 되는데 이는 실시간측정으로 1 $\mu$ sec (300m크기)는 쉽게 알 수 있으나 기선측정에서는 0.01 $\mu$ sec(3mm크기)까지 알아야 하므로 미지량으로 취급해야 하며, 일반식에서는 단순하게 나타내기 위하여 제외하는 경우가 많다.<sup>(4)</sup> 2주파수를 수신할 경우에는 두개의 단순위상차를 조합하여 선형조합이 가능하다. 즉, 사이클 단위로 첨자를 제외하고 나타내면,

$$\phi_L = n_1\phi_1 + n_2\phi_2 \quad (4)$$

이때  $\phi_L = f_L \cdot t$ 이므로  $t$ 를 소거하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_L = n_1f_1 + n_2f_2 \quad (4')$$

또한  $\lambda_L = c/f_L$ 을 고려하고 식 (2)의 거리단위로 나타내면,  $\Delta L = \lambda_L \cdot \phi_L$ 이므로

$$\begin{aligned} \Delta L &= \lambda_L \cdot \phi_L = \lambda_L \left( \frac{\Delta L_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta L_2}{\lambda_2} \right) \\ &= \frac{c}{f_L} \left( \frac{f_1 \Delta L_1}{c} + \frac{f_2 \Delta L_2}{c} \right) \\ \Delta L &= \frac{1}{(n_1f_1 + n_2f_2)} (f_1 \Delta L_1 + f_2 \Delta L_2) \end{aligned}$$

다시쓰면,

$$\Delta L = \alpha_1 \Delta L_1 + \alpha_2 \Delta L_2 \quad (5)$$

여기서,  $n_1 = 1, n_2 = -f_2 / f_1$ 이라면 다음과 같은  $L_3$ 파의 계수가 된다.

$$\alpha_1 = \frac{f_1}{f_1 - f_2}, \quad \alpha_2 = \frac{-f_2}{f_1 - f_2} \quad (6)$$

또한  $n_1 = 1, n_2 = -1$ 이면  $L_5$ 파의 계수가 된다.

$$\alpha_1 = \frac{f_1}{f_1 - f_2}, \quad \alpha_2 = \frac{-f_2}{f_1 - f_2} \quad (7)$$

이 밖의 조합된 결과와 특성들을 표 1에 나타냈다.

$L_3$ 의 특징은 전리층 굴절오차가 소거된다는 점이며 불확실상수가 실수값이 되고 잡음수준(noise level)이  $L_1$ 보다 3배 크기 때문에 단기선의 측정에서는 주요한 오차의 요인이 되고 있다.  $L_4$ 는 위성궤도, 수신기시계, 대류층 등의 영향을 받지 않으므로 전리층의 거동에 대한 연구에 사용될 수 있으며,  $L_5$ 는 파장이 약 86cm (wide-lane) 로서 불확실상수값이 정수이므로 그 취급과 산정이 간편하여 20-30km이내의 기선측정에서  $L_1$ 을 조합시키면 보다 정확한 해석이 가능하다.

만일 2주파수 수신기에서  $L_2$ 를 1/2사이클로 측정한다면  $L_6(f_1$ 과  $f_2 = \phi_2 \cdot \lambda_2/2$ 의 조합)를 직접 적용할 수 있으며 34cm파장인  $L_5'$ 를 적용하게 되면 전리층 오차가 커지는 단점이 있다.<sup>(2)</sup>

한편, 위상측정량과 코드측정량을 조합시키면 전리층오차, 기하조건오차, 위성시각오차, 수신기시각오차등이 완전히 소거될 수 있으며 초기불확실상수만이 미지수로 남게 된다. 두 코드측정량을  $P_1, P_2$ 라고 하고 위상측정량을  $L_1, L_2$ 로 할때 이들의 단위가 모두 거리라고 한다면 epoch에 대한 조합식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>(14,16)</sup>

$$W = \alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_2 + \alpha_3 P_1 + \alpha_4 P_2 \quad (8)$$

여기서,

$$\alpha_1 = \frac{f_1}{f_2 - f_1}, \quad \alpha_2 = \frac{-f_2}{f_1 - f_2}, \quad \alpha_3 = \frac{-f_1}{f_1 + f_2}, \quad \alpha_4 = \frac{-f_2}{f_1 + f_2}$$

### 3. GPS 관측

#### 3.1 수신시스템

본 연구에서 사용된 GPS-system 200은 최신의 GPS측량기법을 사용한 차세대 2주파수 수신기로서 SR299센서, CR233콘트롤러, 데이터처리용 소프트웨어 SKI등으로 구성된 종합GPS시스템이다. SR 299 센서는 9개의  $L_1, C/A$ 코드 채널과 9개의  $L_2, P$ 코드 채널을 갖고 있으며 9개의 위성에 대한 2주파수를 동시에 포착할 수 있고 채널간의 bias가 소거될 수 있는 구조이며 중량이 2.3kg로서 가볍기 때문에 운반과 이동이 매우 간편하다.

미국방성에서는 비상시에 SA(Selective Availabi-

표 1. 위상측정량의 선형조합<sup>2,3)</sup>

LC	$\lambda$	LC-Factors		Tropospheric/Orbit Biases		Ionospheric Biase		Observation Noise	
		$\alpha_1$	$\alpha_2$	[length]	[cycles]	[length]	[cycles]	[length]	[cycles]
$L_1$	$c/f_1$ 0.19	1	0	1	1	1	1	1	1
$L_2$	$c/f_2$ 0.24	0	1	1	$\frac{f_2}{f_1}$ 0.78	$\frac{f_1^2}{f_2^2}$ 1.6	$\frac{f_1}{f_2}$ 1.3	$\frac{f_1}{f_2}$ 1.3	1
$L_3$	0	$\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}$ 2.5	$\frac{-f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}$ -1.5	1	-	0	-	$\frac{f_1 \sqrt{f_1^2 + f_2^2}}{f_1^2 - f_2^2}$ 3.1	-
$L_4$	$\infty$	1	-1	0	-	$-\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_2^2}$ -0.6	-	$\sqrt{1 + \frac{f_2}{f_1^2}}$ 1.6	-
$L_5$	$\frac{c}{f_1 - f_2}$ 0.86	$\frac{f_1}{f_1 - f_2}$ 4.5	$\frac{-f_2}{f_1 - f_2}$ -3.5	1	$\frac{f_1 - f_2}{f_1}$ 0.22	$-\frac{f_1}{f_2}$ -1.3	$\frac{f_2 - f_1}{f_2}$ -0.28	$\frac{f_1}{f_1 - f_2} \sqrt{2}$ 6.4	$\sqrt{2}$ 1.4
$L_5'$	$\frac{c}{f_1 - 2f_2}$ -0.34	$\frac{f_1}{f_1 - 2f_2}$ -1.8	$\frac{-2f_2}{f_1 - 2f_2}$ 2.8	1	$\frac{f_1 - 2f_2}{f_1}$ -0.56	$\frac{(f_2 - 2f_1)f_1}{(f_1 - 2f_2)f_2}$ 2.8	$\frac{f_2 - 2f_1}{f_1}$ -1.6	$\frac{f_1}{f_1 - 2f_2} \sqrt{5}$ -4.0	$\sqrt{5}$ 2.2

lity)와 A-S(Anti-Spoofing)의 두가지 방법을 사용하여 GPS의 성능을 약화시킬 수 있으므로 상용의 수신기에서는 큰 문제로 남아 있었다.<sup>(7,8,9,13)</sup> 그러나, SR299센서는 시각재현(time recovery)에 의해 위성 시각과 수신기시각을 100nsec~500nsec까지 동기화(synchronization)할 수 있기 때문에 SA의 효과를 최소화할 수 있으며, 종전의 스쿼어링 기법에서 발생하는 잡음-신호비(signal-to-noise ratio)를 4배 이상 개선시킨 Magnavox사 특허의 스쿼어링 기법을 채용함으로써 미국방성에서 P코드를 Y코드로 변경하여 통제할 때에도  $L_2$ 위상을 추적할 수 있는 독특한 기능을 갖고 있으므로 A-S에 대한 효과를 최소화할 수 있는 특성을 갖고 있다. 이는 Y코드도 P코드로부터 500kHz만큼 변경된다는 사실과 변경된 P코드로부터 재현된다는 사실로부터 항상 GPS측량이 가능하도록 개발된 시스템이다(6). 그러나 SA중에서 시각변동은 처리될 수 있지만 항법메세지가 차단될 때는 P코드를 사용할 수 없으므로 실시간관측의

경우에는 해결이 곤란하다.

CR233 콘트롤러는 휴대가 간편한 1kg의 중량으로서 대화식으로 기능을 선택할 수 있도록 되어 있고 Stop/Go의 지시기능이 있어서 위성의 기하조건, 수신된 데이터, 수신시간 등을 보여 주며 수신점에서의 적합한 데이터 수집에 필요한 대기시간의 정보를 알려준다. SKI(Static-Kinematic)는 후처리용 소프트웨어로서 마이크로소프트 윈도우즈를 채용하여 static, stop-and-go, kinematic, rapid-static데이터를 처리할 수 있으며, 코드와 위상측정량에 의한 최적의 좌표결정방법을 자동적으로 처리할 수 있도록 구성되어 있다.<sup>(11)</sup> 또한 20-30km이내의 단거리에 대하여 불확실상수를 구하기 위한 FARA(Fast Ambiguity Resolution Approach)해법<sup>(4)</sup>이 채택되어 있으며 여기에 GPS측량계획을 위한 여러가지 모듈이 추가되어 있다.

GPS-system 200은 static 모드에서는 5mm+1ppm, rapid static모드에서는 10mm+1ppm의 정확

도의 성능을 갖는 것으로 제시되고 있다.

### 3.2 시험 관측

본 연구에서는 차세대의 GPS수신시스템인 Wild GPS-system 200을 사용하여 기선측정과 1점측위의 결과를 분석하고 적용방향을 고찰코자 하였다.

먼저 7km 기선과 37km의 두 기선을 선택하였는데 모두 기설삼각점을 이용하였다. A점(국립지리원 구내의 경위도 원점), B점(동학산 2등 삼각점), C점(도산 2등삼각점)을 선정하고 GPS측량에 적합한 수신시간대를 검토하여 GDOP가 8이하이고 위성수가 5이상일때를 선택하였다. 실제의 측량에서는 모두 GDOP가 6이하였으며 위성수는 6 이상이 되었다.

7km 기선에서는 1시간 이상 관측하였고 37km에서는 3시간 이상 관측함으로써 제작사에서 제시한 규정에 만족되도록 하였다. 또한 WGS84 기준계상의

기지점좌표(초기좌표)는 모두 P-코드에 의해 1점측위된 결과를 사용하여 SKI 소프트웨어에서 자동처리되도록 하였다. 자동처리방식에서는 코드와 위상 데이터를 결합한  $L_1+L_2$  방식이 적용되며 이 결과가 최적해로 제시되고 있다.

표 2는 GPS측량의 내용을 보여주고 있는데 관측시기와 측점을 나타낸다. 이 외에 session 0에서는 rapid static을 위해 session 1의 경우에 B점에서 10' 동안의 데이터를 별도로 수신하였다. 이 데이터를 SKI 소프트웨어에 의해 단기선방식(single baseline mode)으로 처리하였는데 자동처리(디폴트값은 표 3참조)를 원칙으로 하고 별도의 해석을 위해 다양한 변화를 부여하여 총 44가지 경우에 대해서 처리하였다.

## 4. 데이터 처리 및 분석

### 4.1 기선 해석

A점과 B점간의 기선해석은 SKI에서 static방식(54' 관측데이터)과 rapid static방식(10' 관측데이터)이 각각 적용되었는데 A점은 54' 관측데이터를 공통적으로 사용하였다. 표 4는 static, 표 5는 rapid static의 결과를 보여주며 여러가지 경우별로 처리한 FARA해법의 결과를 함께 나타내고 있다.

표 4에서 보면 위상측정량을 적용할때  $L_1+L_2$  방식에서는 앞서의 표 1에서  $L_1$ 과  $L_5$ 의 조합데이터가 이용됨을 알 수 있으며  $L_1$  또는  $L_2$ 만을 사용하는 경우에는 최적해와 수 mm의 차이가 있음을 보여준다. 또한 Phase+Code와 Phase only는 동일한 결과를 보여주며 거리 또는 높이차에 병기된 표준 오차는 통계적인 의미일 뿐이므로 단위증량에 대한 RMS값이 좌표차에 대한 신뢰성을 나타내고 있다.

이 결과는 1주파수 또는 2주파수의 경우에 P코드가 적용되고 있으므로 1ppm이내의 정확도로 관측될 수 있음을 보여준다. 이는 제작사에서 제시한 5mm+1ppm의 정확도보다 훨씬 양호한 결과임을 알 수 있다.

코드측정의 경우에는 C/A코드나 P코드만으로서 근사적인 거리를 구할 수 있으며 그 정확도는 1m보다 낮은 것으로 알려지고 있으므로 초기좌표의 결정이나 해상위치결정에서 효과를 발휘할 수 있을

표 2. GPS 야외관측의 내용

Session	Day / Time	Occupied Station			No. of SV's
		A	B	C	
1 (7km)	93-01-09 14:22-15:16 ( 1 hr)	XX	XX		6
2	93-02-02 12:37-14:08 ( 2 hr)		XX		8
3 (37km)	93-02-08 10:59-14:16 ( 3 hr)		XX	XX	8

표 3. SKI의 자동처리를 위한 디폴트값

Classification	Type / Value
Cut-off angle(deg)	15
Tropospheric model	Hopfield
Ionospheric model	Standard
Ephemeris	Broadcast
Data used	Use code and phase
Frequency	$L_1+L_2$
Limit to resolve ambiguity(km)	20
Kinematic chain computation rate(epoch)	1
a priori rms (mm)	10
Receiver clock offset(msec)	5

표 4. 상대측위의 결과 (7km기선, static의 경우)

Data Used		Processing		Results		Remarks
Code/ Phase	Freq.	Amb.	Freq.	Spatial Distance	Height Difference	RMS of unit weight
Code	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	Y	1+5	6732.4567m± 0.2mm	54.9985m± 0.6mm	± 5.0mm
+	L <sub>1</sub>	Y	1	6732.4539 ± 0.2	55.0009 ± 0.6	± 3.2
Phase	L <sub>2</sub>	Y	2	6732.4599 ± 0.3	54.9962 ± 0.9	± 4.9
Phase	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	Y	1+5	6732.4569m± 0.3mm	54.9985m± 0.8mm	± 6.1mm
Only	L <sub>1</sub>	Y	1	6732.4539 ± 0.3	55.0009 ± 0.9	± 4.5
	L <sub>1</sub>	Y	2	6732.4599 ± 0.4	54.9963 ± 1.2	± 6.9
Code	L <sub>1</sub>	N	1	6732.5215m± 29.2mm	55.8380m± 90.4mm	C/A code
Only	L <sub>2</sub>	N	1	6732.2210 ± 17.2	55.6293 ± 53.2	P code

\* 자동처리 방식에 의함.

표 5. 상대측위의 결과 (7km기선, rapid static의 경우)

Data Used		Processing		Results		Remarks
Code/ Phase	Freq.	Amb.	Freq.	Spatial Distance	Height Difference	RMS of unit weight
Code	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	Y	1+5	6732.4512m± 0.5mm	54.9799m± 1.8mm	5.0mm
+	L <sub>1</sub>	Y	1	6732.4489 ± 0.5	54.9868 ± 1.7	3.4
Phase	L <sub>2</sub>	N	2	6732.1368 ± 15.6	54.8351 ± 15.5	3.4
Phase	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	Y	1+5	6732.4512m± 0.6mm	54.9799m± 2.2mm	6.2mm
Only	L <sub>1</sub>	N	1	6732.2533 ± 17.3	54.9259 ± 17.1	3.7
	L <sub>1</sub>	N	2	6732.1340 ± 21.8	54.8347 ± 21.6	4.7
Code	L <sub>1</sub>	N	1	6733.5309m± 71.2mm	56.6174m± 244.3mm	C/A code
Only	L <sub>2</sub>	N	2	6732.2719 ± 28.1	54.4747 ± 96.4	P code

\* 자동처리 방식에 의함.

것이다.

표 5는 짧은 시간의 관측이기 때문에 불확실상수가 2주파수에 의해서 결정될 수 있으므로 L<sub>1</sub> 또는 L<sub>2</sub>만으로 처리하는 것이 곤란함을 보여 주며 L<sub>1</sub>+L<sub>2</sub> 조합에 의하면 static의 경우와 동등 내지 약간 낮은 정확도로서 제작사의 규정인 5~10ppm+1ppm이내에 들고 있음을 알 수 있다.

B점과 C점간의 기선해석은 7km의 경우와 같이 static mode로 처리되었는데 불확실상수의 해법이 적용되는 한계가 20km로 설정되기 때문에 전리층

오차를 소거하기 위하여 L<sub>3</sub> (표 1참조)조합데이터가 사용되며 표 6은 3시간 17분동안 수신된 데이터를 처리한 결과를 보여주고 있다.

처리방식은 자동처리 되었으나 초기 rms=40 mm로 부여하였으며 Phase Only의 L<sub>2</sub>에서만 50 mm하여 불확실상수를 결정하였다. 표 6의 결과에서 L<sub>3</sub>의 해와 L<sub>1</sub> 또는 L<sub>2</sub>만에 의한 해는 서로 5cm~10 cm인 1~3ppm의 차이를 보여주는데 이는 전리층 오차가 주요 원인이 되고 있다.

표 6. 상대측위의 결과 (37km기선, session 3)

Data Used		Processing		Results		Remarks
Code/ Phase	Freq.	Amb.	Freq.	Spatial Distance	Height Difference	RMS of unit weight
Code	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	N	3	36687.9647m ± 4.2mm	-46.5710m ± 3.3mm	± 20.00mm
+	L <sub>1</sub>	Y	1	36688.0090 ± 0.8	-46.5428 ± 1.9	± 23.8
Phase	L <sub>2</sub>	Y	2	36687.8570 ± 1.1	-46.6771 ± 2.9	± 32.3
Phase	L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	N	3	36687.9647m ± 6.2mm	-46.5710m ± 4.8mm	± 29.7mm
Only	L <sub>1</sub>	Y	1	36688.0090 ± 1.1	-46.5428 ± 2.7	± 33.7
	L <sub>1</sub>	Y	2	36687.8499 ± 1.7	-46.7596 ± 4.3	± 47.4
Code	L <sub>1</sub>	N	1	36688.1447m ± 41.6mm	-47.1932m ± 98.4mm	C/A code
Only	L <sub>2</sub>	N	2	36688.2519 ± 41.2	-46.7581 ± 105.4	P code

표 7. Troposphere model

Type	Freq.	Model	Distance	Ht. Diff.	Remarks
37km Line	L <sub>3</sub>	No troposphere	36688.0802m	-- 46.5320m	default
		Hopfield	36687.9647	-- 46.5710	
		Modified Hopfield	36687.9646	-- 46.5747	
		Saastamonien	36687.9646	-- 46.5684	
7km Line	L <sub>1</sub> +L <sub>5</sub>	No troposphere	6732.4638m	54.9385m	default
		Hopfield	6732.4569	54.9985	
		Modified Hopfield	6732.4568	55.0081	
		Saastamonien	6732.4569	55.9989	

\* 이 외의 조건은 모두 자동처리됨

표 8. Ionospheric model

Type	Freq.	Model	Distance	Ht. Diff.	Remarks
7km Line	L <sub>1</sub> +L <sub>5</sub>	Standard	6732.4569m	54.9985m	default
		no model	6732.4350	55.0018	
7km Line	L <sub>3</sub>	Standard	6732.4473m	55.0158m	
		no model	6732.4473	55.0158	
37km Line	L <sub>3</sub>	Standard	36687.9647m	-- 46.5710m	default
		no model	36687.9648	-- 46.5683	
37km Line	L <sub>1</sub> +L <sub>5</sub>	Standard	36688.0103m	-46.6294m	
		no model	36687.8760	-46.6095	

\* 이 외의 조건은 모두 자동처리됨

#### 4.2 대류권모델과 전리층모델

7km의 기선을 L<sub>1</sub>+L<sub>2</sub>(표 1 참조)에 의해 FARA 해법으로 처리할때 자동처리방식에서 대류권모델을 Hopfield식, Modified Hopfield식, Saastamoinen식을

각각 적용한 결과에는 차이가 존재하며 no troposphere model인 경우에는 1~3ppm의 오차가 발생하므로 모델식이 꼭 적용되어야 함을 알 수 있다(표 7참조).

표 9. 1점측위의 결과

Session	P-code		C/A code	
	Coordinates	Δ	Coordinates	Δ
1 (1hr)	x = -3065301.1m ± 1.5m	6.5m	x = -3065319.8m ± 3.2m	25.3m
	y = 4058054.1 ± 2.4	8.0	y = 4058067.0 ± 3.0	20.9
	z = 3836593.7 ± 2.1	8.0	z = 3836613.6 ± 3.6	11.9
2 (2hr)	x = -3065300.9m ± 1.4m	6.4m	x = -3065304.1m ± 1.4m	9.6m
	y = 4058054.3 ± 2.1	8.2	y = 4058056.8 ± 2.1	10.7
	z = 3836607.6 ± 1.5	5.9	z = 3836610.0 ± 1.5	8.3
3 (3hr)	x = -3065294.2m ± 1.0m	0.4m	x = -3065295.7m ± 0.9m	1.2m
	y = 4058050.3 ± 1.3	4.2	y = 4058052.6 ± 1.3	6.5
	z = 3836601.4 ± 1.1	0.3	z = 3836602.8 ± 1.1	1.1

또한 표 8에서 전리층 오차는 모델식이 적용되지 않는 경우와의 차이가  $L_1+L_5$ 의 해에 있어서 3~4 ppm의 큰 영향을 미치기 때문에 이를 최소화하기 위해서는 그 적용이 필수적임을 알 수 있다. 그러나 전리층모델의  $L_3$ 의 적용에서는 standard model과 no model 모두가 같은 수치를 보여주고 있는데 수 km를 넘는 기선에서  $L_3$  조합데이터로 처리되면 전리층오차가 완전히 소거되고 있음을 알 수 있다. 37 km의 기선에서는 높이차에서 미소한 영향이 남아 있다.

### 4.3 1점측위의 결과해석

표 2에서와 같이 B점은 3개의 데이터가 있으므로 SKI소프트웨어에서 point positioning 모드에 따라 1점 측위의 처리가 가능하며 이 결과는 표 9에 P 코드, C/A코드로 나누어 나타냈다. 좌표에 대한 표준오차로 볼때 P코드 쪽이 C/A 코드 보다 약 2배 정도 정확한 것임을 알 수 있다.

또한 A점이 약 1200km 떨어진 일본의 Tskuba VLBI점으로부터 GPS 측량에 의해 상대적으로 결정된 바 있는데 이는 국립지리원에서 1991년도 한일측지협력사업의 일환으로 수행한 것이며 1m(1 ppm)보다 상당히 높은 정확도인 것으로 알려지고 있다.<sup>(20)</sup>

따라서 A-B간 기선 측정의 결과를 이용하면 B점의 WGS84좌표를 결정할 수 있기 때문에 1점 측

위의 결과와의 비교가 가능하다. 이에 대한 차이가 표 9에 각각 제시되고 있는데, P코드에 의하면 1시간 정도의 관측으로서 10m 위치정확도가 가능하며 3 시간 정도의 관측으로서 5m 위치정확도로 결정이 가능하므로 이 방법에 의하면 기지점의 초기좌표 결정에 활용하는데 효과적임을 알 수 있다. 그러나 C/A 코드에 의하면 3시간 이상의 관측에 의해서만 10m 위치정확도가 가능하므로 실용상 P-코드가 훨씬 효과적임을 알 수 있다.

### 5. 비교 고찰

본 연구에서 실측된 두 기선에 대하여 EDM실측 거리와 실용성과와의 비교가 시도되었다(표 10 참조).

7km 기선의 경우에는 국립지리원에서 관측한 EDM거리와의 비교가 가능했으며 37km기선의 경우에는 1차망 성과와의 비교만이 가능했다. 여기서 1차망의 성과라 함은 예비성과로서 기설삼각점 중에서 완전점을 추출하고 1차망을 여기에 다점고정한 것으로서 1910년대의 삼각망의 체계를 유지하고 있으며 기존의 연구결과 및 성과표의 내용을 검토한 후에 이용하였다.<sup>(17,19)</sup>

7km기선에서 EDM에 의해 실측한 결과와의 차이는 약 2mm로서 0.3ppm의 대단히 양호한 결과를



표 10. 기선측정 결과의 비교

Types		GPS Mea.	EDM Mea.	Tran.Value*	Diff.
7km Line (A-B)	Spatial Dist.	6732.457m	6732.455m	-	0.002 m (0.3ppm)
	Geodesic	6732.110m	-	6732.02m	9 cm
37km Line (B-C)	Spatial Dist.	36687.965m	-	-	-
	Geodesic	36687.287m	-	36687.15m	14 cm.

\* Tskuba VLBI점 변환요소에 의해 WGS84로 변환한 거리임.

표 11. 높이차 측정결과와의 비교

Types	GPS Height	Geoid correction	MSL Height	Diff.
7km Line	55.00m	-0.05m	55.10m	0.15m
37km Line	-46.57m	0.26m	-46.15m	0.16m

\* A와 C점은 직접수준에 의한 것이며 B점은 삼각수준에 의한.

보여주고 있다. 1차망의 예비성과를 Tskuba VLBI 점의 변환요소에 의해 WGS-84 좌표계로 변환시킨 변환성과와 GPS 성과와의 비교에서는 10ppm보다 다소 낮은 정확도를 보여준다. 그러나 이는 국내에 적용할 수 있는 보다 정밀한 변환요소가 결정되어 있지 않은 관계로 절대적인 비교는 이루어질 수 없으나 기선삼각망의 정확도와와의 비교라는 측면에서 검토되어야 할 사안이다.

고저차의 경우에는 근사적으로 WGS84의 지오이드고를 보정한 수치와 비교되었는데 지오이드 모델로서는 최근에 발표된 위성자료 GEM9과 남한지역 실측자료의 조합에 의한 모델이 적용되었다.<sup>(18)</sup> 여기서 A점과 C점은 직접수준측량된 점이며 B점은 삼각수준측량된 것이다.

이 결과는 거리보다 약 2배 정도 낮은 정확도를 보여주며 A-B구간과 B-C구간의 고저차가 비슷하게 나타나고 있는데 이는 A-C 구간의 고저차를 직접 비교한 결과와 같으므로 중력지오이드 모델의 영향이 크다는 사실을 알 수 있다. 따라서 보다 정밀한 중력지오이드모델의 개발이 시급하다고 사료되며 B점이 직접수준측량된다면 수 cm 이내의 정확도를 낼 수 있으므로 기존의 삼각수준측량을 대체할 수 있을 것으로 생각된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 P코드/위상 측정용 2주파수 수신기의 특성을 고찰하고 Wild GPS System-200을 사용하여 실측한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 7km 기선의 경우(20km 이하)에는  $L_1+L_5$ 의 조합으로 부터 FARA해법이 효과적으로 적용될 수 있으며 EDM거리와 비교한 결과 0.3ppm의 정확도의 양호한 결과를 얻었다.
- 2) 37km 기선의 경우에는  $L_3$  조합에 의해 전리층 오차가 소거될 수 있으며 5mm+1ppm의 정확도를 얻기 위해서는 10cm 에 달하는 대류권 모델의 적용이 필수적이다.
- 3) P코드에 의한 1점 측위의 결과는 1시간 수신으로서 10m 위치정확도가 가능하고 C/A코드에서는 3 시간 이상의 수신이 필요하다. 또한 P코드에 의한 상대측위는 1m 정도의 정확도를 갖기 때문에 원거리에 있는 지역의 초기자료 설정에 유용하다.
- 4) P코드 수신 가능한 2주파수 수신기를 사용하면 관측시간이 대폭 단축될 수 있으며 5' 정도의 수신에 의한 rapid static이 가능하므로 세부측량에서도 활용이 가능하다.
- 5) Tskuba VLBI 점의 변환요소를 사용하여 기선삼각점간의 거리를 GPS 기선에 비교한 결과 약

10ppm의 차이가 있으며 삼각점 표고차를 GPS표고 차에 비교한 결과는 2배 정도 더 낮은 정확도임을 보여주고 있다. 따라서 정밀한 원점변환요소의 결정과 기설삼각망에 대한 정오차 분석이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. Ashkenazi, V. and J. Yau, Significance of Discrepancies in the Processing of GPS Data with Different Algorithms, *Bulletin Geodesique*, Vol 60, No 3, 1986, pp. 229-239.
2. Beutler, G., I. Bauersima, W. Gurtner, M. Rothacher, and T. Schildknecht, Static Positioning with the Global Positioning System (GPS) ; state of the art, *proc. of the international GPS-Workshop*, 1988, Darmstadt.
3. Beutler, G., W. Gurtner, M. Rothacher, U. Wild, and E. Frei, Relative Static Positioning with the Global Positioning System ; basic technical considerations, *proc. of IAG 125th Anniversary General Meeting*, 1989, Edinburgh, Scotland.
4. Frei, E., *Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS)*, ph.D.Thesis, Astronomical Institute, University of berne, 1990, Switzerland.
5. Goad, C. C., Precise Relative Position Determination Using Global Positioning System Carrier Phase Measurement in a Nondifference Mode, *proc. of First International Symposium on Precise Positioning with the GPS-1985*, 1985, Rockvill, NOAA.
6. Gough, R. and B. Jalali, Wild GPS-System 200 ; highlights and performance, *Leica*, 1992.
7. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger and J. Collins, *Global Positioning System ; theory and practice*, Springer-Verlag Wien, 1992.
8. Hoogsteden, C. and P. Cross, Public Access to GPS ; Government Duty, Economic Rationality or International Philanthropy ?, *CISM Journal*, Vol 46, No 1, 1992, pp. 41-53.
9. King, R. W., E. G. Masters, C. Rizos, A. Stolz, and J. Collins, *Surveying with GPS*, Univ. of NSW, 1985, Australia.
10. Lachapelle, G., E. Cannon, Single and Dual Frequency Results for Baselines of 10 to 500km, *The Canadian Surveyer*, Vol. 40, No. 2, 1986, pp. 173-183.
11. Leica Heerbrugg AG., Wild GPS-System 200 ; Guidelines to Static and Rapid-static GPS Surveying, *Leica*, 1992.
12. Leick, A., *GPS Satellite Surveying*, John Wiley and Sons, 1990.
13. Remondi, B. W., *Using the Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative Geodesy ; modelling, processing and results*, ph.D. Thesis, University of Texas at Austin, 1984.
14. Schaffrin, B. and Y.Bock, A Unified Scheme for Processing GPS Dual-Band Phase Observations, *Bulletin Geodesique*, Vol 62, 1986, pp. 142-160.
15. Soler, T., L. D. Hothem, and R. J. Fury, Precise Geodetic Surveying with Code and Carrier Phase Tracking GPS Receivers, *proc. of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, Univ. of Texas at Austin, 1986, pp. 1205-1222.
16. Wubena, G., A. Schucharot, and G. Seeber, Multi-station Positioning Results with TI4100 GPS Receivers in Geodetic Control Networks, *proc. of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, U. of Texas at Austin, 1986.
17. 백은기, 이영진, 가중측점망 조정법의 적용에 관한 연구, *대한토목학회논문집*, 제 11권 제 4호, 1991, pp.133-141.
18. 조규전, 이영진, 조봉환, GEM9 위성자료와 지상 자료의 조합에 의한 남한지역의 GRS80 중력지도 이드, *대한토목학회논문집*, 제13권 제1호, 1993, pp. 141-149.
19. 홍성영, 측지측량에 관한 연구보고서, 일본국 국토지리원, 1987.
20. 국립지리원, 1991년도 한일 GPS 공동관측결과, 1992. (接受 : 1993. 4. 6)