

## 정밀절대측위(PPP)기법에 의한 GPS 기준점 좌표의 산정 The Coordinates Computation of the GPS Base Station by Precise Point Positioning

이 용 창\*

Lee, Yong-Chang

### 요 旨

제트추진연구소(JPL:Jet Propulsion Laboratory)에서는 매일 전세계에 분포된 정밀 측지용 GPS수신기의 광역망으로 부터 관측자료를 수집하고 분석하여 정밀한 GPS transmitter parameters (위성의 위치력 및 시계 보정값)를 산정하고 있으며 이를 이용한 자동화된 GPS 자료 해석 서비스를 제공하고 있다. 본 연구에서는 한 측정점의 2주짜 GPS수신기로 부터 획득한 위성관측자료를 E-mail 및 ftp(file transfer protocol)로 JPL의 주컴퓨터에 연결시켜 JPL의 정밀 GPS transmitter parameters 및 Gipsy/Oasis-II (GOA-II) s/w를 활용한 정밀절대측위(PPP: Precise Point Positioning)기법의 정밀도를 분석하고 PPP에 의한 GPS기준점 좌표의 산정 방안을 검토한 것이다. 검토결과, X, Y, Z 직교좌표계에서 수 cm급의 위치결정이 가능하였다.

### ABSTRACT

JPL(Jet Propulsion Laboratory) has been routinely produced the precise GPS ephemeris and clock's correction parameter using data collected from globally distributed permanent GPS tracking stations, and has been offering the automated GPS data analysis(Precise Point Positioning: PPP) service by using them. In this study, after investigating the potential capacity of JPL's PPP service, the coordinates computation of the GPS base station by this service were investigated. For this, the dual frequency P codes data of 24 hours were observed from continuously operating four reference stations in USA, sent to the JPL's main computer through E-mail and/or ftp, and then were processed by Gipsy/Oasis-II (GOA-II) software with the precise GPS transmitter parameters. Centimeter-level positioning results were available to obtain in X, Y, Z geocentric rectangular coordinate system.

### 1. 서 론

상대측위는 사전에 그 측정점의 좌표가 정확히 알려진 측정점을 기준으로 다른 측정점의 위치를 상대적으로 결정하는 기법으로 수년 전부터 측지분야 및 정밀 측위분야에 활용되어 오고 있다. 또한, 실시간의 능력을 겸비한 DGPS(Differential GPS)기법의 경우, 일정한 거리내에서 위성과 수신기의 공통오차를 소거할 수 있다는 장점 때문에 최근 그 활용성이 부각되고 있지만, 기준국과 이동국 수신기간의 거리가 증가할수록 기선거리의 오차가 증대되며 공통오차의 개념에 모순이 따르는 단점을 가지고 있다. 만일, 정밀한 Transmitter parameter 즉, 정밀한 GPS위성의 위치력과 위성시계의 보정값을 정기적으로 계

산할 수 있다면 기준국 수신기와외 상대측위기법을 적용하지 않고도 임의 한 측정점에 설치된 GPS수신기만으로 비교적 높은 정밀도의 위치해석이 가능하게 될 것이며 특히, 전리층과 대류층의 전파 지연 및 tide에 관련한 보정 모델까지 수반된다면 보다 향상된 정밀측위가 가능할 것이다.<sup>1)</sup>

1993년 IGS(the International GPS Service)가 창설된 이래로 IGS에서는 전세계 140개 이상의 상시 GPS관측소로부터 수집된 자료를 이용하여 정밀한 GPS 위치력과 관련정보를 제공하고 있다. 특히, IGS가 제공하는 정보 중 SP3 정밀력(최종해)의 경우, 궤도 및 시계정보의 정밀도가 각각 5 cm 및 0.3 ns로 상당한 향상을 이루고 있어 IGS의 정보를 이용한 결과는 점차 정확도와 신뢰도 면에서 보다 안정화되고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 고정밀도의 IGS 정보를 이용한다면 과거에는 성취할 수 없었던 높은 정밀도

\*시립 인천전문대학 토목과 부교수

의 위치해석이 가능하며 특히 정밀도가 요구되는 측위 및 측정분야에 새로운 수단을 제공하게 될 것이다. 현재 IGS가 제공하고 있는 위성의 궤도력 및 시계 정보는 15분의 주기로 제공되고 있는 반면, 7개의 IGS 자료 해석 센터중의 한 기관인 JPL에서는 자체적으로 전세계 관측망을 통해 수집된 자료를 활용하여 매 5분간격의 향상된 GPS 궤도정보와 30초간격의 위성시계보정 매개변수를 산정하고 측위 및 지구물리분야의 응용에 활용하고 있다.<sup>2,4)</sup>

현재, JPL의 위성궤도와 위성시계정보의 정밀도는 수 cm급에 상당하는 것으로 발표되고 있고 JPL에서는 이를 이용하여 1998년 후반부터 1대의 2주파 수신기로부터 획득된 독립측점의 관측자료를 인터넷 망을 통해 정밀히 해석할 수 있는 정밀절대측위(PPP)의 해석 서비스를 제공하고 있다. PPP 해석을 위해서는 최소 1시간의 원자료 혹은 RINEX 자료의 획득을 권장하고 있으며 고도각 15°이상의 GPS 관측자료를 GIPSY OASIS-II(GOA-II) s/w를 이용하여 해석하고 ITRF96 좌표계내의 지심삼차원직교좌표(X, Y, Z)와 측지좌표( $\phi, \lambda, h$ )를 제공한다.<sup>5,7)</sup> 또한, PPP 해석시에 방송력 정보가 아닌 JPL의 정밀한 위성 궤도력과 high-rate 시계보정정보(주기 : 30초)가 사용되므로 SA(Selective Availability)의 영향을 최소화하게 되며 전리층 및 대류층의 전파지연에 따른 보정모형을 적용하여 정확도의 향상을 도모하고 있다.

그러므로 일반 사용자는 GIPSY OASIS-II S/W를 정상적으로 운용하기까지 요구되는 상당한 기술적인 노력과 시간이 필요없이 인터넷 통신망을 통하여 단 시간내에 높은 정밀도의 측위 해석을 할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. JPL에서는 이 기술을 이용하여 현재, 전세계에 분포된 GPS 관측소로부터 모아지는 자료를 과거 상대측위에 의한 동시 해석시 유발되는 측지망 조정의 왜곡없이 한번에 한 측점씩 정밀도와 계산 작업면에서 매우 효율적인 해석을 하고 있다.

따라서, 본 PPP 기법을 정밀 GPS 기준점 및 공사용 GPS 측량기준점의 산정에 적용한다면 측지망의 구성, 기준 위성의 선정 및 기준 수신기에 관련한 제반작업이 필요치 않게될 것이므로 측지학적인 응용면에서 과거 측위 방식에 비해 그 해석과정이 단순화되므로 매우 효율적인 활용이 기대된다. 본 연구는 기존의 정밀 GPS기준점의 2주파 P-code 수신기로부터 획득된 관측자료를 E-mail 및 ftp(file transfer protocol) 통신망을 이용하여 JPL의 주전산기에 연결시켜 JPL의 정밀 GPS transmitter para-

meters 및 Gipsy/Oasis-II (GOA-II) s/w를 활용한 관측 시간대별(1, 3, 6, 12, 24시간) 정밀절대측위의 해석결과를 분석함은 물론, 1일 24시간, 총 20일간의 관측자료에 대한 해석결과를 기존성과 비교하여 GPS기준점 좌표의 산정방안을 검토한 것이다.

## 2. JPL의 정밀절대측위(PPP) 해석개념

본 논문에서는 JPL에서 제안한 PPP의 일반적 개념만을 논하고 이외의 부분은 참고문헌으로 대신한다. 과거, 절대측위(Point positioning)의 개념은 위성의 궤도 및 시계보정을 GPS로부터 전송되는 항법정보(Navigation message)에 의존하고 GPS수신기로부터 획득되는 의사거리(Pseudorange)를 해석하여 수신기에 관련한 특정 요소(3차원 위치, 속도, 방향 등)를 결정하는 방식이었다. 따라서, 의사거리오차(PRN : Pseudorange Noise)와 수 m 정밀도의 GPS 위성궤도력 및 수십 m 정밀도를 갖는 GPS 위성시계의 오차 때문에 해석결과와 활용범위가 한정되었다.<sup>8)</sup> 그러나 JPL의 PPP 해석기법은 두가지 면에서 과거의 절대측위 개념과 구별된다. 첫째, 의사거리는 물론 반송파위상(Carrier phase) 관측자료가 동시에 활용되며 둘째, 자체적으로 수 cm급 이하의 정밀도를 갖는 위성 transmitter parameters를 산정하여 해석에 적용한다는 점이다. 특히, JPL에서는 1998년 후반부터 인터넷망을 통한 PPP 해석 서비스를 시작하고 있는데 1대의 2주파 P-code 수신기로부터 Epoch 30초, 최소 1시간의 RINEX 혹은 원자료의 획득을 권장하고 있다. 한 측점에서 관측된 자료를 JPL의 해석센터로 송부한 후, 정상적인 해석이 수행될 경우, JPL의 GOA-II s/w는 Readme file을 포함하여 총 8개의 결과 파일을 송부해 오게 되는데 측점의 좌표(ITRF96 기준계상의 X, Y, Z 및  $\phi, \lambda, h$ 와 각각의  $1\sigma$  오차), 산정된 transmitter parameter, Wet troposphere zenith delay, Phase biases, Receiver clock biases, 및 Post-fit residuals for each measurement이 제공된다.<sup>5,7)</sup>

따라서, 2주파 P-code 측지용 수신기를 활용하여 JPL의 PPP 해석에 적용한다면 1대의 수신기만으로도 Data의 Cleaning 및 전리층 변동에 따른 영향을 소거하고 높은 정밀도의 결과를 산정할 수 있으므로 비록 P-code의 취득 능력이 없는 수신기라 할 지라도 JPL에서 제공하고 있는 정밀 위성 transmitter parameters를 적용할 경우, 비교적 양호한 절대측위 결과를 얻을 수 있을 것이다.

### 3. GPS위성 관측자료의 획득

본 연구에 활용된 GPS관측자료는 미국 Maine 대학교 내 Spatial Information Science and Engineering 학과에 설치된 GPS 상시관측소의 2주파 P-code AshtechZ-XII3 수신기로부터 획득하였다. 특히, 이 관측소(ORO)는 SATLOC 사가 운영하는 미국 전역에 분포된 14개 DGPS 관측소중 한 측정점으로서 24시간 Epoch 5초 간격의 GPS 위성관측자료를 취득하고 56 Kbit의 Frame relay 전화선을 통해 Arizona 주 Scottsdale에 있는 SATLOC의 network control site로 전송하고 있다. 이 자료로부터 계산된 DGPS 보정값은 AMSC(American Mobile Satellite Corporation) 정지위성에 전송되어 미국 전역에 측위정도 30 cm의 DGPS 서비스를 제공하고 있다.<sup>9)</sup>

그림 1은 상시 관측소에서 활용하고 있는 Boardman Hall 옥상에 설치된 안테나들로서 우측의 원뿔형 안테나는 본 연구에 사용된 Ashtech 수신기에 연결된 Choke ring 안테나이고 중앙부는 DGPS 보정값을 수신할 수 있는 Satloc의 L-band 안테나, 그리고 좌측은 Magellan 기준국 안테나이다.

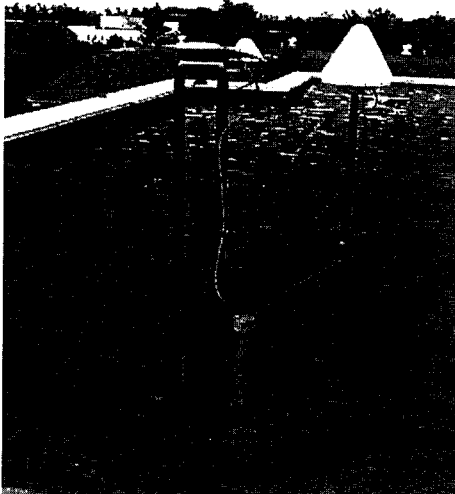


그림 1. ORO 관측소의 안테나

본 연구에서는 1998년 11월 27일(DOY331 ; Day of Year)부터 12월 17일(DOY351)간 총 20일(12월 2일 제외), Epoch 5초, 24시간의 관측자료를 획득한 후, JPL의 권장 Epoch 및 자료의 효율적인 관리를 위해 Epoch 30초의 자료로 재구성하였다. 특히, 12월 12일(DOY346)부터 15일까지 4일×24시간의 관측자료를 1시간에서 12시간까지의 1시간대 및 24시간의 관측자료로 재구성하여 시간대별 PPP 해석에 활용하였고 정밀 GPS 기준점 좌표의 산정방안으로 20일×24시간의 관측자료를 JPL의 GOA-II s/w로 처리하여 기존의 ORO 관측소의 좌표와 비교 검토하였다. 또한, 미국내 상시 GPS관측소 3개소(BRU1, WES2, GOAD)의 4일×24시간(DOY346-DOY349)의 자료를 취득하여 본 연구의 보완자료로 활용하였다. 표 1은 ITRF96 기준계상 ORO관측소의 좌표를 나타낸 것으로 11일×24시간의 관측자료를 이용하여 1998년 3월에 계산된 것이다.<sup>10)</sup>

### 4. 비교분석

#### 4.1 관측 시간대별 좌표성분의 변동

그림 2~4는 ORO 관측소에서 1998년 12월 12일(DOY346)부터 4일간 관측한 자료를 각각 1~12시간(1시

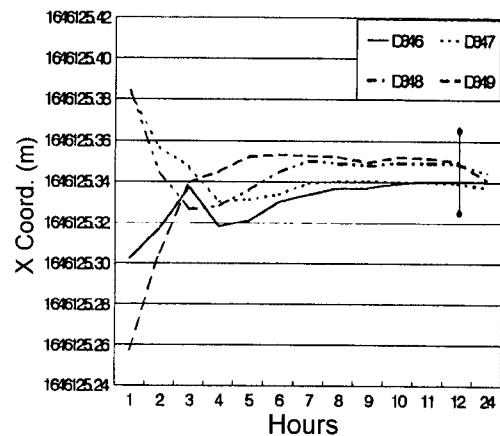


그림 2. ORO관측소의 X좌표 변동경향

표 1. ORO 관측소의 공시좌표

ITRF 96 (Epoch 1997.0, L1 Phase Center of GPS antenna, 안테나 : ASH 7007.18.A)

측지 좌표		지심 직교 좌표			
위도	경도	타원체고	X (m)	Y (m)	Z (m)
44° 54' 07.34653" N	68° 40' 07.22170" W	23.516 m	1646125.343	-4215281.712	4479660.658

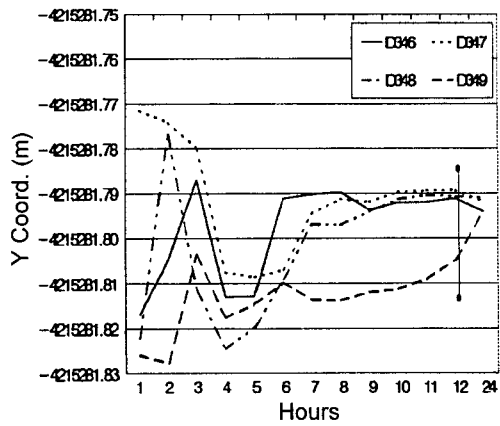


그림 3. ORO관측소의 Y좌표 변동경향

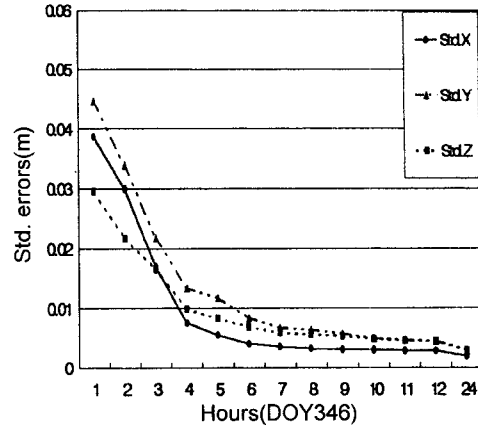


그림 5. ORO관측소의 좌표표준편차 A

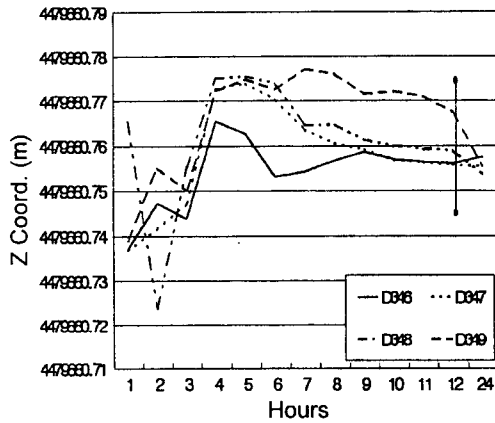


그림 4. ORO관측소의 Z좌표 변동경향

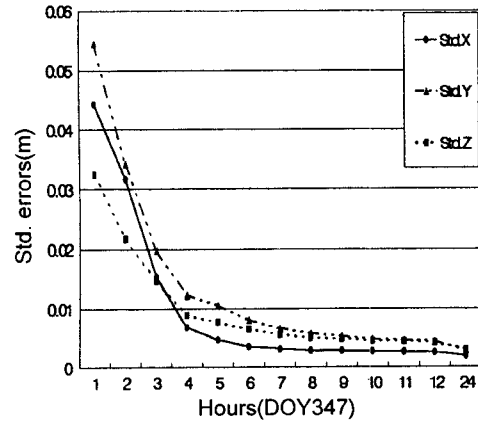


그림 6. ORO관측소의 좌표표준편차 B

간 간격) 및 24시간의 관측자료로 재구성하여 JPL의 GOA-II s/w로 처리한 결과의 시간대별 X, Y 및 Z 좌표값의 변동을 도시한 것이다.

4일간 각 시간대별 관측자료에 대한 좌표값의 변동을 고찰해 보면, X 좌표는 4일간의 처리 결과 모두 4시간 이상대의 관측자료부터 1cm이내의 작은 변동폭을 보이면서 6~7시간대 이후는 24시간대의 평균값  $X=1646125.340$  m에 수렴되는 경향을 나타내었다. Y 좌표의 경우, 1~4시간대까지는 5cm의 편차가 있었으나 6~7시간대 이후부터는 변동폭이 크게 둔화되면서 공통적으로 24시간대의 평균값  $Y=-4215281.793$  m 부근에 수렴되는 경향을 보였다. 또한, Z 좌표의 경우도, 4시간대까지는 변동폭이 큰 편이었으나 이후의 시간대부터는 변동폭이 감소되면서 X 및 Y의 분포경향과 유사하게 24시간대의 평균값  $Z=4479660.756$  m 부근에 수렴되는 경향

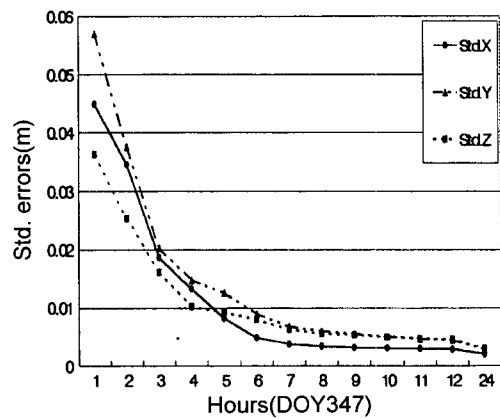


그림 7. ORO관측소의 좌표표준편차 C

을 보였다. 그림 5~8은 DOY346~DOY349에 대한 관측 시간대별 X, Y 및 Z 좌표의 표준편차를 나타낸 것으로

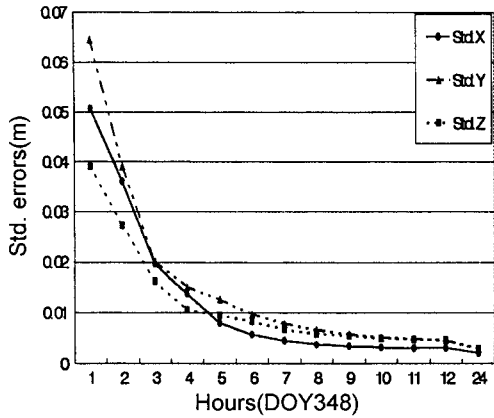


그림 8. ORO관측소의 좌표표준편차 D

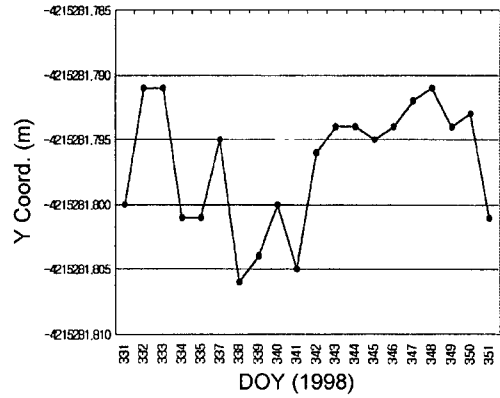


그림 10. 20일×24시간 자료의 Y좌표 변동

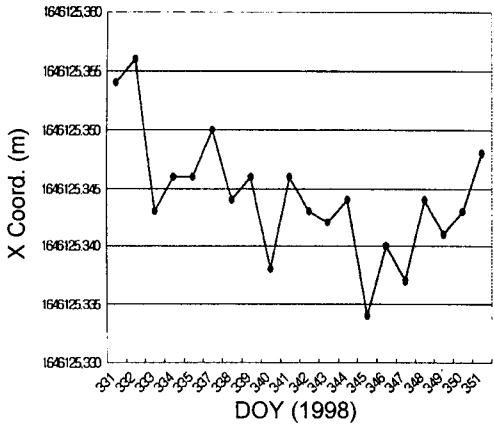


그림 9. 20일×24시간 자료의 X좌표 변동

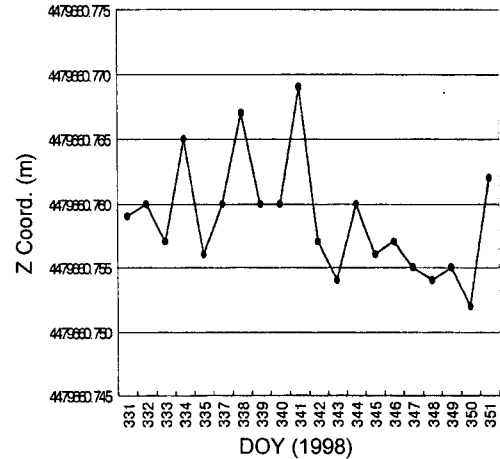


그림 11. 20일×24시간 자료의 Z좌표 변동

도시된 X, Y 및 Z 좌표 값의 표준편차를 고찰해 보면 4일간 모두, 관측시간이 증가함에 따라 산정된 좌표의 정밀도가 현저히 향상되고 있는데, 특히, 3~4시간대를 정점으로 표준편차의 변화율이 감소되면서 6~7시간대부터 24시간대까지는 미소한 변동만을 나타내고 있다. 따라서, 세 좌표성분에 대한 좌표의 변동경향 및 표준편차의 분포경향을 종합적으로 검토해 볼 때 요구되는 정밀도에 따라 차이는 있겠으나 정밀 측위의 경우는 비교적 정밀도와 변동경향 면에서 안정화가 시작되는 6시간대 이상의 관측자료가 바람직할 것으로 판단되었다.

#### 4.2 GPS기준점 좌표의 산정

JPL의 PPP해석법을 이용한 정밀 GPS기준점 좌표의 산정방안을 검토하기 위해 앞서 분석한 시간대별 관측자

료의 분석결과를 토대로 ORO 관측소에서 획득한 20일×24시간의 관측자료를 처리하여 좌표의 변동 경향을 고찰하고 기존성과와 비교 검토하였다.

그림 9, 10 및 11은 각각 20일간의 관측자료를 GOA-II s/w로 처리하여 산출한 ORO 관측소의 DOY별 X, Y 및 Z좌표의 변동경향을 도시한 것이다. X 좌표의 경우, 최대 변동값은 약 2 cm, 평균 좌표값은 X=1646125.344 m로서 DOY331, 332를 제외하고는 전체적으로 변동폭이 양호하게 나타났고 Y 좌표 및 Z 좌표에 비해 큰 변동폭을 보였다. Y좌표의 최대 변동값은 약 1.5 cm, 평균 좌표값은 Y=-4215281.797 m로서 DOY342~DOY350의 그룹대에서 비교적 작은 변동폭이 나타났다. Z좌표의 경우에서도 Y좌표와 같이 DOY342~DOY350의 그룹대에서 작은 변동을 확인할 수 있었으며

최대 변동폭은 약 2 cm, 평균 좌표값은 Z=4479660.759 m로 나타났다. 그림 12는 20일×24시간 관측자료의 PPP 해석에 의한 X, Y 및 Z 좌표의 산술평균값에서 각각의 좌표를 차감한 좌표편차를 도시한 것으로 20일간의 직교좌표에 대한 표준편차는  $\sigma_x = \pm 5.3$  mm,  $\sigma_y = \pm 4.9$  mm, 및  $\sigma_z = \pm 4.4$  mm로서 평균±5 mm이내의 분포를

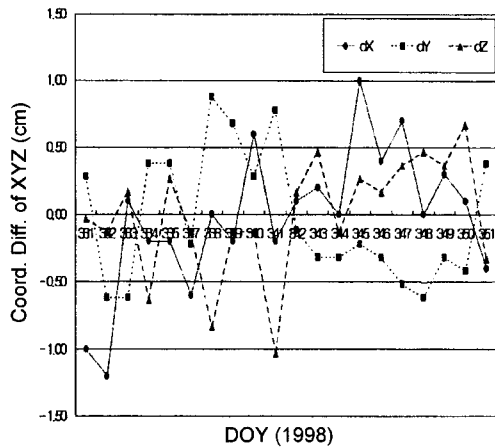


그림 12. PPP의 X, Y, Z평균좌표값과의 편차

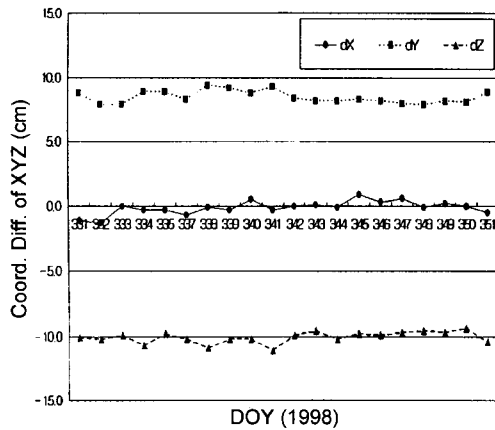


그림 13. 기존좌표성과와 PPP의 X,Y,Z 편차

보였으며 GRS80 타원체상에 변환한 측지좌표의 경우는 각각  $\sigma_\varphi = \pm 0.00008''$ ,  $\sigma_\lambda = \pm 0.00022''$  및  $\sigma_h = \pm 6.4$  mm로서 20일 관측자료만의 PPP 해석결과는 매우 안정된 좌표값을 제공하고 있다.

그림 13과 14는 각각 표 1에서 제시된 기존의 ORO 관측소 좌표와 20일×24시간 관측자료에 대한 PPP해석 좌표간의 X, Y, Z 직교좌표편차 및 측지경위도와 고도의 편차를 도시한 것으로 직교좌표에 대한 표준편차는  $\sigma_x = \pm 0.54$  cm,  $\sigma_y = \pm 8.7$  cm, 및  $\sigma_z = \pm 10.3$  cm로 나타났고 GRS80 타원체상에 변환한 측지좌표의 표준편차는 각각  $\sigma_\varphi = \pm 0.00053''$ ,  $\sigma_\lambda = \pm 0.00142''$  및  $\sigma_h = \pm 13.1$  cm로서 경위도좌표에서는 비교적 정밀한 좌표결과를 보인 반면, 고도성분의 경우 정밀 기준점 좌표로서는 큰 편차로 사료되었다. 본 연구에서는 이에 대한 원인의 규명에 앞서, ORO 관측소 외에 다른 상시관측소의 PPP 해석결과를 고찰하였다. 이를 위해 현재 미국내에서 운용중인 다른 3개소의 GPS 상시 관측소를 선정하여 4일×24시간의 관측자료를 획득하고 PPP 해석에 의한 좌표와 기존 좌표성과를 비교 검토하였다.

표 2는 ORO, BRU1, WES2 및 GOAD 관측소에 대한 기존 좌표성과와 PPP 해석에 의한 평균 좌표값간의

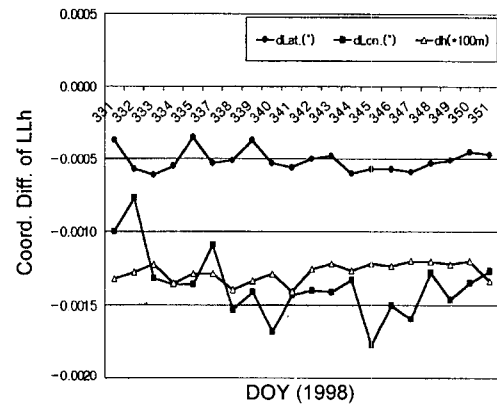


그림 14. 기존좌표성과와 PPP의 측지좌표편차

표 2. 4일×24시간 자료의 PPP 해석결과 및 기존성과와의 좌표편차 (ITRF96)

관측소	직 교 좌 표			측 지 좌 표			안테나 종별	운용기관
	dX(cm)	dY(cm)	dZ(cm)	dφ(")	dλ(")	dh(cm)		
ORO	0.25	8.08	-9.75	-0.00055	-0.00146	-12.17	ASH 700718.A	Satloc Co.
BRU1	0.28	7.72	-8.44	-0.00035	-0.00129	-10.99	ASH 700829.A1	USCG
WES2	4.34	-1.87	1.61	-0.00031	-0.00155	3.40	JPL D/M+crT	Haystack Obs.
GOAD	3.40	-1.30	0.81	-0.00023	-0.00126	2.12	JPL D/M+crT	JPL

편차를 나타낸 것으로 직교좌표 및 측지좌표의 편차량을 도시하면 각각 그림 15 및 그림 16과 같다.

X, Y, Z 직교좌표값의 편차분포를 고찰해 보면 ORO와 BRU1 관측소는 공통적으로 X좌표에서 3 mm, Y 및 Z좌표에서 8~10 cm를 보인 반면, WES2 및 GOAD 관측소의 경우는 X, Y 및 Z좌표에서 1~5 cm 이내의 편차로 기존성과에 매우 근접된 결과를 나타내었다. GRS80 타원체상의 측지좌표로 변환하여 기존성과와의 측지좌표편차를 비교하면 4개의 관측소 모두 측지위도 및 측지경도의 편차범위는 각각 0.0002"~0.0006" 및 0.0013"~0.0016"로 비교적 정밀한 경위도좌표를 결정할 수 있었다. 그러나, 측지고도에서는 ORO와 BRU1 관측소의 경우 11~12 cm, WES2와 GOAD 관측소는 2~3 cm의 편차를 나타내어 관측소별로 최대 약 12 cm, 최소 2 cm의

편차를 보였다. 현재, JPL의 GOA-II s/w를 통해 산출되는 PPP 좌표는 안테나의 L1 전자중심(phase center)에 기준을 두고 해석한 결과이며 현 Version에서는 상이한 안테나 종별에 관련된 보정은 사용자의 백터연산에 맡기고 있다.<sup>6)</sup> 따라서, ORO 및 BRU1 관측소의 PPP 해석에 의한 타원체고 평균값이 기존성과에 비해 크게 나타난 원인으로는 안테나 종별에 따른 전자중심(Phase center)부 높이의 정의혼동 및 변동(안테나 교체 포함)이 가장 유력한 원인으로 분석되며 아울러 작지만, 자료 취득시 관측소의 환경 등이 종합적으로 작용된 결과로 사료된다. 참고적으로 ORO 상시관측소에 대한 NGSI의 정의를 보면, 한 경우는 ASH 700718.A로 또 다른 경우는 ASH 700936으로 각기 정의하고 있다.<sup>10)</sup>

본 연구를 통하여 JPL의 정밀 Transmitter parameters를 이용한 GPS기준점 좌표의 산정방안을 검토할 수 있었으며 향후, 위성궤도의 정보와 위성시계의 보정기술이 보다 향상된다면 본 기법의 효용성에 대한 기대는 더욱 클 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

JPL의 정밀 GPS transmitter parameters 및 Gipsy/Oasis-II S/W에 의한 PPP해석법을 검토하고 GPS기준점 좌표의 산정에 적용한 분석결과를 토대로 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. PPP해석법의 시간대별 좌표성분의 변동경향 및 표준편차의 분포경향을 종합적으로 검토할 때 비교적 정밀 측위의 경우는 정밀도와 변동경향 면에서 안정화가 시작되는 6시간대 이상의 관측자료가 바람직할 것으로 사료되었다.

2. ORO 관측소에 대한 20일×24시간 관측자료의 PPP 해석결과, 기존성과와의 표준편차는  $\sigma_x = \pm 0.54$  cm,  $\sigma_y = \pm 8.7$  cm, 및  $\sigma_z = \pm 10.3$  cm로 나타났고 GRS80 타원체상에 변환한 측지좌표의 표준편차는 각각  $\sigma_\phi = \pm 0.00053''$ ,  $\sigma_\lambda = \pm 0.00142''$  및  $\sigma_h = \pm 13.1$  cm로서 측지고도에서 큰 편차를 보였으나 20일×24시간 자료만의 표준편차는  $\sigma_h = \pm 6.4$  mm로 나타났다. 특히, WES2 및 GOAD 관측소의 경우는 4일×24시간의 관측자료만으로도 기존성과와  $\pm 5$  cm 이내의 표준편차로 X, Y, Z 직교좌표를 결정할 수 있었다.

따라서 본 기법이 보완되어 실용화 될 경우, 상대측위

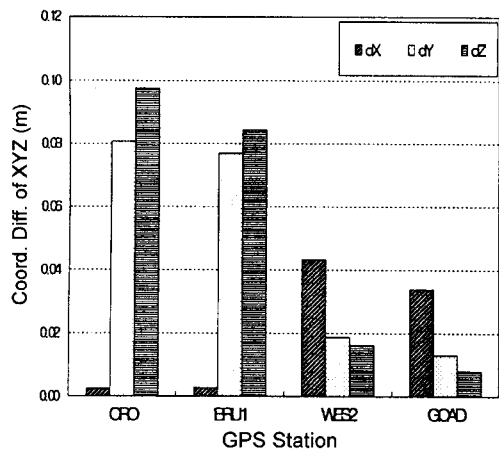


그림 15. 관측소별 직교좌표 편차

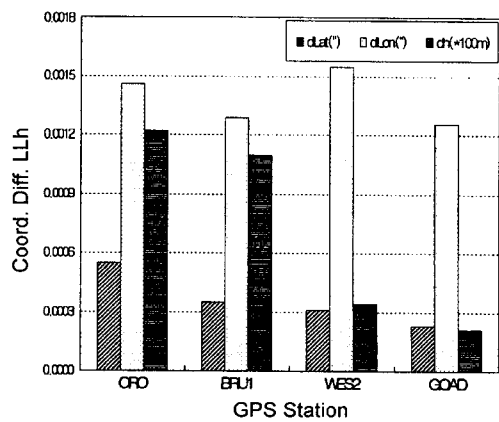


그림 16. 관측소별 측지좌표 편차

의 단점에서 탈피하여 다수의 GPS기준점 설치에 용이할 것이며 특히, GPS 측지망 조정시 발생하는 왜곡에 관계 없이 단독적인 측점의 산정은 물론, 특정 수신기 및 안테나에 대한 진단도 가능할 것으로 사료되었다.

### 감사의 글

본 연구는 1998년도 전반기 해외 Post-Doc. 연수기간 중에 수행된 “지형공간정보의 획득과 항법을 위한 DGPS 기법의 응용” 연구의 일 부분(정밀 DGPS 기준점의 산정)으로서 한국과학재단에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. Heflin, M., *et al.*, “Global Geodesy Using GPS Without Fiducial Sites. Journal of the geophysical research 19(2), 1992, 131-134
2. Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H., “Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks”, Journal of Geophysical Research, 102 (B3), 1997, 5005-5017.
3. Kouba, J., Y. Mireault, G. Beutler, T. Springer, and G. Gendt, “A Discussion of IGS Solutions and Their Impact on Geodetic and Geophysical Applications.” GPS Solution, vol. 2, no. 2, 1998, 3-15.
4. Neilan, R. E., J. F. Zumberge, G. Beutler, and J. Kouba, “The International GPS Service : Global Resource for GPS Applications and Research.” proceedings of ION GPS-97, The Institute of Navigation, 883-889, Kansas City, Missouri, September, 1997.
5. Zumberge, J. F., M. M. Watkins, and F. H. Webb. “Characteristics and Application of Precise GPS Clock Solutions Every 30 Seconds”, Navigation : Journal of the Institute of Navigation, vol. 44, no. 4, 449-456, Winter 1997-1998.
6. Zumberge, J. F., “Automated GPS Data Analysis Service summary” in article on JPL's Automated Gipsy service, August 1, 1998.
7. Zumberge, J. F. “Automated GPS Data Analysis Service,” GPS Solution, vol. 2, no. 3, winter, John Wiley., 76-78, 1999., E-mail : ag@cobra.jpl.nasa.gov
8. Zumberge, J. F., W. I. Bertiger, “Ephemeris and Clock Navigation Message Accuracy”, in Global Positioning System-Theory and Application vol I”, edited by B.W. Parkinson and J. J. Spilker, 1996, 585-599.
9. <http://www.spatial.maine.edu/~leick/>
10. [http://www.ngs.noaa.gov/cors/coord/coord\\_96/oro\\_&http://www.ngs.noaa.gov/cors/.html/oro\\_.log](http://www.ngs.noaa.gov/cors/coord/coord_96/oro_&http://www.ngs.noaa.gov/cors/.html/oro_.log)