

GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도 분석 The Precision Analysis of Point Positioning Using GPS/GLONASS

강준묵* · 이용욱** · 박정현***

Kang, Joon-Mook · Lee, Young-Wook · Park, Joung-Hyun

요 旨

차량의 항법 뿐만아니라 측지 및 측량분야에서 그 효율성이 입증되고 있는 GPS는 준 도시지역과 같이 장애물이 있는 경우 최소 위성수 확보가 힘든 단점이 있다. 재정적 문제로 완전한 위성배치를 이루고 있지 않은 구 소련의 위성항법시스템인 GLONASS는 위치결정원리, 신호체계 등에서 GPS와 많은 유사점을 갖고 있으며, GPS와 조합된다면 많은 이점이 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도를 분석하여 항법 및 측지분야에서 그 효율성을 제시할 목적으로, GPS와 GLONASS에 대한 기준좌표계, 시간 및 주파수 체계의 특성을 고찰하고, 좌표계 및 주파수의 상이로 인해 발생하는 문제점을 해결하여 절대측위 알고리즘을 정립하였다. 그리고, C/A 코드와 Yuma 위성궤도정보를 이용하여 GPS/GLONASS 통합에 의한 절대측위 정밀도를 분석하였다.

ABSTRACT

GPS is an efficient system in surveying and car navigation, but it is difficult to catch minimum number of satellite when it is hindered by obstacle such as city area. GLONASS system doesn't have perfect constellation yet, but it has many similarities with GPS system in principle of point positioning and signal system. so, it is expected to be much efficient when it is used with GPS system. For the purpose of this, the coordinates of GPS and GLONASS system, the quality of time and frequency was investigated, and the algorithm of point positioning was made. also, the efficiency of GPS/GLONASS combination was presented by analysing the precision of 3D point positioning using C/A code and Yuma satellite orbit information.

1. 서 론

최근 항법 및 측지분야에서는 신속하고 정확하게 3차원 지형정보를 획득할 수 있는 GPS, GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)와 같은 위성측위 시스템에 많은 관심이 모아지고 있다.¹⁾

GPS는 자동차, 비행기의 항법뿐만 아니라, 토목공사, 지상 기준점측량, 지각변동감지 등 측지 및 측량분야에서 그 효율성이 입증되고 있으며, 2000년 5월 2일 SA(Selective Availability) 해제로 3차원 측위 정확도가 크게 향상되었다. 그러나, 도심지역과 같이 최소 가시위성수 확보가 힘든 지역에서는 많은 어려움이 있었다. GPS와 유사한 소련의 위성항법시스템인 GLONASS는

국제적인 GLONASS 관측실험(IGEX, The International Glonass EXperiment)을 통해 위성궤도 정확도가 향상되었으나, 재정적 문제로 현재 완전한 위성배치를 이루고 있지 않은 상태이다. 따라서, 두 위성시스템을 혼합한다면 동시에 더 많은 관측방정식을 구성할 수 있으므로 독립적으로 사용하는 것보다 정확도 향상이 기대된다. 그러나, 두 위성체계를 조합하여 사용하기 위해서는 좌표계, 시간 및 운용주파수체계의 상이에 따른 선결연구과제가 있다.²⁾

본 연구에서는 GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도를 분석하여 항법 및 측지분야에서 그 효율성을 제시할 목적으로, GPS와 GLONASS에 대한 기준좌표계, 시간 및 주파수 체계의 특성을 고찰하고, 좌표계 및 주파수의 상이로 인해 발생하는 문제점을 해결하여 절대측위 알고리즘을 정립한다. 그리고, Yuma 위성궤도정보를 이용하여 GPS/GLONASS 통합에 의한 절대측위 정밀도를 분석한다.

*충남대학교 토목공학과 교수

**충남대학교 토목공학과 연구원

***충남대학교 대학원 박사수료

2. 기본이론

2.1 GLONASS의 개요

3차원 위치, 속도, 그리고 시간정보를 제공할 목적으로 구 소련에 의해 개발된 위성항법시스템인 GLONASS는 1982년 10월부터 위성이 발사되기 시작하였고, 1993년 9월 러시아 연방 대통령에 의해 공식적으로 작동이 선언되었으며, 1996년 1월에 24개의 위성이 최초로 작동되었다.^{3,4)} GLONASS는 GPS와 같이 우주부문, 제어부문, 사용자 부문으로 나눌 수 있다.

우주부문은 GLONASS 위성으로 구성되며, 3개의 궤도면에 8개씩 24개의 위성으로 계획되었다. GLONASS 위성은 궤도경사각 64.8° 19100 km 궤도에서 11시간 15분 주기로 회전하고 있다.

제어부문은 러시아에 위치한 제어국과 추적국으로 구성되며, GLONASS 위성의 배치 상태를 점검하고 위성의 위치, 시간 보정량을 계산하여 위성에게 제공한다.

사용자 부문은 수신기와 소프트웨어 등을 포함하며 GLONASS 항법 신호를 수신하고 수신기 좌표와 속도, 시간 계산을 포함한다.

2.2 GPS와 GLONASS의 비교

GLONASS는 L1, L2 반송파와 C/A, P 코드를 모두 포함하고 있으며, 측위 원리 등에서 GPS와 많은 유사점을 갖고 있으나, 위성배치, 주파수, 궤도력 등에서 많은 차이를 나타내고 있다. 구 소련은 고위도 지방에 위치함으로 위성궤도를 64.8도로 하여 러시아를 비롯한 유럽 지역에서도 효과적으로 위성을 관측할 수 있도록 하였

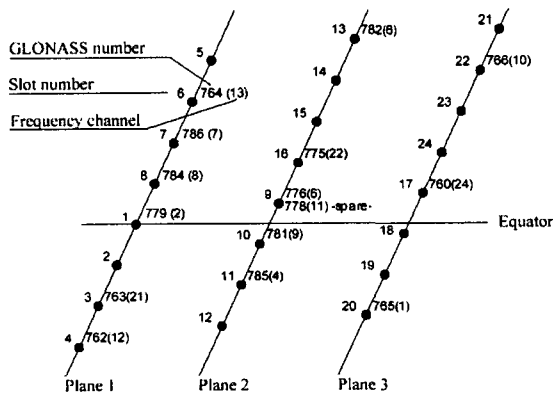


그림 1. 1999년 3월 17일 GLONASS 위성 배치

다. GLONASS는 GPS보다 위성고도가 낮고 위성의 수명이 작으며, 주파수 분할 방식을 이용함으로 각 위성마다 주파수가 상이하다. GLONASS 위성 궤도 정보는 케플러 궤도요소와 섭동요소들이 시간의 함수로 기록된 GPS와 달리 매 15분과 45분에 위성의 3차원 직각좌표 성분, 속도성분, 가속도 성분 등으로 구성된다. GPS와 GLONASS의 세부적인 차이는 표 1과 같으며, 두 시스템을 조합하기 위해서는 기본적으로 시간과 좌표계의 변환관계를 자세하게 규명할 필요가 있다.

2.2.1 시간

모스크바 부근의 UTC(SU)를 기준으로 표시되는 GLONASS 시간은, GPS 시간과 leap second만큼 차이를 갖고 있다. 조합수신기는 대부분 GPS 시간으로 작동됨으로, 만약 관측 데이터나 궤도력이 GLONASS 시간으로 기술되었다면, GPS 시간으로 변환되어야 한다. 조합된 GPS/GLONASS 데이터를 자료처리하기 위해서는 수신기 시계에 의존하고 있는 GLONASS와 GPS 시간 사이의 편의를 알아야 하며, 이는 'GLONASS 수신기 시계'와 'GPS 수신기 시계' 사이의 차이로 해석되어질 수 있다. GLONASS 시간에서 GPS 시간으로의 변환은

표 1. GPS와 GLONASS 비교

위성	GPS	GLONASS
위성수(계획)	24	24
위성고도	20,183 km	19,100 km
궤도당 위성수	4	8
궤도평면의 수	6	3
궤도 경사각	55°	64.8°
궤도주기	11h 58 m	11 h 15 m 44s
신호분리기술	CDMA	FDMA
반송파 주파수	L1 : 1575.42 MHz L2 : 1227.62 MHz	L1: (1602 + 0.562 × k)MHz L2: (1246 + 0.437 × k)MHz 단, k = 1~24
코드 chip rate	C/A : 1.023 MHz P : 10.23 MHz	C/A : 0.511 MHz P : 5.11 MHz
C/A 코드 PRN 길이	1023	511
항법메시지 수신 시간	12.5분	2.5분
위성 궤도력 요소	Kepler 궤도와 섭동요소	직각좌표와 속도, 가속도
시간 기준	UTC(USNO)	UTC(SU)
좌 표 계	WGS84	PZ90

다음과 같다.

$$t_{GPS} = t_{GLONASS} + \tau_c + \tau_u + \tau_g + \tau_r \quad (1)$$

여기서, $\tau_c = t_{UTC(SU)} - t_{GLONASS}$

$$\tau_u = t_{UTC} - t_{UTC(SU)}$$

$$\tau_g = t_{GPS} - t_{UTC}$$

$\tau_r =$ GLONASS와 GPS간의 수신기 시계 편의

2.2.2 좌표계

GLONASS 방송 궤도력은 PZ-90 지구고정좌표계로 표시된다. PZ-90 좌표계의 중심은 지구의 질량중심에 위치하고, Z축은 IERS에 의해 재 정의된 CTP(Conventional Terrestrial Pole)의 방향이다. X축은 BIH에 의해 정의된 그리니치 자오선과 지구적도면의 교차점 방향이며, Y축은 오른손 좌표계로 완성된다. 본 논문에서는 식 (2)와 같은 Vladimir V. Mitrikas 등이 발표한 WGS84와 PZ90간 좌표변환 관계식을 이용하여 GLONASS 위성좌표를 WGS84로 변환하였다.⁹⁾

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_{WGS84} = \begin{Bmatrix} -0.47m \\ -0.51m \\ -1.56m \end{Bmatrix} + (1 + 22 \times 10^{-9})$$

$$\begin{Bmatrix} 1 & -1.728 \times 10^{-6} & -0.017 \times 10^{-6} \\ 1.728 \times 10^{-6} & 1 & 0.076 \times 10^{-6} \\ 0.017 \times 10^{-6} & -0.076 \times 10^{-6} & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \end{Bmatrix} \Bigg\} PZ-90 \quad (2)$$

2.3 절대측위 이론

2.3.1 GPS, GLONASS 절대측위

GLONASS의 3차원 위치결정 원리는 GPS와 동일함으로 최소 4대 이상의 위성이 관측되어야 한다.

위성과 수신기간의 의사거리 관측 방정식은 다음과 같다.

$$P_k^i = c \cdot (\bar{t}_k - \bar{t}^i) \quad (3)$$

여기서, c : 빛의 속도

\bar{t}^i : 위성 i 로부터 신호의 방출시간

\bar{t}^i : 시간 t 에 위성시계 읽음값

t_k : 수신기 k 에서 신호의 수신시간

\bar{t}_k : 시간 t_k 에 수신기 시계의 읽음값

그리고, 위성과 수신기 시계에 대한 오차 Δt^i 와 Δt_k 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta t^i = t^i - \bar{t}^i \quad (4)$$

$$\Delta t_k = \bar{t}_k - t_k \quad (5)$$

위성 i 와 수신기 k 사이의 신호도달시간 \bar{t}_k^i 는 다음과 같다.

$$\bar{t}_k^i = t_k - t^i \quad (6)$$

위성과 수신기간의 의사거리는 다음과 같이 표시된다.

$$P_k^i = c \cdot \tau_k^i + c \cdot \Delta t_k - c \cdot \Delta t^i \quad (7)$$

$c \cdot \tau_k^i$ 는 위성과 수신기간의 거리(p_k^i)와 상대론적 영향을 포함한다. 전리층과 대류권 굴절은 코드 측정의 경우 지연되고 다음과 같이 기술된다.

$$c \cdot \tau_k^i = p_k^i + \Delta p_{k, ion}^i + \Delta p_{k, trop}^i - \Delta p_{k, re}^i \quad (8)$$

여기서, $\Delta p_{k, ion}^i$: 전리층 굴절

$\Delta p_{k, trop}^i$: 대류권 굴절

$\Delta p_{k, re}^i$: 상대론적 영향

2.3.2 GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위

GPS와 GLONASS를 조합하여 자료처리하기 위해서는 GLONASS 위성좌표를 WGS84로 변환할 필요가 있다. 조합된 관측을 자료처리할 때, GLONASS와 GPS 사이의 시간관계가 명확해야하며 의사거리 방정식은 다음과 같이 변경된다.³⁾

$$P_k^i = c \cdot \tau_k^i + c \cdot \Delta t_k - c \cdot \Delta t^i + c \cdot \Delta t^s \quad (9)$$

여기서, $\Delta t^s = t_{GPS} - t_{GLONASS} - n$

$n = \text{leap seconds}$

조합된 관측의 경우는 수신기 시계오차에 추가적으로 GPS와 GLONASS의 시간차이가 포함됨으로 3차원 위치 결정을 위해 최소 5대 이상의 위성이 관측되어야 한다.

3. 데이터 취득 및 자료처리

GPS/GLONASS 조합 데이터 취득을 위해 IGEX의 연속 관측점중 우리나라에 가장 근접해 있는 일본의 MTKA(Mitaka) 측점을 선택하였다. 그리고, IGEX의 Global Data Center에 접속하여 2000. 7. 3일 데이터를 전송받았다. 취득된 관측데이터는 특별한 방식으로 압축

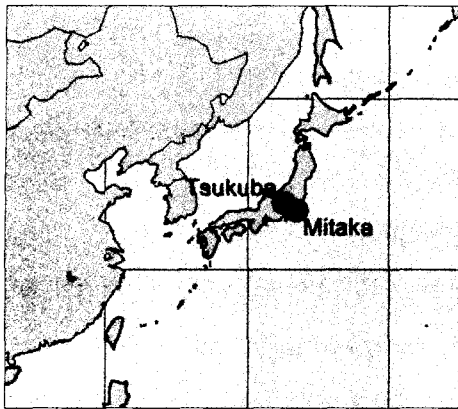


그림 2. 데이터취득점의 위치

표 2. MTKA 측정의 초기 좌표

MTKA(Tokyo, Japan)	
X-Coord	-3947762.834
Y-Coord.	3364399.873
Z-Coord.	3699428.568
Receiver	Ashtech Z18
Antenna	701073 RADOME

되어 있으므로, RINEX 형식으로 변환하여 이용하였다.⁶⁾ 통합된 관측 데이터는 표 3과 같이 RINEX 형식을 취하고 있으며 GPS는 'G', GLONASS는 'R'로 표시되며 30초 간격으로 측정되었다.⁷⁾

통합된 관측데이터는 UNAVOCO의 TEQC를 이용하여

표 3. GPS와 GLONASS가 통합된 RINEX 관측파일 예(MTKA1850.00o)

2		OBSERVATION DATA		M	RINEX VERSION / TYPE		
GBSS		ENRI, Japan		07/03/2000 23:57	PGM / RUN BY / DATE		
MTKA		Ashtech Z18		0064	MARKER NAME		
ZX00120				ZT15	REC # / TYPE / VERS		
-3947762.7510		3364399.8120	3699428.5180		APPROX POSITION XYZ		
0.0000		0.0000	0.0000		ANTENNA: DELTA H/E/N		
1	1				WAVELENGTH FACT L1/2		
7	L1 L2	C1	P1	P2	D1	D2	# / TYPES OF OBSERV
30							INTERVAL
13							LEAP SECONDS
2000	7	3	0	0	0.000000	GPS	TIME OF FIRST OBS
							END OF HEADER
00	7	3	0	0	0.0000000	0	9G16G31G04G02G20G01G07G11R01
-724222764.703	9	-564329387.332	7	20761213.810	20761213.810	20761222.680	- .000000003
2106.902		1641.721					
-688308109.963	7	-536343943.245	3	25177474.591	25177474.591	25177490.389	
-3122.815		-2433.381					
-717686681.194	7	-559236366.322	4	24039271.777	24039271.777	24039283.260	

표 4. GLONASS 데이터의 RINEX 항법파일 예(MTKA1850.00G)

2.01		GLONASS NAVMESS DATA		RINEX VERSION / TYPE			
GBSS		ENRI, Japan		07/03/2000 00:22	PGM / RUN BY / DATE		
2000	7	3	.141561031342D-06	CORR TO SYSTEM TIME			
13							LEAP SECONDS
							END OF HEADER
1	00	7	3	0	15	0.0	.595171004534D-04
							.909494701773D-12
							.000000000000D+00
							-.797300048828D+04
							.957376480103D+00
							-.558793544769D-08
							.000000000000D+00
							-.901202001953D+04
							-.293502426147D+01
							.000000000000D+00
							.200000000000D+01
							.224509902344D+05
							-.834907531738D+00
							.000000000000D+00
							.100000000000D+01

표 5. GPS 데이터의 RINEX 항법파일 예(MTKA1850.00N)

2	NAVIGATION DATA			RINEX VERSION / TYPE	
GBSS	ENRI, Japan			07/03/2000 00:22 PGM / RUN BY / DATE	
.1490D-07	.2235D-07	-.1192D-06	-.1192D-06	ION ALPHA	
.1167D+06	.1802D+06	-.1311D+06	-.4588D+06	ION BETA	
-.372529029846D-08	.355271367880D-14	147456	1069	DELTA-UTC: A0, A1, T, W	
13				LEAP SECONDS	
				END OF HEADER	
1 00 7 3 0 0 0.0	.134694855660D-03	.147792889038D-11	.000000000000D+00		
	.100000000000D+01	-.132312500000D+03	.421660420992D-08	.136354592064D+01	
	-.676698982716D-05	.504529557656D-02	.117849558592D-04	.515371533585D+04	
	.864000000000D+05	-.800937414169D-07	-.296355006666D+01	-.800937414169D-07	
	.961395149053D+00	.156343750000D+03	-.170841731394D+01	-.782889753358D-08	
	.230009580822D-09	.000000000000D+00	.106900000000D+04	.000000000000D+00	
	.100000000000D+01	.000000000000D+00	-.325962901115D-08	.100000000000D+01	
	.859500000000D+05	.000000000000D+00	.000000000000D+00	.000000000000D+00	

GPS, GLONASS 데이터로 각각 분리하고, GLONASS 위성이 4대이상 관측되는 시간대를 선택하여 C/A 코드에 의한 GPS와 GLONASS의 절대측위 정밀도를 분석하고자 하였다.

Yuma 위성궤도력을 이용하여 위성위치를 구하였으며, 15분 간격으로 방송궤도력과 좌표 차이를 보정하였다. GLONASS 위성좌표는 PZ-90상에서 위성좌표를 산출하고 이를 WGS84로 변환하여 사용하였다. GPS는 전리층과 대류층 지연 오차를 모두 보정하였으나, GLONASS는 각 위성마다 주파수가 서로 상이함으로 대류층 지연

오차만 보정하고 전리층 오차는 보정하지 않은 상태로 3차원 위치를 결정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 관측가능 위성수 분석

MTKA 측점에서 2000년 7월 3일 24시간 동안 관측된 GLONASS 위성수는 그림 3과 같으며, 4대이상 위성 관측 가능한 시간은 하루 7시간 정도에 불과함을 알 수 있다. 그림 4는 하루동안 관측된 GPS 위성수를 표시하고 있으며, 대부분 6대 이상 관측이 가능함을 나타내고

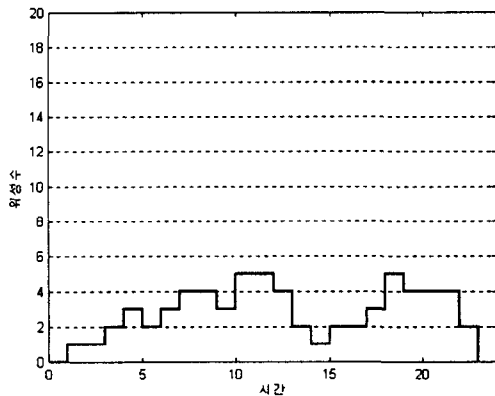


그림 3. MTKA 측점에서 관측된 GLONASS 위성수(2000. 7. 3)

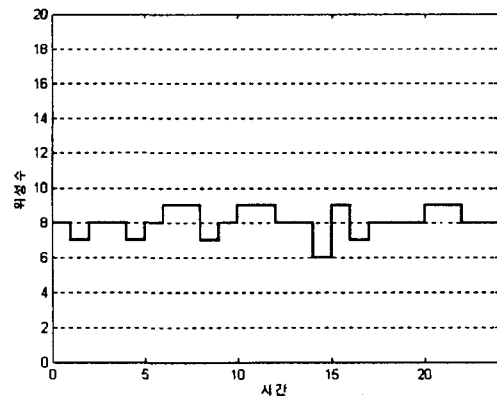


그림 4. MTKA 측점에서 관측된 GPS 위성수(2000. 7. 3)

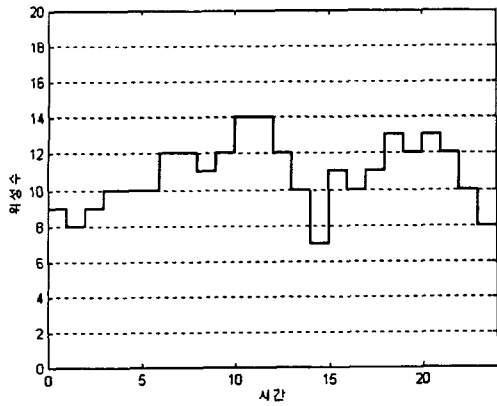


그림 5. MTKA 측점에서 관측된 GPS/GLONASS 위성수 (2000. 7. 3)

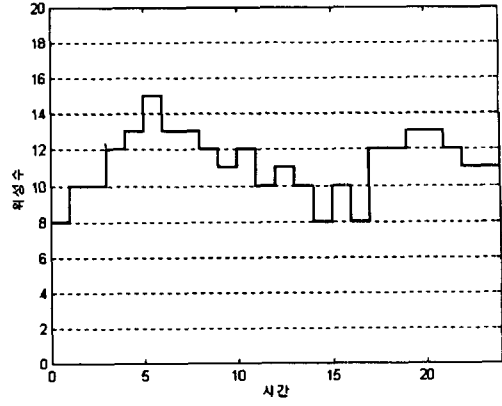


그림 6. MTKA 측점에서 관측된 GPS/GLONASS 위성수 (2001. 2. 12.)

있다. GPS와 GLONASS를 동시에 수신한 경우 관측된 위성수는 그림 5, 그림 6과 같으며, 평균 11~12대 정도 관측됨을 나타내고 있다.

4.2 C/A 코드와 Yuma 궤도력을 이용한 절대측위 정밀도 분석

TEQC를 이용하여 GPS/GLONASS 조합데이터를 분

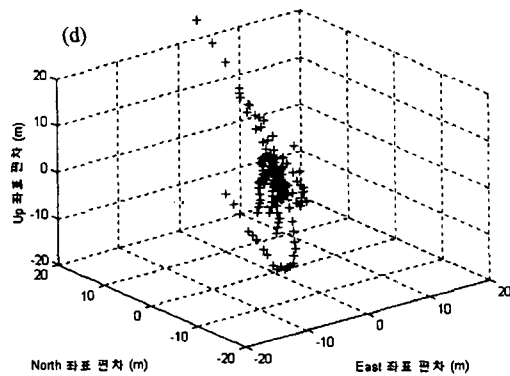
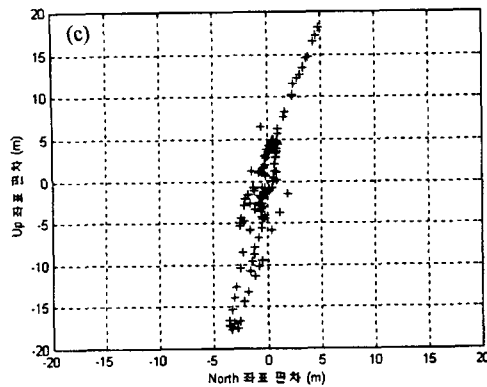
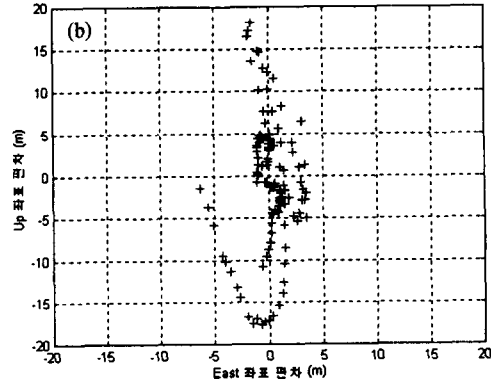
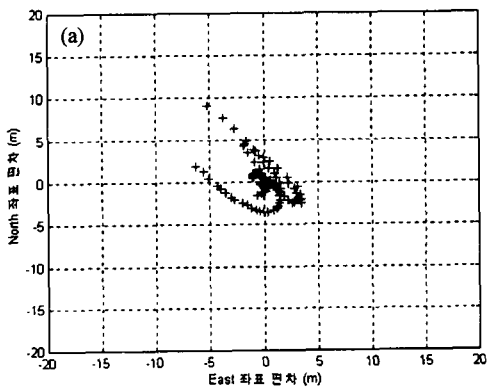


그림 7. (a) GPS 절대측위결과 (East,North), (b) GPS 절대측위결과 (East,Up), (c) GPS 절대측위결과 (North,Up) (d) GPS 절대측위결과(3D)

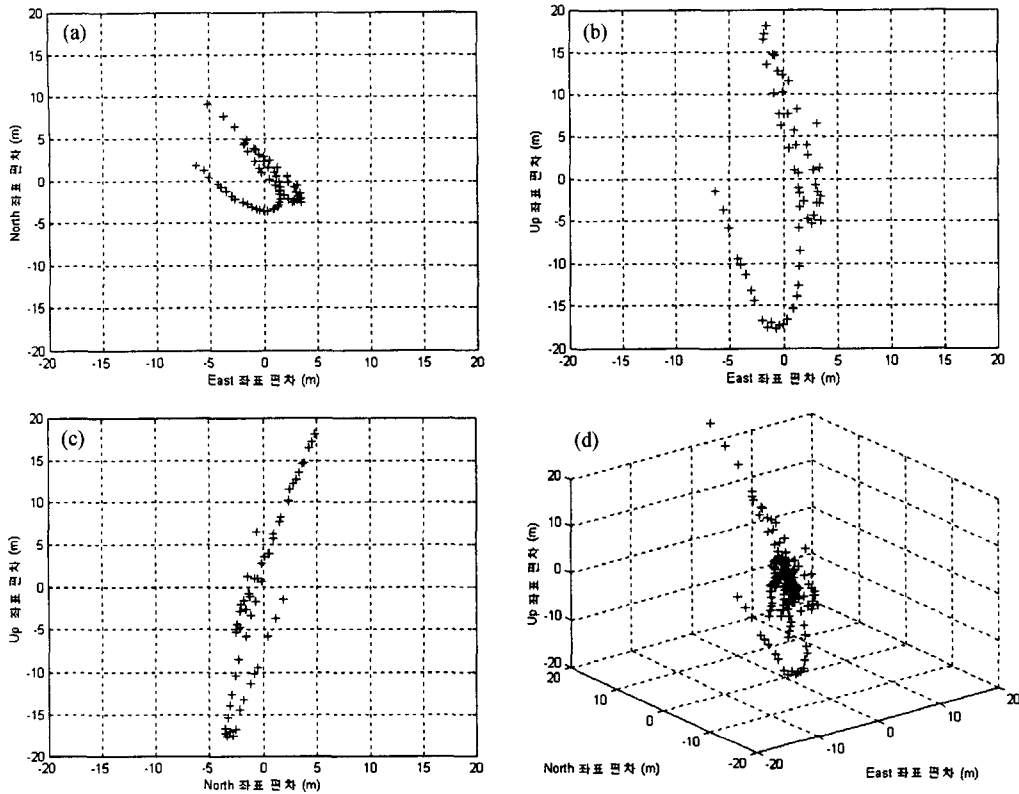


그림 8. (a) GLONASS 절대측위결과 (East,North), (b) GLONASS 절대측위결과 (East,Up), (c) GLONASS 절대측위결과 (North,Up), (d) GLONASS 절대측위결과 (3D)

리하고, GLONASS 위성이 4~5대 이상 관측된 시간대 (2000년 7월 3일 12:00~12:30)를 선택하여 GPS, GLONASS, GPS/GLONASS 절대측위 정밀도를 분석하였다.

4.2.1 GPS 절대측위 정밀도 분석

C/A 코드 의사거리에 위성시계오차, 전리층오차, 대류권오차 등을 보정하여 3차원 위치를 결정하고 그 평균값에 대한 정밀도를 도시하면 그림 7과 같다. 자료처리된 관측 위성수는 7~9대였으며, 95% 확률오차는 동쪽(East), 북쪽(North), 위쪽(Up)으로 각각 1.37 m, 1.29 m, 7.94 m 이었다.

4.2.2 GLONASS 절대측위 정밀도 분석

GLONASS는 위성마다 주파수가 상이함으로 GPS 방송궤도력에 있는 전리층 매개변수를 사용할 수 없기 때문에, 전리층 지연에 대한 보정을 하지 않고, 위성시계오차, 대류층 지연 오차만 보정하여 3차원 위치를 결정하여 그 정밀도를 도시하면 그림 8과 같다. 자료처리시

4~5대의 GLONASS 위성이 사용되었으며, 4.91 m, 5.68 m, 23.23 m의 95% 확률오차를 나타내었다.

4.2.3 GPS/GLONASS 절대측위 정밀도 분석

GPS와 GLONASS 데이터를 동시에 자료처리하여 그 정밀도를 도시하면 그림 9와 같으며, 동쪽, 북쪽, 위쪽 방향으로 1.96 m, 1.17 m, 5.47 m의 95% 확률오차를 보이고 있다.

5. 결 론

GPS와 GLONASS에 대한 기준좌표계, 시간 및 주파수 체계의 특성을 고찰하고 C/A코드와 Yuma 위성궤도력을 이용하여 GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. GPS와 GLONASS 위성을 모두 수신한 경우 하루 평균 11대의 위성 관측이 가능하므로, 도시지역과 같이

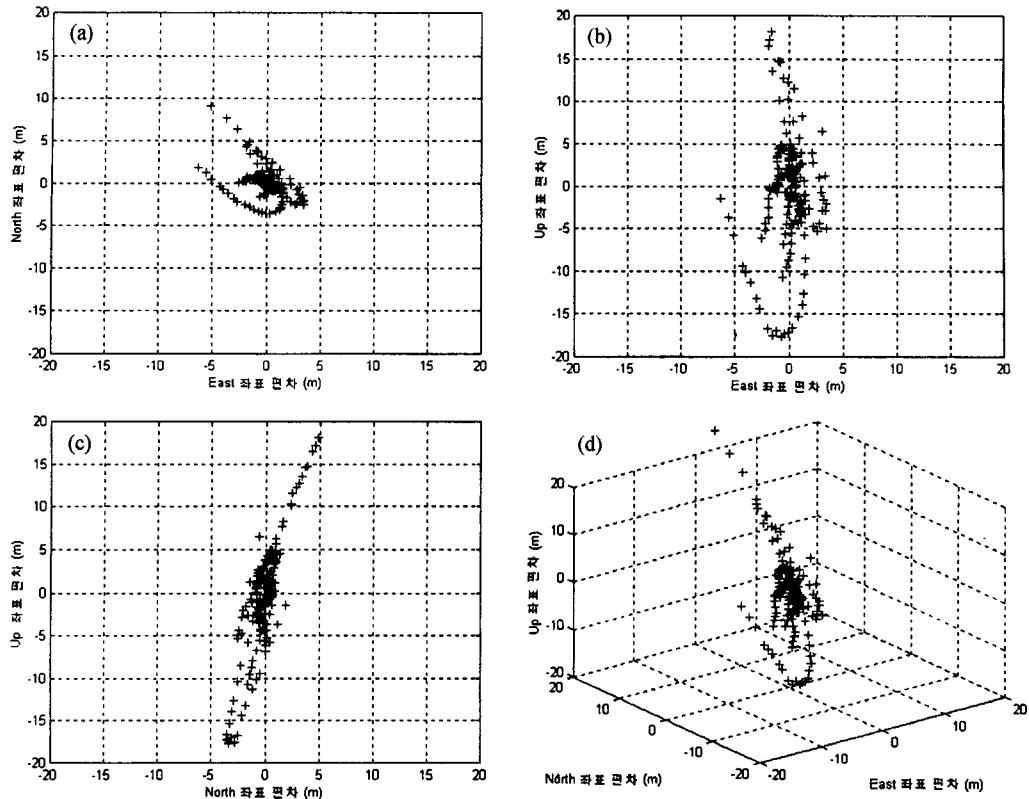


그림 9. (a) GPS/GLONASS 절대측위결과 (East,North), (b) GPS/GLONASS 절대측위결과 (East,Up), (c) GPS/GLONASS 절대측위결과 (North,Up), (d) GPS/GLONASS 절대측위결과 (3D)

GPS 만으로 가시 위성수 확보가 힘든 지역에서도 3차원 위치결정이 가능할 것으로 기대된다.

2. GLONASS에 의한 3차원 위치결정의 정밀도는 관측위성수의 부족으로 GPS보다 낮았으나, 동일한 위성수가 관측된다면 GPS와 유사한 정밀도 획득이 가능할 것으로 기대된다.

3. GPS/GLONASS 조합 알고리즘을 정립하고 절대측위 정밀도를 분석한 결과 GLONASS 위성이 4대 이상 관측된 경우 GPS만 이용한 경우보다 정밀도가 향상됨을 알 수 있었다.

앞으로 GPS와 GLONASS통합에 대한 심도있는 연구가 진행된다면, 항법 뿐만아니라, 측지 및 측량분야의 정확도 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단 선도연구자 지

원사업(과제번호 KRF-2000-041-E00608) 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Bradford W. Parkinson, James J. Spilker Jr., "Global Positioning System : Theory and Applications", Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol 163.
2. James A. Slater, Pascal Willis, Gerhard Beutler, ..., "The International GLONASS Experiment (IGEX-98): Organization, Preliminary Results and Future Plans", Proceedings of ION GPS-99, 1999, pp. 2293-2302.
3. Heinz Habrich, "Experiences of the BKG in Processing GLONASS and Combined GLONASS/GPS Observations", Federal Agency for Cartography and Geodesy, Frankfurt Main, Germany.
4. ICD(1995) : "GLONASS Interface Control Document", Coordinational Scientific Information Center of Russian Space Forces, Moscow, Russia.

5. Vladimir V. Mitrikas, Sergey G. Revnivykh, Evgeniy V. Bykhanov, "WGS84/PZ90 Transformation Parameters Determination Based On Laser And Ephemeris Long-Term GLONASS Orbital Data Processing", ION98, 1998, 1625-1635.
6. Yuki Hatanaka, "Compact RINEX Format", Geographical Survey Institute Kitasato-1, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 1998.
7. Werner Gurtner, "RINEX : The Receiver Independent Exchange Format Version 2", Astronomical Institute, University of Berne.