

GPS 測地基準點 設定에 관한 研究

A Study on the Establishment of Geodetic Control Points for GPS

朴 弼 鎬* 韓 麟 愚**
Park Pil-Ho Han Inn-Woo
金 天 暉*** 姜 準 默****
Kim Chun-Hwey Kang Joon-Mook

要 旨

국내에 GPS 측지기준점을 설정하고 GPS의 장거리 측정 정밀도를 고찰할 목적으로 국내의 2개지점과 일본의 1개지점에서 GPS 관측을 동시에 실시하여 자료처리방법에 따른 위치결정 정밀도를 비교 분석하였다. 그 결과 WGS 84 좌표계 내에서 국내 2지점의 3차원 좌표를 정확하게 설정할 수 있었고, GPS의 장거리 측정능력이 0.1 ppm에 달하는 것으로 입증 되었다. 이 결과는 앞으로 국내의 GPS 측지기준점 확보를 위한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish the geodetic control points of GPS in Korea and estimate a measurement ability of GPS for the long baseline. For this, we performed the simultaneous GPS observations at two points in Korea and one point in Japan, and analyzed the precision of GPS survey according to the data process methods. As the results, three dimensional coordinates of two points in Korea are precisely established on basis of WGS 84 coordinate system and it is demonstrated that the measurement ability of GPS is 0.1 ppm for long baseline. We expect that in the future this result will be used as the basic data for securing the geodetic control points of GPS in Korea.

1. 서 론

Transit 위성을 이용한 NNSS(Navy Navigation Satellite System)가 일반인에게 공개되어 측지분야에 활용되기 시작한 1967년 이래 인공위성이 측지분야에서 차지하는 비중은 점점 커가는 추세에 있다. 미국방성은 NNSS에 이어 새로운 위치결정 시스템인 GPS(Global Positioning System)의 개발을 추진하게 되었고 앞으로 계획 중인 18개의 위성이 모두 발사되는 1992년에는 지구상 어느 장소에서나 1일

24시간 3차원 위치해석이 가능하게 된다. GPS를 이용한 위치결정은 거의 날씨와 측정 거리에 영향을 받지 않고 양호한 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 장비의 운반 및 설치와 관측자료의 처리가 간편하여 종래의 기법에 비해 경제성과 효율성이 인정되고 있다.

국내에서도 GPS에 대한 관심이 많으나 GPS 장비의 도입은 매우 미흡한 상태이고 측지분야에 활용을 위한 시험단계에 머물고 있는 실정이다. 그리고 우리나라의 새로운 측지좌표계와 준거타원체로서 지심 3차원좌표계 및 세계타원체(WGS 84 ellipsoid)의 확립과 설정에 대한 필요성이 '대두되고 있는 시점에서' GPS가 측지분야에 활용되기 위해서는 국내에 GPS 측지기준점의 확보가 선행되어야 할 것이다.

* 천문우주과학연구소 연구원
** 천문우주과학연구소 선임연구원
*** 천문우주과학연구소 선임연구원
**** 충남대학교 공과대학 교수

이 연구는 국내에 GPS 측지기준점의 설정을 위하여 국제공동 관측망의 일원인 일본의 1 지점과 국내 2지점에서의 GPS 동시관측과 관측자료의 처리방법에 따른 분석을 통하여 WGS 84 좌표계 상에서 국내 2지점의 좌표를 정확하게 결정하고자 한다.

2. GPS의 위치측정 원리와 WGS 84 좌표계

GPS는 우주부분(Space Segment), 사용자 부분(Uer Segment) 및 제어부분(Control Segment)으로 크게 구분할 수 있다. 우주부분은 NAVSTAR(NAVigation System with Time And Ranging)라고 불리는 GPS 위성으로 구성된다. 우주부분은 6개의 궤도면에 각각 3개씩 할당된 18개의 위성과 3개의 예비위성을 합한 총 21개의 위성으로 구성될 계획이고 현재 16개의 위성이 궤도상에 있다. 18개의 위성이 모두 발사되면 지구상의 어느 장소에서도 지평면 5도 이상에서 최소 4개의 위성을 24시간 볼 수 있다. 위성의 지상고도는 약 20,183km이고 공전주기는 약 12시간이다. GPS위성은 제어부분에서 전송되는 위성의 위치자료와 GPS TIME이라 불리는 정밀시각 자료를 수신하여 사용자에게 전달하는 역할을 담당하고 있다. GPS 위성에는 세슘 원자시계가 장착되어 정밀시간을 유지하고 있으며 각 위성마다 PRN(Pseudo Random Noise) code라 불리는 고유 code를 발생하고 있어 GPS 위성은 PRN code에 의하여 상호 구분된다. 사용자 부분은 GPS 수신기와 안테나, 자료처리 소프트웨어로 구성되어 있으며 GPS 위성으로부터 신호를 수신하여 안테나의 위치와 속도를 결정한다. 제어부분은 미국의 Colorado Spring에 위치한 Master Control Station과 세계적으로 고루 분포된 4개의 GPS 위성 추적소로 구성되어 있다. 제어부분은 위성을 추적하여 각 위성의 궤도를 결정하고 정밀시간을 유지하여 이들 정보를 위성에 송신하는 역할을 담당한다.²⁾

GPS의 신호체계는 <그림 1>과 같이 2개의

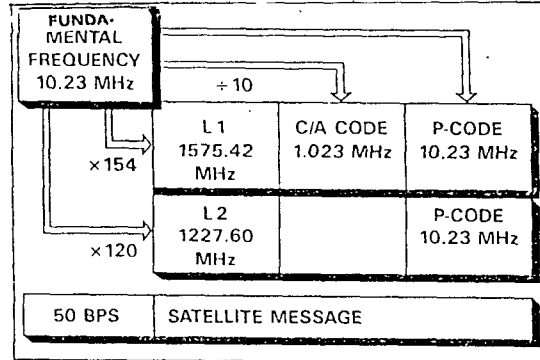


그림 1. GPS의 신호체계

송신 주파수(L1, L2)와 3개의 변조신호(C/A code, P code, Y code) 그리고 Satellite Message로 구성되어 있다.³⁾ GPS의 모든 신호는 위성에 장착된 세슘 원자시계에 의하여 발생하는 기본 주파수 10.23 Mhz를 기준하여 만들어진다. Satellite Message에는 자신의 궤도정보와 시각정보 외에 다른 위성들의 궤도정보가 수록되어 있다.

(1) 위치측정 원리

GPS를 이용하여 위치를 측정하는 기본원리를 <그림 2>에 나타내었다. <그림 2>에서 지구중심으로부터 위성까지의 거리벡터 r 은 위성에서 송신하는 Satellite Message를 통하여 알 수 있고 관측지점으로 부터 위성까지의 거리벡터는 p 는 GPS 수신기에서 위성의 신호를 수신하여 측정할 수 있으므로 지구중심으로부터 관측지점의 위치벡터 R 을 식 (2-1)에 의하여 결정할 수 있다.

$$R = r - p \quad (2-1)$$

식 (2-1)에 의하면 3개의 위성으로 부터 신호를 수신하면 관측지점의 3차원 위치를 결정할

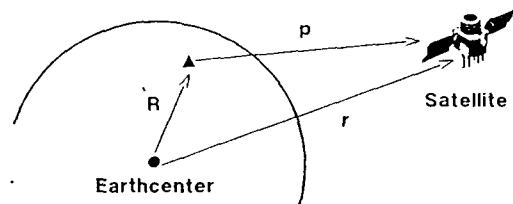


그림 2. GPS의 위치측정 원리

수 있으나 실제로는 3차원 위치를 결정하기 위해서는 4개의 위성이 필요하다. 그 이유는 정밀 위치를 결정하기 위해서는 수신기와 위성들 간의 시간을 정확히 일치 시켜야 하기 때문에 1개의 위성이 더 필요하다.

GPS를 이용하여 측정할 수 있는 위치는 절대위치와 상대위치의 2가지로 구분된다. 절대위치는 경위도와 높이 혹은 직각좌표계에서의 X,Y,Z 성분이다. 여기서의 높이란 측지타원체 표면에서부터 관측지점까지의 높이를 의미한다. 상대위치는 관측지점간의 경사거리, 수직각, 경위도와 높이차, X,Y,Z 성분의 차이, 기선의 방위각, 기선의 동, 북, 천정방향의 성분이다.

(2) WGS 84 좌표계⁴⁾

GPS는 WGS 84(World Geodetic System 1984)라고 불리는 기준좌표계를 사용한다. 즉 GPS에 의한 모든 위치결정은 WGS 84 상에서 구현된다. WGS 84는 여러가지 관측장비를 가지고 전세계적으로 측정해온 지구의 중력장과 지구모양을 근거로해서 1984년에 만들어진 ECEF(earth-centered, earth-fixed) 좌표계로서 지구전체를 대상으로 하는 세계공통 좌표계이다. WGS 84는 <그림 3>에서와 같이 지구의 질량중심에 위치한 좌표원점과 X,Y,Z 축으로 정의되는 좌표계이다. 여기서 Z축은 1984년에 국제시보국(BIH)에서 채택한 지구 자전

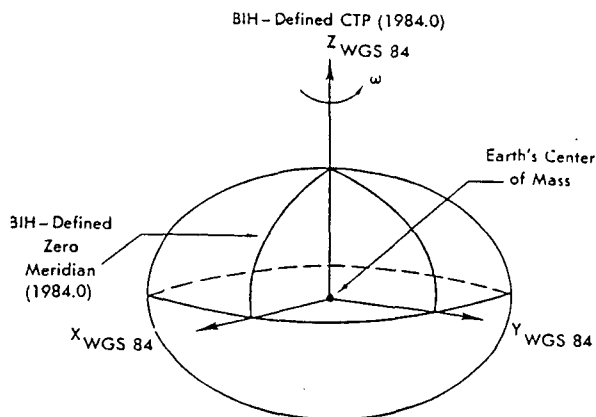


그림 3. WGS 84 좌표계

축(Conventional Terrestrial Pole : CTP)과 평행하며, X축은 BIH에서 1984년에 정의한 본초 자오선과 평행한 평면이 지구의 적도면과 교차하는 선이고 Y축은 X축과 Z축이 이루는 평면에 동쪽으로 수직인 방향으로 정의 된다. WGS 84 좌표계의 원점과 축은 WGS 84 타원체의 기하학적 중심과 X,Y,Z 축으로 쓰인다. 예를 들면 WGS 84 좌표계의 Z축은 WGS 84 타원체의 회전축이다.

3. 관측 및 자료처리

(1) 관측

GPS의 관측은 천문우주과학연구소의 옥상에 설치된 GPS 스테이션과 국립지리원 내에 설치된 대한민국 경위도원점 그리고 일본 Simosato(下里)의 SLR(Satellite Laser Ranging) 스테이션에서 동시에 수행하였다. 관측에 사용된 GPS 장비는 천문우주과학연구소에서 보유하고 있는 Trimble 4000SDT 수신기 2대와 일본의 Simosato에서 보유하고 있는 Trimble 4000SST 수신기 1대이다. GPS관측은 하루에 4시간씩 총 6일에 걸쳐 수행되었고 관측시간은 <표 1>과 같으며 이 시간대에 관측된 GPS 위성은 9개로서 각 위성의 PRN 번호는 15, 11, 19, 18, 21, 2, 6, 14, 9이고 <표 1>에서 session번호는 1990년 1월 1일부터 관측일까지의 경과한 날자수를 의미한다. GPS 관측시 수신기가 지평면 고도 15도 이상인 위성만으로 부터 신호를 수신하도록 하였으며 L1과 L2의 송신주파수를 모두 수신하였다.

표 1 session별 관측시간

session No.	관측일시(1990년 11월) UTC
317	13일 20시 07분 15초-14일 00시 05분 45초
319	15일 19시 59분 15초-15일 23시 57분 45초
320	16일 19시 55분 15초-16일 23시 54분 00초
321	17일 19시 51분 15초-17일 23시 50분 00초
323	19일 19시 43분 15초-19일 23시 42분 00초
324	20일 19시 39분 15초-20일 23시 37분 45초

(2) 자료처리

GPS를 이용한 위치측정 방법은 위치측정시 사용하는 신호의 종류에 따라 2가지로 구분된다. 첫째는 변조신호(code)를 이용하는 방법으로서 위성으로 부터 내려오는 변조신호를 수신하여 관측지점과 위성간의 근사거리(pseudo-range)를 측정하고 식 (2-1)을 통해 관측지점의 절대위치를 직접 측정하는 방법이다. 이 방법에는 BEST C/A 방법과 Pseudorange 방법이 있으며 주로 수신기에서 실시간 위치를 결정하기 위한 항법용으로 많이 사용되며 위치 결정 능력은 약 15m-25m로서 정확도가 낮다. BEST C/A 방법과 Pseudorange 방법은 GPS로 부터의 변조신호중 C/A code를 이용하여 위치를 결정한다는 점에서 같으나 BEST C/A 방법은 1개의 session 동안 관측된 GPS 위성들의 기하학적 모양이 가장 좋은 순간에 위치를 결정하는 것이고 Pseudorange 방법은 1개의 session 동안 관측된 C/A code를 통계처리하여 최소사승법으로 위치를 결정한다는 점에서 상이하다. 둘째는 송신주파수(L1, L2)를 이용하는 방법으로서 이 방법은 1개의 기준점의 좌표로부터 3차원의 거리성분 혹은 상대거리와 방위각을 측정하여 구하고자하는 지점의 위치를 상대적으로 결정한다. 이때 측정하고자하는 기선 중 한 지점의 위치를 정확하게 알고 있다면 다른 지점의 위치를 이미 알고 있는 지점의 위치정확도로 결정할 수 있다. 그러나 기준점의 좌표가 알려지지 않은 경우에는 BEST C/A 방법이나 Pseudorange 방법으로 결정된 좌표값을 사용한다. 이 방법은 주로 측지용으로 많이 쓰이고 일정시간 동안 데이터를 수신하여 저장한 후 실내에서 관측자료 처리용 소프트웨어를 이용하여 위치를 결정한다. 송신주파수를 이용하는 방법에는 1개와 주파수 L1만을 이용하는 single frequency 방법과 L1/L2 주파수를 이용하는 dual frequency 방법이 있다.

GPS를 이용한 위치측정은 가능하면 많은 지점에서 여러번에 걸쳐 동시에 많은 위성들

관측할 수록 그 정밀도가 좋다. 그 이유는 여러 수신기에서 동시에 관측된 위성들의 신호는 위치측정에 영향을 미치는 오차원(error source)에 의하여 상관관계를 나타내기 때문에 이러한 상관관계를 이용하여 관측된 신호들의 차이를 취하므로써 공통의 오차효과를 제거시킬 수 있기 때문이다. 이러한 위치측정 기술을 Differential 방법이라 하며 GPS의 위치측정에는 Differential 방법이 많이 쓰인다. Differential 방법은 관측시 사용한 수신기의 갯수, 동시에 관측된 위성의 수, 같은 위성을 관측한 횟수에 따라 3가지 방법, 즉 Single difference, Double difference, Triple difference 로 구분된다.⁵⁾

관측자료는 Trimble에서 개발한 TRIMVEC-PLUS 소프트웨어에 의하여 Triple Difference 기법으로 처리되었다. 자료처리시 사용한 기준점은 일본의 Simosato에 있는 SLR 스테이션이며 WGS 84좌표계에서 이 지점의 좌표값과 표준오차는 <표 2>과 같다. 이 스테이션은 국제 SLR 관측망의 일원이며 1980년 부터 SLR 관측을 통해 그 좌표가 WGS 84 좌표계 상에서 정밀하게 측정되어 왔다.

표 2 Simosato의 좌표값과 표준오차⁶⁾

성분	좌표값(m)	표준오차(m)
X	-3822392.852	±0.025
Y	3699383.870	±0.024
Z	3507538.511	±0.026

4. 관측결과와의 분석

관측자료의 처리방법에 따라 위치결정의 정밀도가 어떻게 달라지는가를 분석하기 위하여 천문우주과학연구소(ISSA)의 좌표를 여러가지 방법으로 결정하여 비교하였다. <그림 4>와 <표 3>은 측정된 3차원 위치성분(X,Y,Z)의 표준편차를 관측자료의 처리방법 별로 나타낸 것이다. 관측자료의 처리방법은 그림의 가로축에 숫자로 구분하였다. 결정된 위치의 표준편차

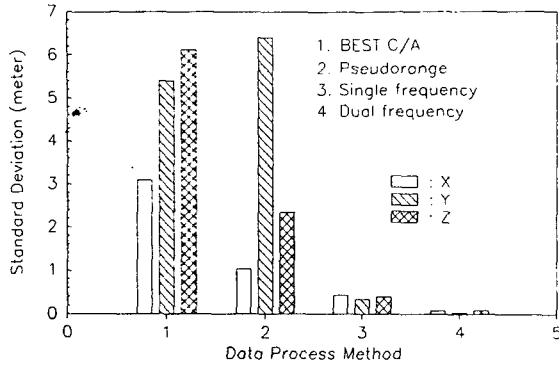


그림 4. 자료처리 방법에 따른 3차원 위치성분의 표준편차 변화(ISSA)

표 3 자료처리 방법에 따른 위치성분의 표준편차 (ISSA)

자료처리 방법	표준편차(m)		
	X	Y	Z
BEST C/A	3.090	5.401	6.125
Pseudorange	1.033	6.404	2.348
Single frequency	0.431	0.337	0.394
Dual frequency	0.081	0.034	0.086

값이 클수록 위치결정의 정밀도가 낮다고 가정하고 (그림 4)를 살펴보면 관측자료의 처리방법에 따라 위치결정의 정밀도가 다를 수 있다. BEST C/A 방법과 Pseudorange 방법에 의한 위치결정의 정밀도는 거의 같으나 Single frequency 방법이나 Dual frequency 방법에 비해 정밀도가 훨씬 떨어지는 것으로 나타났다. 그림에서 보듯이 가장 정밀도가 좋은 위치결정 방법은 Dual frequency 방법에 의한 것임을 알 수 있다. 이러한 경향은 ISSA의 경위도와 높이에서도 마찬가지이고, 국립지리원(NGI)에 대해서도 같은 양상을 보였다.

GPS 관측의 거리측정 정밀도와 각측정 정밀도를 관측자료의 처리방법에 따라 비교 하였다. (그림 5)와 (표 4)는 일본 Simosato로부터 천문우주과학연구소까지의 거리와 거리성분의 측정 결과를, (표 5)는 방위각과 수직각의 측정결과를 관측자료의 처리방법에 따라 비교한 것이다. 각각의 그림과 표에서 BEST C/A

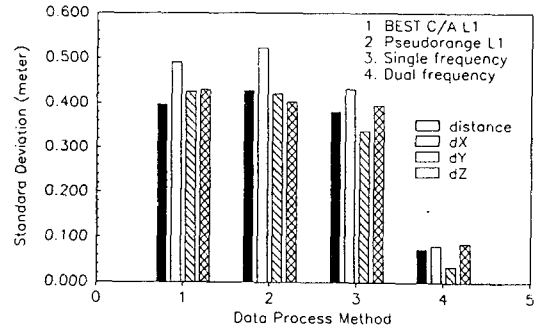


그림 5. 자료처리 방법에 따른 거리와 거리성분의 표준편차 변화(Simosato-ISSA)

표 4 자료처리 방법에 따른 거리와 거리성분의 표준편차(Simosato-ISSA)

자료처리 방법	표준편차(m)			
	distance	dX	dY	dZ
BEST C/A	0.3977	0.491	0.426	0.430
pseudorange	0.4279	0.522	0.421	0.402
Single frequency	0.3797	0.431	0.337	0.395
Dual frequency	0.0731	0.081	0.035	0.086

와 Pseudorange 방법은 BEST C/A 방법과 Pseudorange 방법으로 구한 Simosato 좌표를 초기치로 입력한 후 L1 주파수만을 이용하여 측정한 것이고 Single frequency와 Dual frequency 방법은 (표 2)와 같은 Simosato의 좌표를 초기치로 입력한 후 L1 주파수와 L1/L2 주파수를 이용하여 측정한 것을 각각 나타낸다. (그림 5)에서 보듯이 GPS에 의한 거리 측정 능력은 기선의 기준점의 정밀도에 거의 영향을 받지 않으나 정밀한 기준점 좌표를 사용한 Single frequency 방법이 L1 주파수만을 사용한 다른 두 방법보다 약간 좋은 정밀도를 보인다는 것을 알 수 있다. 그러나 L1 주파수만을 사용한 방법보다 L1/L2 주파수를 사용한 방법이 거리측정 능력이 우수함을 알 수 있다. (표 5)는 Dual frequency 방법이 다른 방법에 비해 각측정 정밀도가 좋음을 보이고 있다. 이와같은 경향은 천문우주과학연구소와 국립지리원의 약 100km에 이르는 기선에서도 거의 같

표 5 자료처리 방법에 따른 방위각과 수직각의 표준편차(Simosato-ISSA)

자료처리 방법	표준편차(arc sec.)			
	방위각		수직각	
	forward	backward	forward	backward
BEST C/A	0.06	0.08	0.10	0.09
Pseudorange	0.10	0.11	0.05	0.00
Single frequency	0.11	0.11	0.08	0.00
Dual frequency	0.01	0.01	0.02	0.02

은 양상을 보이고 있다.

위와 같은 분석결과에 근거해서 이 연구에서는 Dual frequency 방법을 이용하여 천문우주 과학연구소와 국립지리원의 WGS 84 좌표계 상에서의 좌표(X,Y,Z과 경위도, 높이)를 결정하였고 그 결과를 <표 6>와 <표 7>에 각각 실었

다. 각각의 표에서 σ_s 는 관측치의 표준편차를 의미하고 σ_m 은 평균치의 표준편차 즉 표준오차를 의미한다. <표 6>에서 위치성분의 표준오차가 <표 9>의 Simosato와 ISSA 간의 3차원 거리성분의 표준오차와 동일함을 보인다. 이러한 결과는 <표 6>과 <표 7>에 나타낸 σ_m 이 기준점으로 부터 측정하고자 하는 지점까지의 거리 측정에 의한 오차로 인해 발생한 것임을 입증한다. 따라서 지구 중심으로 부터 각 지점의 위치를 의미하는 절대좌표가 내포하고 있는 고유오차를 산출하기 위해서는 자료처리시 기준점으로 사용한 Simosato 좌표가 가지고 있는 표준오차와 거리측정에 따른 표준오차와 모두 고려되어 (4-1)식에 의하여 산출하여야 하며 이와 같이 결정된 각 지점의 WGS 84 좌표계 상에서 절대좌표와 정확도는 <표 8>과 같다.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{simosato}}^2 + \sigma_m^2} \quad (4-1)$$

표 6 ISSA의 X,Y,Z 좌표와 경위도 및 높이(Dual frequency, Triple Difference)

session	X(m)	Y(m)	Z(m)	위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)
317	-3120177.034	4084640.274	3763933.781	36 23 53.54481	127 22 31.81361	143.8037
319	-3120177.048	4084640.339	3763933.793	36 23 53.54394	127 22 31.81246	143.8592
320	-3120177.018	4084640.312	3763933.786	36 23 53.54452	127 22 31.81217	143.8232
321	-3120177.078	4084640.376	3763933.914	36 23 53.54618	127 22 31.81254	143.9700
323	-3120176.942	4084640.336	3763933.664	36 23 53.54187	127 22 31.80918	143.7296
324	-3120177.189	4084640.311	3763933.707	36 23 53.54048	127 22 31.81764	143.8596
평균	-3120177.051	4084640.325	3763933.774	36 23 53.54363	127 22 31.81293	143.8409
σ_s	0.081	0.034	0.086	0.00209	0.00274	0.0793
σ_m	0.033	0.014	0.035	0.00085	0.00112	0.0324

표 7 NGI의 X,Y,Z 좌표와 경위도 및 높이(Dual frequency, Triple Difference)

session	X(m)	Y(m)	Z(m)	위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)
317	-3062002.673	4055436.957	3841860.916	37 16 33.36641	127 3 14.88088	91.5308
319	-3062002.692	4055437.014	3841860.924	37 16 33.36308	127 3 14.87605	91.2779
320	-3062002.643	4055437.033	3841860.908	37 16 33.36595	127 3 14.88333	91.3911
321	-3062002.687	4055437.075	3841861.012	37 16 33.36124	127 3 14.88513	91.4251
323	-3062002.508	4055437.035	3841860.777	37 16 33.36501	127 3 14.88256	91.4415
324	-3062002.778	4055437.022	3841860.821	37 16 33.36489	127 3 14.88047	91.4204
평균	-3062002.663	4055437.023	3841860.893	37 16 33.36443	127 3 14.88140	91.4145
σ_s	0.089	0.038	0.083	0.00194	0.00312	0.0820
σ_m	0.036	0.016	0.034	0.00079	0.00127	0.0335

표 8 WGS 84 좌표계 상에서 결정된 절대좌표와 정확도

측점	성분	절대좌표(m)	정확도(m)
천문우주 과학 연구소	X	-3120177.051	±0.041
	Y	4084640.325	±0.028
	Z	3763933.774	±0.044
국립 지리원	X	-3062002.663	±0.044
	Y	4055437.023	±0.029
	Z	3841860.893	±0.043

식 (4-1)에서 $\sigma_{simosato}$ 는 관측자료를 처리할 때 기준점으로 사용한 Simosato 좌표에 내포되어 있는 표준오차이다.

Dual frequency 방법을 이용하여 측정된 거리와 거리의 성분 X,Y,Z는 <표 9>와 같다. 이 표에서 보듯이 기선간의 거리가 100km 이상인 장기선의 경우에도 GPS의 거리측정 정밀도 (σ_s /기선의 거리)는 약 0.1ppm에 이르고 있

음을 알 수 있다. <표 10>은 Dual frequency 방법을 이용하여 얻은 각 기선의 방위각과 수직각의 측정결과이다. <표 10>은 GPS의 각측정 정밀도(σ_s)가 10 mas(mili arc second)에서 60 mas 사이임을 나타내고 기선의 길이가 길수록 각측정의 정밀도가 향상됨을 보여준다. <표 10>에서 수직각의 forward와 backward가 모두 음수로 나타난 것은 측정대상이 장기선인 경우 기선 양끝지점의 측지 타원체에 접한 평면이 측지타원체의 곡률에 의하여 서로 각을 이루기 때문이다.

5. 결론

국내의 GPS 측지기준점 설정을 위해 국제간 장거리 관측을 실시하여 각 자료처리 방법에 따른 특성을 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) WGS 84 좌표계 상에서 정밀하게 결정된

표 9 상대거리와 거리성분측정 결과(Dual frequency, Triple difference)

기 선	session	distance(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
Simosato ↓ ISSA	317	840992.3231	702215.819	385256.403	256395.271
	319	840992.3448	702215.805	385256.469	256395.282
	320	840992.3550	702215.834	385256.442	256395.275
	321	840992.3731	702215.774	385256.506	256395.404
	323	840992.3920	702215.910	385256.466	256395.154
	324	840992.1880	702215.663	385256.441	256395.197
	평균	840992.3293	702215.801	385256.454	256395.264
	σ_s	0.0731	0.081	0.035	0.086
	σ_m	0.0299	0.033	0.014	0.035
ISSA ↓ NGI	317	101536.8323	58174.361	-29203.317	77927.135
	319	101536.8285	58174.355	-29203.325	77927.131
	320	101536.8199	58174.375	-29203.278	77927.122
	321	101536.8174	58174.392	-29203.301	77927.908
	323	101536.8529	58174.435	-29203.300	77927.113
	324	101536.8376	58174.411	-29203.290	77927.114
	평균	101536.8314	58174.388	-29203.302	77927.119
		σ_m	0.0129	0.031	0.017
	σ_m	0.0053	0.013	0.007	0.006

표 10 방위각과 수직각 측정결과(Dual frequency, Triple difference)

기 선	session	방위각(도분초)		수직각(도분초)	
		forward	backward	forward	backward
Simosato ↓ ISSA	317	294 14 17.78	109 19 17.46	-3 46 31.28	-3 46 52.11
	319	294 14 17.77	109 19 17.45	-3 46 31.27	-3 46 52.12
	320	294 14 17.77	109 19 17.46	-3 46 31.28	-3 46 52.11
	321	294 14 17.78	109 19 17.47	-3 46 31.24	-3 46 52.15
	323	294 14 17.75	109 19 17.43	-3 46 31.30	-3 46 52.09
	324	294 14 17.75	109 19 17.44	-3 46 31.27	-3 46 52.12
	평균	294 14 17.77	109 19 17.45	-3 46 31.27	-3 46 52.12
	σ_s	0.01	0.01	0.02	0.02
	σ_m	0.00	0.00	0.00	0.00
ISSA ↓ NGI	317	343 41 48.96	163 30 15.31	-0 29 12.85	-0 25 39.83
	319	343 41 48.98	163 30 15.33	-0 29 12.86	-0 25 39.82
	320	343 41 48.88	163 30 15.23	-0 29 12.83	-0 25 39.85
	321	343 41 48.88	163 30 15.23	-0 29 12.91	-0 25 39.78
	323	343 41 48.82	163 30 15.17	-0 29 12.93	-0 25 39.75
	324	343 41 48.84	163 30 15.20	-0 29 12.90	-0 25 39.79
	평균	343 41 48.89	163 30 15.24	-0 29 12.88	-0 25 39.80
	σ_s	0.06	0.06	0.04	0.04
	σ_m	0.00	0.00	0.00	0.00

천문우주과학연구소와 국립지리원의 대한
민국 경위도 원점에 대한 좌표값과 기선은
향후 국내에서 GPS를 이용한 관측을 할
경우에 GPS 측지 기준점과 기준선 확보
를 위한 기본자료로 활용될 것으로 기대된
다.

- 2) GPS에 의한 장거리 측정 결과는 정밀도
면에서 GPS가 국내 측지망 결과에 사용
될 수 있는 근거를 제시할 뿐만 아니라,
국내에서 GPS를 도입하여 측지망 구성에
활용한다면 보다 효율적으로 양호한 결과
를 얻을 수 있을 것이다.
- 3) 이 연구를 통해 설정된 GPS 측지기준점
의 좌표값은 일본의 1지점으로 부터 결정
되어 측지기준점으로 활용하기에는 미흡하
므로 향후 GPS 관측망에 참여하여 국제
적인 GPS 기준점과의 공동관측을 통해
좌표 정확도를 향상시켜야 한다.

감사의 글 : 본 연구를 위해 적극 협조해 주
신 국립지리원 측지과 여러분께 깊은 감사를
드립니다.

참고 문헌

1. 최재화, 김세걸, 최윤수, 1990, "우리나라 삼
각점 실용성과 산정에 관한 연구", 한국측지
학회지, 8(1), pp. 1-13.
2. Wells D.E., Beck N., Delikaraoglou D., Kleus-
berg A., Krakiwsky E.J., Lachapelle G., Lang-
ley R.B., Nakiboglu M., Schwarx K.P., Tran-
quilla J.M. and Vanicek P., 1986, Guide to
GPS Positioning, Canadian GPS Associates,
Fredericton, N.B., Canada, pp. 4.0-4.10.
3. King R.W., Masters E.G., Rizos C., Stolz A.
and Collins J., 1985, Surveying With GPS, 2
Monograph 9 School of Surveying The
Univ. of New South Wales, pp. 11-12.

4. Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic System, 1987, DMA TR 8350.2, Washington, D.C., USA.
5. Ashkenazi V., Agrotis L.G. and Yau J., 1985, "GPS Interferometric Phase Algorithms", Proceedings First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System Positioning with GPS -1985, Rockville, Maryland, pp. 299-313.
6. Sengoku A., 1991, Private Letter.